UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ROCHAS VULCANOCLÁSTICAS DO COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS - MG/SP

Artur Deodato Alves

Orientador: Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ROCHAS VULCANOCLÁSTICAS DO COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS – MG/SP

ARTUR DEODATO ALVES

Orientador: Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T3826
U. S. P.

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher	
Examinadores:	Profa. Dra. Leila Soares Marques	
	Profa. Dra. Mabel Norma Costas Ulbrich	

SÃO PAULO
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ROCHAS VULCANOCLÁSTICAS DO COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS-MG/SP

Artur Deodato Alves

Orientador: Prof. Dr. J. Hans D. Schorscher

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 3826
U. S. P.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2003

DEDALUS - Acervo - IGC
30900013378

Sumário

Índice de Figuras iv
Índice de Fotos vi
Resumo xiii
Abstract xv

1. Introdução e objetivos 1
2. Localização da área de pesquisa e condições de campo 4
3. Problemática e análise da bibliografia fundamental 5
3.1. O Magmatismo mesozóico na Plataforma Sul-Americana 5
3.2. O Complexo Alcalino de Poços de Caldas 7

4. Métodos e materiais de trabalho 9
4.1. Trabalhos Preliminares 9
4.2. Estudos bibliográficos 9
4.3. Trabalhos de campo 10
4.4. Trabalhos de escritório 10
4.5. Trabalhos laboratoriais analítico experimentais 10
4.6. Trabalhos finais 11

5. Geologia 12

5.1. Rochas Pré-Magmatismo Alcalino Poços de Caldas 17
5.1.1. Embasamento precambriano 17
5.1.2. Coberturas Fanerozóicas Pré-Poços de Caldas 18

5.2. Magmatismo Nefelínico Principal Pré-Colapso 19
5.2.1. Brechas e aglomerados ankaratríticos 20
5.2.2. Derrames e vulcanoclásticas fonolíticas 25
5.2.3. Nefelina sienitos tipo Pedreira da Prefeitura 30

5.3. Magmatismo Alcalino Pós-Colapso 31
5.3.1. Dique anelar e nefelina sienito tipo Pedreira Bortolan 32
5.3.2. Brechas intrusivas de conduto vulcânico 32

5.3.3. Eventos erosivos 37
5.3.4. Brechas vulcanoclásticas de fluxo piroclástico e "fall out" 38
5.3.5. Diques de fonolito intrusivos nas brechas da borda N-NW-W 41
5.3.6. Eudialita nefelina sienitos e eventos finais 43

6. Petrografia 45

6.1. Embasamento Precambriano 45
6.1.1. Granitóides 45

6.2. Coberturas Fanerozóicas Pré-Poços de Caldas 46
6.2.1. Rochas sedimentares 46
6.2.2. Diabásios 49

6.3. Ankaratritos 50
6.3.1. Brechas e aglomerados vulcânicos 50
6.3.2. Tufos vulcanoclásticos 53
6.3.3. Dique máfico ankaratrítico 54

6.4. Rochas Fonolíticas 54
6.4.1. Rochas fonolíticas regionais 54
6.4.2. Fonolitos da Pedreira da Prefeitura 57
6.4.3. Tufos e lapilli tufos intemperizados 57

6.5. Nefelina Sienitos 58
6.5.1. Rochas nefelino sieníticas 58
6.5.2. Veio de nefelina sienito em brecha 61

6.6. Brechas de Conduto Vulcânico 62
6.6.1. Brechas intrusivas 62
6.6.2. Brechas intrusivas 1 63
6.6.3. Brechas intrusivas 2 65

6.7. Brechas de Fluxo Piroclástico 67
6.7.1. Brechas de fluxo piroclástico 67
6.7.2. Tufos e lapilli tufos 68

6.8. Rochas Vulcanoclásticas Retrabalhadas 70
6.8.1 Lahars 70

6.9. Fragmentos Encontrados nas Brechas 70
6.9.1. Aplitos 70
6.9.2. Fonolitos afaníticos 70
6.9.3. Brechas extrusivas, tufos e lapilli tufos vulcânicos 71
6.9.4. Carbonatitos 71
6.9.5. Clinopiroxenitos 1 71
6.9.6. Clinopiroxenitos 2 72

6.10. Brecha de conduto 72

7. Geoquímica 76

7.1. Ankaratritos, fonolitos e nefelina sienitos 76
7.1.1. Elementos maiores 77
7.1.2. Elementos traço e terras raras 86

7.2. Rochas vulcanoclásticas 89
7.2.1. Elementos maiores 90
7.2.2. Elementos traço e terras raras 91

7.3. Fragmentos de brecha 93
7.3.1. Granitóides e diabásios 93
7.3.2. Quartzo arenitos,carbonatos e carbonatitos 95
7.3.3. Clinopiroxenitos 98

8. Considerações finais e conclusões 100

9. Bibliografia 103

Anexos

Anexo I - Mapa de Localização dos Afloramentos
Anexo II - Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas
Anexo III Ficha Descritiva dos Afloramentos Visitados
Anexo IV - Dados Químicos das Análises de Rochas

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa geológico do Maciço de Guaxupé mostrando o Complexo Alcalino de Poços de Caldas em sua porção SW, à E da Bacia do Paraná (recorte do Mapa Geológico do Brasil 1:2.500.000 de Schobbenhaus *et al.*, 1981; 1985). 01

Figura 2. Delimitação das sub-áreas de rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. Áreas A-E: alvos desta pesquisa; Área F: brechas uraníferas da Mina Osamu Utsumi. 03

Figura 3. Localização, vias de acesso e quadrícula que abrange o Complexo Alcalino de Poços de Caldas. 04

Figura 4. Magmatismo meso-cenozóico na região do Vale do Paraíba (SP-RJ), compilado de diferentes mapas geológicos regionais e de detalhe (Almeida, 1986). 1-Diques de diabásio; 2-Corpo alcalino; 3-Identificação e idade (em Ma) do corpo; 4-Cobertura cenozóica; 5-cobertura paleozóica; 6-orientações estruturais do embasamento.....06

Figura 5. Mapa Geológico da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....14

Figura 6. Perfis geológicos A-B e C-D da faixa de rochas vulcanoclásticas da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....15

Figura 7. Perfis Geológicos E-F e G-H da faixa de rochas vulcanoclásticas da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....16

Figura 8. Análise estrutural da rede de drenagem (Garda, 1990), juntamente com os dados estruturais tomados em diferentes localidades do Complexo. 42

Figura 9. Diagrama classificatório TAS - Total Álcalis *versus* SiO_2 (Le Maitre, 1989).....76

Figura 10. Diagrama K_2O/Na_2O *versus* Mg# mostrando a existência de rochas ankaratríticas potássicas e sódicas.....77

Figura 11. Diagramas tipo Harker, dos óxidos (% em peso) *versus* SiO_2 (% em peso). 78

Figura 12. Diagrama das concentrações dos elementos maiores das rochas ankartríticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....79

Figura 13. Diagrama das concentrações dos elementos maiores, dos fonolitos e nefelina sienitos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....82

Figura 14. Diagrama Na_2O/K_2O *versus* SiO_2, mostrando a distribuição das rochas nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas nos campos sódico e potássico.....83

Figura 15. Concentrações de Na_2O e K_2O de nefelina sienitos e fonolitos de Poços de Caldas, referentes às amostras do diagrama (b) da figura anterior. 84

Figura 16. Grau de peralcalinidade das rochas nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas segundo a classificação de Shand (1951). 85

Figura 17. Diagramas Cr *vesus* Mg# e Ni *vesus* Mg# das rochas ankaratríticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. 86

Figura 18. Spidergramas dos Elementos Traço (ET) dos três grupos de rochas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, normalizados em relação ao Manto Primitivo de McDonough & Sun (1995). 87

Figura 19. Diagramas Zr versus Nb em relação à razão Zr/Nb=3,5, das rochas ankaratrítcas e nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....89

Figura 20. Diagramas das concentrações de elementos maiores das rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....91

Figura 21. Spidergrama dos elementos traço (ET) das rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, normalizado em relação ao manto Primitivo de McDonough & Sun (1995). 92

Figura 22. . Diagramas das concentrações de elementos maiores dos granitóides e diabásio, do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....94

Figura 23. Diagramas das concentrações de elementos maiores dos fragmentos de quartzo arenitos e carbonatitos, das brechas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. 97

Figura 24. Diagramas das concentrações de elementos maiores dos fragmentos de rochas ultramáficas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.....99

Índice de Fotos

Foto 1. Visão geral do afloramento PDC-5, onde afloram duas sequências de brechas ankaratríticas, tabulares, subhorizontais, cobertas por fonolitos.....21

Foto 2. PDC-5 - Detalhe do contato superior das brechas ankaratríticas cobertas por derrame de fonolito.....21

Foto 3. PDC-5 - Brecha de ankaratritos com cimento carbonático. 21

Foto 4. PDC-5 - Brecha de ankaratritos. 21

Foto 5. PDC-5 - Detalhe do caimento das camadas de brecha para E, rumo ao interior do Complexo. Logo acima da segunda camada ocorre um derrrame de fonolito.....22

Foto 6. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratrítico. Notar a dimensão e as formas angulosas a arredondadas dos fragmentos.....22

Foto 7. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratríticos com predomínio de fragmentos subarredondados.....22

Foto 8. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratríticos com blocos de lavas ankaratríticas variavelmente vesiculadas e amigdaloidais. 22

Foto 9. PDC-15 - Detalhe de bloco de lava ankaratrítica amigdaloidal.....23

Foto 10. PDC-15 - Detalhe de bloco de rocha ankaratrítica porfirítica, amigdaloidal. 23

Foto 11. PDC-4 - Ankaratrito vesiculado intrudindo ankaratrito maciço.....23

Foto 12. PDC-4 - Ankaratrito heterogêneo.....23

Foto 13. PDC-32 - Estruturas de fluxo e pequenas vesículas em lava fonolítica.....26

Foto 14. PDC-31 - Estrutura de fluxo em lava fonolítica. Notar, à esquerda da foto, um fragmento fonolítico.....26

Foto 15. PDC-35 - Estrutura de fluxo em lava fonolítica. 26

Foto 16. PDC-33 - Estrutura de fluxo e xenocristais em lava fonolítica.....26

Foto 17. PDC-23 - Tufo fonolítico intemperizado.....27

Foto 18. PDC-23 - Tufo fonolítico intemperizado.....27

Foto 19. PDC-21 - Camadas de tufos fonolíticos intemperizados.....27

Foto 20. PDC-21 - Detalhe da camada de tufo.....27

Foto 21. PDC-6 - Estratos de tufos e lapilli-tufos intemperizados. Notar bloco de arenito logo acima da sequência.....28

Foto 22. PDC-6 - Detalhe da camada de lapilli-tufo.....28

Foto 23. PDC-6 - Outro detalhe da camada de lapilli-tufo. 28

Foto 24. PDC-6 - Vista do mergulho das camadas de tufos e lapilli-tufos. 28

Foto 25. PDC-18 - Camada de tufos e lapilli-tufos intemperizados. Notar a presença de um paleo-canal constituído por arenitos, no canto inferior direito da foto. 29

Foto 26. PDC-18 - Detalhe do paleo-canal. 29

Foto 27. PDC-18 - Vista da camada de fonolito disposta sobre a camada de tufos e lapilli-tufos. 29

Foto 28. PDC-18 - Detalhe da estratificação do nível de tufo. 29

Foto 29. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico. Notar a predominância de fragmentos fonolíticos com bordas de reação. 35

Foto 30. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico. 35

Foto 31. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico. 35

Foto 32. PDC-32 - Detalhe das flogopitas euédricas presentas na matriz da brecha. 35

Foto 33. PDC-20 - Brecha intrusiva de conduto vulcànico. Notar a presença de vazios de dissolução na superfície da rocha. Notar também a textura gorssa da matriz. 36

Foto 34. PDC-20 - Detalhe da superfície fresca da rocha 36

Foto 35. PDC-39 - Brecha intrusiva de conduto vulcânico. Os fragmentos em destaque são de rocha fonolítica. 36

Foto 36. PDC-39 - Detalhe na porção fresca da rocha. Notar a presença de fragmentos de nefelina-sienitos. 36

Foto 37. PDC-11 - Camadas de brecha de fluxo piroclástico com intercalação de camada de tufos. 39

Foto 38. PDC-11 - Detalhe da porção grossa da brecha. Notar a riqueza de fragmentos presentes. 39

Foto 39. PDC-11 - Outro detalhe da matriz de brecha. 39

Foto 40. PDC-11 - Fragmento de brehca extrusiva de condvulcânico dentro da becha de fluxo piroclástico. 39

Foto 41. Vista geral do afloramento PDC-11. Notar a disposição das camadas. 40

Foto 42. PDC-12 - A mesma sequência de rochas vulcanoclásticas de fluxo piroclástico observada no ponto PDC-11 encontra-se disposta sobre camada de tufos e derrames fonolíticos neste afloramento. 40

Foto 43. Fragmento de granitóide constituído por feldspato, quartzo intersticial e piroxênio egirínico. As porções avermelhadas são devidas a alterações por

óxido e hidróxido de ferro. Notar feições de infiltração nas bordas do fragmento, no contato com a brecha. (Lado maior: 3cm). PDC 6. 47

Foto 44. Granitóide quartzo feldspático com textura granular hipidiomórfica. Notar feldspatos alcalinos sericitizados, o quartzo intersticial e as manchas amareladas de alteração carbonática. (Lado maior: 6mm). PDC 11.....47

Foto 45. Granitóide quartzo feldspático. Notar feldspato com núcleo de plagioclásio e borda com carbonato de reação de substituição, e biotita com alteração parcial para clorita. Minerais de baixa birrefringência são zeólitas e albitas xadrez, concentradas nas bordas e interstícios de grãos. (Lado maior: 6mm). PDC 11. 47

Foto 46. Granitóide fenitizado. Manchas escuras intersticiais aos feldspatos róseos são agregados de egirina metassomática que substitui o quartzo original. Notar que alguns grãos de feldspato apresentam núcleo esbranquiçado de plagioclásio e bordas de feldspato alcalino. (Lado maior: 3cm). PDC 11.....47

Foto 47. Quartzo arenito. Notar borda de recristalização por silicificação nos grãos de quartzo. Os espaços intersticiais estão ocupados por carbonatos e minerais cloríticos. (Lado maior: 4mm). PDC 3.....47

Foto 48. Nicóis descruzados. Fragmento de arenito em brecha. Notar a diferença do empacotamento dos grãos no fragmento, na matriz da brecha. Abaixo do arenito, observa-se também um fragmento de diabásio. (Lado maior: 2cm). PDC 3. 47

Foto 49. Nicóis descruzados. Fragmento de arenito estratificado em brecha. Notar a concentração de opacos ao longo dos planos de deposição e também o contraste de opacos na matriz da brecha e no fragmento. (Lado maior: 1,5cm). PDC 3. 48

Foto 50. Arenito com cimento carbonático. Grãos de quartzo, plagioclásio e microclínio suspensos em matiz carbonática granular poiquilítica. Notar o tamanho dos grãos de carbonato (~5mm) em comparação aos demais componentes (~0,3mm).(Lado maior: 7,5mm). PDC 6.....48

Foto 51. Diabásio. Ripas de plagioclásio (cinza claro), piroxênio augítico (amarelo esverdeado) e prismas alongados de ilmenita (opaco). (Lado maior: 5mm). PDC 2.....48

Foto 52. Diabásio. Detalhe das inclusões de apatita no plagioclásio. (Lado maior: 4,5mm). PDC 2.....48

Foto 53. Diabásio. Plagioclásios sujos alterados para carbonatos, e piroxênios amarelados alterados para cloritas e clofeítas. Os espaços intersticiais de baixa birrefringência estão ocupados por zeólitas e carbonatos finos. (Lado maior: 2,5cm). PDC 2. 48

Foto 54. Diabásio. Detalhe de amígdala preenchida por carbonatos, cloritas e egirinas. (Lado maior: 5mm). PDC 2.....48

Foto 55. Ankaratrito. Rocha vulcância máfica porfirítica amigdaloidal com fenocristais fraturados de piroxênios e olivinas alteradasde até 1,5cm, em matriz afanítica a microfanerítica fina. (Lado maior: 8cm). PDC 14. 51

Foto 56. Brecha ankaratrítica. Detalhe do processo de auto-fragmentação da rocha, por liberação de fluido carbonático a partir da coalescência das vesículas. (Lado maior: 2cm). PDC 4. 51

Foto 57. Brecha ankaratrítica composta por fragmentos vesiculados, cimentados por massa carbonática rica em fragmentos menores de rocha (Lado maior: 4cm). PDC 5. 51

Foto 58. Ankaratrito. Detalhe dos piroxênios zonados e pseudomorfos de olivina em matriz fina, cheia de opacos em massa intersticial de baixa birrefringência. (Lado maior: 2,5 cm). 51

Foto 59. Ankaratrito. Microfenocristais de biotita em matriz alterada para clorofeítas e zeólitas. Notar tamanhos e formas dos opacos. (Lado maior: 2mm). PDC 14. 51

Foto 60. Ankaratrito. Detalhe da matriz. Com piroxênio zonado e geminado, e veio preenchido por carbonatos e zeólitas finos. (Lado maior: 0,5mm). PDC 4. 51

Foto 61. Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe dos grãos de quartzo arredondado, pseudomorfo de serpentina+clorita, e de diabásio alterado, destacados em relação aos "shards" vulcânicos. (Lado maior: 9mm). PDC 3. 52

Foto 62. Tufo vulcânico acamadado. Fragmentos e lascas de cinzas vulcânicas (opacas) e grãos de quartzo bem arredondados em matriz fina microcristalina carbonática a zeolítica. (Lado maior: 4cm). PDC 98. 52

Foto 63. Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe de "shard" vulcânico deformado pelo grão de quartzo. Notar ainda (abaixo), outro grão de quartzo envolto por película de minerais opacos a translúcidos (provavelmente hematita). (Lado maior: 4mm). PDC 98. 52

Foto 64. Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe dos fragmentos opacos com vesículas e cristais alterados. Notar placa de biotita entre os grãos. (Lado maior: 1,5cm). PDC 98. 52

Foto 65. Nicóis descruzados. Dique máfico. Fenocristais prismáticos de diopsídio em matriz vítrea (branca) com opacos anídricos. Nicóis descruzados (Lado maior: 3cm). PDC 16. 52

Foto 66. Dique máfico. A massa cinza é uma matriz vítrea. (Lado maior: 3cm). PDC 5. 52

Foto 67. Fonolito variolítico com fenocristais de feldspato em matriz fina variolítica. PDC 5. 56

Foto 68. Tufo / lapilli tufo fonolítico soldado. Detalhe da matriz constituída por material tufáceo amorfo (verde), às vezes exibindo borda escura. Alguns raros fragmentos de minerias e de fonolito afanítico, também estão presentes. (Lado maior: 5cm). PDC 42. 56

Foto 69. Tufo / lapilli tufo fonolítico soldado, com estratificação pouco evidente por causa da deformação. Estratificação original em posição vertical da foto. Notar a presença de pequenas bombas fonolíticas. PDC 42. 56

Foto 70. Tufo fonolítico soldado. Detalhe dos fragmentos finos em massa também fina, fonolítica. (Lado maior: 2cm). PDC 42. 56

Foto 71. Fonolito do dique anelar. Detalhe da textura e mineralogia. Cristais de haynita e outro com textura esponjosa e baixa birrefringência. (Lado maior: 1,2cm). PDC 57.....56

Foto 72. Dique de fonolito. Fonolito de textura fina, composto por massa félsica (feldspatos, nefelinas) e egirina fina (Lado maior: 1cm). PDC 4.....56

Foto 73. Dique de fonolito da Pedreira da Prefeitura. Fenocristias de feldspatos e piroxênio zonado em matriz fina. (Lado maior: 1cm). PDC 58. 59

Foto 74. Nefelina sienito formado por feldspato, nefelina (alterada) e piroxênios. (Lado maior: 5cm). PDC 58. 59

Foto 75a. Eudilita-nefelina sienito mesocrático (lujaurito), com feldspato, nefelina rósea e massa verde escura formada por piroxênios egirínicos finos. (Lado maior: 5cm). PDC 53. 59

Foto 75b. Detalhe da orientação dos prismas de egirina, feldspatos e da nefelina no lujaurito. (Lado maior: 1,5cm). PDC 54.....59

Foto 76a. Eudialita-nefelina sienito. A massa de cor rósea é formada por eudialita fina granular. PDC 54. 59

Foto 76b. Eudialita-nefelina sienito. Detalhe da egirina intersticial (rosa) e fluorita roxa, juntamente com egirinas prismáticas finas e plumosas. (Lado maior: 1,5cm). PDC 54. 59

Foto 77. Nefelina sienito. Detalhe da textura granular hipidiomórfica, constituída por feldspatos com inclusões de félsicos (nefelina); nefelinas e piroxênios. Os piroxênios apresentam inclusões de opacos e félsicos. (Lado maior: 0,5cm). PDC 58. 60

Foto 78. Nefelina sienito. Detalhe do piroxênio zonado e corroído, com borda de egirina e núcleo augítico. (Lado maior: 0,6cm). PDC 20.....60

Foto 79. Nefelina sienito. Detalhe do espaço intersticial preenchido por zeólitas, agulhas de egirina e, localmente, carbonato microgranular junto a cloritas. (Lado maior: 1cm). PDC 20. 60

Foto 80. Brecha intrusiva. Apresenta textura grossa e é composta por fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos, em matriz grossa constituída de massa fina esverdeada e fenocristais de feldspatos, nefelinas e piroxênios euédricos (Lado maior: 4cm). PDC 20. 60

Foto 81. Brecha intrusiva. Detalhe dos cristais euédricos de feldspatos e nefelinas em matriz feltrosa constituída por intercrescimentos de finas agulhas de piroxênio egirínico. Notar o fragmento.de rocha fonolítica de textura fina xenomórfica. (Lado maior: 1cm). 60

Foto 82. Fragmento arredondado de clinopiroxenito cumulático em brecha extrusiva. Cristais verde-esbranquiçados são de apatita. (Lado maior: 1cm). PDC 7. 60

Foto 83. Fragmentos de aplitos finos com bordas de reação com a matriz de brecha extrusiva. (Lado maior: 3cm). PDC 7. 64

Foto 84. Fragmento de carbonatito em brecha extrusiva. Massa verde dentro do fragmento é formado por egirina. Material amarelo-dourado corresponde a sulfetos. (Lado maior: 2,8cm). PDC 8. 64

Foto 85. Matriz de brecha extrusiva. Notar fragmentos de piroxênio, arenitos, quartzo arredondado e grãos de fonolitos alterados. Massa intersticial composta por massa esverdeada com carbontaos. (Lado maior: 2cm). PDC 8. 64

Foto 86. Matriz de brecha extrusiva. Lascas, fragmentos de lavas e vidros vulcânicos alterados (volcanic shards) em massa zeolítica e carbonática. (Lado maior: 5mm). PDC 7. 64

Foto 87. Brecha extrusiva. Detalhe da interface entre estratos com diferentes granulometrias. (Lado maior: 7cm). PDC 7. 64

Foto 88. Matriz de brecha extrusiva. Grãos de quartzo arredondados, piroxênios fraturados, feldspatos alterados, lascas vulcânicas verde-escuras. O espaço intergranular é ocupado ppor massa fina esverdeada microgranular composta por egirinas finas e algum carbonato. (Lado maior: 5mm). PDC 7. 64

Foto 89. Brecha extrusiva. Detalhe do espaço intergranular preenchido por massa constituída por misturas de zeólitas e carbonatos finos. Também estão presentes nessa massa, piroxênios egirínicos, apatitas, zircão e raras flogopitas. (Lado maior: 2 mm). PDC 8. 66

Foto 90. Brecha extrusiva. Detalhe do grão de carbonato com sobrecrescimento de egirina. Notar que os espaços intergranulares são preenhcidos por zeólitas e por massa verde criptocristalina. (Lado maior: 0,5mm). PDC 8. 66

Foto 91. Fragmento de diabásio alterado em brecha. (Lado maior: 1cm). PDC 8. 66

Foto 92. Brecha polimítica de fluxo piroclástico com fragmento de ankaratritos vesiculados, piroxenitos, granitóides, além de nefelina sienitos e fonolitos. PDC 11. 66

Foto 93. Brecha polimítica de fluxo piroclástico igual à foto anterior. PDC 11. 66

Foto 94. Brecha. Detalhe do framento de granitóide. (Lado maior: 1cm). PDC 11. 66

Foto 95. Detalhe de fragmento carbonatítico granular. Ao lado deste, podem ser vistos fragmentos de fonolito e de nefelina sienito. (Lado maior: 0,5cm). PDC 11. 69

Foto 96. Fragmentos de brecha extrusiva de conduto vulcânico, e de aplito com borda de reação, em brecha de fluxo piroclástico. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11. 69

Foto 97. Fragmento de tufo fino estratificado em brecha de fluxo piroclástico. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11. 69

Foto 98. Matriz de brecha de fluxo pirolástico. Essa é composta por fragmentos de minerais e de rochas. Notar placa de biotita com bordas opacitizadas e de fonolito fino. (Lado maior: 2mm). PDC 11. 69

Foto 99a. Tufo vulcânico estratificado. Notar interface entre camadas com diferentes granulometrias. (Lado maior: 2cm). PDC 11. 69

Foto 99b. Nicóis descruzados. Tufo vulcânico estratificado igual à foto anterior. PDC 11.....69

Foto 100. Fragmento de rocha carbonatítica com estruturas de segregação mineral. PDC 11. 74

Foto 101. Carbonatito. Detalhe das camadas ricas em opacos e máficos. (Lado maior: 2cm). PDC 11. 74

Foto 102. Carbonatito. Detalhe do cristal de pirocloro zonado com núcleo opaco e borda pardacenta. Cristais verdes são de piroxênios. (Lado maior: 2mm). PDC 11. 74

Foto 103. Carbonatito. Biotita verde pleocróica deformada com bordas opacas, opacos subédricos marrom-translúcidos fraturados, e pirocloro. Dentro deste (preenchendo fraturas) ocorrem clorofeíta, clorita e carbonatos em massas criptocristalinas. (Lado maior: 1cm). PDC 11. 74

Foto 104. Fragemento de rocha ultramáfica piroxenítica cumulática, formada por piroxênios, apatitas e opacos. (Lado maior: 2cm) PDC 11. 74

Foto 105. Clinopiroxenito cumulático. Detalhe dos cristais euédricos a subédricos de augita e raros grãos de apatita . (Lado maior: 3mm).PDC 11.....74

Foto 106. Clinopiroxenito cumulático. Detalhe dos cristais de augita e dos grãos de apatita (cinza escuro). (Lado maior: 0,5mm). PDC 11.....75

Foto 107. Borda de fragmento de clinopiroxenito cumulático. Massa intersticial composta por carbonatos e zeólitas finos, além de grãos de apatita e titanita. (Lado maior: 1cm). PDC 11. 75

Foto 108. Detalhe dos fenocristais euédricos de piroxênio diopsídico incolor e de pseudomorfo de olivina com borda clorítica. A matriz é fina, alterada para clorofeítas e com opacos disseminados. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11. 75

Foto 109. Detalhe da matriz da brecha com fragmentos de piroxênios em cimento carbonático. (Lado maior: 10mm). PDC 3. 75

Foto 110. Detalhe da matriz em volta do fragmento de piroxênio titanoaugítico com pequenos opacos dispersos em massa carbonática a zeolítica fina.(Lado maior: 1mm). PDC 3.....75

Resumo

O magmatismo mesozóico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas é representado por ankaratritos, fonolitos, nefelina sienitos, rochas vulcanoclásticas: tufos fonolíticos, aglomerados e brechas vulcânicas diversas. Diabásios e carbonatitos, além de diques de biotita lamprófiros ultramáficos ultrapotássicos são rochas mais subordinadas. Estes últimos, marcam um limite superior para o magmatismo alcalino em torno dos 76 Ma. Na evolução magmática também foram importantes processos pós-magmáticos diversificados como: processos hidrotermais nos ankaratritos e fonolitos vulcânicos e subvulcânicos regionais; processos pegmatíticos a hidrotermais expressivos nos nefelina sienitos; processos hidrotermais específicos potássicos relacionados com mineralizações de U-Th-ETR-Zr-F-Mo e pirita em rochas nefelínicas e suas brechas de explosões magmáto-freáticas, e também, processos de fenitização nas rochas granito-gnáissicas precambrianas regionais.

As rochas vulcanoclásticas alvo dessa pesquisa ocorrem em diversos corpos localizados nas bordas internas do complexo em suas partes N a SW, E, SE e S, ou como ocorrências isoladas em sua parte central. Os trabalhos de campo e petrográficos pemitiram identificar e classificar tufos, lapilli tufos, tufos soldados, brechas intrusivas de conduto vulcânico e extrusivas de fluxo piroclástico por vezes acamadadas com seus depósitos proximais e distais, acompanhadas de tufos, brechas de atividades vulcânicas explosivas recorrentes e de tipo *base surge*.

Foram reconhecidos em algumas das brechas de conduto magmático e de fluxo piroclástico fragmentos de rochas ultramáficas incluindo clinopiroxenitos cumuláticos alcalinos, provavelmente formados pela diferenciação por fracionamento mineral de magmas de nefelina sienitos e, mais raramente, de clinopiroxenitos augíticos a sódi-augíticos fracionados de magmas menos evoluídos. Também foram encontrados fragmentos e associações minerais nas matrizes das brechas que apontam para o envolvimento de magmatismo carbonatítico na geração das brechas de conduto vulcânico e seus equivalentes de fluxo piroclástico.

Os estudos geoquímicos ajudaram na separação e caracterização de tipos distintos de rochas e suas relações com a evolução do magmatismo alcalino. Dessa maneira foram diferenciados dois tipos de ankaratritos de derrames e brechas e dos aglomerados vulcânicos. Os ankaratritos dos derrames e brechas formaram-se antes, têm números de Mg# mais elevados (primitivos), menores conteúdos de SiO_2 e maiores concentrações de Cr e Ni que os ankaratritos dos aglomerados vulcânicos. Exibem, ainda, empobrecimentos de K_2O, MgO e CaO e enriquecimento de Na_2O com

o aumento de SiO_2, enquanto que os ankaratritos dos aglomerados mostram comportamento oposto.

Entre os nefelina sienitos, as variedades mais antigas (miaskítitcas) têm conteúdos de K_2O e Na_2O próximos de 8%-peso (cada) e razões desses óxidos próximas de 1. As variedades mais jovens são mais peralcalinas e comumente portadoras de minerais raros agpaíticos, em particular eudialita. Os fonolitos que cortam as brechas da borda N-NW-W do Complexo e também o dique de fonolitos da Pedreira da Prefeitura são mais peralcalinos que os fonolitos regionais e têm razões K_2O/Na_2O >1. Esses provavelmente representam a fase de transição do magmatismo alcalino nefelínico miaskítico para agpaítico.

O conjunto dessas informações permitiu detalhar a evolução magmato-estratigráfica e estrutural do Complexo Alcalino de Poços de Caldas com base nos trabalhos anteriores de Ellert (1959) e Schorscher e Shea (1992), entre outros. Sobre os sedimentos mesozóicos de cobertura e partes do embasamento precambriano granito-gnáissico, depositaram-se derrames, brechas e aglomerados vulcânicos ankaratríticos com raras intercalações de fonolitos. Com a evolução do magmatismo e construção do edifício vulcânico, os ankaratritos foram recobertos por espessas camadas de derrames e vulcanoclásticas fonolíticas. Ainda nessa fase alocaram-se corpos de nefelina sienitos miaskíticos tipo Pedreira da Prefeitura, intrusivos em profundidades subvulcânicas a hipoabissais dentro do edifício vulcânico. Após esse período, a estrutura vulcânica passou por um período de acomodações tectônicas de subsidências e soerguimentos, incluindo a formação dos diques anelares de fonolitos e destruição de parte do registro geológico por desnudações locais que conduziram a exposição de nefelina sienitos e porções do embasamento e das suas coberturas sedimentares, anteriormente encobertos por rochas fonolíticas. Seguiu-se a formação das brechas de conduto vulcânico e equivalentes de fluxos piroclásticos, relacionadas com magmatismo fonolítico explosivo a carbonático/carbonatítico. Essas foram cortadas por diques fonolíticos de diferentes gerações, representativos da evolução do magmatismo nefelíno sienítico miaskítico a agpaítico. Como fase final dessa evolução formaram-se as intrusões, em corpos menores, de nefelina sienitos agpaíticos, dentro e fora do Complexo, como aqueles das localidades do Morro do Serrote e da Pedra Balão, entre outros.

No fim do magmatismo alcalino nefelino sienítico formam-se por explosões magmáto-freáticas, as brechas de conduto vulcânico relacionadas às mineralizações de U e hidrotermalismo potássico. O último evento magmático registrado no Complexo Alcalino de Poços de Caldas e representado por enxames de diques de biotita lamprófiros ultramáficos ultrapotássicos, como aqueles da mina de U Osamu Utsumi.

Abstract

The Mesozoic magmatism of the Poços de Caldas Alkaline Complex comprises ankaratrites, phonolites, nepheline syenites and volcanoclastic rocks: phonolitic tuffs and lapilli-tuffs, and different volcanic agglomerates and breccias. Diabases and carbonatites as well as dikes of ultramafic ultrapotassic biotite lamprophyres are minor rocks and these latter ones mark the upper limit of Poços de Caldas alkaline magmatism at about 76 My. Related with the magmatic evolution, there occured, too, important post-magmatic processes, including hydrothermal processes in the regional volcanic and subvolcanic ankaratrites and phonolites; pegmatitic and hydrothermal veins and alterations in the nepheline syenites; specific hydrothermal potassic alterations associated with U-Th-ETR-Zr-F-Mo and pyrite mineralizations in the nephelinic rocks at sites of magmato-phreatic breccia-explosions as well as fenitization processes in the regional Precambrian granitic gneisses.

The volcanoclastic rocks focussed in this study form several bodies along the internal border of the Complex in its N to SW, E, SE and S parts and also isolated occurrences in its central portion. Field and petrographic work led to the identification of tuffs, lapilli-tuffs, velded tuffs, intrusive magmatic conduite breccias, and equivalent extrusive proximal and distal deposits of pyroclastic flows sometimes with layered structures, breccias related to recurrent explosive events as well as base surges.
Several magmatic conduit and pyroclastic flow breccias bear ultramafic rock fragments as, for instance, cumulus alkaline clinopyroxenites, probably products of differentiation and mineral segregation of nepheline syenite magmas, and more rarely, cumulus pyroxenites of less evolved magmas. Magmatic conduite and related pyroclastic flow breccias still show rock fragments and matrix mineral associations, indicating that carbonatitic magmatism took part in their formation.

Geochemical studies helped to separate and characterize distinct rock types and their relationships with the evolution of the alkaline magmatism. Thus, ankaratrites of breccias and agglomerates were distinguished. Breccia ankaratrites formed earlier, show higher Mg#, lower SiO_2 and higher Cr and Ni concentrations than the ankaratrites of the volcanic agglomerates. They also show K_2O, MgO and CaO depletion and Na_2O enrichment along with augmenting SiO_2 contents, while the agglomerate ankaratrites reveal a contrary evolution.

Among nepheline syenites, the older (miaskitic) ones show K_2O and Na_2O contents of about 8 wt-% (each) and alkali oxide rations close to 1. The younger ones are more strongly peralkaline agpaitic rocks. Phonolite dikes that cut the breccias of the N-NW-W border of the Complex and, specially, phonolites of the Poços de Caldas

township quarry are more peralkaline than the regional phonolites and exhibit K_2O/Na_2O >1. They probably represent the transition phase from miaskitic to agpaitic alkaline magmatism.

Based on all the collected informations an evolutive model was developed that strongly supports earlier models, for instance, of Ellert (1959) and Schorscher and Shea (1982). Upon the regional Precambrian basement and its local sedimentary Mesozoic arenitic covers ankaratrite flows, agglomerates and breccias erupted and were deposited with minor intercalations of phonolite. In the course of the magmatic evolution the ankaratrites were covered by thick layers of phonolite flows and volcanoclastics, building the main volcanic edifice. In this same phase miaskitic nepheline syenites of the Poços de Caldas township quarry type intruded the volcanic edifice at intermediate subvolcanic depths. Subsequently, the alkaline volcano went through a period of tectonic accomodations, subsidences and uplifts along with the formation of discontinuous phonolite ring dikes. This period caused too partial destruction of the geological records, including local desnudation of nepheline syenites, parts of the Precambrian basement rocks and their sedimentary covers, formally covered by phonolites. Following this, the magmatic conduite breccias and equivalent pyroclastic flow breccias were formed in the course of explosive phonolitic and carbonatic/carbonatitic magmatism. These breccias were cut through by phonolitic dikes of different generations representing the evolution from miakitic to agpaitic alkaline magmatism, including, as a final stage, intrusive agpaitic nepheline syenites that occur (within and closely outside the Complex), for instance, at the locations of Morro do Serrote and Pedra Balão, among others. At the end of the agpaitic nephelinic magmatism, localized magmato-phreatic explosions and specific hidrothermal alteration led to the formation of magmatic conduite breccias and Uranium mineralizations.

The youngest magmatic event of the Poços de Caldas Complex consisted of dike intrusions of ultramafic ultrapotassic biotite lamprophyres as they occur at the open pit Osamu Utsumi Uranium mine.

1. Introdução e objetivos

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas localiza-se na porção SW do Maciço de Guaxupé (Artur & Wernick, 1984), borda E da Bacia do Paraná e divisa SW dos Estados de Minas Gerais e São Paulo, numa região dominada por rochas metamórficas de alto grau e meta-ígneas graníticas (Figura 1). Tem forma circular com diâmetro médio de 33 km, área superficial de 800 km^2 e é conhecido como o maior complexo alcalino da América do Sul e um dos maiores do mundo. É composto predominantemente por fonolitos e nefelina sienitos e em menor quantidade, rochas vulcanoclásticas destacando-se tufos e lapilli-tufos fonolíticos, brechas e lavas aglomeráticas ankaratríticas e brechas fonolíticas intrusivas de conduto vulcânico. Além dessas, diabásios, carbonatitos, diques de biotita lamprófiros ultramáficos ultrapotássicos, e também rochas sedimentares areníticas e siltíticas de posição estratigráfica incerta, granitóides e gnáisses do embasamento e os sienitos do Maciço Pedra Branca, complementam o conjunto das rochas encontradas na região.

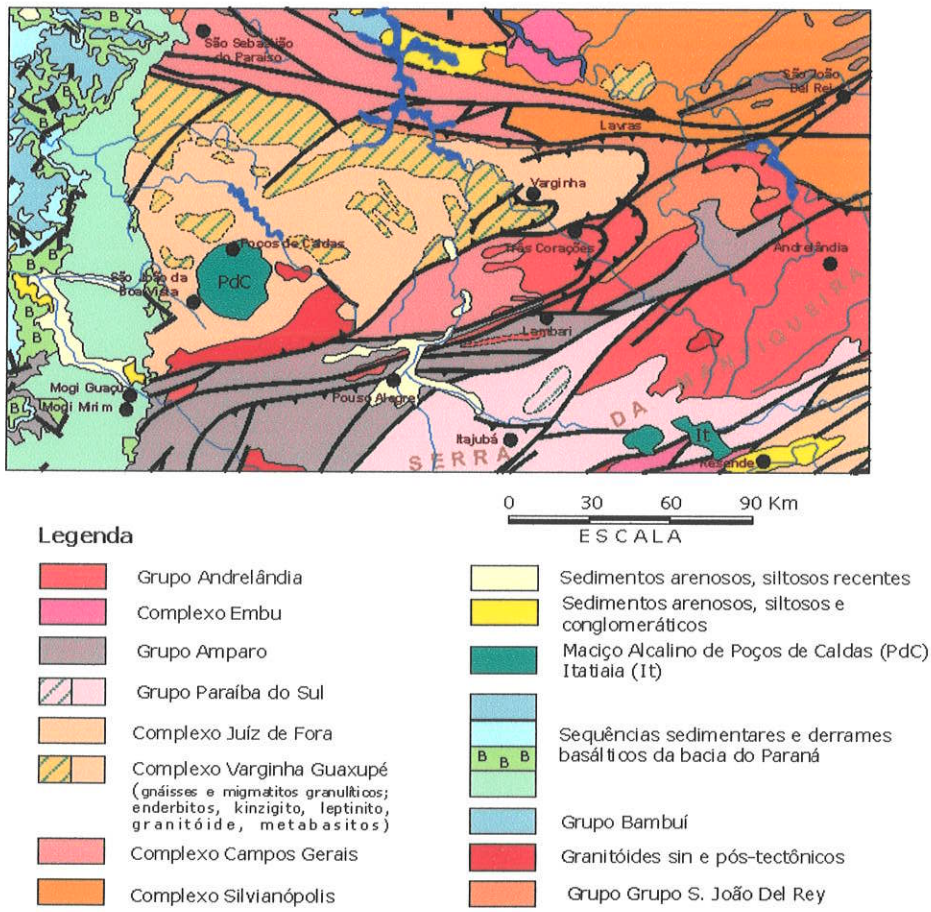


Figura 1. Mapa geológico do Maciço de Guaxupé mostrando o Complexo Alcalino de Poços de Caldas em sua porção SW, à E da Bacia do Paraná (recorte do Mapa Geológico do Brasil 1:2.500.000 de Schobbenhaus *et al.*, 1981; 1985).

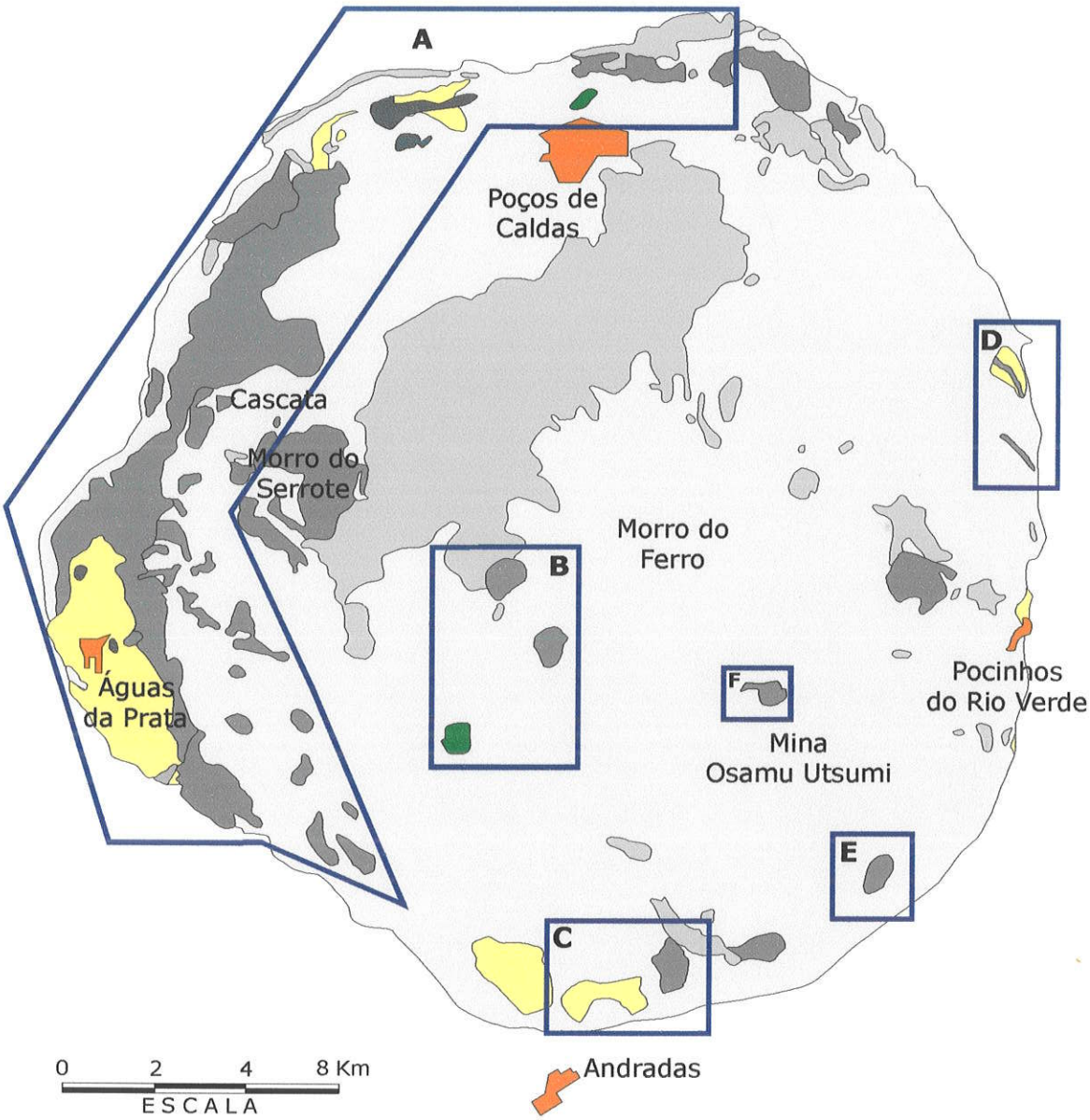
O Complexo evidencia ainda importantes processos pós-magmáticos: pegmatíticos a hidrotermais e hidrotermais, respectivamente, nos nefelina sienitos e fonolitos regionais, processos hidrotermais específicos potássicos relacionados com mineralizações de U-Th-ETR-Zr-F-Mo e pirita em rochas nefelínicas e suas brechas e, também, fenômenos de fenitização nas rochas granito-gnáissicas précambrianas regionais.

Como alvos centrais dessa pesquisa foram escolhidas as rochas vulcanoclásticas do Complexo; elas foram reconhecidas como sensíveis indicadores geológicos e petrogenéticos da evolução do Complexo em si, dos depósitos sedimentares anteriores e seu embasamento précambriano, além de continuarem pouco estudadas. Pela diversidade dos clastos, incluindo rochas características e outras pouco ou ainda não conhecidas, permitem tanto correlações com equivalentes *in situ* quanto considerações sobre relações petrogenéticas com processos mantélicos.

Dessa forma, os estudos das rochas vulcanoclásticas foram desenvolvidos no sentido de esclarecer e detalhar sua posição magmáto-estratigráfica considerando os diferentes tipos de rochas e depósitos que esse grupo abriga entre si, assim como na evolução do Complexo como um todo, sua petrografia e mineralogia considerando clastos e matriz, os processos pós-magmáticos superimpostos e por fim, sua petrogênese.

A seleção das áreas estudadas foi feita segundo dois grandes grupos: um que pode ser subdividido em diferentes tipos de brechas e outros vulcanoclastitos, com base nas suas características geológicas, petrográficas e estruturais, compreendendo os alvos centrais desta pesquisa; e outro, relacionado às mineralizações uraníferas (Gorsky & Gorsky, 1974; Waber *et al.*, 1992) e que pelos estudos já realizados não será aqui detalhado. Do primeiro grupo estudaram-se preferencialmente as ocorrências da borda N-NW-W, não excluindo, entretanto, aquelas das porções centro-SW e centro-SE, e bordas E, SE e S, do Complexo. O mapa da Figura 2 apresenta a delimitação de 6 áreas escolhidas, incluindo algumas informações petrográficas e localidades de referência geográfica.

Essa pesquisa faz parte de um projeto maior desenvolvido pelo orientador e membros de sua equipe, visando o magmatismo alcalino e ultramáfico e a metalogênese do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.



ÁREAS ESTUDADAS

A - borda N-NW-W
B - porção Centro-SW
C - borda S
D - borda E
E - borda SE
F -porção centro-SE

Legenda

- Nefelina sienitos agpaíticos
- Rochas vulcanoclásticas
- Nefelina. sienitos miaskíticos
- Fonolitos indiferenciados
- Rochas sedimentares

Figura 2. Delimitação das sub-áreas de rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. Áreas A-E: alvos desta pesquisa; Área F: brechas uraníferas da Mina Osamu Utsumi.

2. Localização da área de pesquisa e condições de campo

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas localiza-se numa região da divisa SW do Estado de Minas Gerais com São Paulo. A cidade de Poços de Caldas, situada na parte N do Complexo e utilizada como base principal de campo, dista cerca de 250 km de São Paulo por via rodoviária. O acesso é feito pela SP-320 ou SP-348 (Rod. Anhanguera ou Bandeirantes) até a cidade de Campinas e daí, pela SP-340 até a cidade de Aguaí. De Aguaí segue-se pela SP-344, passando por São João da Boa Vista até Águas da Prata, cidade já localizada dentro da área estudada. A partir de Águas da Prata se tem acesso por estrada vicinal até Poços de Caldas. (Figura 3). Dentro do complexo, as seis áreas selecionadas podem ser facilmente alcançadas por estradas asfaltadas e de terra batida durante o ano todo (Figura 2 e Anexo I). Com relação ao relevo, este é acentuado mas sem maiores acidentes. Isso permite que se possa trabalhar sem problemas em qualquer época do ano. Entretanto, recomenda-se evitar o auge da estação de chuvas de janeiro a fevereiro.

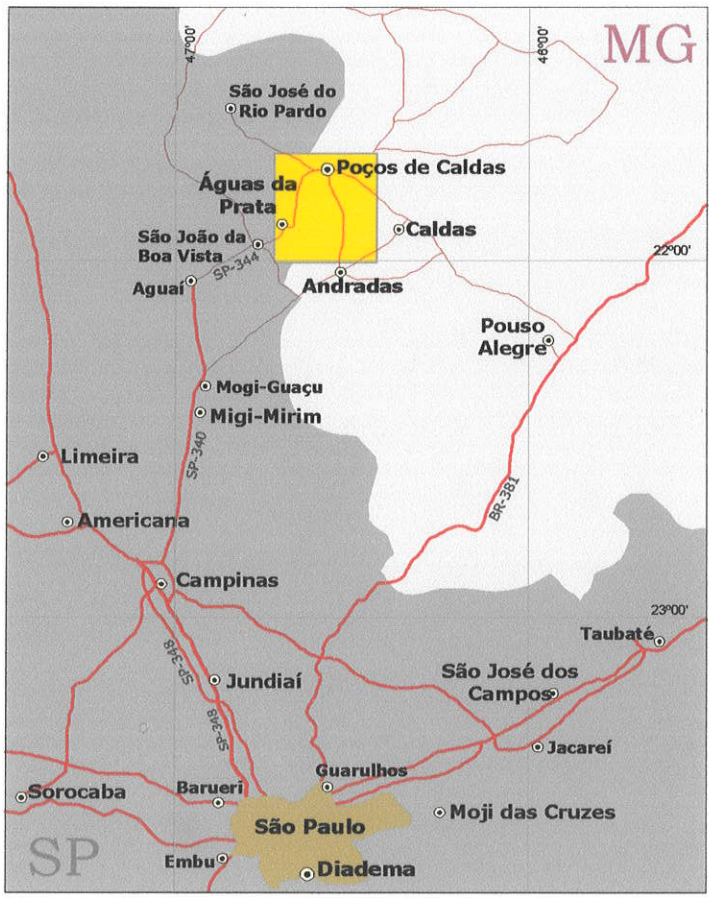


Figura 3. Localização, vias de acesso e quadrícula que abrange o Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

3. Problemática e análise da bibliografia fundamental

A petrogênese das rochas vulcanoclásticas e a evolução do Complexo Alcalino de Poços de Caldas como um todo, devem ser consideradas no contexto geotectônico do magmatismo mesozóico da região maior do SE-Brasileiro, como reflexos intracontinentais distais da abertura do Atlântico-Sul. Portanto, no que se segue será apresentada uma breve revisão desse magmatismo na Plataforma Sul-Americana com alguns detalhamentos sobre o Complexo Alcalino de Poços de Caldas e observações preliminares sobre as rochas vulcanoclásticas estudadas.

3.1 O Magmatismo mesozóico na Plataforma Sul-Almericana

O magmatismo mesozóico basáltico, alcalino, ultramáfico e carbonatítico na região meridional leste da Plataforma Sul-Americana foi resultado da Reativação Wealdeniana, iniciada a partir do Jurássico, após longo período de calmaria desde o Carbonífero Superior (Almeida, 1967, 1969, 1986). Caracterizou-se, sobretudo, pela reativação de antigos lineamentos, incluindo movimentação de blocos crustais, arqueamentos e abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná. Nesse período manifestou-se o extenso vulcanismo da Formação Serra Geral basáltico toleítico com derivados ácidos e enxames de diques de diabásio expostos às bordas da Bacia do Paraná, datado em cerca de 130 Ma. Dados geológicos, paleomagnéticos e geocronológicos mais recentes indicam o vulcanismo das bacias do Paraná e Etendeka (África) como anterior à abertura do Atlântico, iniciada a 123-127 Ma (Piccirillo *et al.* 1988). Turner *et al.* (1994) concluíram que os basaltos das bacias do Paraná e Etendeka extravasaram por um período de 10 milhões de anos entre 137 e 127 Ma, e que as rochas mais antigas da Formação Serra Geral depositaram-se a norte e a leste da bacia do Paraná, enquanto as mais jovens estão concentradas no sul e leste. Já no Cretáceo Superior, uma nova manifestação vulcânica caracteriza uma segunda fase da Reativação Wealdeniana representada por derrames toleíticos/subalcalinos que ocorrem ao longo de lineamentos estruturais da Bacia de Santos. Datados pela Petrobrás (poço 1-RJS-81), esses derrames apresentaram 90±6 Ma. Em ilhas ao longo da costa litorânea de São Paulo (Cananéia, São Sebastião, Monte de Trigo e Ilha Vitória) e na plataforma continental inclusive na região SE do Cráton do São Francisco, também ocorrem rochas neocretáceas intrusivas subvulcânicas basálticas, e intermediárias a ácidas/subalcalinas a alcalinas, datadas em cerca de 90 a 80 Ma (por ex.: Amaral, 1967).

Consideradas por si só, as diversas ocorrências de rochas alcalinas apresentam-se distribuídas em três situações geográficas distintas:

- Às bordas da Bacia do Paraná, intrudindo rochas do embasamento ou os sedimentos da bacia, podendo ocorrer no interior da área basáltica.
- Na região costeira SE do Brasil formando corpos e complexos intrusivos e efusivos diversos, concentrados em ilhas ou no litoral, ou mesmo numa faixa de até 100 km adentro do continente (Província Serra do Mar).
- Afastadas tanto da borda da Bacia do Paraná, quanto da orla oceânica, mesmo assim, guardando estreita relação com as rochas alcalinas das demais ocorrências, por estarem integradas quanto às idades.

O complexo Alcalino de Poços de Caldas pertence à categoria geográfica das rochas alcalinas situadas às bordas da Bacia do Paraná. Geotectonicamente ele está posicionado entre as províncias alcalinas mesozóicas com carbonatitos associados de Alto Paranaíba e Serra do Mar, com direções NNW e ENE, respectivamente (Almeida, 1983). Mais recentemente foi proposta sua inserção na Província Serra do Mar (Thompson *et al.*, 1998). A Figura 4 mostra a distribuição do magmatismo mesozóico (a cenozóico) na porção SE do Brasil, incluindo as províncias Serra do Mar e Ipanema.

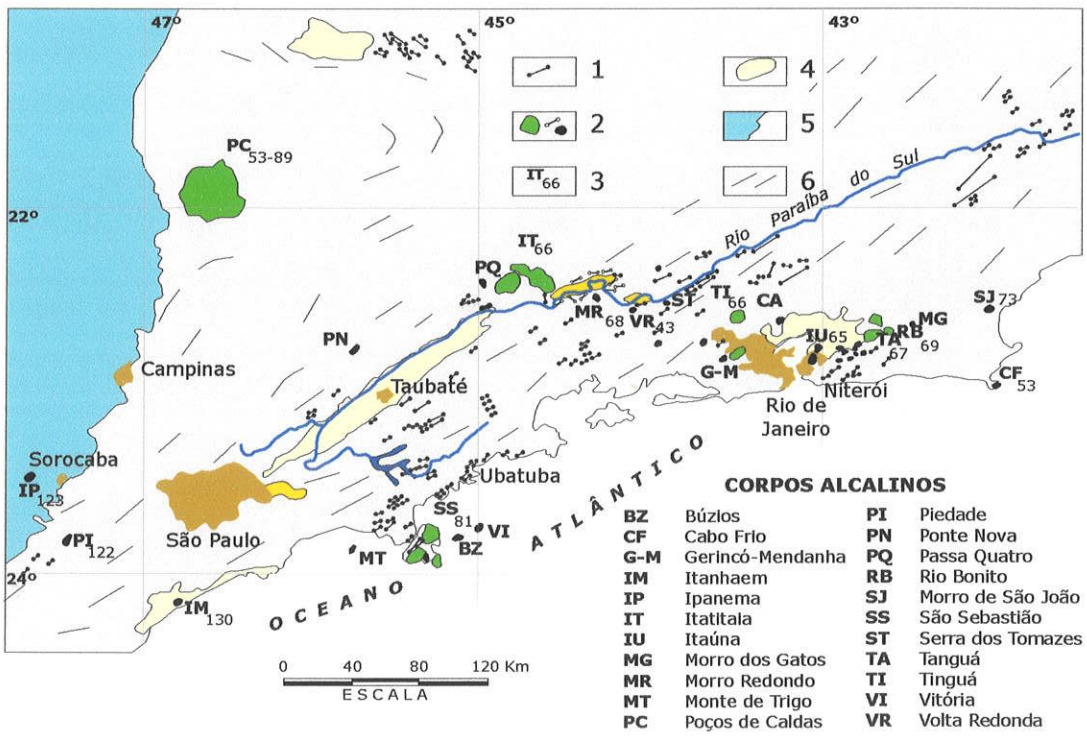


Figura 4. Magmatismo meso-cenozóico na região do Vale do Paraíba (SP-RJ). Compilado de diferentes mapas geológicos regionais e de detalhe (Almeida, 1986). 1-Diques de diabásio; 2-Corpo alcalino; 3-Identificação e idade (em Ma) do corpo; 4-Cobertura cenozóica; 5-cobertura paleozóica; 6-orientações estruturais do embasamento.

3.2 O Complexo Alcalino de Poços de Caldas

As rochas alcalinas de Poços de Caldas compreendem fonolitos e nefelina sienitos como tipos predominantes, ocorrendo também eudialita nefelina sienitos, ankaratritos, carbonatitos, vulcanoclásticas diversas fonolíticas e ankaratríticas e diques de biotita lamprófiros. Somam-se ainda a esse espectro diabásios e rochas sedimentares areníticas e arenito-carbonáticas de posição estratigráfica indefinida, atribuídas à Formação Botucatu (Ellert, 1959; Björnberg, 1956, 1959; Oliveira *et al.* 1975).

A evolução do Complexo de tipo caldeira vulcânica foi proposta por Ellert (1959) com base num modelo de 6 estágios:

1. Arqueamento crustal e fraturamentos conjugados (ortogonal e concêntrico) e consequente levantamento de blocos do embasamento precambriano.
2. Intensa atividade vulcânica com a alternância de fases explosivas e efusivas gerando brechas, tufos e derrames, inicialmente ultrabásicos ankaratríticos e, posteriormente e em maior proporção, lavas alcalinas intermediárias fonolíticas, construindo o edifício vulcânico principal.
3. No auge dessa fase ocorreu a intrusão no edifício vulcânico, dos nefelina sienitos regionais principais.
4. Subsidência em caldeira da parte interna do edifício vulcânico.
5. Ascenção por fendas de magmas alcalinos formando os diques anelares de tinguaítos e fonolitos.
6. Intrusão de fonolitos e eudialita nefelina sienitos em diques e corpos menores.

O Modelo evolutivo de Ellert (1959) foi confirmado e simplificado por Schorscher & Shea (1992) que ressaltaram ainda a importância de intrusões carbonatíticas e de diques de biotita lamprófiros ultrabásicos e ultrapotássicos, respectivamente, no período final e posterior/subsequente ao magmatismo félsico nefelínico.

Na evolução do Complexo ocorreram ainda importantes processos pós-magmáticos:

1. Hidrotermais/autohidrotermais associados ao magmatismo ankaratrítico;
2. pegmatíticos a hidrotermais nos nefelina sienitos e hidrotermais nos fonolitos, em geral;
3. hidrotermais específicos locais, potássicos e piritizantes que deram origem às mineralizações de U-Th-ETR-Zr-F-Mo e pirita em rochas nefelínicas e suas brechas;
4. fenitização nas rochas granito-gnáissicas precambrianas regionais.

Ellert (1959) descreveu a fenitização das rochas granito-gnáissicas envolvendo a redução do teor de quartzo, crescimento de feldspatos e/ou anfibólios alcalinos conforme a proximidade do Complexo. As alterações pegmatíticas a hidrotermais regionais que ocorrem em todos os nefelina sienitos e fonolitos com intensidades variáveis foram detalhados por Schorscher & Shea (1992) e Waber *et al.* (1992), e os processos hidrotermais específicos mineralizantes uraníferos por Gorsky & Gorsky (1974), Waber *et al.*, (1992), Capovilla (2001) entre outros.

Determinações geocronológicas indicam que a atividade ígnea pode ter começado há cerca de 89 Ma com base em datações de ankaratritos (Bushee, 1971), ou mesmo anteriormente, com nefelina sienitos de 92 Ma (Kawashita *et al.*, 1984). A duração total do magmatismo do complexo de Poços de Caldas foi estimada inicialmente em mais de 30 Ma (Bushee, 1971), contrastando fortemente com o tempo de vida relativamente curto de vulcões basálticos modernos conforme ressaltou Ulbrich H. (1984). Shea (1992) datou nefelina sienitos e equivalentes hidrotermalizados da mina de urânio Osamu Utsumi obtendo idades (Rb/Sr) virtualmente iguais de cerca de 78 Ma, restringindo a idade mínima e a duração total do magmatismo nefelínico para, no máximo, 15 Ma. Diques de biotita lamprófiros ultramáficos ultrapotássicos que ocorrem na mina de urânio Osamu Utsumi, representam os litotipos ígneos mais jovens conhecidos no Complexo Alcalino de Poços de Caldas. Estes cortam os fonolitos e nefelina sienitos hidrotermalizados datados em 78 Ma por Shea (1992), sem serem afetados por esse processo (Schorscher & Shea, 1992). Um destes diques apresentou idades Ar/Ar de 76 Ma idênticas entre si de flogopitas em fenocristais e da matriz, suportados ainda por dados de traços de fissão em apatitas (Schorscher *et al.*, 1992). Numa revisão mais recente, Ulbrich *et al.* (2002) restringiram ainda mais a fase principal do magmatismo félsico nefelínico para um período de 1 a 2 Ma.

4. Métodos e materiais de trabalho

Todos os trabalhos afins foram agrupados em itens temático-metódicos e realizados em etapas consecutivas e/ou concomitantes listadas a seguir; em paralelo foi realizada a pesquisa bibliográfica fundamental e específica que serviu de base para o desenvolvimento do trabalho como um todo:

1. trabalhos preliminares;
2. estudos bibliográficos;
3. trabalhos de campo;
4. tratamentos digitais de dados topográficos e integração com fotografias aéreas e imagem de satélite e confecção das bases cartográficas deste trabalho;
5. fotointerpretações e confecções dos mapas e perfis geológicos e tratamento estatístico dos dados estruturais;
6. estudos laboratoriais mineralógicos, petrográficos e geoquímicos e tratamento dos resultados;
7. integração final dos dados e confecção da dissertação de mestrado.

4.1 Trabalhos preliminares

Compreenderam: revisão e integração dos dados já disponíveis com as informações dos levantamentos bibliográficos regionais e temáticos; obtenção de mapas topográficos, geológicos, fotos aéreas e imagens de satélite; levantamento das principais vias de acesso e planejamento dos trabalhos de campo.

4.2 Estudos bibliográficos

Foram realizados em acompanhamento de toda a pesquisa com objetivos regionais a locais, metodológicos e comparativos. Incluíram análises e revisões de todos os mapeamentos geológicos e demais levantamentos geológicos e geofísicos disponíveis, além dos trabalhos de evolução lito-estrutural magmática, litogeoquímica, isotópica e geocronológica do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, assim como trabalhos metodológicos e temáticos da literatura internacional sobre ocorrências e complexos similares.

4.3 Trabalhos de campo

Foram realizados perfilagens de semi-detalhe (escala 1:50.000) por todo o Complexo e mapeamento de detalhe (escalas variáveis entre 1:10.000 e 1:1.000) das principais ocorrências de rochas vulcanoclásticas, incluindo a coleta de amostras para estudos laboratoriais.

Como resultado dos trabalhos de campo foram estudados 99 afloramentos/perfis e coletadas 302 amostras. Os pontos foram lançados no mapa topográfico 1:50.000 com auxílio de fotografias aéreas e dados de GPS (Garmim 24XL) com precisão de 7 a 9 m. (Anexo I: Mapa de Afloramentos)

4.4 Trabalhos de escritório

Incluíram a confecção, como produtos finais digitalizados, dos mapas de localização das áreas de estudo, de pontos e geológico; todos executados a partir das cartas topográficas em escala 1:50.000 (IBGE, 1972): Poços de Caldas (SF-23-V-C-VI-4); Santa Rita de Caldas (SF-23-Y-B-I-1); Pinhal (SF-23-Y-A-III-233) e Caldas (SF-23-V-D-IV-3).

Para a confecção dos mapas geológicos de detalhe, além da base topográfica, foram utilizadas fotografias aéreas preto e branco em escala aproximada 1:30.000 (CEMIG), mosaicos semi-controlados de radar SLAR-RADAMBRASIL, a imagem de satélite TM-LANDSAT 5 em escala 1:100.000 de 01/Junho/1997, gentilmente cedida pela INB, o mapa geológico regional fundamental em escala 1:75.000 de todo o Complexo Alcalino de Poços de Caldas de Ellert (1959), além de trabalhos e revisões mais recentes de outros autores.

Esta etapa incluiu ainda, a análise e integração dos dados estruturais levantados no campo (com estereogramas) em conjunto com as feições da rede de drenagem (Garda, 1990) e estruturas fotogeológicas.

Nestes trabalhos foram utilizados os pacotes de programas AutoCAD R14 e overlay, Stereonet 3.01 e Corel Draw 7.

4.5 Trabalhos laboratoriais analítico-experimentais

Estudos laboratoriais compreenderam a petrografia, mineralogia e geoquímica de clastos e matriz das rochas vulcanoclásticas, suas encaixantes e rochas regionais de comparação. As amostras foram previamente descritas, fatiadas (serra diamantada) e polidas para estudos macro a microscópicos em lupa binocular com aumentos de 8x a 64x da marca Zeiss (mod. SV-8), incluindo documentação

fotográfica. Nesta etapa foram selecionadas amostras representativas e de casos excepcionais, para a confecção de seções delgadas (com a impregnação com resinas Araldite de amostras friáveis) para os estudos de microscopia petrográfica, e definição dos roteiros analíticos subsequentes. No total foram confeccionadas 242 fatias polidas de rochas e 86 seções delgadas.

Estudos de difração de raios X foram feitos em rochas carbonáticas no Laboratório de Difração de Raios X do IGc-USP. As amostras selecionadas para estudos geoquímicos via fluorescência de raios X foram pulverizadas em moinho de ágata e preparadas para FRX em pastilhas prensadas e fundidas. As análises de FRX foram feitas nos laboratórios da Universidade Técnica de Munique e do IGc-USP.

4.6 Trabalhos finais

Consistiram na análise integrada de todos os resultados, e comparações com dados da literatura regional e temática. Por fim, seguiu-se a confecção da dissertação de mestrado.

5. Geologia

Introdução

Conforme os objetivos desse trabalho, foram selecionadas e detalhadas 6 áreas de ocorrência de rochas vulcanoclásticas no Complexo Alcalino de Poços de Caldas (Figura 2). Dessas, foi dada atenção especial à da borda N-NW-W de maior e extensão e melhor exposição de afloramentos. As demais áreas, juntamente com fonolitos e nefelina sienitos regionais, serviram para estudos comparativos contribuindo com importantes detalhamentos ao conhecimento das rochas vulcanoclásticas ankaratríticas e fonolíticas principais. Apenas a fase final do magmatismo alcalino não foi devidamente abordada nessa pesquisa por ser complexa, pouco esclarecida, e por fugir dos objetivos centrais aqui propostos. Ainda assim algumas importantes considerações sobre ela foram tecidas no final do capítulo.

A Figura 5 apresenta o mapa geológico simplificado da borda N-NW-W com a subdivisão dos diferentes tipos de brechas e redefinição das linhas de contato. Ressata-se aqui que essa pesquisa não objetivou o mapeamento geológico, entretanto, foi necessário a confecção de um mapa geológico que permitisse visualizar a compartimentação estrutural e estratigráfica das diferentes sequências de rochas vulcanoclásticas da área estudada. Adicionalmente, são apresentados também, os perfis geológicos das seções escolhidas e indicadas no mapa geológico (Figuras 6 e 7).

Dessa maneira, os estudos geológicos conduziram à elaboração de uma sucessão magmato-estratigráfica própria para a evolução do Complexo, que contribui com novos dados e, em partes, modifica os principais modelos da literatura com os quais será discutida. A tabela a seguir, compara o modelo de evolução fundamental do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, de Ellert (1959), com o modelo proposto nesta pesquisa. Cada um está organizado por ordem de sucessão geológica, dos eventos mais antigos para os mais recentes. Assim, o modelo evolutivo aqui proposto, servirá de eixo central na discussão dos aspectos geológico-estruturais do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, apresentados neste capítulo.

Destaca-se que em toda a discussão da geologia, são feitas referências a localidades e afloramentos visitados. Esses podem ser localizados no mapa de alfloramentos apresentado no Anexo I e todo o conjunto dos dados de campo assim como a descrição dos afloramentos podem ainda ser consultados no Anexo III.

Tabela 1: Comparação entre os modelos evolutivos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas propostos por Ellert (1959) e a presente Pesquisa:

Ellert (1959)	Esta Pesquisa (2003)
	Biotita lamprófiros: intrusão dos diques de biotita lamprófiros nas rochas da Mina Osamu Utsumi.
Formação de lujaurito, chibinito e foiaíto: na metade N do maciço; intrusões posteriores de foiaíto cortando e acompanhando o dique anelar. Igualmente posterior é a formação de lujaurito e chibinito.	**Eventos finais**: sua ordem cronológica ainda não está clara, mas incluem nova atividade magmática com formação de rochas diferenciadas (eudialita-nefelina-sienitos), formação das brechas da Mina Osamu Utsumi e mineralizações associadas, formação do corpo (provavelmente carbonatítico) do Morro do Ferro. **Brechas de fluxo piroclástico**: novas atividades vulcânicas produzem novos depósitos de brechas retrabalhando os depósitos anteriores. **Brechas de conduto vulcânico**: intrusão de brechas e formação dos depósitos proximais e distais superficiais, no mesmo nível topográfico dos nefelina sienitos tipo Pedreira da Prefeitura. **Hiato erosivo**: ação da atividade erosiva sobre muitas das rochas até então formadas, destrói partes do registro geológico pré e pós-colapso vulcânico.
Diques anelares: formação de diques anelares evento em parte contemporâneo com os precedentes. **Ascenção do magma nefelínico**: abatimento da parte central compensada pela ascenção do magma nefelínico por fendas radiais e circulares, e consequênte formação de fonolitos, tinguaítos e por diferenciação os foiaítos (tipo aeroporto). **Subsidência da parte central**: formação de com invasão de tinguaítos, etc. subvulcânicos; evento em parte contemporâneo com os subsequêntes.	**Colapso do edifício vulcânico**: de pequena escala e por etapas, com acomodações gradativas das partes abatidas. Colocação de magmas fonolíticos, formação dos diques anelares. Pequenos soerguimentos de blocos crustais com erosão e exposição de rochas profundas. **Nefelina sienitos**: formação dos primeiros corpos de nefelina sienitos, dentro do edifício vulcânico (nefelina-sienitos tipo Pedreira da Prefeitura).
Atividade vulcânica: após ou durante o levantamento do embasamento cristalino, teve inicio a atividade vulcânica inicial: alternância de fases explosivas e extrusivas, com deposição sobre os sedimentos, de brechas e tufos alternados com derrames de lavas ankaratríticas. **Levantamentos**: atividade vulcânica precedida ou acompanhada por levantamentos (provavelmente escalonados).de blocos gnáissicos, após a deposição dos sedimentos do arenito Botucatu.	**Construção do Edifício Vulcânico**: transição do magmatismo ankaratrítico para nefelínico-sienítico. Derrames, intercalações de tufos e lapilli tufos, fonolíticos são formados e recobrem os ankaratritos. Ao longo do processo ocorre a construção do edifício vulcânico. **Atividade vulcânica inicial**: vulcanismo ankaratrítico com formação de tufos, brechas e aglomerados vulcânicos. Depositados sobre os sedimentos ou diretamente sobre o embasamento precambriano. Vulcanismo precedido ou acompanhado por atividade tectônica.

A seguir, as unidades lito-estoestruturais e estratigráficas do embasamento e cobertura sedimentar, e as unidades magmato-estratigráficas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas são descritas na ordem de sua sucessão geológica e petrográfica, das unidades mais antigas para as mais novas.

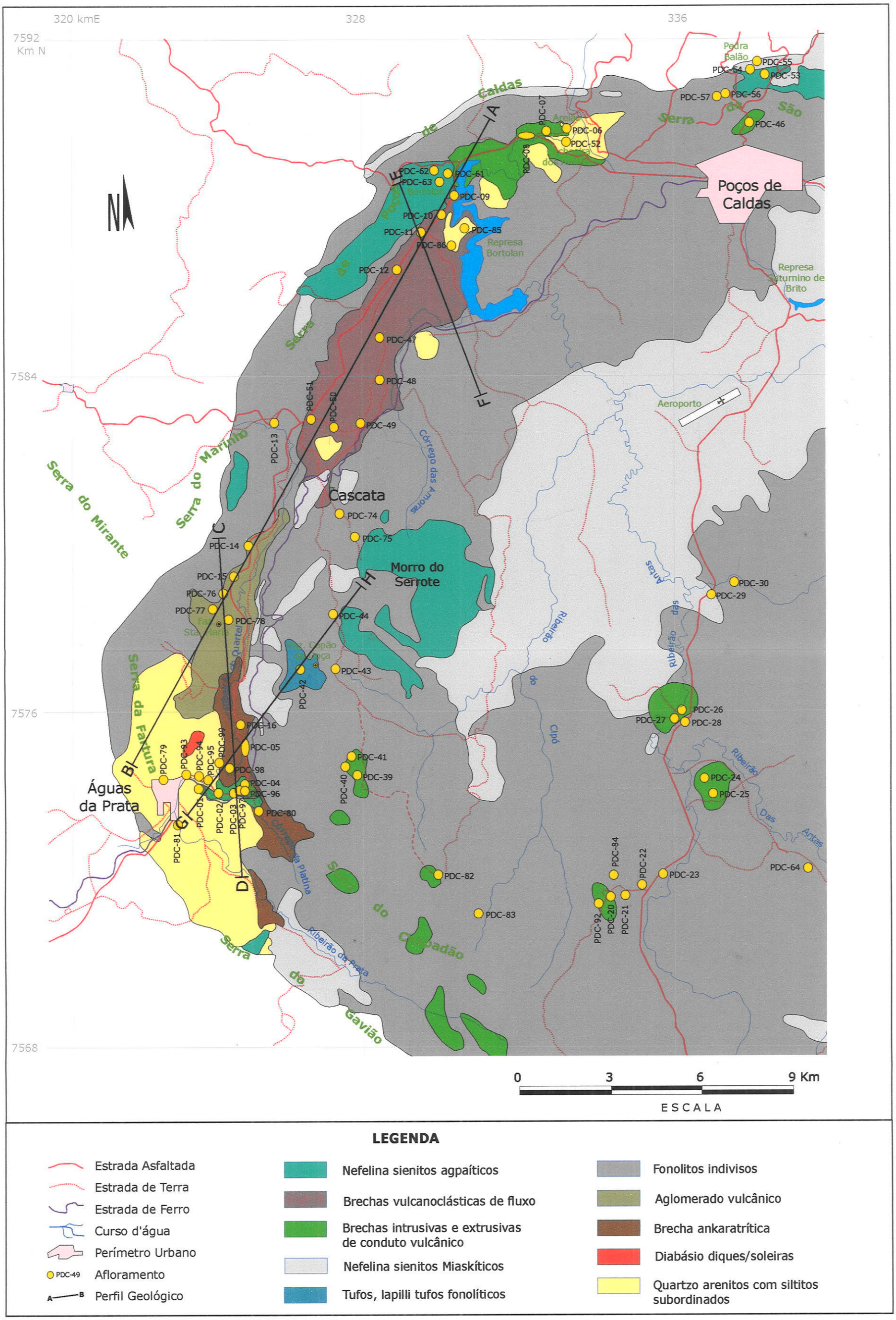
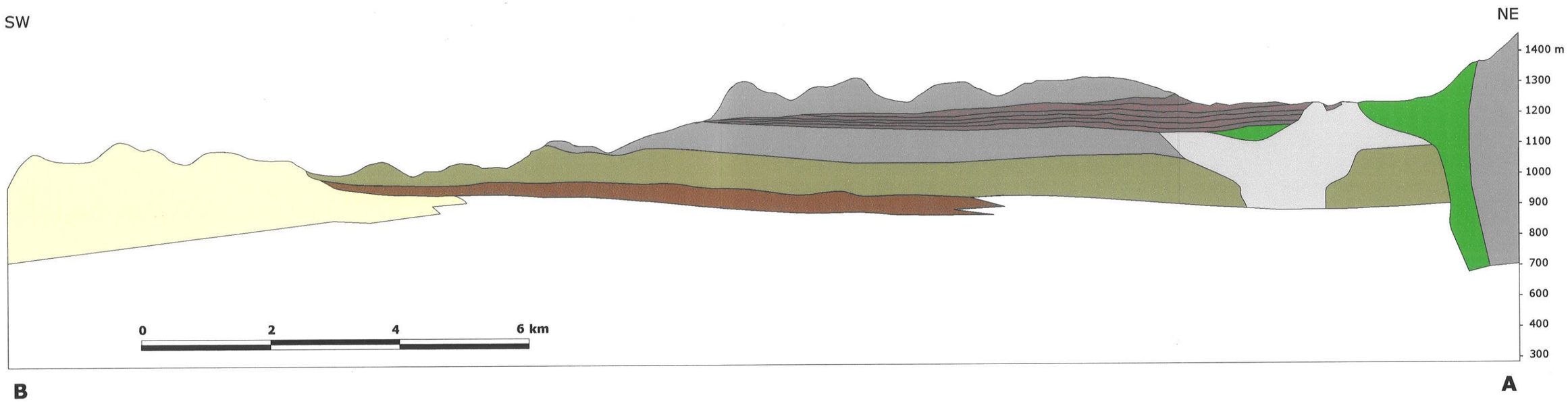


Figura 5. Mapa Geológico da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.



LEGENDA

- Nefelina sienitos agpaíticos
- Brechas vulcanoclásticas de fluxo
- Brechas intrusivas e extrusivas de conduto vulcânico
- Nefelina sienitos miaskíticos
- Tufos, lapilli tufos fonolíticos
- Fonolitos indivisos
- Aglomerado vulcânico
- Brecha ankaratrítica
- Diabásio diques/soleiras
- Quartzo arenitos com siltitos subordinados
- Embasamento gnáissico

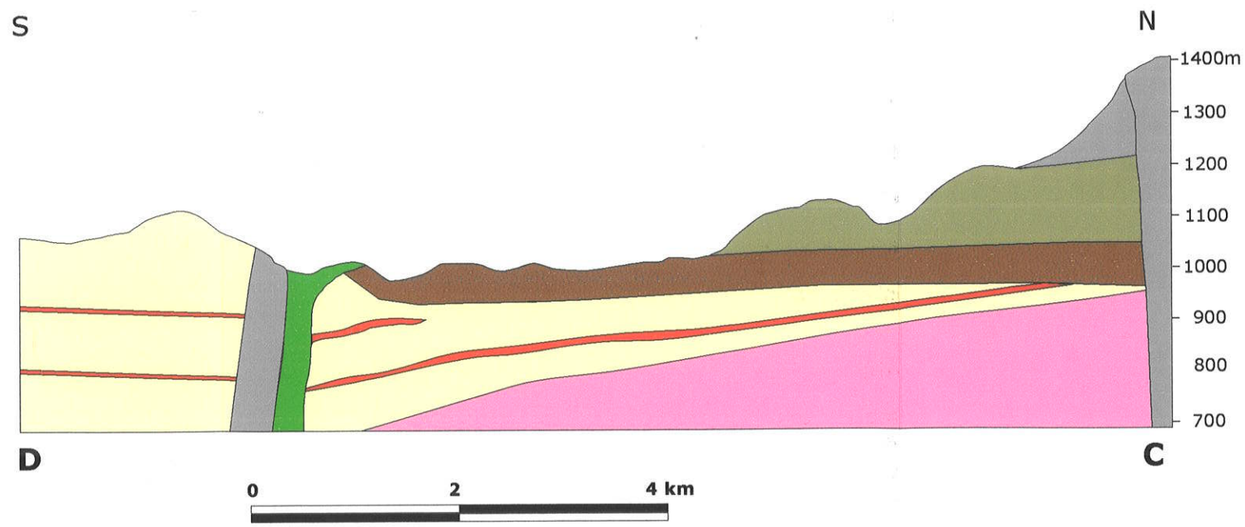


Figura 6. Perfis Geológicos A-B e C-D da faixa de rochas vulcanoclásticas da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

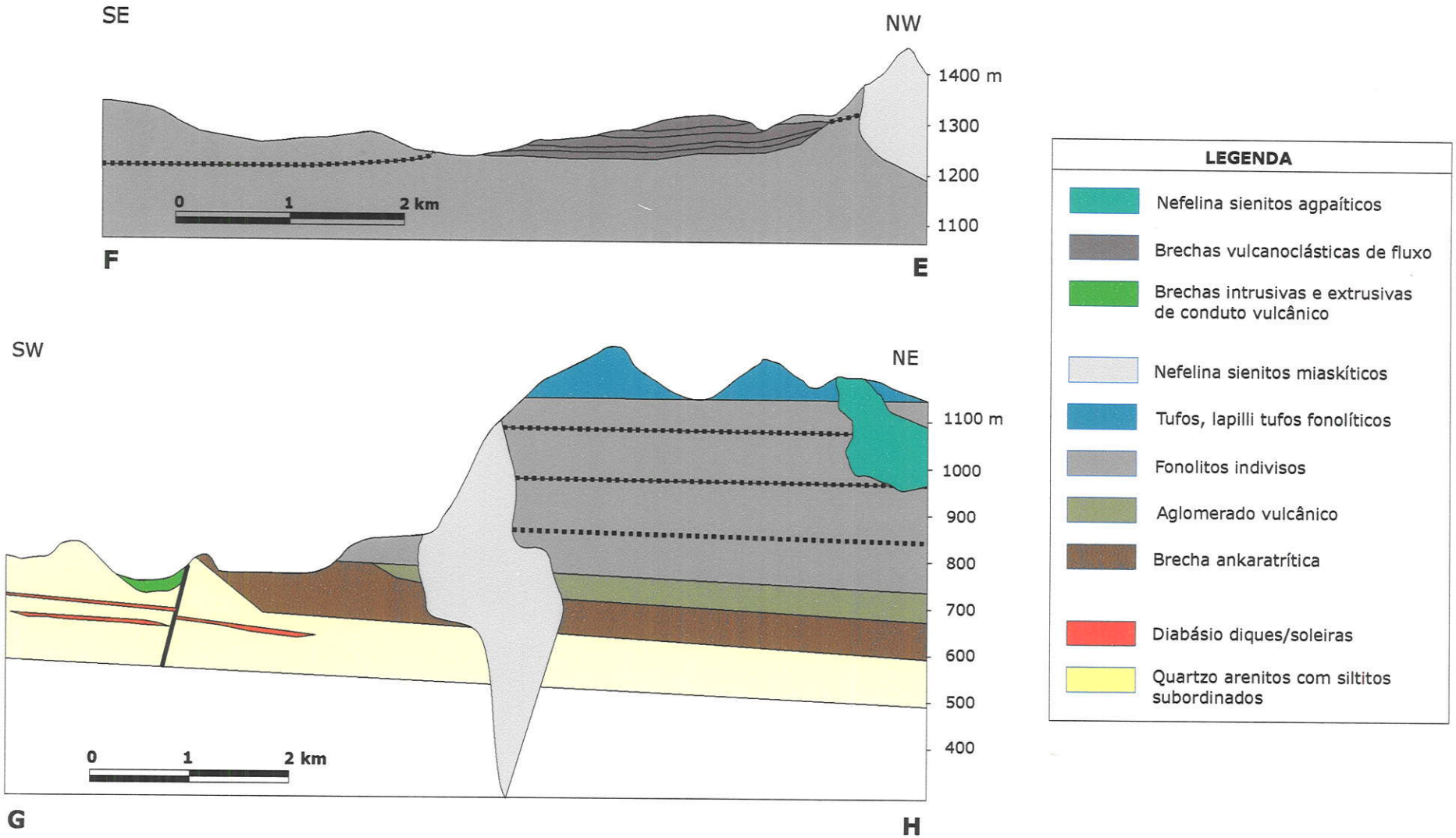


Figura 7. Perfis Geológicos E-F e G-H da faixa de rochas vulcanoclásticas da Borda N-NW-W do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

5.1 Rochas pré-Magmatismo Alcalino Poços de Caldas

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas é intrusivo nas rochas do embasamento precambriano e suas coberturas sedimentares Fanerozóicas. Sua forma subcircular de 33Km de diâmetro é ressaltada por diques anelares descontínuos, que sustentam as principais serras e delimitam a estrutura de caldeira vulcânica. Altitudes máximas de 1400 a 1600 metros ocorrem ao longo dos diques anelares, contrastando com a topografia regional dos terrenos precambrianos externos de 900 a 1100 metros, e do planalto interno do Complexo com altitudes entre 1100 e 1300 metros.

Fora do Complexo, predominam rochas metamórficas de alto grau e meta-ígneas graníticas do embasamento precambriano. Sedimentos Fanerozóico são praticamente ausentes, ocorrendo 15Km a W, onde o embasamento já se encontra coberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná (Figura 1).

Dentro do Complexo, afloramentos de rochas do embasamento são escassos e raros, e as rochas sedimentares Fanerozóicas estão presentes como restos da cobertura precambriana ainda preservados, na forma de corpos descontínuos distribuídos ao longo das bordas internas dos diques anelares.

5.1.1 Embasamento precambriano

Dentro do complexo são encontrados gnáisses graníticos de granulação média, na localidade do "Areião" (afloramento PDC-6), em afloramento intemperizado que se estende desde a porção N da lavra de areia até o início da subida para o dique anelar da Serra de Poços de Caldas. Os gnáisses estão em boa parte intrudidos e/ou cobertos por rochas fonolíticas, e seu contato com os arenitos não foi encontrado/observado. Gnáisses e granitóides ainda foram encontrados como fragmentos nas brechas de conduto vulcânico que intrudem os arenitos da lavra desse mesmo local (Areião) e também nas brechas do afloramento PDC-8.

Granitóides róseos também ocorrem nas brechas acamadadas do afloramento PDC-11, próximo do Bairro de Bortolan, e também no extremo Sul do Complexo (afloramento PDC-18), onde blocos de granitóides róseos e de biotita quartzo-gnáisses são encontrados nos tufos e lapili-tufos fonolíticos intemperizados, juntamente com outros de nefelina sienitos e fonolitos. Os granitóides desse último ponto são iguais àqueles encontrados próximo da entrada da cidade de Andradas (afloramento PDC-17).

5.1.2 Coberturas Fanerozóicas Pré-PdC

Rochas sedimentares anteriores ao magmatismo alcalino de Poços de Caldas afloram em diferentes pontos da borda interna do Complexo, principalmente em suas porções extremas W, S, N e E. São na maioria quartzo arenitos finos cinza-esbranquiçados e arenitos litificados arcoseanos finos a microconglomeráticos, com estratificações cruzadas de grande porte ou plano-paralelas decimétricas. Siltitos finos e laminados, localmente carbonosos, podem estar presentes nas partes basais dos arenitos ou intercalados a esses. Além desses, diabásios podem ocorrer intercalados aos arenitos.

Na borda W, os arenitos são reconhecidos desde as baixas cotas topográficas de 870 metros até o alto dos morros e serras locais, em afloramentos contínuos, tanto abaixo como acima do nível topográfico normal das rochas do embasamento gnáissico regional, formando os altos topográficos a N e SE de Águas da Prata, que controlam a rede de drenagem local. Logo na saída de Águas da Prata em direção a Poços de Caldas (ponto PDC-93), o arenito está assentado diretamente sobre um siltito fino e laminado de cor vermelha. O plano de contato entre os dois mergulha para N com ângulo próximo de 10º a 12º. No ponto PDC-2 os arenitos são cortados e cobertos por brechas de conduto vulcânico pobremente estratificadas portando fragmentos de diabásio. Próximo da zona de contato, o arenito sofreu recristalização desenvolvendo cavidades com cristais de quartzo esfumaçado.

Rochas sedimentares e diabásios são ainda encontrados como fragmentos de dimensões métricas, nas brechas de conduto vulcânico dos afloramento PDC-3 e PDC-96, ainda na borda W. Chama a atenção nesses locais, a quantidade e dimensão dos fragmentos até então não vistos nos demais corpos de brechas. Predominam principalmente arenitos e diabásios e, em menor quantidade, ankaratritos vesiculados e rochas fonolíticas deformadas, colocadas pouco após a formação do corpo de brechas.

Ainda na borda NW do Complexo a Lavra de Areia (PDC-6) é formada de arenitos em posição normal com as camadas mergulhando com ângulos de até 25º em direção ao interior do Complexo. São arenitos intemperizados pulverulentos com mega-estratificações cruzadas e estratificações plano-paralelas em parte cobertos por lavas e vulcanoclásticas fonolíticas e cortados por brechas de conduto vulcânico e diques fonolíticos alterados. Estão, pelo menos, 30 metros acima do nível em que afloram os arenitos com estratificações plano-paralelas da Cachoeira Véu das Noivas (PDC-56).

Na borda E do Complexo (pontos PDC-31 e 34) arenitos estão presentes no alto de uma serra em meio a rochas fonolíticas que afloram acima e abaixo dos arenitos.

No ponto PDC-36 ocorrem blocos de arenitos rolados/deslocados, sem padrão de mergulho definido, associados a brechas de conduto vulcânico bastante alteradas. O Ribeirão do Maranhão parece aproveitar o contato geológico da brecha com os arenitos, pois a brecha ocorre apenas do lado esquerdo do rio. Na porção S do Complexo (ponto PDC-18) afloram arenitos capeados por lavas, tufos e lápilli-tufos fonolíticos, e que se encontram em cota topográfica superior em relação às rochas do embasamento précambriano expostas em Andradas. Ao que tudo indica, partes dos arenitos das coberturas pré-PdC foram retrabalhadas e redepositadas como intercalações lenticulares nas rochas vulcanoclásticas fonolíticas, por chuvas e correntes d'água associadas durante aos períodos de erupção.

Nos afloramentos descontínuos e formados por pequenos blocos, o padrão de mergulho é caótico sem um padrão de mergulho definido, mas nos afloramentos maiores e contínuos, os arenitos estão em posição normal e apresentam mergulho em geral com caimento menor que 30º em direção ao centro do complexo.

5.2 Magmatismo nefelínico principal pré-colapso

Esse compreendeu o vulcanismo explosivo e efusivo ankaratrítico inicial, a evolução do magmatismo alcalino de ankaratrítico para nefelínico-sienítico com geração de rochas fonolíticas e construção do edifício vulcânico. A formação dos primeiros corpos de nefelina sienitos deu-se nessa primeira etapa, nas partes rasas do edifício vulcânico, como se pode deduzir pela ocorrência de corpos de nefelina sienitos como aqueles da Pedreira da Prefeirura em cota topográfica superior à dos ankaratritos do Vale do Ribeirão do Quartel.

Com relação ao início do magmatismo, Ellert (1959) e Fraenkel *et al.* (1985) são favoráveis à idéia de soerguimentos do embasamento regional antes ou durante a atividade vulcânica, enquanto, Ulbrich, H. (1984) e Garda (1990), não prevêm tais soerguimentos. Neste trabalho são ressaltados a ação erosiva e destruição de grande parte do registro geológico ao longo do magmatismo alcalino. As diferenças de nível das rochas encaixantes sedimentares dentro e fora do Complexo entretanto, devem ser consideradas, assim como possíveis abatimentos e soerguimentos ocorridos ao longo do magmatismo. Nesse sentido a análise morfológico-estrutural por si só não é conclusiva a respeito de soerguimentos ocorridos antes ou durante a atividade vulcânica inicial.

5.2.1 Brechas e aglomerados ankaratríticos

Na porção W-NW da borda do Complexo, ao longo do Vale do Ribeirão do Quartel, foram confirmadas as principais ocorrências de rochas ankaratríticas nos locais mais baixos do planalto, com altitudes entre 840 e 1075 metros. Outras ocorrências incluem aquelas descritas por Ellert (1959), que relata a existência de um pequeno afloramento de "lavas aglomeráticas ankaratríticas" perto do contato com o gnáisse encaixante na Borda Interna E do Complexo, e xenólitos de rochas ankaratríticas em nefelina sienitos na localidade do Aeroporto. Além desses, ankaratritos também são encontrados como enclaves e xenólitos nos nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura.

Nos afloramentos foram observadas apenas rochas ankaratríticas, não ocorrendo fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos ou rochas do embasamento. Tudo indica que essas rochas depositaram-se ou diretamente sobre um embasamento sem cobertura sedimentar (removida por erosão antes dos estágios iniciais do magmatismo), ou sobre os sedimentos, assentados sobre o embasamento e que atualmente não estão expostos. Tufos vulcânicos relacionados à atividade vulcânica ankaratrítica ainda são encontrados preservados junto com blocos de arenitos no afloramento do ponto PDC-98. Esses são tufos estratificados finos, com cimento carbonático e grãos detríticos de quartzo e feldspatos provenientes dos sedimentos arenosos e diabásios associados.

Na área estudada, os ankaratritos estão presentes como derrames e aglomerados vulcânicos, como dique, fragmentos em brechas e outros depósitos vulcanoclásticos. Distribuem-se desde as porções mais baixas do Vale do Ribeirão do Quartel (a partir do ponto PDC-4) até cotas mais altas de 1075 m, próximo de Cascata. Acima dessa altitude só foram encontrados como fragmentos em meio a rochas vulcanoclásticas polimíticas na altura de Cascata (afloramento PDC-11), e próximo a Poços de Caldas em brechas de conduto vulcânico (afloramento PDC-6). Predominam portanto, ao longo de uma faixa de 8 a 9 Km de extensão e direção NE/SW, com largura máxima da ordem de 2 a 2,5 Km, delimitada pela depressão do Vale do Ribeirão do Quartel a partir da cota de 1075 m. Estão limitados portanto, a sul pelos arenitos da borda W Complexo, a oeste pelo dique anelar, e leste pelos fonolitos do planalto pelos quais são recobertos. Em sua porção norte, estão aparentemente recobertos por fonolitos e vulcanoclásticas mais jovens a partir da região SW de Cascata.

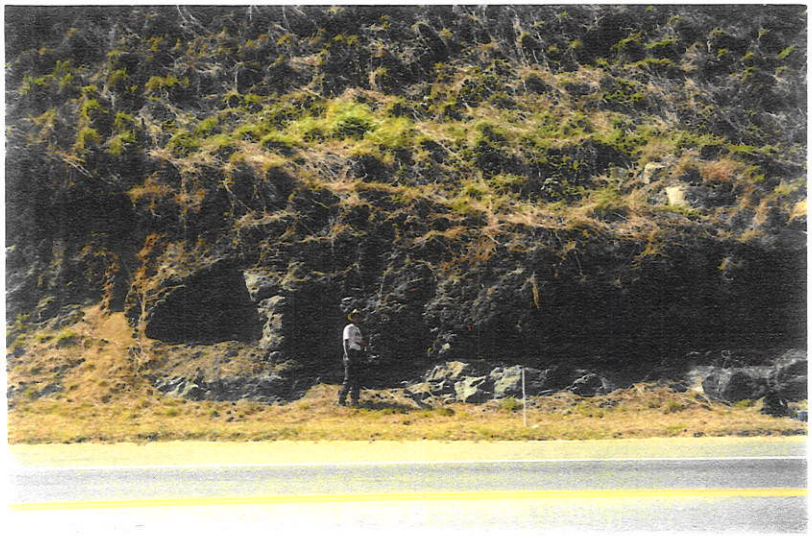


FOTO 1. Visão geral do afloramento PDC-5, onde afloram duas sequências de brechas ankaratríticas, tabulares, subhorizontais, cobertas por fonolitos.

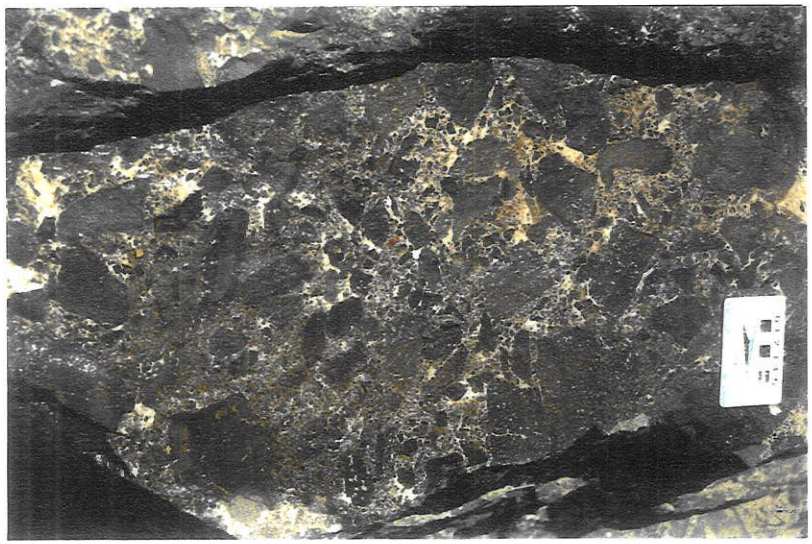


FOTO 3. PDC-5 - Brecha de ankaratritos com cimento carbonático.

FOTO 2. PDC-5 - Detalhe do contato superior das brechas ankaratríticas cobertas por derrame de fonolito.

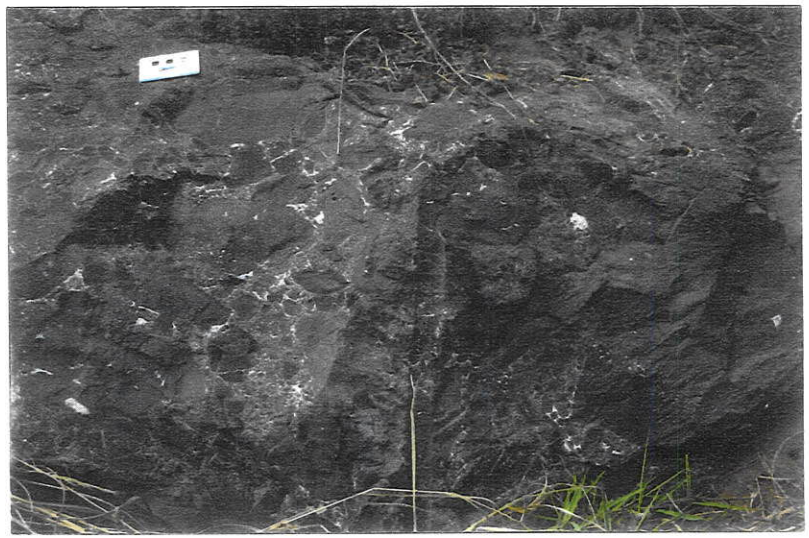


FOTO 4. PDC-5 - Brecha de ankaratritos.

FOTO 5. PDC-5 - Detalhe do caimento das camadas de brecha para E, rumo ao interior do Complexo. Logo acima da segunda camada ocorre um derrame de fonolito.

FOTO 7. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratrítico com predomínio de fragmentos subarredondados.

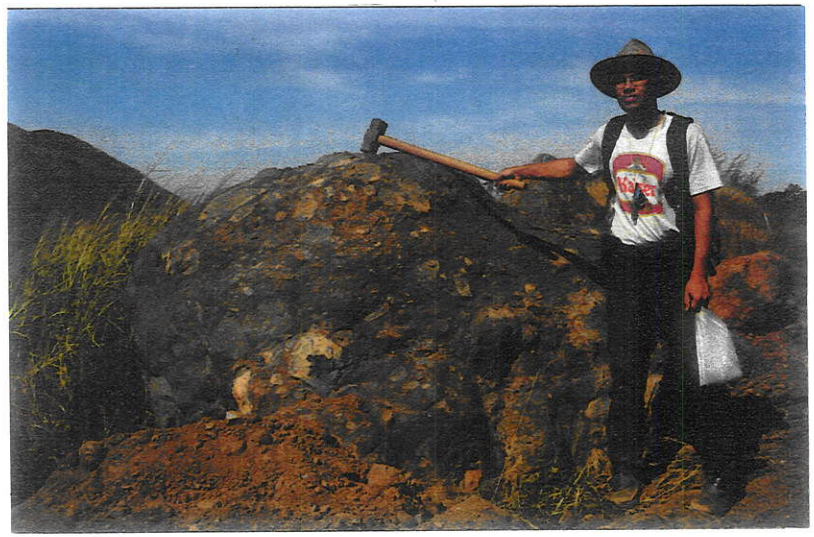


FOTO 6. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratrítico. Notar a dimensão e as formas angulosas a arredondadas dos fragmentos.

FOTO 8. PDC-15 - Aglomerado vulcânico ankaratrítico com blocos de lavas ankaratríticas variavelmente vesiculadas e amigdaloidais..

FOTO 9. PDC-15 - Detalhe de bloco de lava ankaratrítica amigdaloidal.

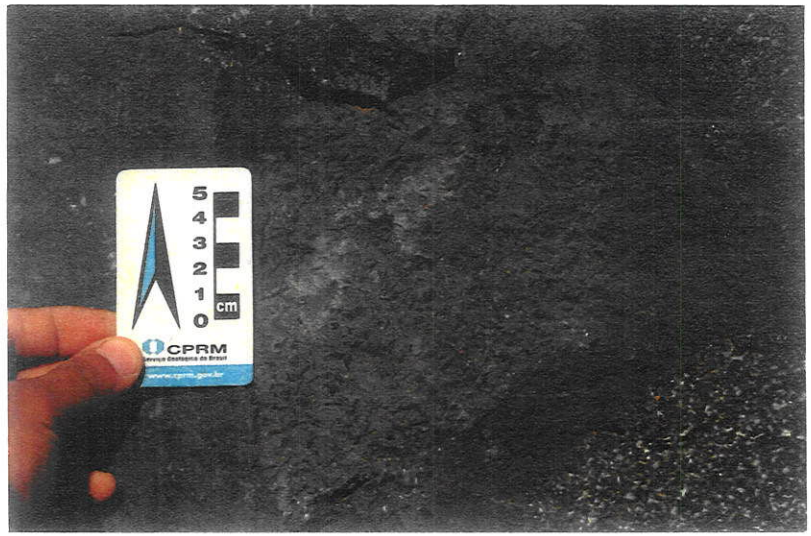


FOTO 10. PDC-15 - Detalhe de bloco de rocha ankaratrítica porfirítica, amigdaloidal.

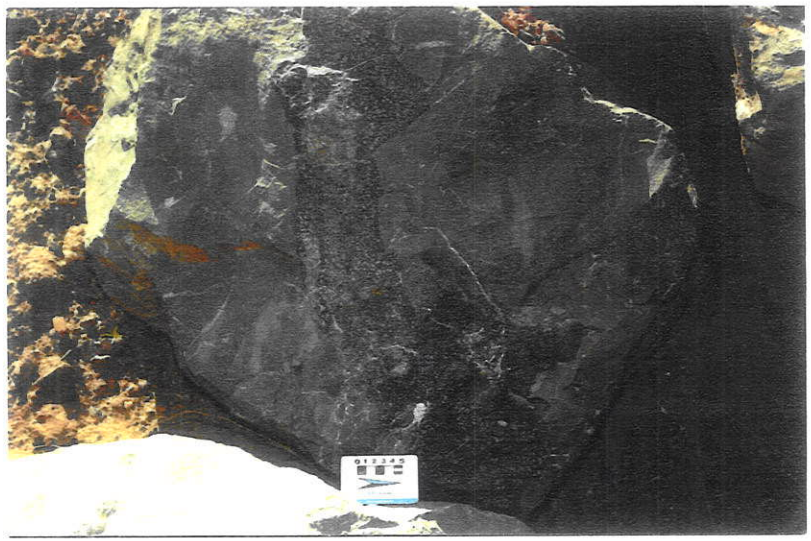


FOTO 11. PDC-4 - Ankaratrito vesiculado intrudindo ankaratrito maciço.

FOTO 12. PDC-4 - Ankaratrito heterogêneo.

Nas partes mais baixas do Vale do Ribeirão do Quartel ocorrem brechas ankaratríticas em corpos tabulares, com espessuras mínimas de 1 a 2 metros, que mergulham para sul (N195/15) e para o interior do planalto (N89/25 e (N123/23) (afloramentos PDC-4 e PDC-5). Foram reconhecidos ankaratritos vesiculados a amigdaloidais e maciços, mas somente no ponto PDC-4 verificou-se a relação de contato entre os dois tipos com a variedade amigadaloidal intrudindo o ankaratrito maciço. Nesse processo, a frente de intrusão apresenta-se rica em carbonato calcítico que se espalha por todas as encaixantes em finas ramificações venuladas que cortam indistintamente ambas as rochas. O ankaratrito maciço eventualmente exibe estrutura heterogênea com bandamento textural incipiente ressaltada por diferença de cores entre as bandas. No mesmo local ocorrem estruturas de topo de derrame com amígdalas orientadas por fluxo. Já no ponto PDC-5 ocorrem camadas de brechas com fragmentos angulosos cimentados por material carbonático branco e textura em mosaico, cobertas por fonolito variolítico alterado, e cortadas por diques fonolíticos de orientação N-S a NE-SW.

Aglomerados vulcânicos ankaratríticos ocorrem em afloramentos expostos a partir de cotas entre 970 e 1040 metros até os 1075 metros. Estão em sua maioria pouco alterados ocorrendo como conjuntos de blocos, alguns com esfoliação esferoidal, espalhados pelo campo. Apesar de em alguns locais, como no ponto PDC-15, parte deles terem sido removidos à época de abertura dos cortes de estrada, nos locais próximos do pé da serra, ainda podem ser vistos blocos espalhados nos topos dos morrotes. Alguns deles exibem estruturas de deposição em camadas decimétricas bem definidas com fragmentos ressaltados por intemperismo diferencial em meio a escória vulcânica. Apesar dos afloramentos estarem expostos como blocos, muitos deles ainda mantêm suave mergulho para o interior do planalto.

As principais ocorrências são aquelas da Fazenda Santa Maria e dos pontos PDC-14 e PDC-15, onde os fragmentos ankaratríticos chegam a ter 0,5 metro de dimensão e estão em meio a uma matriz grossa de cor cinza acastanhada. Sua distribuição parece estar restrita as altitudes de 1040 e 1075 metros, entre Cascata e a porção sul da Fazenda Santa Maria.

Apesar da pequena área de exposição dos ankaratritos, provavelmente sua quantidade volumétrica é muito maior do que a estimada, estando a maior parte atualmente coberta por derrames fonolíticos e vulcanoclásticas associadas. Isso é reforçado pela existência de afloramentos de lavas ankaratríticas na Borda interna E do Complexo e pela ocorrência de xenólitos em nefelina sienitos próximos ao

aeroporto (Ellert, 1959). Considerando a distribuição dessas rochas entre 840 e 1075 metros, pode-se estimar uma espessura mínima de 235 metros de rochas distribuídas por pelo menos 1/3 de toda área superficial do complexo (800 Km^2) o que totalizaria um volume mínimo de 62 Km^3 de rochas ankaratríticas produzidas durante as primeiras manifestações vulcânicas do Complexo alcalino.

5.2.2 Derrames e vulcanoclásticas fonolíticas

Subindo o Ribeirão do Quartel em direção a Cascata, os afloramentos de ankaratritos diminuem e logo são cobertos por rochas fonolíticas alteradas. Evidentemente, o vulcanismo ankaratrítico inicial deu lugar a um vulcanismo fonolítico, responsável pela construção do edifício vulcânico principal e pela geração de espesso pacote de lavas e vulcanoclásticas fonolíticas, que cobriu os ankaratritos, elevando-se até cotas superiores aos de 1100 e 1400 metros, ocupando todo o interior do planalto. Ainda assim considera-se que as cotas médias de 1100 e 1400 metros do interior do planalto, e a morfologia do Complexo correspondem de fato, ao nível de erosão atual e que apenas uma pequena parcela do verdadeiro montante de rochas fonolíticas está preservada.

Na localidade da Fazenda Capão da Onça (afloramento PDC-42), onde eleva-se uma serra até a cota máxima de 1426 metros que bordeja o Ribeirão do Quartel pelo seu lado esquerdo, foram reconhecidos tufos e lapilli-tufos soldados, e lavas maciças/brechadas, fonolíticos. De difícil identificação quando frescas essas rochas exibem belas feições de fluxo ou mesmo estruturas brechadas produzidas durante o fluxo das lavas. Ellert (1959) mapeou essa rocha como Brecha de Tinguaíto, relatando que a mesma ocorria em camadas, provavelmente derrames com estratificação variável. No campo elas foram identificadas principalmente nas porções altas de morrotes isolados, distribuídas na porção interna W do Complexo, já afastadas da borda (afloramentos PDC-40; PDC-42). São rochas maciças de cor verde e estão em posição subhorizontal com atitude de mergulho das camadas de tufos de N85/13, voltadas para o interior do Complexo. São cortadas por brechas intrusivas de textura magmática, das porções profundas dos condutos vulcânicos aflorantes nos pontos PDC-41 e PDC-39.

Tufos e lapilli-tufos equivalentes, porém intemperizados são aqueles da lavra de areia (afloramento PDC-6) na borda NW do Complexo. São rochas fonolíticas alteradas, de cores variegadas, sobrepostas a um derrame fonolito vulcânico também intemperizado. A atitude do mergulho das camadas é de N195/15 e esses recobrem parcialmente os arenitos e um gnáisse granítico intemperizado aflorante no local.

FOTO 13. PDC-32 - Estruturas de fluxo e pequenas vesículas em lava fonolítica.

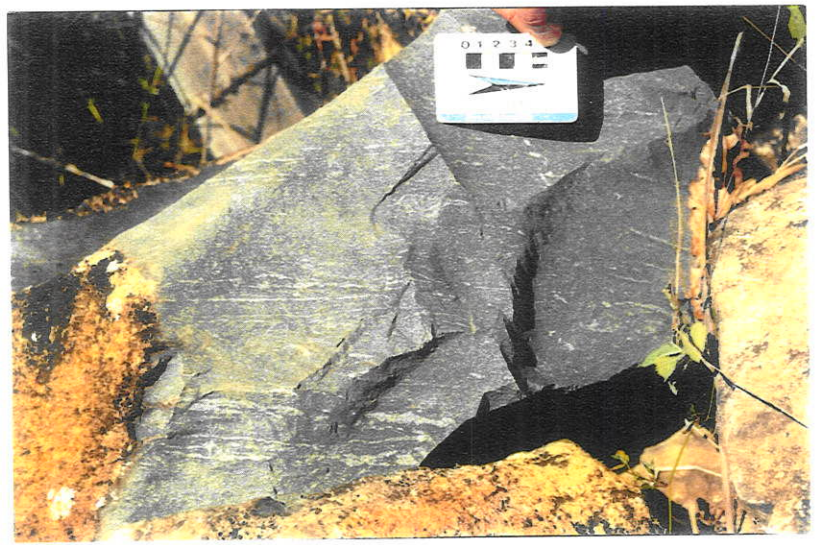


FOTO 15. PDC-35 - Estrutura de fluxo em lava fonolítica.

FOTO 14. PDC-31 - Estrutura de fluxo em lava fonolítica. Notar, à esquerda da foto, um fragmento fonolítico.

FOTO 16. PDC-33 - Estrutura de fluxo e xenocristais em lava fonolítica.

FOTO 17. PDC-23 - Tufo fonolítico intemperizado.

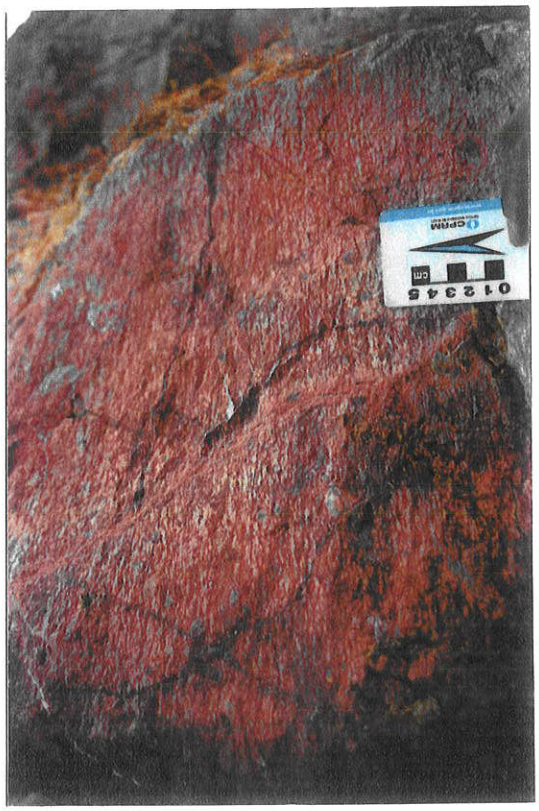


FOTO 18. PDC-23 - Tufo fonolítico intemperizado.

FOTO 19. PDC-21 - Camadas de tufos fonolíticos intemperizados.

FOTO 20. PDC-21 - Detalhe da camada de tufo.

FOTO 21. PDC-6 - Estratos de tufos e lápilli-tufos intemperizados. Notar bloco de arenito logo acima da sequência.

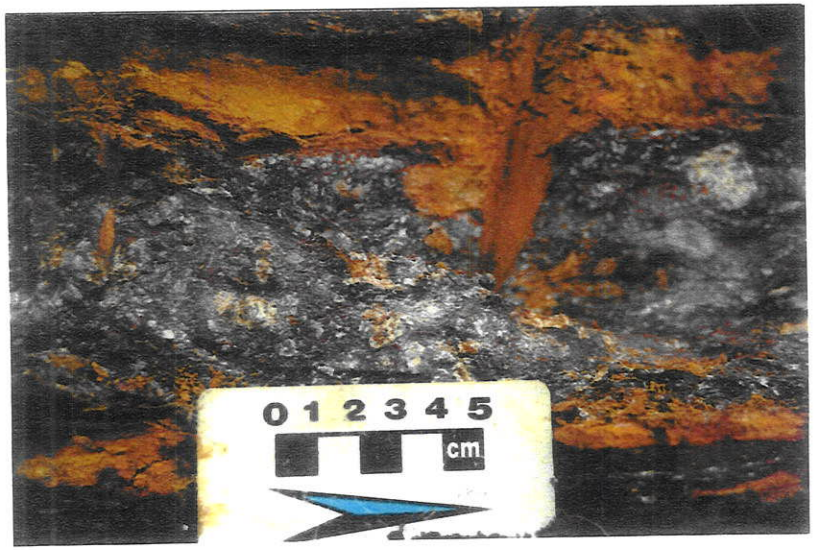


FOTO 23. PDC-6 - Outro detalhe da camada de lápilli-tufo..

FOTO 22. PDC-6 - Detalhe da camada de lápilli-tufo.

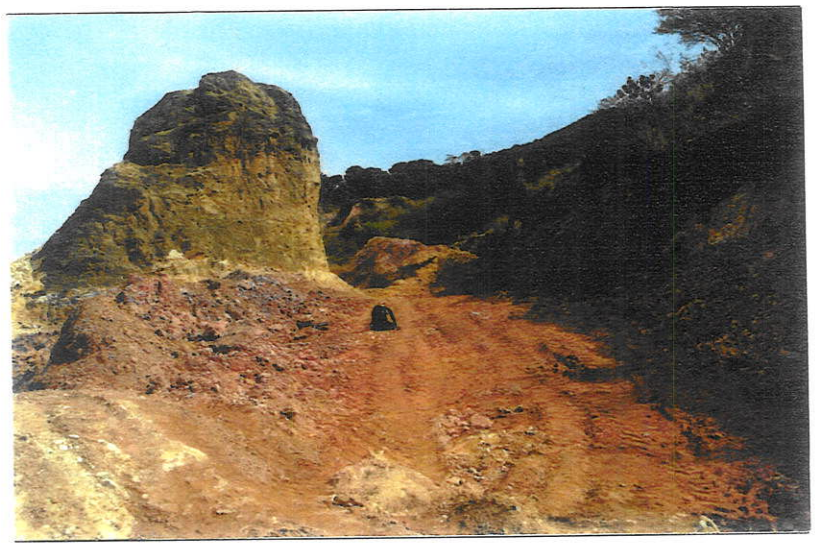


FOTO 24. PDC-6 - Vista do mergulho das camadas de tufos e lápilli-tufos.

FOTO 25. PDC-18 - Camada de tufos e lápilli-tufos intemperizados. Notar a presença de um paleo-canal constituído por arenitos, no canto inferior direito da foto.

FOTO 27. PDC-18 - Vista da camada de fonolito disposta sobre a camada de tufos e lápilli-tufos.

FOTO 26. PDC-18 - Detalhe do paleo-canal.

FOTO 28. PDC-18 - Detalhe da estratificação do nível de tufo.

Diques fonolíticos intemperizados cortam tanto os arenitos quanto as rochas vulcanoclásticas.

No extremo sul do Complexo (afloramento PDC-18) tufos e lapilli-tufos intemperizados cobertos por lavas fonolíticas, contêm blocos de nefelina sienitos, fonolitos e fragmentos do embasamento. Recobrem corpos de arenitos finos e apresentam intercalações arenosas feldspáticas lenticulares indicativas de atividade erosiva-deposicional, provavelmente de chuvas torrenciais durante a formação do complexo vulcânico nos intervalos eruptivos. Tanto os tufos quanto as intercalações arenosas apresentam-se finamente estratificadas, mergulhando para fora do Complexo (N210/35). Próximo desse local (afloramentos PDC-89, PDC-90 e PDC-91), ocorrem derrames de lavas fonolíticas em camadas maciças, com estruturas de fluxo e de topo de derrame, indicadas pela disposição e orientação de vesículas preenchidas com carbonatos. Nesse local os derrames estão 140 metros acima da cota do afloramento anterior (PDC-18) e mergulham 15º a 30º para NE.

Em outras localidades do planalto também ocorrem tufos fonolíticos frescos e alterados associados com derrames. Na borda E do Complexo, fragmentos de rochas fonolíticas exibem textura de fluxo com microxenólitos de fonolitos (afloramentos PDC-31 e PDC-32) enquanto na porção centro SW são mais comuns bombas piroclásticas e microfragmentos fonolíticos intercalados nos tufos e lavas fonolíticos (afloramentos PDC-21, PDC-23 e PDC-27).

5.2.3 Nefelina sienitos tipo Pedreira da Prefeitura

Ocorrem num corpo principal de orientação NE-SW, e pelo interior Complexo em corpos menores, pequenos demais para o mapeamento representativo. Afloram em níveis topográficos acima dos ankaratríticos em altitudes médias de 1300 metros, sendo portanto, intrusivos nos fonolitos regionais, e cristalizados originalmente em profundidades intermediárias do edifício vulcânico.

O corpo de neflina sienito principal, aqui mencionado como "Tipo Pedreira da Prefeitura" forma um dos maiores corpos do Complexo ocorrendo desde a região SE da cidade de Poços de Caldas até a região SE o Morro do Serrote, ao longo de 18 Km de extensão por 6 Km de largura. Aflora na localidade da Pedreira da Prefeitura (PDC-58, PDC-59 e PDC-60) onde predomina a rocha fanerítica grossa de aspecto manchado conferido por feldspatos de cores cinza e esbranquiçada, com xenólitos subangulosos a arredondados, em parte resorvidos, de fonolitos. Pegmatitos e venulações tardias cortam o nefelina sienito aproveitando em parte, um sistema de

fraturas com mergulhos de 30º a 50º, cortado por outro mais jovem, com mergulhos maiores de 70º a 90º. Um terceiro sistema de fraturas com orientação N-S também está presente, mas sua relação com os demais não foi estabelecida. Todo o conjunto é cortado por diques fonolíticos porfiríticos de matriz afanítica a vítrea, com orientação NE-SW, mesma orientação regional do nefelina sienito (Figura 8).

Ellert (1959) relata a ocorrência de xenólitos de fonolitos e mesmo de lavas ankaratríticas em zona de contato xenolítica desse nefelina sienito com o fonolito ao norte do aeroporto, e Ulbrich, H *et al.* (1979) relatam a presença de "calotas" de fonolitos ressaltadas topograficamente, na zona central do corpo, próximo da Represa Saturnino de Brito, e que seriam o resto do teto da encaixante ainda não removido pela erosão.

Ao que tudo indica os nefelina sienitos tipo Pedreira da Prefeitura são intrusivos nos fonolitos do edifício vulcânico, e anteriores aos diques anelares. Reforçam tal argumentação a presença de xenólitos de nefelina sienitos nos diques anelares em sua porção E (afloramento PDC-35), numa região onde não são conhecidos corpos de nefelina sienitos, a presença de fragmentos em brechas intrusivas nos locais onde só afloram fonolitos vulcânicos (afloramentos PDC-20, PDC-92, PDC-39 e PDC-42) e também, os blocos encontrados nos tufos e lapilli-tufos do extremo sul do Complexo (afloramento PDC-18).

Soma-se a isso o fato de não existirem corpos expressivos de nefelina sienitos na borda NW, considerando que essa, logo após o processo de abatimento do edifício vulcânico, tornou-se a área mais favorável à colocação de magmas nefelínicos.

5.3 Magmatismo alcalino pós-colapso

O colapso do edifício vulcânico marcou o inicio de nova etapa na história evolutiva do Complexo, a qual compreendeu o próprio processo de abatimento e a formação dos diques anelares, a geração de novos corpos de nefelina sienitos, e das brechas intrusivas e piroclásticas de fluxo, assim como os diques de fonolitos que as cortam e todo o vulcanismo a eles associado. Basculamentos e soerguimentos ocorreram como reflexos do abatimento, principalmente nas proximidades dos diques anelares, expondo as partes mais profundas do edifício vulcânico ou mesmo, partes do embasamento precambriano e sua cobertura sedimentar. Nesse processo, muito do registro geológico original foi perdido com a ação intempérica e erosiva possibilitando a colocação lado a lado de rochas profundas e de superfície.

A fase final do magmatismo alcalino é complexa, pouco clara e sem uma ordem cronológica definida. Caracteriza-se: pela formação de rochas nefelínico sieníticas mais

diferenciadas (eudialita-nefelina sienitos); instalação das brechas da porção centro-SE; ação hidrotermal específica potássica relacionada às mineralizações de U-Th-ETR-Zr-F-Mo e pirita; e intrusões, provavelmente carbonatíticas, tipo Morro do Ferro. Por último, culmina com a instalação dos diques de biotita lamprófiros na porção centro-SE do Complexo, na área da mina de urânio.

5.3.1 Dique anelar e nefelina sienito tipo Pedreira Bortolan

O colapso do edifício vulcânico propiciou a abertura de fendas anelares e radiais correlatas, permitindo a ascenção de magma fonolítico formador dos diques anelares. Todo o processo ocorreu em etapas, com acomodações gradativas das partes abatidas e basculamentos locais caracterizados por soerguimentos próximos ao dique anelar e rebaixamentos nas áreas centrais do Complexo. Além dos diques anelares, fonolitos foram responsáveis também pelos derrames concentrados nas áreas centrais abatidas, que recobriram os depósitos vulcânicos anteriores.

Após ou concomitantemente ao processo de abatimento, magmas nefelíno sieníticos colocaram-se em zonas de fraqueza ao longo dos diques anelares como pequenos corpos marginais, que acompanham e intrudem o dique. Ellert (1959) descreve faixas de nefelina sienitos em forma de diques que acompanham e cortam o dique anelar na metade norte do Complexo. No contato, o corpo intrusivo exibe xenólitos angulosos de fonolitos englobados pelo magma. Ulbrich, H. (1984) também descreve alguns fácies de nefelina sienitos marginais como sendo intrusivos no dique anelar em sua porção N (nefelina sienito cinza, e pseudoleucita nefelina sienitos). Na localidade da Pedreira Bortolan, xenólitos de fonolitos do dique anelar são encontrados no nefelina sienito, e no mesmo afloramento, apófises pegmatíticas intrudem o fonolito.

5.3.2 Brechas intrusivas de conduto vulcânico

Seguiram-se na evolução do Complexo, processos vulcânicos intrusivos e explosivos que geraram brechas vulcânicas subsuperficiais e extrusivas de conduto vulcânico, com depósitos proximais e distais. Essas brechas são todas polimíticas clasto-suportadas de cores verdes, quando não intemperizadas, e foram divididas em dois tipos principais:

- *a* *brechas intrusivas de conduto vulcânico:* estão localizadas nas porções internas do planalto, ou pouco afastadas da borda da caldeira. Apresentam-

se como corpos de pequenas dimensões com formas subarredondadas ou alongadas e estrutura maciça, ressaltados no campo como morrotes isolados ou grupos de morros. Os fragmentos mostram formas subarredondadas a subangulosas e estão imersos em matriz grossa ou mesmo magmática constituída por cristais euédricos bem visíveis em material fino de cor verde, não reagente com HCl.

- ***b*** *brechas extrusivas proximais a distais:* estão expostas nas bordas N-NW-W, E, SE e S do Complexo, em corpos com formas condicionadas pela estruturação local, em arco, ao longo de fendas radiais ou mesmo como corpos subarredondados, apresentam estruturas desde maciça caótica até bem acamadada conforme a proximidade do conduto. Os fragmentos têm formas angulosas a subangulosas e estão imersos em matriz fonolítica fina a microcristalina de cor verde com microfragmentos de rocha e cristais além de carbonatos (que reagem com HCl).

a brechas do primeiro grupo são encontradas a E de Águas da Prata (afloramentos PDC-39 e PDC-40) nas partes altas e nos morrotes ressaltados no relevo. São intrusivas nos fonolitos, e vulcanoclásticas associadas (como as dos afloramentos PDC-40 e PDC-41). Contêm fragmentos subarredondados a subangulosos de nefelina sienitos e fonolitos em matriz verde, com fenocristais euédricos subcentimétricos de feldspatos, nefelina e piroxênios. Estão a 1330 metros de altitude, logo abaixo das vulcanoclásticas encontradas no ponto PDC-42 (1430m), e acima das brechas extrusivas aflorantes na borda N-NW-W (afloramentos PDC-6, PDC-7 e PDC-8). Nos afloramentos PDC-20 e PDC-92 (porção centro-SW) aflora uma brecha semelhante, no alto de um morro alongado de orientação N-S. Nela são encontrados fragmentos subarredondados de nefelina sienitos, fonolitos, pegmatóides de nefelina sienitos, e fragmentados centimétricos de cristais de feldspatos e piroxênios/anfibólios (provenientes dos pegmatóides). A matriz é grossa e rica em fenocristais euédricos subcentimétricos em massa verde microcristalina.

b brechas do segundo tipo são encontradas no Vale do Ribeirão do Quartel a E de Águas da Prata (afloramentos PDC-2, PDC-3, PDC-4 e PDC-96). São extrusivas acamadadas e mergulham 10º a 15º para SW, NW e NE. Passam lateralmente de acamadadas (afloramentos PDC-2 e PDC-4) para maciças (afloramentos PDC-3 e PDC-96), pois afloram ao redor de um centro vulcânico explosivo (intrusivo nos sedimentos pré-magmatismo ankaratrítico), localizado próximo da confluência do Rio da Prata com o Ribeirão do Quartel (afloramento PDC-3 e PDC-96) onde predominam blocos

com dimensões métricas (até 2m) de arenitos silicificados e diabásios em matriz microbrechada a arenosa. Além desses, fragmentos de ankaratritos também estão presentes na brecha.

Ainda no afloramento PDC-2, a brecha é cortada por diques de fonolitos e próximo de seu contato com o arenito ocorre (no arenito) a formação de cavidades cristais centimétricos de quartzo fumê. Esses depósitos ocorrem na porção mais baixa do planalto (entre 840 e 870 metros), ao lado de brechas ankaratríticas e arenitos, e sua formação se deu à época em que o Vale do Quartel já estava formado. Caso o centro vulcânico estivesse em cota topográfica mais alta, os depósitos de brechas extrusivas acamadadas não estariam preservados atualmente.

Entre o bairro de Bortolan e Poços de Caldas (afloramentos PDC-6, PDC-7 e PDC-8) as brechas formam um corpo alongado que bordeja o dique anelar pelo seu lado interno desde a Represa Bortolan até a localidade do Areião (afloramento PDC-6). São depósitos de brechas proximais, intrusivas nos derrames e vulcanoclásticas fonolíticos da primeira etapa do magmatismo pré-colapso, nos nefelina sienitos que cortam os diques anelares, e nos arenitos e rochas do embasamento aflorantes no Areião. Apresentam estrutura maciça caótica, e fragmentos de fonolitos, nefelina sienitos, piroxenitos, ankaratritos, granitóides, rochas carbonáticas e carbonatíticas, arenitos e vulcanoclásticas fonolíticas anteriores com estruturas de fluxo (tipo *"base surge"*). Destacam-se na matriz, placas e "livrinhos" de flogopita além de fragmentos de rocha e de cristais em massa microcristalina verde. Nos locais onde aflora, a brecha é cortadas por diques de fonolitos alterados, incluindo pseudoleucita fonolitos.

Na Serra de São Domingos ao longo da estrada que leva ao Cristo a brecha intrude o fonolito do dique anelar e apresenta estrutura maciça e matriz grossa (afloramento PDC-46). Nesse local ela exibe textura igual à das brechas intrusivas do primeiro tipo, e também não reage quando em contato com HCl.

Ellert (1959) descreve ainda a ocorrência de dois outros afloramentos decompostos formados de rochas vulcânicas, na área central do Complexo (porção centro-SW). O primeiro é cortado pela rodovia Poços de Caldas-Andradas e consta de camadas alternadas constituídas de material de granulação fina, com quartzo rolado e cimento argiloso, provavelmente de um antigo lago que recebeu contribuição de tufos vulcânicos e sedimentos retrabalhados (afloramentos PDC-26 e PDC-27). Devido ao péssimo estado de preservação desse corpo não foram reconhecidas tais estruturas, entretanto, fatias da rocha quando observadas em lupa binocular exibem textura grossa de brecha intrusiva com fenocristais subcentimétricos de félsicos alterados (prováveis feldspatos e pseudoleucitas) e opacos esverdeados em matriz fina rósea alterada, com cristais alterados de félsicos. O segundo afloramento a SE do primeiro,

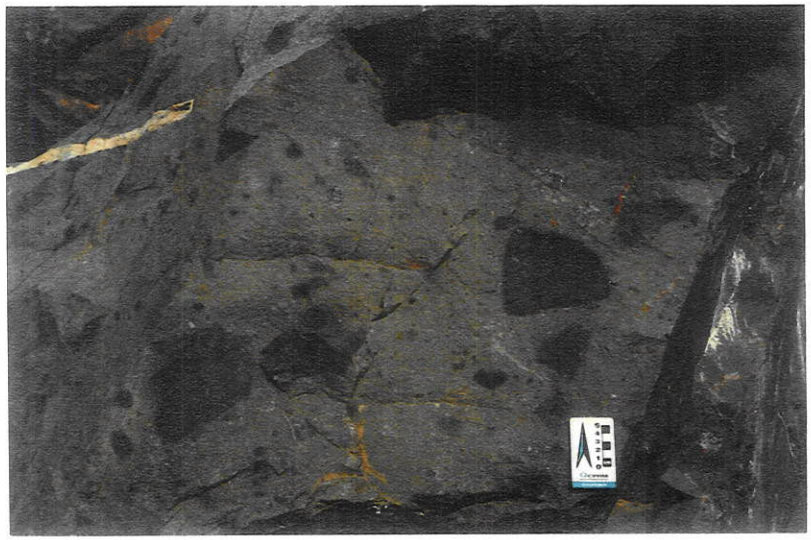


FOTO 29. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico. Notar a predominância de fragmentos fonolíticos com bordas de reação.

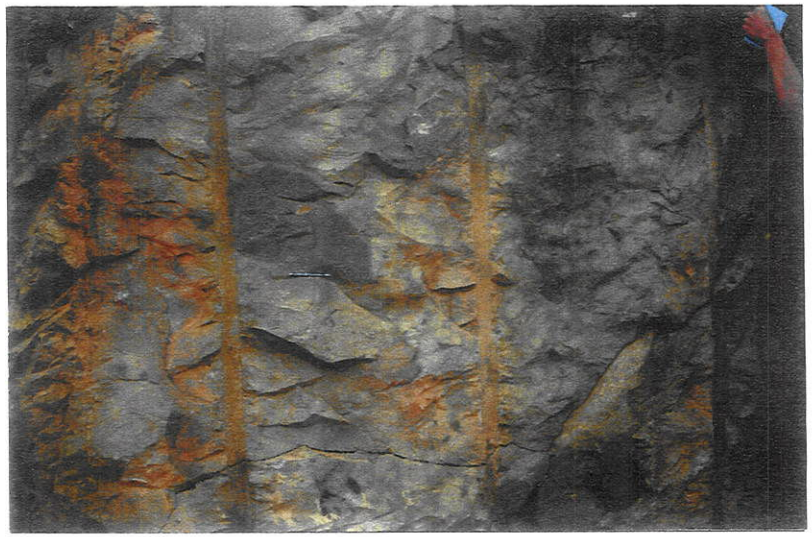


FOTO 30. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico.

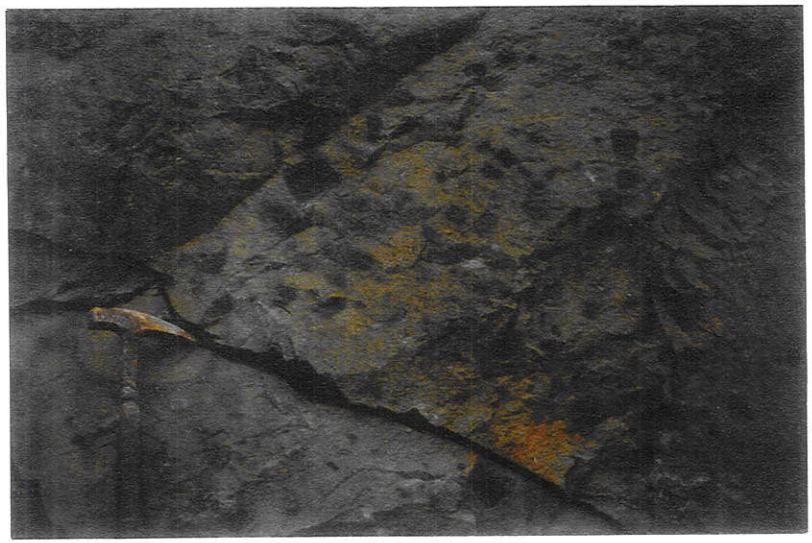


FOTO 31. PDC-8 - Brecha extrusiva de conduto vulcânico.

FOTO 32. PDC-32 - Detalhe das flogopitas euédricas presentes na matriz da brecha.

FOTO 33. PDC-20 - Brecha intrusiva de conduto vulcânico. Notar a presença de vazios de dissolução na superfície da rocha. Notar também a textura grossa da matriz.

FOTO 35. PDC-39 - Brecha intrusiva de conduto vulcânico. Os fragmentos em destaque são de rocha fonolítica.

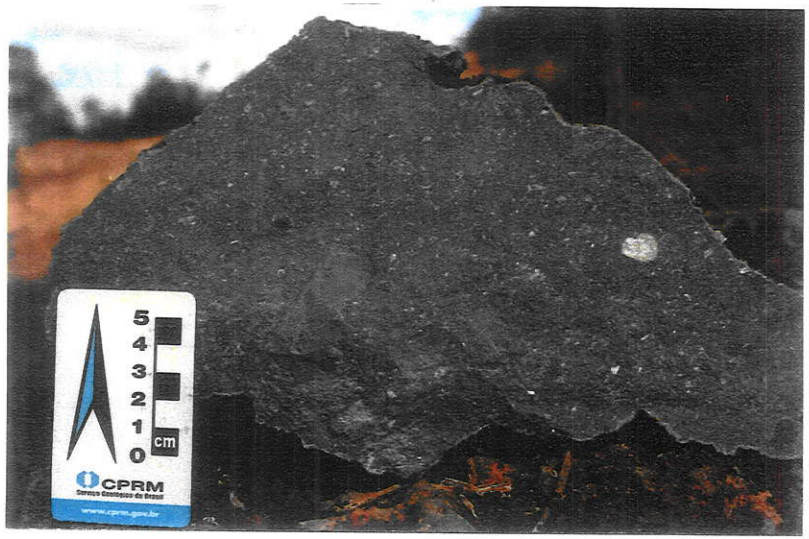


FOTO 34. PDC-20 - Detalhe da superfície fresca da rocha.

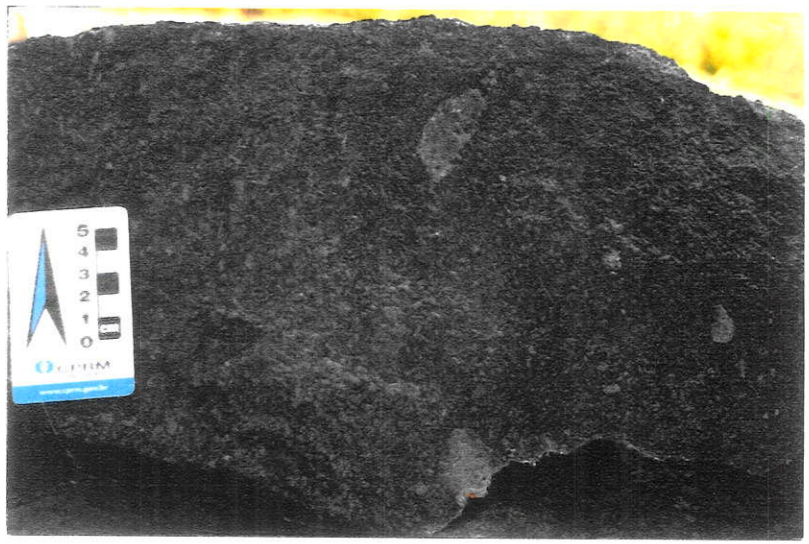


FOTO 36. PDC-39 - Detalhe na porção fresca da rocha. Notar a presença de fragmentos de nefelina-sienitos.

segundo Ellert (1959), consta de brechas estratificadas alteradas. No local visitado (afloramentos PDC-24 e PDC-25) foram encontrados apenas fonolitos maciços fraturados e crostas ferruginosas. Ocorrências menores incluem ainda, corpos de brecha muito alterados, localizados nas bordas E, SE e S.

5.3.3 Eventos erosivos

As feições texturais e estruturais das *brechas intrusivas de conduto vulcânico* refletem um ambiente de colocação subsuperficial pouco profundo e não tão explosivo. Já as características texturais e a forma dos corpos de brecha do segundo tipo (*extrusivas proximais e distais*) apontam para uma natureza vulcânica a subvulcânica rasa. A presença de fragmentos de outras brechas de mesma natureza e com estruturas de deposição tipo *"base surge"*, sugere uma natureza poligenética com formação em pulsos repetidos, com retrabalhamentos de depósitos previamente formados em explosões anteriores.

Durante os trabalhos de campo, observou-se que muito pouco dos depósitos de brechas foi preservado e que as brechas expostas atualmente, são algumas das partes restantes dos depósitos originais produzidos durante os eventos explosivos. A ocorrência desses dois tipos de brechas (de profundidades distintas) num mesmo patamar topográfico atual (~1300m) e a existência de depósitos proximais e distais superficiais nas partes baixas do planalto, na região do Vale do Ribeirão do Quartel (840-870 metros), reforçam a idéia de que o relevo, à época de formação dessa rochas, não era plano mas sim irregular com áreas arrasadas por erosão e outras mais altas ainda preservadas.

Subindo pelo Vale do Quartel até da localidade de Cascata, a uma altitude aproximada de 1075 metros desaparecem os ankaratritos e começam a aparecer fonolitos alterados e mais adiante, seqüências de depósitos vulcanoclásticos (de fluxo piroclástico) acamadados, aflorantes a partir dos 1290 metros de altitude (afloramento PDC-12). Entre os fonolitos alterados e as vulcanoclásticas de fluxo que os recobrem, parece existir um hiato temporal e erosivo, responsável por colocar lado a lado, rochas reconhecidamente de natureza superficial e rochas nefelino sieníticas plutônicas como aquelas que afloram pouco adiante, no ponto PDC-9 e na Pedreira Bortolan, todas as três num mesmo nível topográfico. Além disso, os fonolitos depositados entre os ankaratritos e os depósitos vulcanoclásticos acamadados têm espessura aparente de pouco mais de 200 metros.

Seguindo-se em direção a Poços de Caldas, pouco depois da Represa Bortolan, afloram as brechas intrusivas de conduto vulcânico do tipo *proximal a distal* numa

altitude de 1235 metros. Fragmentos dessa brecha por sua vez são encontrados nos depósitos vulcanoclásticos de fluxo piroclástico acamadados.

5.3.4 Brechas vulcanoclásticas de fluxo piroclásticos e " fall out"

Estão depositadas sobre as rochas fonolíticas alteradas que recobrem os ankaratritos, e afloram na borda N-NW-W do Complexo próximo de Bortolan, entre os pontos PDC-11 e PDC-12. São representadas por depósitos de tephra e de fluxo piroclástico, intercalados a derrames fonolíticos, em seqüências bem preservadas de até três eventos recorrentes. Distribuem-se desde Cascata até Bortolan em camadas distintas que mergulham de 7º a 10º para o interior do Complexo. (N82/06 a N118/7), prolongando-se até a altura do Córrego do Chiqueiro quando começam a aparecer fragmentos e blocos laterizados, de rochas sedimentares agilo-arenosas finamente laminadas. Em direção ao interior do planalto talvez estejam recobertas por fonolitos vulcânicos.

São brechas polimíticas clasto-suportadas em camadas espessas (até 2 m), intercaladas a seqüências lápilli-tufáceas e derrames fonolíticos. Apresentam cor castanho-avermelhada, ou marrom quando alteradas. A melhor seqüência dessas rochas está exposta no afloramento PDC-11. Da base para o topo do afloramento estão expostas brechas alternadas com tufos e lapilli-tufos e, logo acima, um fonolito alterado. As camadas de brecha são constituídas por fragmentos angulosos a subarredondados (até 0,3m) de nefelina sienitos, fonolitos, piroxenitos, lavas ankaratríticas vesiculadas, granitóides, arenitos, carbonatitos e de brechas de conduto vulcânico (*extrusivas proximais a distais*) como aquelas dos pontos PDC-7 e PDC-8. Estão imersos em matriz grossa de cor marrom carbonática (reage com HCl) constituída por fragmentos de rochas e de cristais. Foi encontrado ainda um fragmento alterado de rocha ultramáfica fanerítica grossa com fenocristais de piroxênio em matriz de cor verde escura com finas magnetitas euédricas.

As camadas de tufos e lapilli-tufos intercaladas às brechas, mostram estratificação plano-paralela e granodecrescência ascendente bem demarcada com recorrências de níveis grossos e finos. Têm cor castanho-avermelhada e quando alteradas exibem cor marrom igual à "borra de café". Num dos níveis foi encontrado fragmento de rocha carbonatítica granular, cinza esbranquiçada com bandas irregulares de piroxênios e magnetitas.

Sobre o pacote de brechas deposita-se um derrame fonolítico porfirítico lateritizado que em direção às partes mais altas do afloramento perde suas características texturais. Ainda no afloramento PDC-11 todo o conjunto de rochas é cortado por diques de fonolitos alterados.

FOTO 37. PDC-11 - Camadas de brecha de fluxo piroclástico com intercalação de camada de tufos.

FOTO 38. PDC-11 - Detalhe da porção grossa da brecha. Notar a riqueza de fragmentos presentes.

FOTO 39. PDC-11 - Outro detalhe da matriz de brecha.

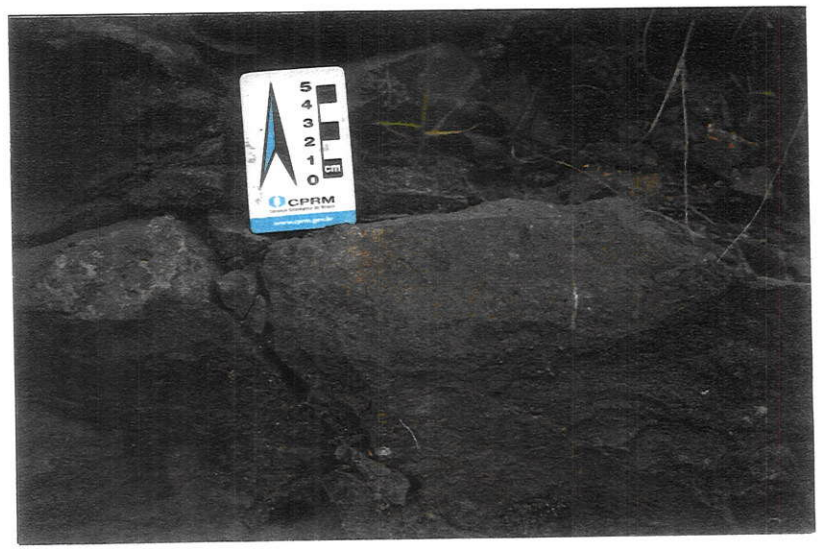


FOTO 40. PDC-11 - Fragmento de brecha extrusiva de conduto vulcânico dentro da brecha de fluxo piroclástico.

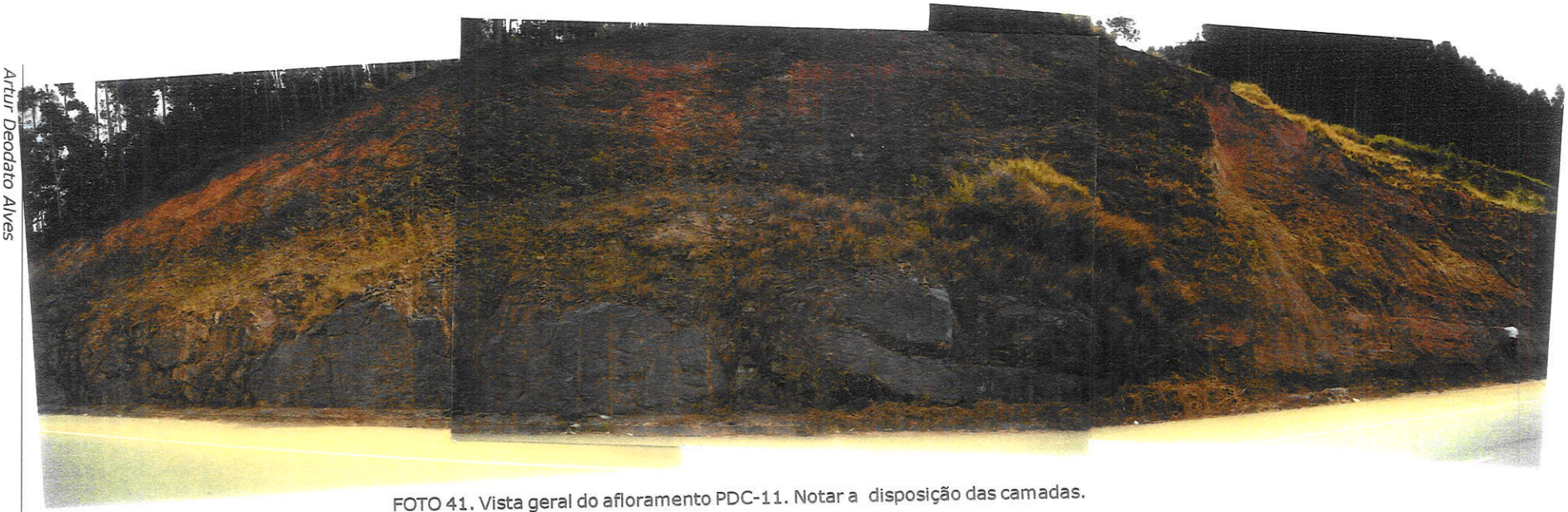


FOTO 41. Vista geral do afloramento PDC-11. Notar a disposição das camadas.

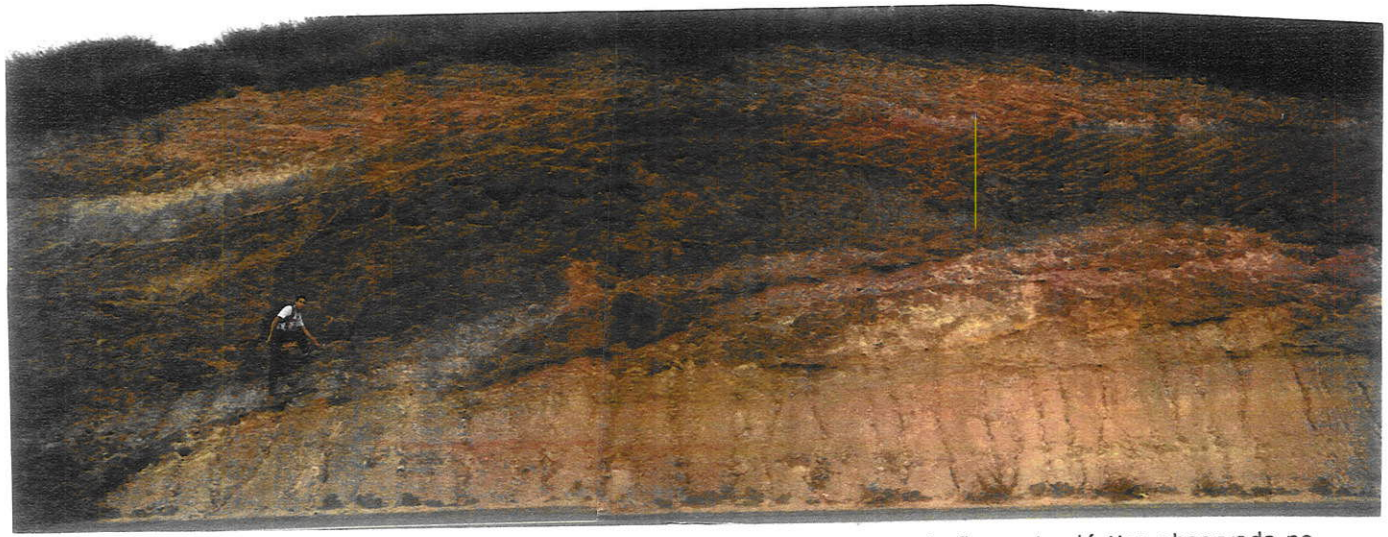


FOTO 42. PDC-12 - A mesma sequência de rochas vulcanoclásticas de fluxo piroclástico observada no ponto PDC-11 encontra-se disposta sobre camada de tufos e derrames fonolíticos neste alforamento.

No afloramento PDC-12, as rochas vulcanoclásticas dessa seqüência estão intercaladas entre derrames fonolíticos alterados, tendo sua extremidade forma de cunha abaulada.

5.3.5 Diques de fonolitos intrusivos nas brechas da borda N-NW-W

Após a formação das brechas de fluxo piroclástico novo vulcanismo fonolítico esteve atuante, como mostram os derrames de fonolitos que cobrem os depósitos piroclásticos do ponto PDC-11. Além disso, os diques de fonolitos que cortam as rochas vulcanoclásticas ao longo de toda borda N-NW-W, devem ter produzido derrames de fonolitos que extravasaram em superfície, encobrindo os depósitos de brechas e outras rochas que por ventura houvessem no local. No planalto ocorrem derrames de fonolitos que se encontram acima das altitudes topográficas médias do planalto (entre 1300 e 1400 metros), e que muito bem poderiam ser equivalentes ou contemporâneos aos derrames gerados por esses diques.

Alguns desses diques estão preservados e têm cor verde escura a preta e textura afanítica ou mais raramente variolítica (com pintas escuras). Dados estruturais tomados em diferentes localidades do Complexo mostram padrões conjugados de fraturas e descontinuidades com orientações NE-SW, NW-SE e N-S. Essas se repetem pelo interior do planalto, condicionando a drenagem e a colocação de corpos intrusivos plutônicos e subvulcânicos. Entre esses os diques que cortam as rochas vulcanoclásticas da borda N-NW-W parecem ter-se colocado aproveitando planos de fraquezas produzidos durante reativações estruturais de antigos lineamentos, hoje destacados no padrão de direções da rede de drenagem (Figura 8).

A maioria dos diques fonolíticos encontrados na borda W do Complexo têm a mesma direção principal N-S, apresentada pelo Ribeirão do Vale do Quartel. Ocorrem ainda diques com orientações NW-SE (igual à do Córrego da Platina), e NE-SW (afloramento PDC-16). Nos afloramentos estudados os diques têm espessuras submétricas e mergulham para E ou W segundo ângulos maiores que 70°.

Na borda NW o conjunto dos dados estruturais mostram duas famílias de direções principais bem definidas (NW-SW e NE-SW). Apesar disso diques fonolíticos encontrados ao longo da borda, estão orientados segundo apenas uma delas (NW-SE), que é igual ao padrão de direções dos rios da região. Nessa porção os diques mergulham preferencialmente para NE segundo ângulos maiores que 70° e têm espessuras submétricas.

Na região N do Complexo esse tipo de correlação não é tão evidente. Os planos de fraturas orientam-se segundo duas direçõs principais (N-S; E-W) e os diques têm orientação próxima da direção N-S.

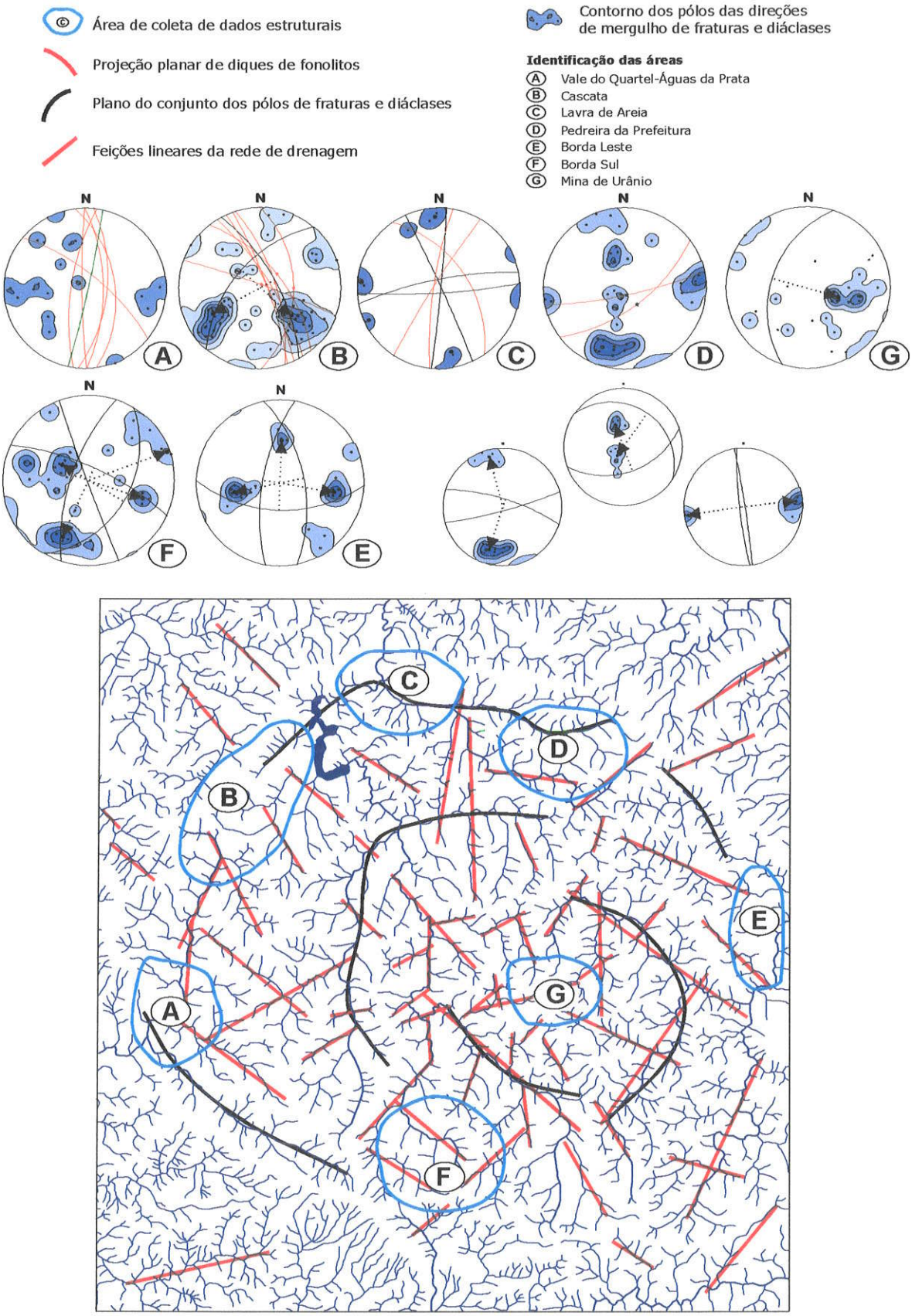


Figura 8. Análise estrutural da rede de drenagem (Garda, 1990), juntamente com dados estruturais tomados em diferentes localidades do Complexo.

5.3.6 Eudialita nefelina sienitos e eventos finais

Com o vulcanismo fonolítico, em parte alimentado por sistemas de diques intrusivos nas rochas pré-existentes (por exemplo as rochas vulcanoclásticas da borda N-NW-W), o magmatismo alcalino evoluiu de nefelino sienítico miaskítico para agpaítico.

Provavelmente, lavas fonolíticas diferenciadas (agpaíticas) foram geradas e alimentadas também, por diques como aqueles que cortam os nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura (afloramentos PDC-58, PDC-59 e PDC-60). Esses são porfiríticos de matriz fina a vítrea e cor verde clara, e colocados em condições de pequena profundidade. Na ocasião de sua formação, ou a encaixante (nefelina sienito) se encontrava a pequena profundidade ou estava exposta em superfície. Atualmente, a Pedreira da Prefeitura encontra-se a uma altitude de 1340 metros, portanto, no mesmo nível topográfico dos afloramentos das rochas vulcanoclásticas de fluxo piroclástico (1300m) e dos nefelina sienitos do afloramento PDC-9 (1260m) e da Pedreira Bortolan (~1300m).

Essas relações levam a crer que os mesmos processos responsáveis pelo soerguimento de partes profundas do edifício vulcânico com exposição de seqüências mais antigas, inclusive o embasamento precambriano e sua cobertura sedimentar (como parece ocorrer na porção N do Complexo, afloramento PDC-6), combinado com os processos responsáveis pela destruição de parte do registro geológico entre os fonolitos pré-colapso e os depósitos vulcanoclásticos de fluxo piroclásticos (discutidos no item 5.3.4), teriam sido responsáveis também, pelo soerguimento, exposição e erosão de partes do corpo de nefelina sienito tipo Pedreira da Prefeitura.

Dessa maneira seria possível a colocação dos diques em condições rasas e pordução de derrames de lavas fonolíticas agpaíticas nos estágios finais do magmatismo. Os nefelina sienitos agpaíticos, portanto, devem ser posteriores aos tipos miaskíticos. Argumentam a favor dessa idéia as seguintes observações:

- nos afloramentos de brechas não foram encontrados fragmentos de fonolitos porfiríticos como aqueles da Pedreira da Prefeitura e nem fragmentos de nefelina sienitos com eudialita (tipo lujaurito ou chibinito da Pedra Balão);
- fragmentos dessas mesmas rochas, também não foram encontrados nos afloramentos de nefelina sienitos visitados;
- na localidade da Pedra Balão (afloramento PDC-53) foram encontrados xenólitos de fonolitos do dique anelar capturados pelo magma durante sua colocação;

- na localidade do Morro do Serrote, as relações de contato mostram que os fácies de nefelina sienitos com eudialita são intrusivos nos fonolitos e em outros nefelina sienitos sem eudialita;
- Ulbrich, H. (1984) relata que os nefelina sienitos com eudialita (agpaíticos) são fácies posteriores aos fácies não agpaíticos e que esses derivam dos miaskíticos por diferenciação.

Após ou durante o magmatismo agpaítico, a história evolutiva do Complexo Alcalino de Poços de Caldas parece estar ligada à instalação das brechas da porção centro-SE, que deram origem à mineralização uranífera e, mais tarde, às intrusões provavelmente carbonatíticas tipo Morro do Ferro. Por último, colocaram-se os diques de biotita lamprófiros cortando todo o conjunto das rochas da Mina de Urânio.

Atualmente, o Complexo Alcalino de Poços de Caldas encontra-se arrasado por erosão diferencial. Mesmo as subestruturas vulcânicas formadas dentro e provavelmente fora do Complexo, foram destruídas. Apesar disso, ainda são reconhecidas feições circulares dentro do planalto, provavelmente correspontendes às estruturas vulcânicas subsidiárias menores formadas dentro do planalto.

A análise morfológica da topografia e da rede de drenagem do Complexo já foi destacada por Ellert, (1959) e mais tarde por, Ulbrich, H. (1984) e Garda (1990). Ela permite destacar dois domínios morfológicos distintos onde ocorrem delineações estruturais com formas circulares: enquanto em toda porção N-S-W do planalto predomina um relevo arrasado, com drenagens dendríticas a retilíneas; na porção E-SE esse é mais acidentado e com padrão de drenagem retilíneo a anelar centrífugo.

No segundo domínio, Paradella & Almeida (1976) reconheceram sub-estruturas circulares na região que abrange as áreas do Morro do Ferro e Mina Osamu Utsumi (centro-SE). Essas estão ressaltadas pelo padrão de drenagem local (anelar) como já destacado na Figura 8. Além dessas, esses autores fazem menção ainda, a outras sub-estruturas menores espalhadas pelo Complexo, nas regiões onde situam-se muitas das jazidas de Zr, U e Mo e também de extensas áreas com alteração hidrotermal.

Assim como em toda borda interna do Complexo com exceção da porção SE, o padrão anelar da drenagem exibido pelos rios da Prata, do Vale do Quartel, dos Poços, do Maranhão, e Verde, condicionam juntos uma feição correspondente à estruturação circular dos diques anelares, essas estruturas menores representam subestruturas vulcânicas menores, também destruídas ao longo da história geológica.

6. Petrografia

São apresentadas a seguir descrições petrográficas detalhadas das rochas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. Cada descrição segue uma ordem de importância, a começar pelos aspectos petrográficos macroscópicos gerais e em seguida, a microscopia, destacando os principais componentes minerais da rocha e, no caso das brechas e demais rochas vulcanoclásticas seus fragmentos e matriz. Devido ao estado avançado de alteração de algumas das rochas estudadas, não foi possível a confecção de seções delgadas, restringindo sua descrição petrográfica apenas ao nível macroscópico.

Em função da grande diversidade de litotipos encontrados, é apresentada uma série de fotos de seções fatiadas e polidas das rochas estudadas, complementada com fotomicrografias das feições texturais mais representativas das rochas do Complexo. Tenta-se dessa maneira, reunir o máximo de informações detalhadas, que somente podem ser transmitidas através de registros fotográficos.

Todo o trabalho de descrição microscópica apoiou-se nas seguintes bibliografias: Williams *et al.* (1982), Trögger (1979), Deer *et al.*(1992), Mackenzie *et al.*(1993), Smiths & Brown (1988), Wager & Brown (1968) e Dreher (1979).

6.1 Embasamento precambriano

6.1.1 Granitóides

Rochas do embasamento pré-cobertura sedimentar são representadas por fragmentos de granitóides quartzo-feldspáticos holo-leucocráticos de textura fanerítica média (~3mm) (foto 43), gnaisses quartzo-feldspáticos e biotita-anfibólio-quartzo-plagioclásio gnaisses. Os dois últimos infelizmente foram encontrados em estado avançado de alteração e não foram estudados em seção delgada.

Micropetrografia

Textura e Mineralogia	Textura: São rochas equigranulares faneríticas de granulação média e cor rosa. Sob o microscópio exibem textura granular hipidiomórfica a alotriomórfica, dominada por feldspatos alcalinos, quartzo intersticial e biotita alterada para clorita e opacos. Zircão aparece como fase acessória principal (fotos 44 e 45).
Quartzo	Ocorre como grãos anedrais intersticiais, intercrescidos em mosaicos juntamente, com feldspatos anedrais menores (foto 44).

Feldspato	Microclínio e ortoclásio são os mais comuns seguidos do plagioclásio. Apresentam geminações em grade, normal ou polissintética, e aspecto manchado por lamelas de alteração principalmente no ortoclásio. Ortoclásio e microclínio são anedrais (~2mm) e têm bordas irregulares parcialmente corroídas e serrillhadas, sericitizadas e demarcadas por crescimento tardio de carbonatos (foto 3). O plagioclásio é subedral e está saussuritizado. Albita, eventualmente está presente como fase mineral tardia, como minúsculos cristais euédricos geminados (~0,2mm), juntamente com zeólitas, nos interstícios da rocha e próximos das bordas dos grãos (foto 45).
Biotita e opacos	Biotita pleocróica é o principal máfico ocorrendo na forma de palhetas delgadas com bordas cloríticas e associações de opacos anédricos (foto 3).
Outros	Cristais subedrais de zircões zonados são a principal fase acessória reconhecida.

Os fragmentos estudados apresentam-se em graus variados de alteração. Na amostra M-3, a textura original foi modificada por reações metassomáticas com substituição de plagioclásio por feldspato alcalino, além da redução modal de quartzo da amostra seguido da cristalização de piroxênio sódico (foto 46). Nos casos mais extremos o quartzo desaparece e os feldspatos passam a exibir manchas centrais de plagioclásio e bordas ricas em misturas de carbonatos microcristalinos e sericitas. Característicos são os processos de infiltração nas bordas e fraturas dos grãos com formação de albita anédrica, piroxênio acicular egirínico e, às vezes, apatita granular, além de carbonatos microcristalinos e zeólitas.

Essas feições são características de reações metassomáticas de fenitização. Freitas (1956) e mais tarde Ellert (1959) descrevem que, conforme se aproxima da borda NW do Complexo, o longo da estrada entre São Roque da Fartura e Cascata, a rocha gnáissica do embasamento constituída por feldspato potássico róseo, quartzo e biotita, sofre modificações texturais e mineralógicas conforme o maior grau de alteração. Modificação da cor rosa para cinza esverdeada e concomitante aumento do tamanho dos cristais de feldspatos acompanhados da redução do quartzo livre e formação de anfibólio sódico, são as feições mais características.

6.2 Coberturas Fanerozóicas Pré-Poços de Caldas

6.2.1 Rochas sedimentares

As rochas sedimentares do Complexo são em sua maioria arenitos finos (~0,5mm), com quantidades menores de siltitos róseos finamente laminados. Em virtude de sua maior resistência à alteração intempérica, apenas os arenitos foram detalhados.

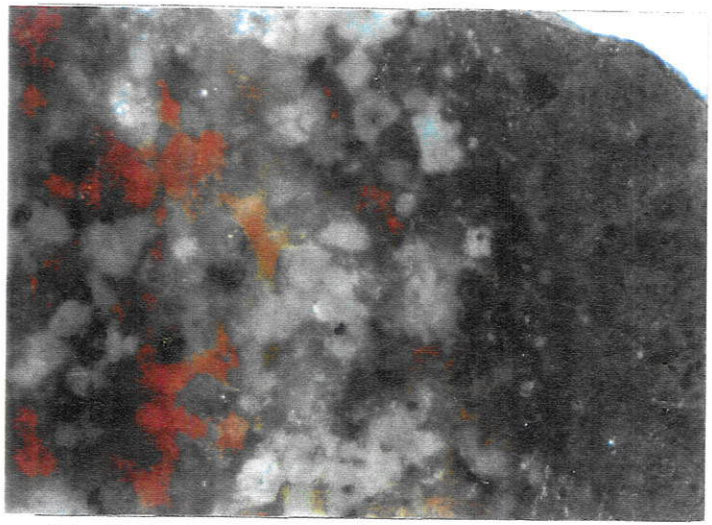


Foto 43. Fragmento de granitóide constituído por feldspato, quartzo intersticial e piroxênio egirínico. As porções avermelhadas são devidas a alterações por óxido e hidróxido de ferro. Notar feições de infiltração nas bordas do fragmento, no contato com a brecha. (Lado maior: 3cm). PDC 6

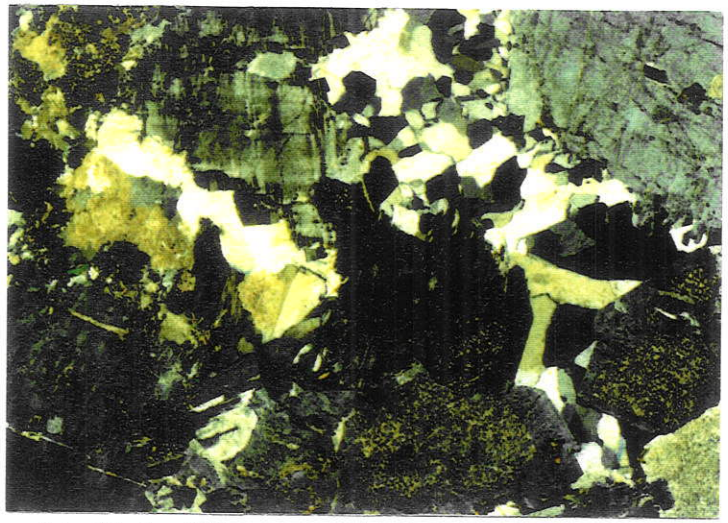


Foto 44. Granitóide quartzo feldspático com textura granular hipidiomórfica. Notar feldspatos alcalinos sericitizados, o quartzo intersticial e as manchas amareladas de alteração carbonática. (Lado maior: 6mm). PDC 11

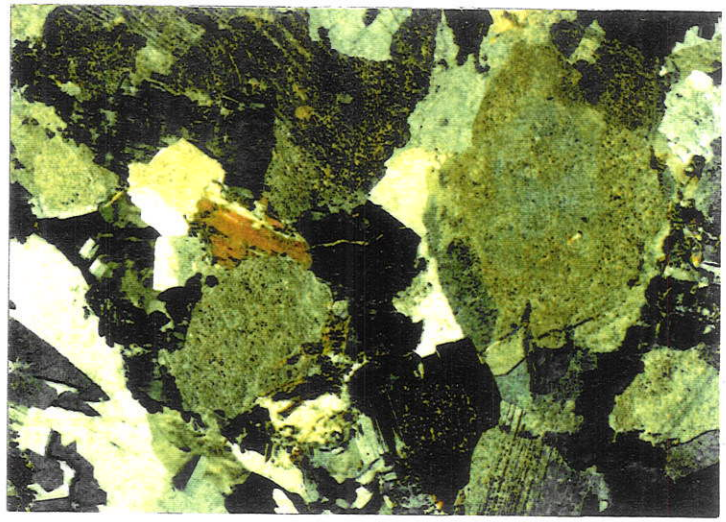


Foto 45. Granitóide quartzo feldspático. Notar feldspato com núcleo de plagioclásio e borda com carbonato de reação de substituição, e biotita com alteração parcial para clorita. Minerais de baixa birrefringência são zeólitas e albitas xadrez, concentradas nas bordas e interstícios de grãos. (Lado maior: 6mm). PDC 11

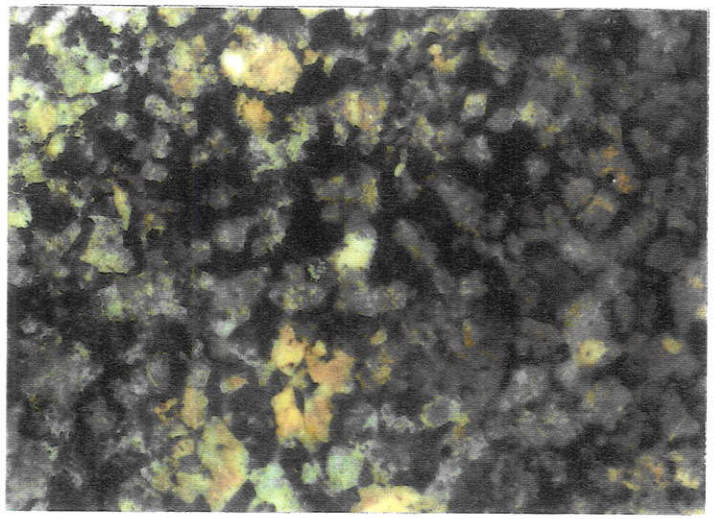


Foto 46. Granitóide fenitizado. Manchas escuras intersticiais aos feldspatos róseos são agregados de egirina metassomática que substitui o quartzo original. Notar que alguns grãos de feldspato apresentam núcleo esbranquiçado de plagioclásio e bordas de feldspato alcalino. (Lado maior: 3cm). PDC 11

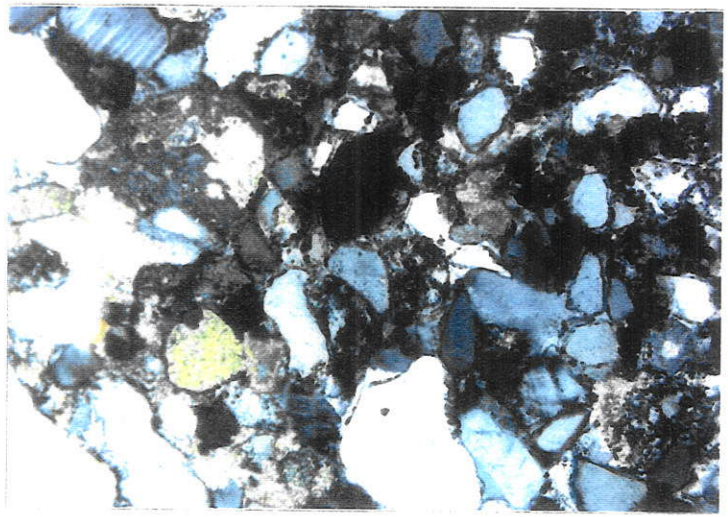


Foto 47. Quartzo arenito. Notar borda de recristalização por silicificação nos grãos de quartzo. Os espaços intersticiais estão ocupados por carbonatos e minerais cloríticos. (Lado maior: 4mm). PDC 3

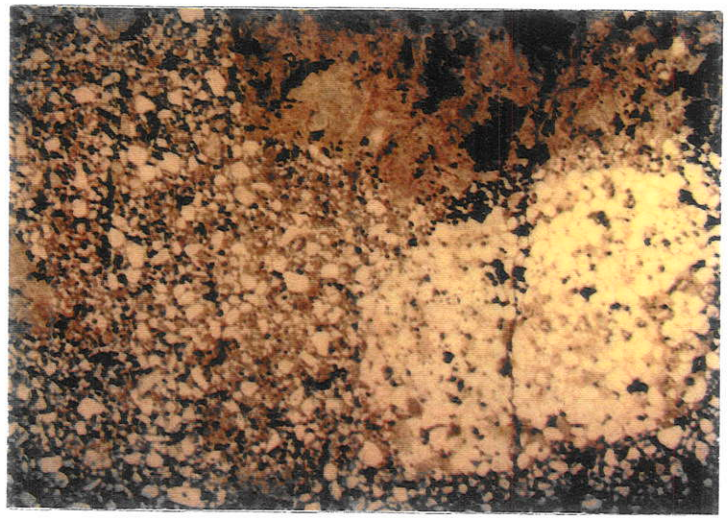


Foto 48 - Nicóis descruzados. Fragmento de arenito em brecha. Notar a diferença do empacotamento dos grãos no fragmento, na matriz da brecha. Abaixo do arenito, observa-se também um fragmento de diabásio. (Lado maior: 2cm). PDC 3

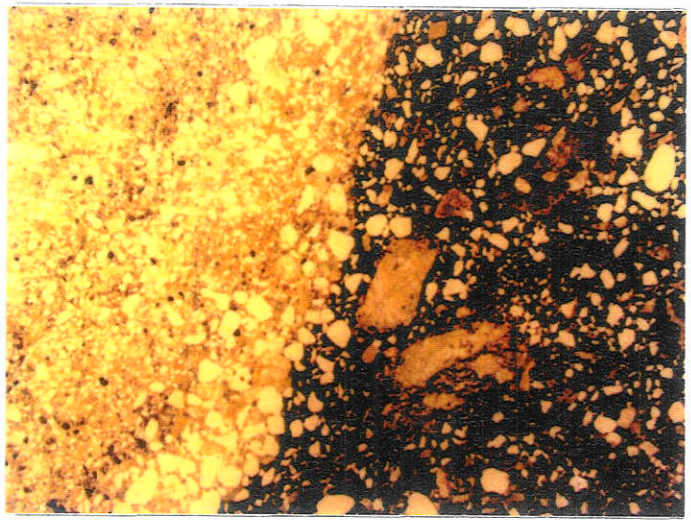


Foto 49 - Nicóis descruzados. Fragmento de arenito estratificado em brecha. Notar a concentração de opacos ao longo dos planos de deposição e também o contraste de opacos na matriz da brecha e no fragmento. (Lado maior: 1,5cm). PDC 3

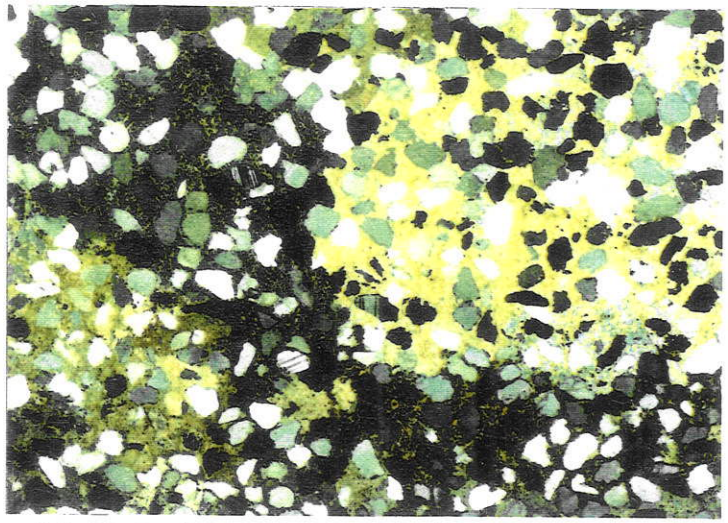


Foto 50. Arenito com cimento carbonático. Grãos de quartzo, plagioclásio e microclínio suspensos em matiz carbonática granular poiquilítica. Notar o tamanho dos grãos de carbonato (~5mm) em comparação aos demais componentes (~0,3mm).(Lado maior: 7,5mm). PDC 6

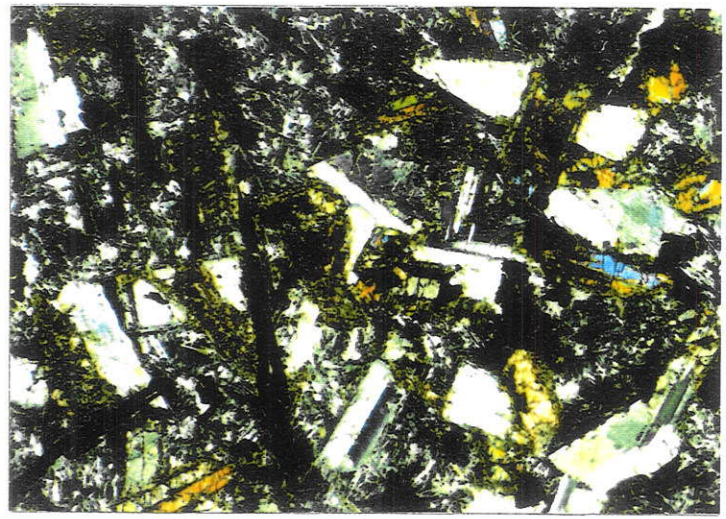


Foto 51. Diabásio. Ripas de plagioclásio (cinza claro), piroxênio augítico (amarelo esverdeado) e prismas alongados de ilmenita (opaco). (Lado maior: 5mm). PDC 2

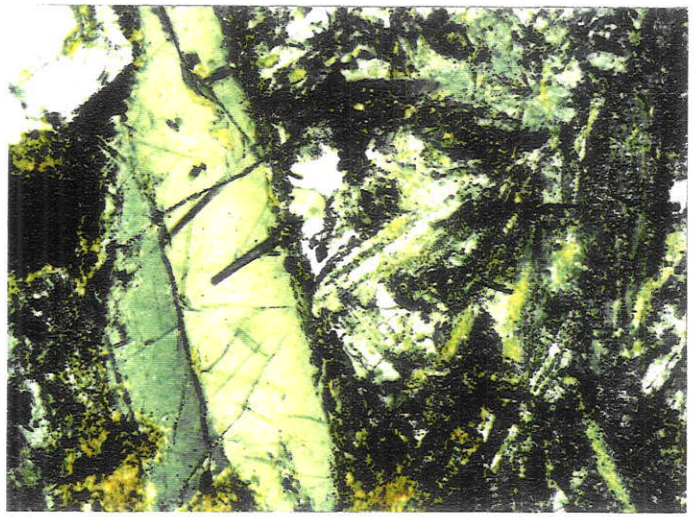


Foto 52. Diabásio. Detalhe das inclusões de apatita no plagioclásio. (Lado maior: 4,5mm). PDC 2

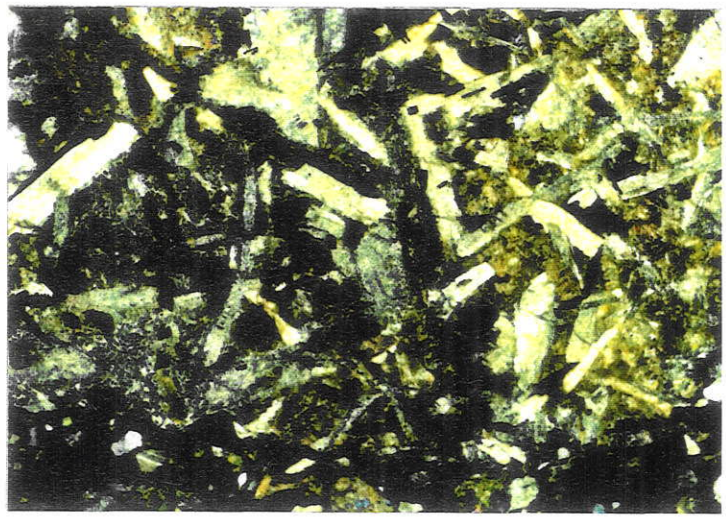


Foto 53. Diabásio. Plagioclásios sujos alterados para carbonatos, e piroxênios amarelados alterados para cloritas e clofeítas. Os espaços intersticiais de baixa birrefringência estão ocupados por zeólitas e carbonatos finos. (Lado maior: 2,5cm). PDC 2

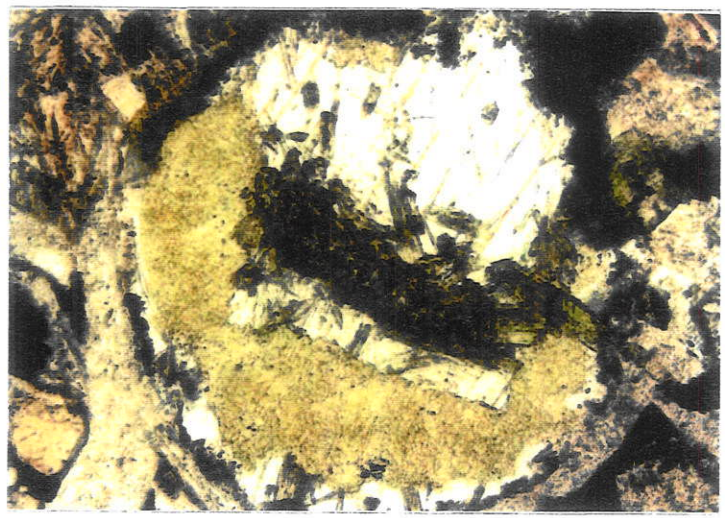


Foto 54. Diabásio. Detalhe de amígdala preenchida por carbonatos, cloritas e egirinas. (Lado maior: 5mm). PDC 2

Os arenitos do Complexo podem ser rochas friáveis e pouco resistentes, ou duras e silicificadas. São bem selecionados, e compostos essencialmente por grãos de quartzo arredondados e quantidades menores de microclínio, plagioclásio, opacos e zircão. Pequena quantidade de material argiloso a carbonoso pode estar presente na matriz juntamente com algum carbonato, além de manchas de óxidos de ferro.

Fragmentos de arenitos encontrados nas brechas de conduto vulcânico, apresentam grãos bem empacotados e com fina borda de recristalização por silicificação (fotos 47 e 45). Microclínio e ortoclásio ocorrem manchados e sericitizados enquanto o plagioclásio está saussuritizado ou parcialmente convertido em carbonato. Os poucos espaços intergranulares existentes são ocupados por massas avermelhadas (hematita e outros opacos), carbonatos e minerais cloríticos microcristalinos de baixa birrefrigência, e também restos de biotitas cloritizadas.

Em outros fragmentos de brecha de conduto vulcânico (foto 50) os grãos estão suspensos em matriz constituída por carbonatos xenomórficos (~5mm) poiquilíticos. Nesses fragmentos predominam quartzo e quantidades menores de microlínio, ortoclásio, e opacos. Quando observadas ao microscópio, as faixas concêntricas de cor cinza, visíveis nas amostras de mão, mostram-se ricas em cristais de wollastonitas dispostos ao redor dos grãos de quartzo.

6.2.2 Diabásios

Ocorrem como intercalações nos arenitos ou como fragmentos nas rochas vulcanoclásticas. São rochas mesocráticas de textura fanerítica fina (~5mm), e estrutura maciça, constituídas principalmente por plagioclásio labradorítico, piroxênio augítico e opacos.

Micropetrografia

Textura	Textura: ao microscópio apresentam textura intersetal com ripas alongadas de plagioclásio (até 3mm) intercrescido com prismas de piroxênio augítico subédricos a euédricos (~1mm). Destacam-se ainda opacos como prismas compridos de até (3mm) de ilmenita de bordas corroídas (foto 51).
Mineralogia	
Plagioclásio	O plagioclásio da trama principal ocorre como ripas alongadas (até 5mm) e com geminação polissintética pouco desenvolvida. Alguns grãos podem exibir zoneamento normal, e inclusões de finas agulhas de apatitas (foto 52).
Piroxênio	Piroxênio augítico pode ocorrer como indivíduos geminados ou zonados. Apresentam-se fraturados ou mal formados, e alterados parcial ou totalmente em massas cloríticas esverdeadas, impregnadas de opacos a partir das bordas dos grãos.
Espaços intersticiais	Massas vítreas a microcristalinas de baixa birrefrigência ocupam os interstícios restantes da trama principal, juntamente com micrólitos de plagioclásio e piroxênio (<1mm) e opacos. Localmente estão alteradas a zeólitas e clorofeítas, ou argilominerais e carbonatos.

Outros	Opacos estão finamente disseminados na matriz como grãos subédricos ou como grandes prismas subédricos de ilmenita de bordas corroídas. Apatita ocorre como finas agulhas inclusas nos plagioclásios (foto 52).

Nas rochas muito alteradas, a porção máfica da rocha altera-se clorofeíta pardacenta a translúcida, e os plagioclásios ficam turvos e impregnados com carbonatos e zeólitas finos (foto 53). Raras amígdalas podem estar presentes, e preenchidas por cloritas e carbonatos além de alguma zeólita e mais raramente, com piroxênio egirínico (foto 54).

6.3 Ankaratritos

6.3.1 Brechas e aglomerados vulcânicos

São rochas vulcânicas máficas porfiríticas, amigdaloidais, com fenocristais fraturados de piroxênios e olivinas de até 1,5cm pseudomorfisadas, em matriz afanítica a microfanerítica fina (foto 55). Ocorrem como fragmentos angulosos cimentados por massas carbonato-silicáticas em brechas, como fragmentos angulosos a subarredondados em brechas e aglomerados vulcânicos de matriz lítico-cominuída, também ankaratrítica, ou ainda, como raros diques intrusivos nas brechas e aglomerados ankaratríticos. Em sua maioria apresentam cores em tons de cinza escuro, ou cores castanho-avermelhadas quando alteradas. Fragmentos de ankatratritos também ocorrem nas brechas extrusivas de conduto vulcânico (*e.g.* afloramento PDC-6), e nas brechas de fluxo piroclástico (*e.g.* afloramento PDC-11, fotos 50 e 51).

Nas brechas, os fragmentos são angulosos e apresentam dimensões de poucos centímetros até 0,3m. Estão pouco afastados ou em contato uns com os outros, e cimentados por massa carbonática pervasiva por entre os fragmentos, cheia de lascas e fragmentos menores de ankaratritos (foto 56 e 57). Nos aglomerados vulcânicos predominam fragmentos angulosos a subarredondados de até 0,5m, imersos em matriz vulcânica grossa, ankaratrítico-cominuída (<1mm), composta por clastos de lava ankaratrítica (~1cm), ankaratritos afaníticos a vítreos não vesiculados (~3,0cm), além de fragmentados de piroxênios, de pseudomorfos de olivinas (até 0,4cm) e opacos. Ocorre ainda material branco carbonático cimentante ocupando os interstícios da matriz, ou como vênulas que cortam tanto a matriz quanto os fragmentos do aglomerado.

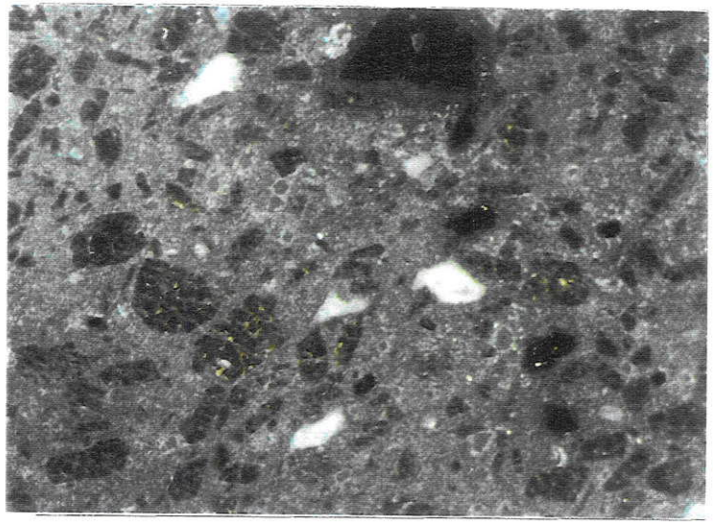


Foto 55. Ankaratrito. Rocha vulcância máfica porfirítica amigdaloidal com fenocristais fraturados de piroxênios e olivinas alteradasde até 1,5cm, em matriz afanítica a microfanerítica fina. (Lado maior: 8cm). PDC 14

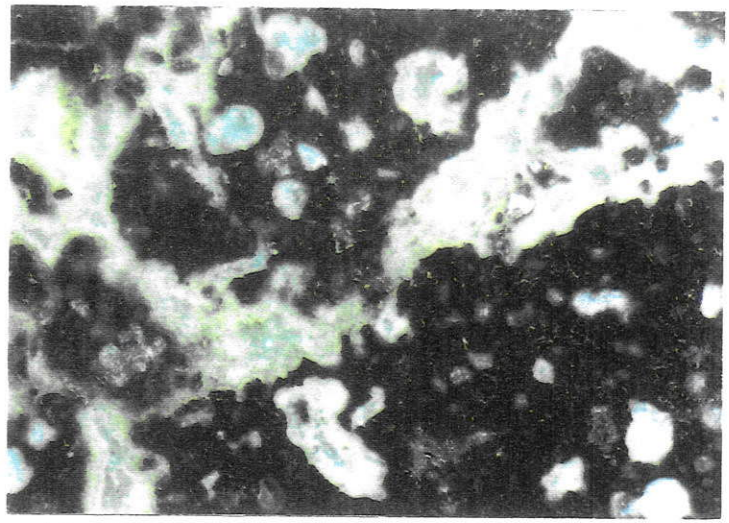


Foto 56. Brecha ankaratrítica. Detalhe do processo de auto-fragmentação da rocha, por liberação de fluido carbonático a partir da coalescência das vesículas. (Lado maior: 2cm). PDC 4

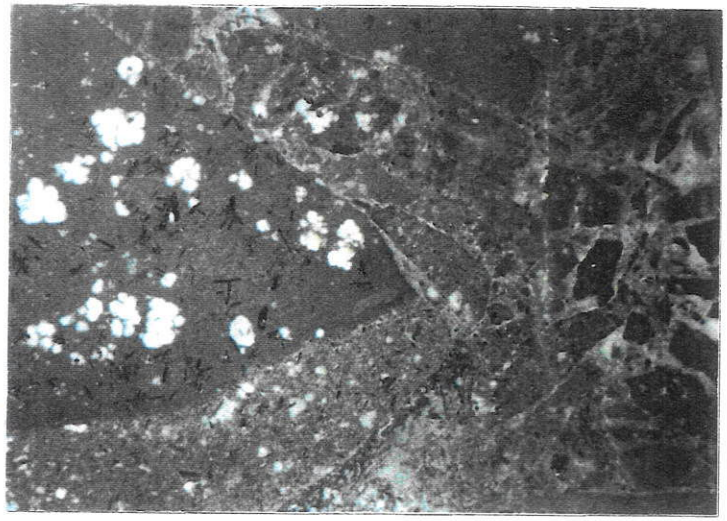


Foto 57. Brecha ankaratrítica composta por fragmentos vesiculados, cimentados por massa carbonática rica em fragmentos menores de rocha (Lado maior: 4cm). PDC 5

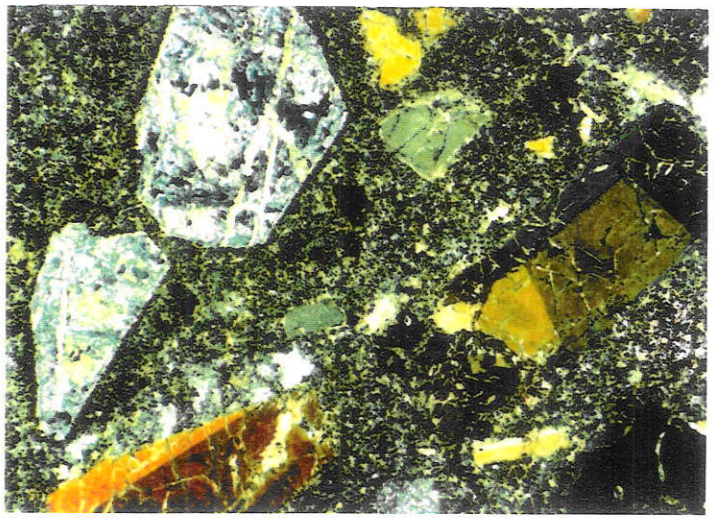


Foto 58. Ankaratrito. Detalhe dos piroxênios zonados e pseudomorfos de olivina em matriz fina, cheia de opacos em massa intersticial de baixa birrefringência. (Lado maior: 2,5 cm).

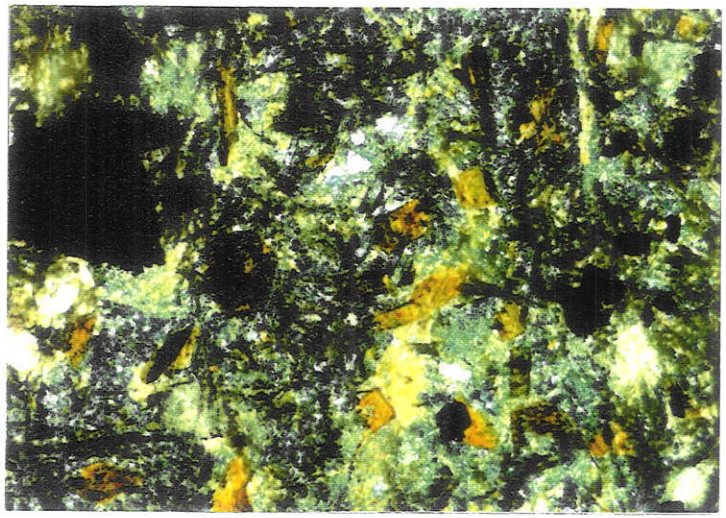


Foto 59. Ankaratrito. Microfenocristais de biotita em matriz alterada para clorofeítas e zeólitas. Notar tamanhos e formas dos opacos. (Lado maior: 2mm). PDC 14

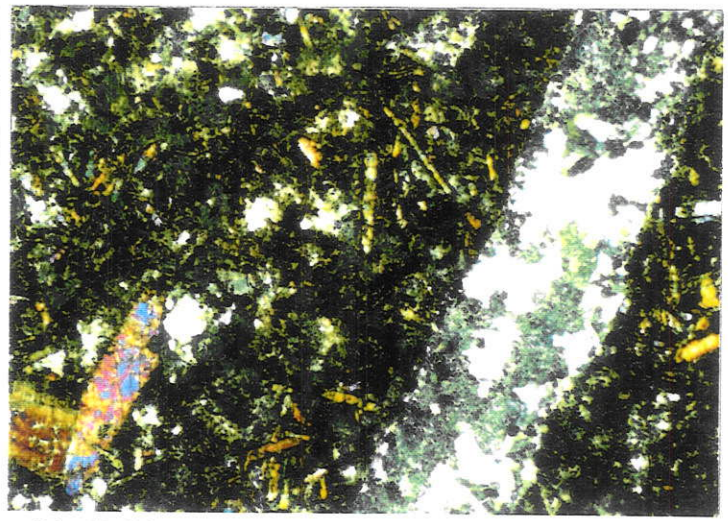


Foto 60. Ankaratrito. Detalhe da matriz. Com piroxênio zonado e geminado, e veio preenchido por carbonatos e zeólitas finos. (Lado maior: 0,5mm). PDC 4

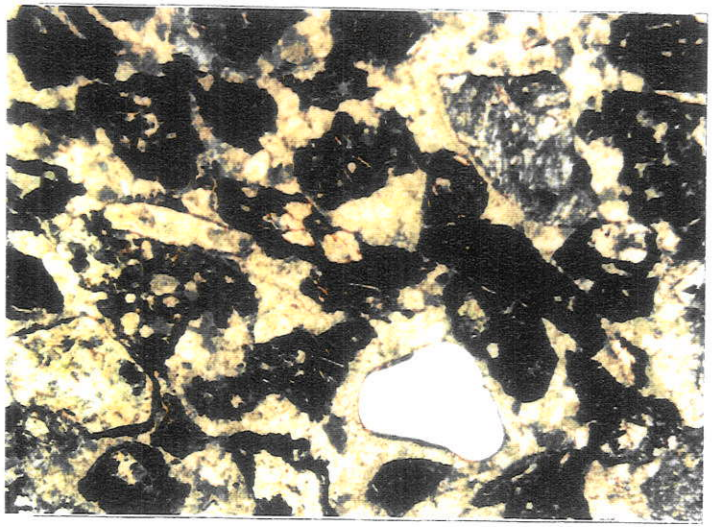


Foto 61 - Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe dos grãos de quartzo arredondado, pseudomorfo de serpentina+clorita, e de diabásio alterado, destacados em relação aos *"shards"* vulcânicos. (Lado maior: 9mm). PDC 3

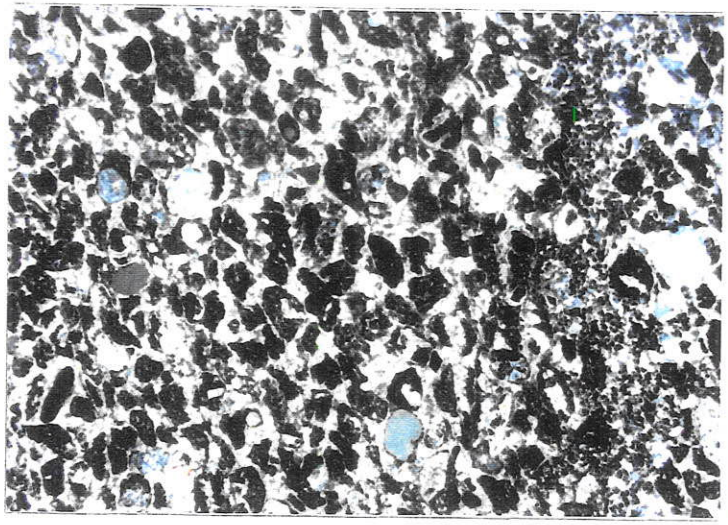


Foto 62. Tufo vulcânico acamadado. Fragmentos e lascas de cinzas vulcânicas (opacas) e grãos de quartzo bem arredondados em matriz fina microcristalina carbonática a zeolítica. (Lado maior: 4cm). PDC 98

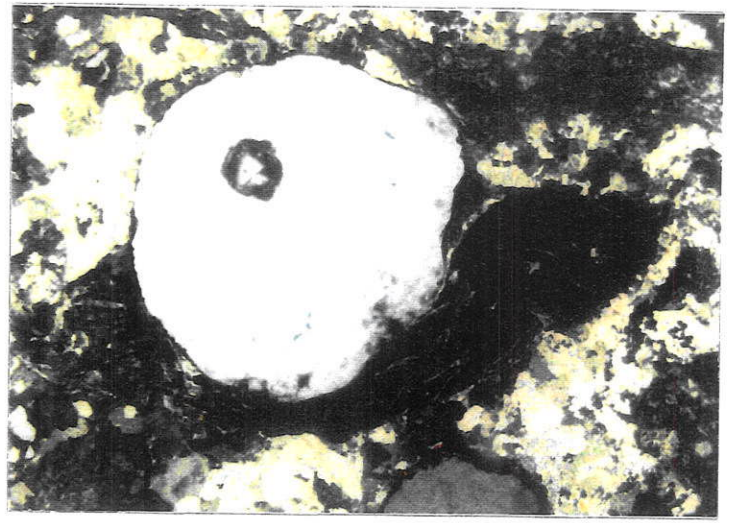


Foto 63 - Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe de *"shard"* vulcânico deformado pelo grão de quartzo. Notar ainda (abaixo), outro grão de quartzo envolto por película de minerais opacos a translúcidos (provavelmente hematita). (Lado maior: 4mm). PDC 98

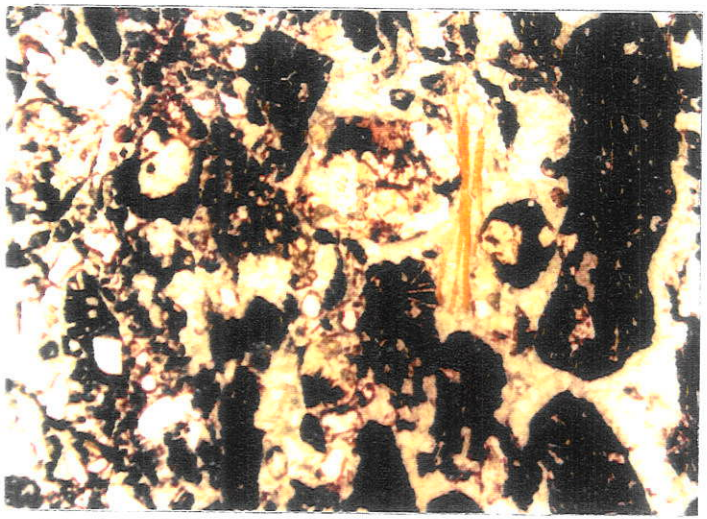


Foto 64 - Nicóis descruzados. Tufo vulcânico. Detalhe dos fragmentos opacos com vesículas e cristais alterados. Notar placa de biotita entre os grãos. (Lado maior: 1,5cm). PDC 98

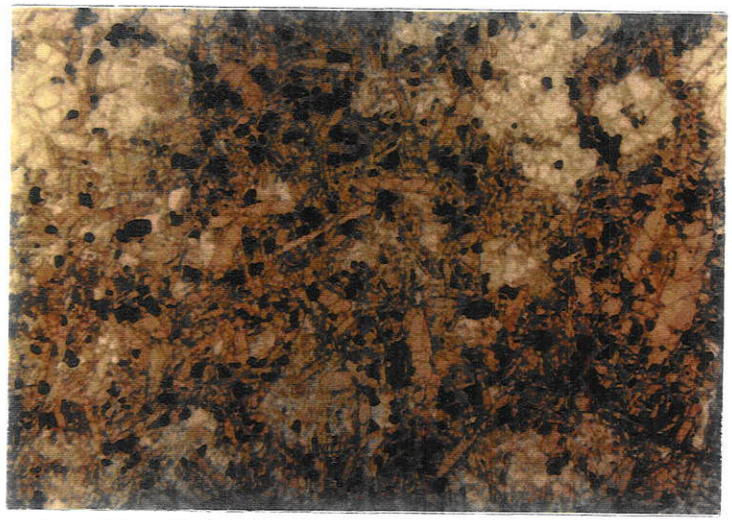


Foto 65 - Nicóis descruzados. Dique máfico. Fenocristais prismáticos de diopsídio em matriz vítrea (branca) com opacos anídricos. Nicóis descruzados (Lado maior: 3cm). PDC 16

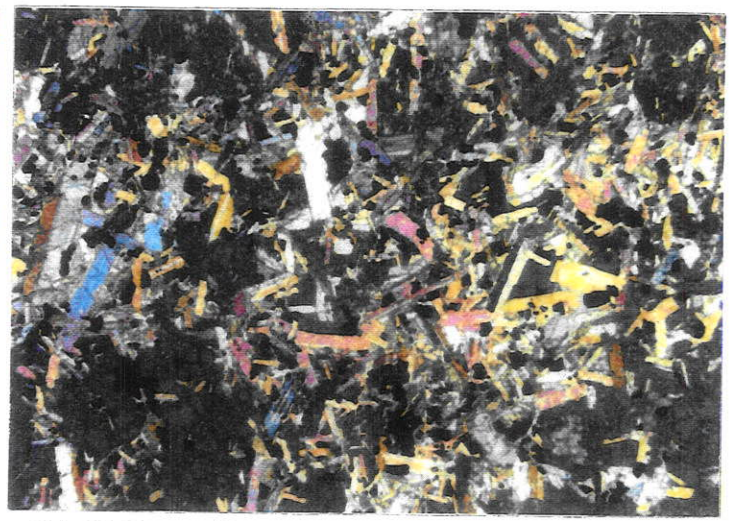


Foto 66. Dique máfico. A massa cinza é uma matriz vítrea. (Lado maior: 3cm). PDC 5

Micropetrografia

Textura e Mineralogia	Textura: exibem textura microporfirítica de matriz fina-microcristalina a vítrea de baixa birrefrigência, normalmente alterada em carbonatos, zeólitas e clorofeítas. Piroxênios e pseudomorfos de olivina são os principais fenocristais juntamente com opacos menores disseminados pela matriz (foto 58).
Plagioclásio	Presente na matriz como cristalitos ou micrólitos alongados, constituintes da massa fundamental félsica de baixa birrefrigência, não alterada, juntamente com feldspatóides.
Diopsídio-hedenbergita augita; cristais zonados: núcleo diopsídio-augítico e borda titano-augítica	Três gerações de piroxênios: fenocristais zonados (~1,5mm) com inclusões de pseudomorfos de olivinas (serpentina+talco+clorita), opacos e félsicos subédricos; fenocristais euédricos não zonados (~0,5mm); fenocristais (<0,1mm) subédricos prismáticos a aciculares integrantes disseminados na massa fundamental da matriz (foto 58).
Olivina	Fenocristais subarredondados (~4mm) pseudomorfisados em misturas de serpentina, talco e clorita. Ocorrem também como inclusões nos piroxênios (foto 58).
Opacos (magnetita, sulfetos, outros)	Três gerações de opacos: cristais cúbicos e octaédricos (~0,5mm) ou cristais granulares (<0,1mm), ambos dispersos na matriz; cristais intermediários subédricos inclusos nos fenocristais de piroxênio (foto 59).
Outros	Palhetas de biotita vermelha pleocróicas a opacitizadas, ou zonadas (<0,1mm) ocorrem associadas aos opacos da matriz. Os cristais podem exibir núcleo flogopítico e borda titanífera.
Matriz	Amigdaloidal fina (<0,1mm) ou criptocristalina a vítrea, com aspecto sujo e manchado por óxidos de ferro avermelhados. Nas porções criptocristalinas ocorrem opacos euédricos e cristalitos de plagioclásios em parte alterados a carbonatos com alterações locais para associações de clorofeíta+zeólitas, e carbonatos ou argilominerais+clinozoisitas. Nas partes vítreo-basálticas concentram-se amígdalas e cristalitos félsicos+opacos, além de clorofeítas de alteração e eventuais estruturas perlíticas de resfriamento rápido.
Amígdalas	São preenchidas por carbonatos cristalizados em mosaicos e zeólitas finas em proporções e ordem variadas. Algumas zeólitas contêm inclusões de leucoxênio-titanita além de variedades de óxidos de Ti secundários de baixa temperatura (anatásio ou brookita). Caulinitas hidrotermais em manchas e pigmentos são os produtos de alteração encontrados em algumas das zeólitas.

6.3.2 Tufos vulcanoclásticos

Rochas com finos estratos marrom-avermelhados, constituídas por grânulos diversos submilimétricos, equidimensionais a lenticulares, em massa carbonática intersticial branca. Apresenta estratos plano-paralelos centimétricos (~2cm) bem definidos e ressaltados pela fração mais fina da rocha.

Sob o microscópio exibe granulometria fina (~2mm) na qual observam-se lascas e fragmentos escoriáceos vítreos e porfiríticos, fragmentos subarredondados de diabásio, e grãos detríticos de quartzo arredondado, microclíno e plagioclásio. Plagioclásio subédrico proveniente de diabásios, e placas de biotita vermelho-pleocróica deformadas e opacitizadas também estão presentes. Ocorrem ainda raros

grãos euédricos a subédricos supostamente de olivinas alteradas para misturas de serpentina, talco e clorita (foto 61). A matriz intergranular (~0,3mm) contém carbonato microgranular e zeólitas, ocorrendo também, manchas esverdeadas de baixa birrefrigência esparsas e associadas a opacos e cloritas.

Os fragmentos estão suspensos pela matriz e exibem certo imbricamento cruzado com relação aos estratos plano-paralelos (foto 62). Os grãos estão em sua maioria circundados por pigmentos granulares finos de hematitas vermelhas e translúcidas. Chamam a atenção os fragmentos escoriáceos e porfiríticos, supostamente de lavas, com formas deformadas e estiradas. Estes exibem inclusões de pseudomorfos prismáticos de carbonatos e clorita, além de amígdalas preenchidas por carbonatos (fotos 63 e 64).

6.3.3 Dique máfico ankaratrítico

Rocha de textura fina porfirítica, mosqueada com pintas irregulares submilimétricas. Ocorre na forma de dique, cortando as brechas ankaratríticas no ponto PDC-16.

Textura e Mineralogia	Textura:Sob o microscópio apresenta textura intersetal a glomeroporfirítica com fenocristais de piroxênios juntamente com opacos, imersos em matriz vítrea (foto 65).
Piroxênio	Os piroxênios são euédricos, geminados ou zonados, e em sua maioria exibem bordas de corrosão. Em geral, são incolores e pouco pleocróicos, com birrefrigência anômala característica de augitas e titano-augitas (foto 66).
Matriz	A matriz é vítrea, incolor e translúcida; próximo dos agregados minerais apresenta cor verde e está alterada para clorofeítas e zeólitas.
Outros	Carbonato, analcima são outras fases minerais presentes na rocha como pequenos e raros cristais. Opacos euédricos a subédricos ocorrem junto aos piroxênios.

6.4 Rochas fonolíticas

6.4.1 Rochas fonolíticas regionais

São rochas leucocráticas de granulação fina, afanítica a porfirítica, de cores verde a cinza escuro, ou mesmo preta. Fenocristais quando presentes, podem ser de sanidina, nefelina, entre os mais comuns. Na matriz ocorrem ainda fenocristais euédricos de piroxênio, máculas esbranquiçadas e micrólitos de cristalização incipiente de félsicos e, em alguns casos, amígdalas preenchidas por carbonatos e zeólitas. Pintas destacadas na rocha, formando texturas variolíticas, estão presentes em alguns tipos de fonolitos (foto 67). São descritos a seguir os fonolitos regionais, seus tufos e lapili tufos correspondentes, os fonolitos dos diques anelares e um dique intrusivo nas brechas ankaratríticas do ponto PDC-4.

Micropetrografia

Fonolitos regionais	São rochas leucocráticas de cor verde a cinza-escuro, e textura afanítica. Sob microscópio, predomina quase sempre uma matriz félsica microcristalina a vítrea de baixa birrefrigência (<0,01mm), parcialmente alterada em zeólitas. Às vezes são reconhecidos fenocristais de sanidina, piroxênios egirínicos e micrólitos verdes disseminados na matriz (provavelmente egirinas). Veios e amígdalas preenchidas por carbonatos e zeólitas podem estar presentes.
Tufos e lapilli tufos soldados	Rochas com estrutura brechóide irregularmente estratificada, de cor verde. Associam-se a lavas fonolíticas em quase todo o planalto de Poços de Caldas. As rochas expostas na porção W-SW do Complexo (*e.g.* afloramento PDC-42) mostram-se em estado mais bem preservado. São formados por fragmentos angulosos de tufos laminados e lavas (até 10cm), lascas de cristais de sanidinas (~2mm), cristais de piroxênios e de pseudo-leucitas. Estão todos imersos em matriz tufítica ou lapilli tufítica a brechada, com amígdalas alongadas preenchidas por zeólitas e deformadas pelos fragmentos maiores da rocha (foto 69). Nos locais onde estão presentes essas amígdalas a rocha tem cor verde mais clara e pálida. Sob o microscópio a rocha tem aspecto homogêneo e os fragmentos diferenciam-se apenas por apresentarem granulometria mais grossa que a da matriz tufítica (foto 70). Ainda assim, pode-se reconhecer micrólitos e egirinas anédricas, opacos euédricos (~0,5mm), sanidinas subédricas (3mm), e raras pseudo-leucitas alteradas (3mm), dispersos em massa félsica fonolítica microcristalina (<0,01mm). As amígdalas ocorrem como bolsões alongados, lenticulares, redobrados ou achatados, preenchidos por zeólitas, albita e finas egiriras. Como feição tardia ocorrem ainda, veios milimétricos preenchidos por zeólitas. Apesar de não haver orientação por fluxo ou deposição observáveis em seção delgada, a maior concentração de egirinas ao longo dos níveis tufosos, define a alternância entre as lâminas de deposição observadas na estrutura macroscópica da rocha.
Fonolitos dos Diques Anelares	São rochas leucocráticas afaníticas de cor cinza a quase preta, com raros autólitos félsicos subcentimétricos em posição vertical. Seções delgadas da parte interna do dique, sob o microscópio, exibem textura caracterizada por uma matriz de fundo granular xenomórfica (até 1mm), constituída por grãos intercrescidos de sanidina e possívelmente nefelina (foto 71). Essa matriz está localmente alterada em zeólitas ou carbonatos, e exibe microfenocristais de sanidinas, e egirinas em prismas curtos e agulhas (~1mm). As sanidinas podem ser de dois tipos: fenocristais de até 3mm com inclusões de félsicos e piroxênios menores ou fenocristais menores (~1mm), zonados e com lamelas de exosolução. Ocorrem também egirinas subédricas (~2mm), um mineral prismático (~2mm) de relevo alto e pleocroísmo amarelo pálido a incolor de alta birrefrigência (haynita), e um outro, destacado por apresentar cor verde pouco pleocróica e birrefrigência baixa em tons marrons ou verde-escuro, e textura esponjosa com inclusões de félsicos euédricos (foto 71). Cristais menores de egirina (0,5mm), titanita e opacos completam a lista dos minerais da rocha.

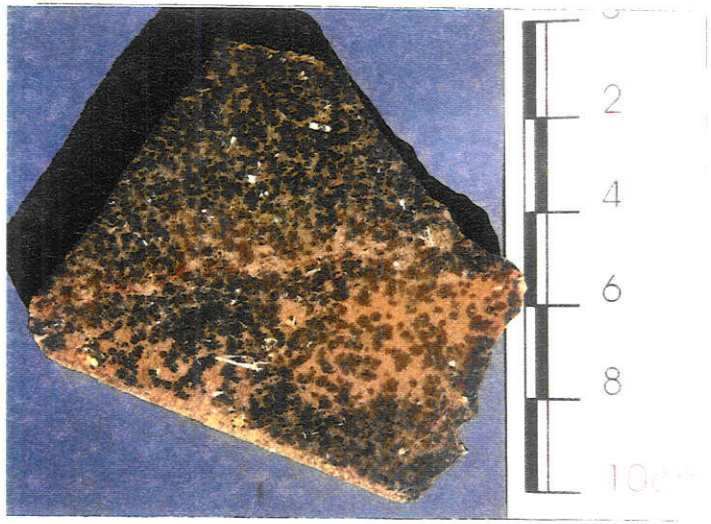


Foto 67. Fonolito variolítico com fenocristais de feldspato em matriz fina variolítica. PDC 5

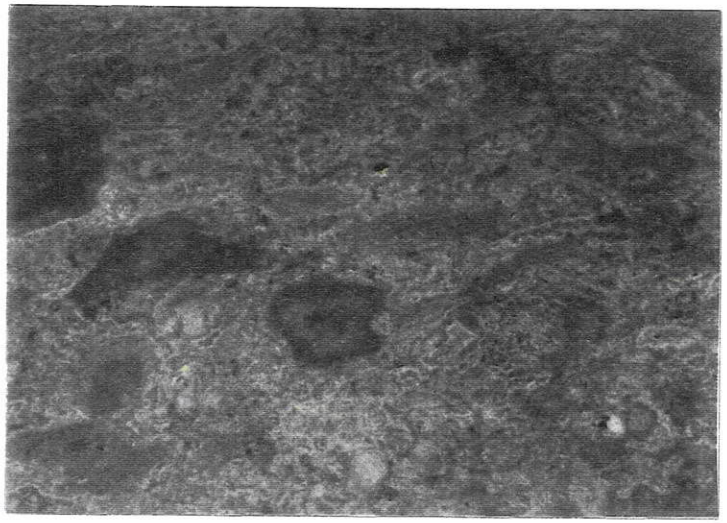


Foto 68. Tufo / lápilli-tufo fonolítico soldado. Detalhe da matriz constituída por material tufáceo amorfo (verde), às vezes exibindo borda escura. Alguns raros fragmentos de minerias e de fonolito afanítico, também estão presentes. (Lado maior: 5cm). PDC 42

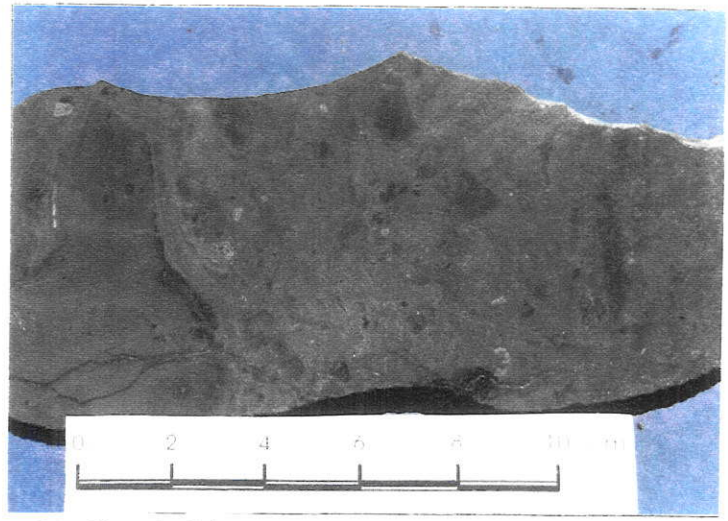


Foto 69. Tufo / lápilli-tufo fonolítico soldado, com estratificação pouco evidente por causa da deformação. Estratificação original em posição vertical da foto. Notar a presença de pequenas bombas fonolíticas. PDC 42

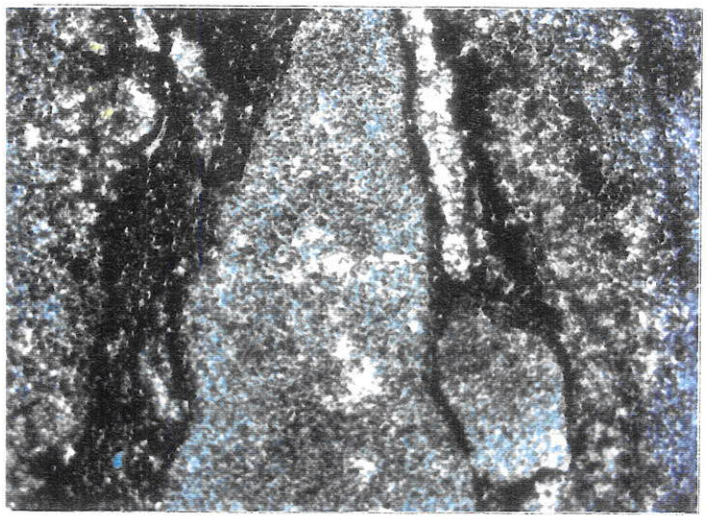


Foto 70. Tufo fonolítico soldado. Detalhe dos fragmentos finos em massa também fina, fonolítica. (Lado maior: 2cm). PDC 42

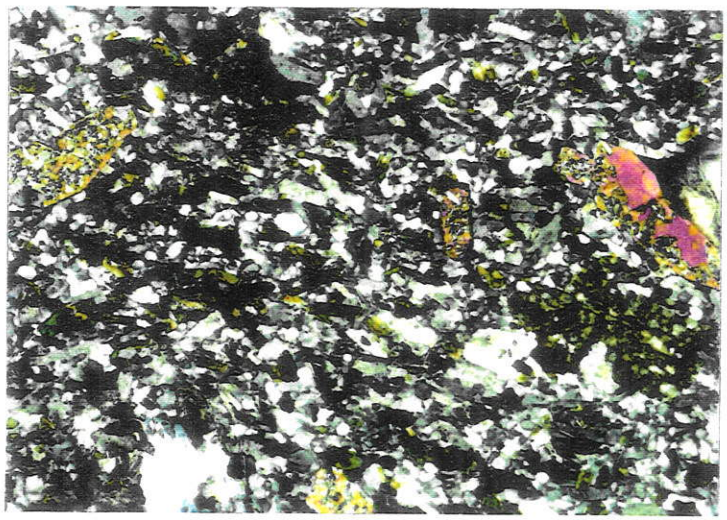


Foto 71. Fonolito do dique anelar. Detalhe da textura e mineralogia. Cristais de haynita e outro com textura esponjosa e baixa birrefringência. (Lado maior: 1,2cm). PDC 57

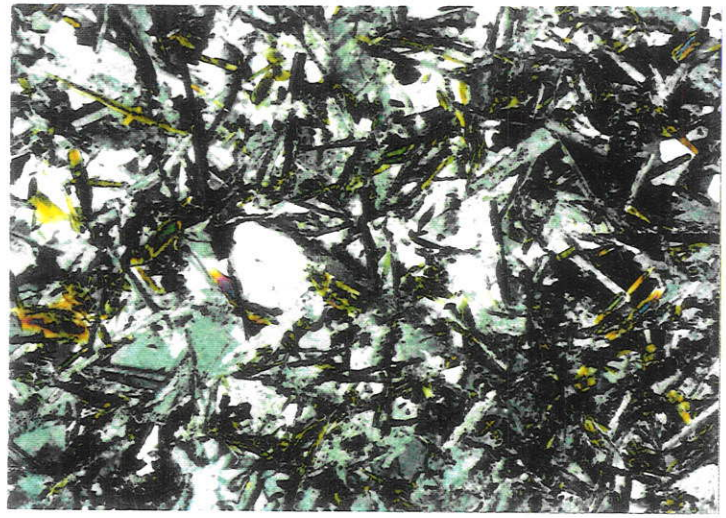


Foto 72. Dique de fonolito. Fonolito de textura fina, composto por massa félsica (feldspatos, nefelinas) e egirina fina (Lado maior: 1cm). PDC 4

Dique intrusivo nas brechas ankaratríticas	Rocha escura de textura afanítica. Ao microscópio exibe textura com cristais félsicos anédricos (~1,3mm), cristalizados a partir de um fundo microcristalino félsico (foto 72). Seus contornos e limites são mal definidos e as inclusões de prismas alongados de sanidina (~0,5mm), quase sempre ultrapassam os limites do grão. Esses predominam na matriz como intercrescimentos de sanidina com geminação simples ou Carlsbad juntamente com prismas e grânulos de egirina verde pleocróica, finamente disseminada. Zeólitas são os principais produtos de alteração enquanto carbonato aparece de forma mais esporádica.

6.4.2 Fonolitos da Pedreira da Prefeitura

Diques afaníticos que cortam os nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura são rochas porfiríticas com fenocristais de sanidina de até 3mm em matriz afanítica a vítrea (<0,01mm), que tende à cor marrom quando alterada.

Micropetrografia

Textura e Mineralogia	Textura: rocha porfirítica com fenocristais de sanidinas, nefelinas e piroxênios euédricos, em matriz fina a vítrea (foto 73).
Feldspatos	Sanidinas (~2mm) com hábito tabular e geminadas segundo a lei de Carlsbad ou mais raramente Baveno. Apresentam-se límpidas ou com lamelas de exosolução. Finas palhetas de biotita podem estar inclusas nos cristais.
Nefelina	Nefelina (até 1,5mm) ocorre como fenocristais tabulares ou prismas curtos em cortes hexagonais .
Piroxênio	Fenocristais euédricos (0,8mm) zonados, com núcleo verde e borda azulada (alteração para anfibólio sódico). Cristais menores de egirinas estão dispersos pela matriz.
Outros	Biotita vermelha pleocróica (~0,5mm), às vezes corroída, dispersa na matriz ou inclusa nas sanidinas. Cristais euédricos de titanitas e opacos em quantidades menores.
Matriz	Vítrea a desvitrificada de baixa birrefrigência, composta por massa de fundo félsica xenomórfica, localmente alterada a zeólitas, com finas egirinas subédricas disseminadas (foto 73). Destacam-se estruturas ou amígdalas lenticulares e achatadas, preenchidas por zeólitas e algum carbonato e albita, dispostas ao longo do plano de fluxo.

Nas rochas mais alteradas a cor é função do grau de alteração dos minerais. Nesses casos são comuns pseudomorfos de carbonatos e áreas alteradas com zeólitas, onde os cristais e a matriz passam a exibir birrefrigência amarela. Nas zonas de borda do dique a matriz é vítrea e estão presentes raros cristais e fragmentos da encaixante capturados durante a intrusão do corpo.

6.4.3 Tufos e lapilli tufos intemperizados

São rochas fonolíticas intemperizadas, finamente laminadas e com alternância de estratos de cores rosa e verde cinzento. Eventualmente, bombas e blocos de fonolitos, nefelina sienitos ou mesmo rochas do embasamento podem ser encontrados como fragmentos.

Tufos e lapilli tufos do afloramento PDC-6 exibem camadas centimétricas finamente estratificadas de tufos finos e uma camada (~5cm) de lapilli tufo grosso

onde são osbservados fragmentos subcentimétricos de fonolitos caulinizados. As camadas finas exibem laminação plano-paralela em níveis argilo-siltosos amarelos, ricos em grãos de quartzo. Nos níveis grossos e brechóides a laminação não é tão evidente e predominam os fragmentos angulosos caulinizados, em meio a um material argiloso fino alterado, de cor variegada.

6.5 Nefelina sienitos

6.5.1 Rochas nefelino sieníticas

São rochas de coloração cinza, holo-leucocráticas a mesocráticas, de textura fanerítica equigranular a inequigranular média-grossa, e estrutura maciça ou mesmo traquítica. Apesar de sua pequena variabilidade mineral, foram divididas em diferentes fácies por Ulbrich, H. (1984), com base em sua textura, estrutura e mineralogia. A tabela a seguir resume os principais fácies de nefelina sienitos do Complexo.

Tabela : Fácies de Nefelina Sienitos de Poços de Caldas (modificado de Ulbrich, H., 1986.)

Litofácie	Estrutura	Granulação	Cor	% Máficos
Lujauritos I (fotos 75 a-b)	Orientada	Inequigranular grossa	Cinza a cinza escuro com manchas róseas	30
Lujauritos II	Orientada	Média fina		17
Nef. S. Traquitóides I	Orientada	Média fina	Cinza	9
Nef. S. Traquitóides II	Orientada	Média grossa		6
Chibinitos (fotos 76 a-b)	Maciça	Grossa	Cinza a cinza escuro com manchas róseas	10
Chibitinos de Botelhos	Maciça	Inequigranular grossa		12
Chibinitos Orientais	Maciça	Média grossa		9
Nef. S. com fluorita	Maciça	Inequigranular grossa	Cinza	3
Nef. S. com eudialita	Maciça	Média grossa		11
Nef. S. finos	Maciça	Fina		13
Nefelina Sienito cinza (foto 74)	Maciça	Inequirgranulr grossa a muito grossa	Cinza	7
Nefelina Sienito fino	Maciça	Fina	Cinza manchado	9
Pseudoleucita Nefelina Sienito	Maciça	Inequigranular média grossa	Cinza esbranquiçado	4
Nef. S. com eudialita	Maciça	Média grossa	Cinza	9
Nef. S. cinza	Maciça	Média grossa		15
Nef. S. com biotita	Maciça	Média grossa		7
Nef. S. porfiríticos	Maciça	Inequigranular média fina		7
Nefelina Sienitos	Maciça	Média grossa	Cinza-róseo manchado	13

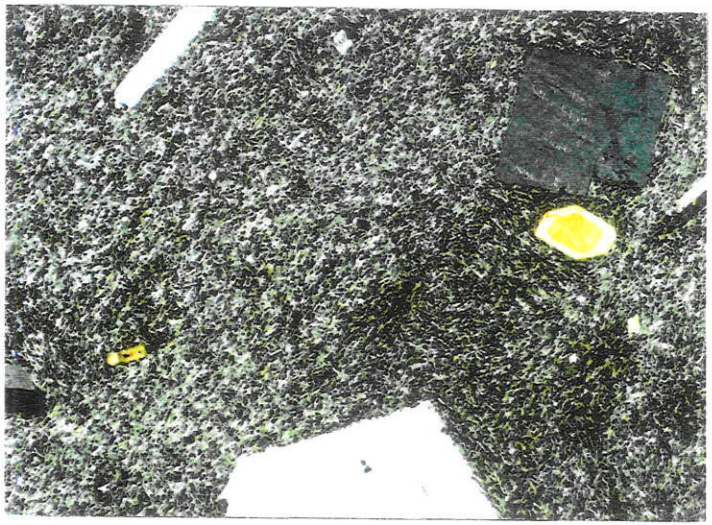


Foto 73. Dique de fonolito da Pedreira da Prefeitura. Fenocristias de feldspatos e piroxênio zonado em matriz fina. (Lado maior: 1cm). PDC 58

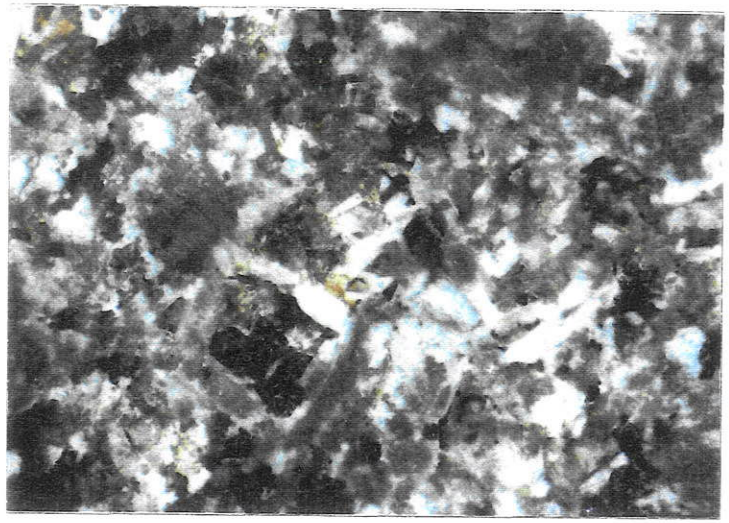


Foto 74. Nefelina sienito formado por feldspato, nefelina (alterada) e piroxênios. (Lado maior: 5cm). PDC 58

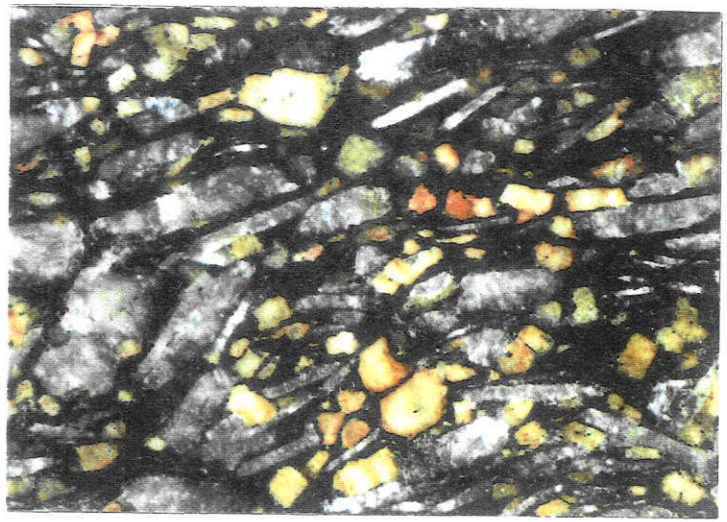


Foto 75a. Eudilita-nefelina sienito mesocrático (lujaurito), com feldspato, nefelina rósea e massa verde escura formada por piroxênios egirínicos finos. (Lado maior: 5cm). PDC 53

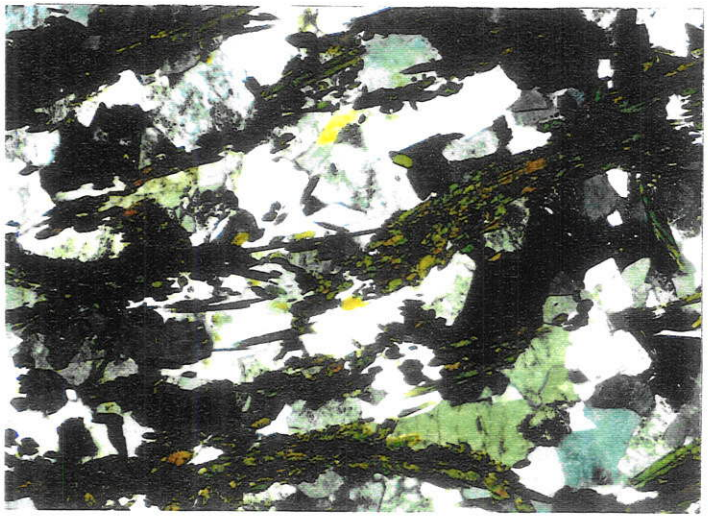


Foto 75b. Detalhe da orientação dos prismas de egirina, feldspatos e da nefelina no lujaurito. (Lado maior: 1,5cm). PDC 54

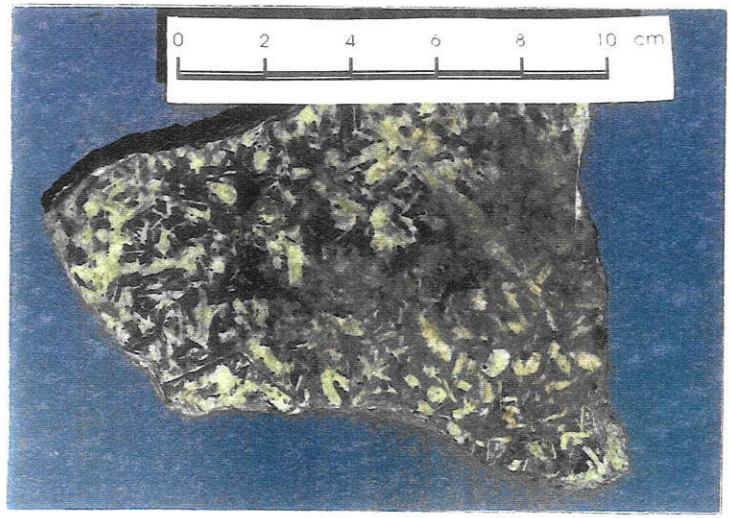


Foto 76a. Eudialita-nefelina sienito. A massa de cor rósea é formada por eudialita fina granular. PDC 54

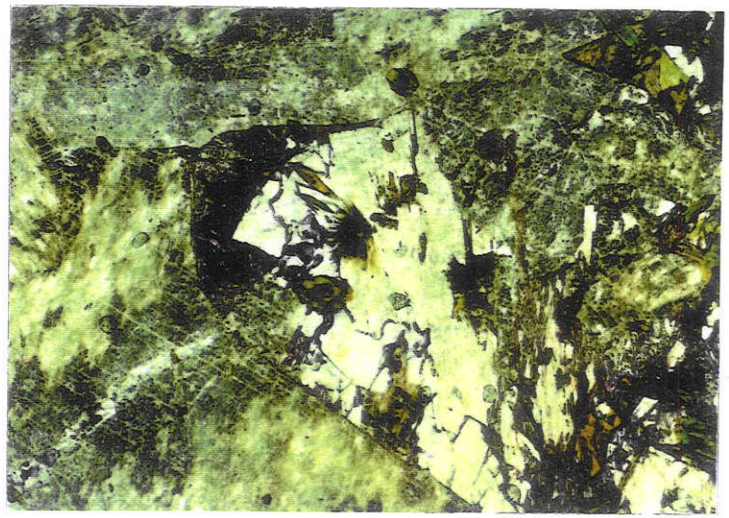


Foto 76b. Eudialita-nefelina sienito. Detalhe da egirina intersticial (rosa) e fluorita roxa, juntamente com egirinas prismáticas finas e plumosas. (Lado maior: 1,5cm). PDC 54

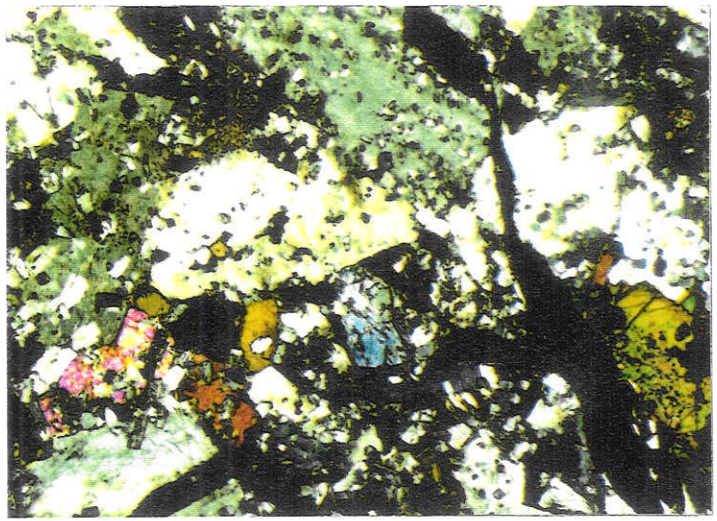


Foto 77. Nefelina sienito. Detalhe da textura granular hipidiomórfica, constituída por feldspatos com inclusões de félsicos (nefelina); nefelinas e piroxênios. Os piroxênios apresentam inclusões de opacos e félsicos. (Lado maior: 0,5cm). PDC 58

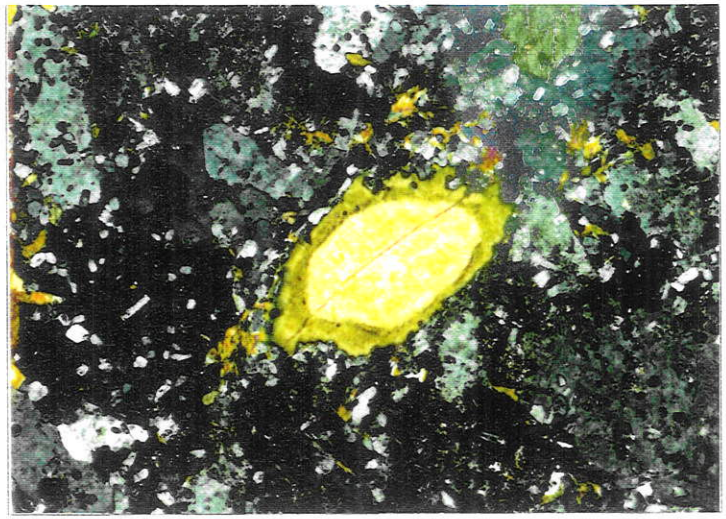


Foto 78. Nefelina sienito. Detalhe do piroxênio zonado e corroído, com borda de egirina e núcleo augítico. (Lado maior: 0,6cm). PDC 20

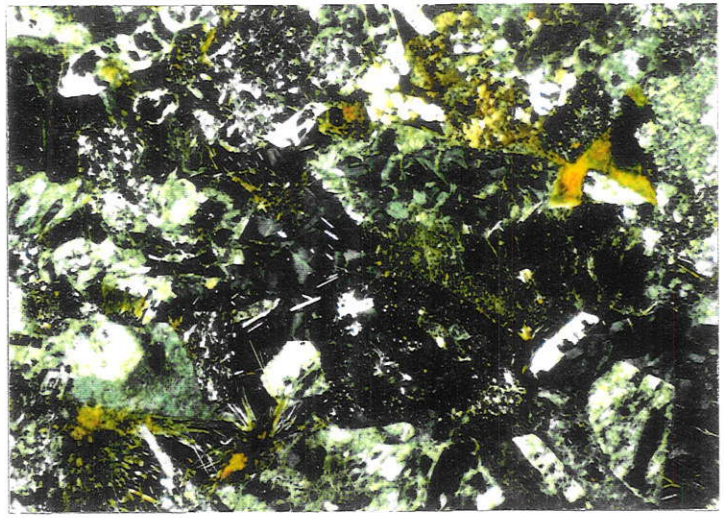


Foto 79. Nefelina sienito. Detalhe do espaço intersticial preenchido por zeólitas, agulhas de egirina e, localmente, carbonato microgranular junto a cloritas. (Lado maior: 1cm). PDC 20

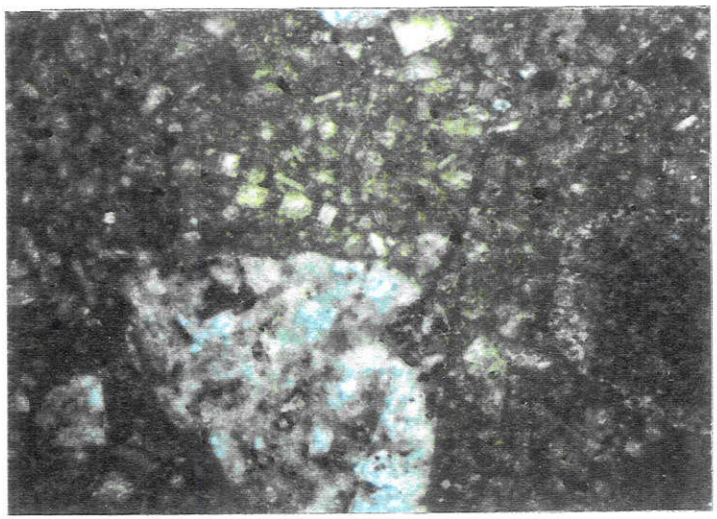


Foto 80. Brecha intrusiva. Apresenta textura grossa e é composta por fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos, em matriz grossa constituída de massa fina esverdeada e fenocristais de feldspatos, nefelinas e piroxênios euédricos (Lado maior: 4cm). PDC 20

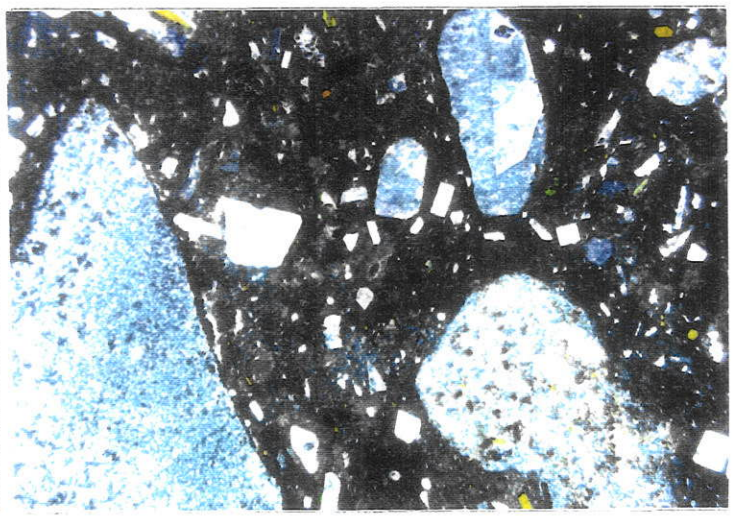


Foto 81.

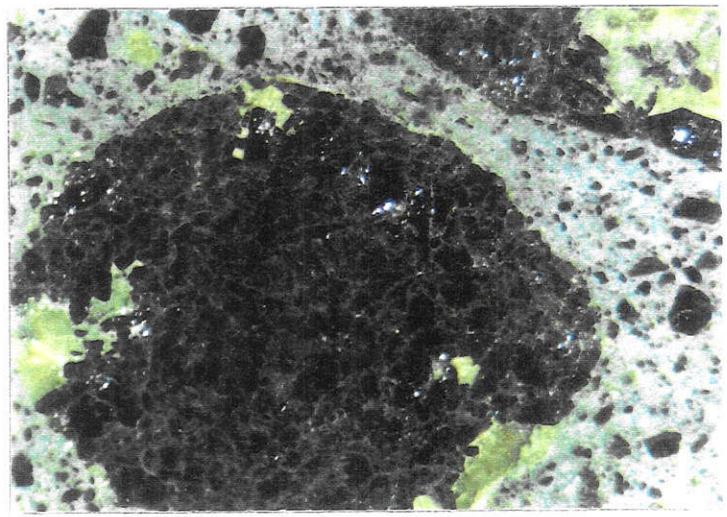


Foto 82. Fragmento arredondado de clinopiroxenito cumulático em brecha extrusiva. Cristais verde-esbranquiçados são de apatita. (Lado maior: 1cm). PDC 7

Em virtude da grande variedade petrográfica e textural exibida por essas rochas, algumas feições inerentes à grande maioria dos nefelina sienitos são descritas a seguir:

Micropetrografia

Textura e Mineralogia	Textura: sob o microscópio os nefelina sienitos apresentam textura equigranular a inequigranular hipidiomórfica, caracterizada por cristais subédricos tabulares ou em ripas alongadas de ortoclásio e nefelinas subédricas a euédricas, intercrescidos juntamente com piroxênios egirínicos.
Feldspatos: ortoclásio, microclínio e menos comumente albita	Feldspato ocorre em quantidade superior à da nefelina numa proporção aproximada de 2:1, como cristais euédricos tabulares (0,2-1,5cm) intercrecidos com nefelina. Feldspatos estão geminados segundo Carlsbad e eventualmente Baveno, têm aspecto sujo ou manchado, e em algumas seções apresentam inclusões de nefelinas euédricas (foto 77) , algumas das quais totalmente convertidas em carbonatos. Inclusões de piroxênios e titanitas também são comuns. Fina geminação em grade, está presente em alguns microclínios pertíticos, ao longo de seu contato com albita secundária com geminação polissintética.
Nefelina	Presente como cristais subédricos a euédrico (até 3mm), intercrescidos com o ortoclásio, ou como inclusões (<0,1mm) euédricas pseudomorfisadas presentes nos feldspatos. Em boa parte das rochas, ocorre parcial ou totalmente alterada para analcima ou natrolita.
Piroxênio	Cristais euédricos a subédricos (~1mm) de egirina-augitas límpidas, ou com inclusões de nefelinas e outros piroxênios (foto 77). Podem ser zonados, com núcleo amarelo augítico e borda verde egirínica (foto 78), apresentando zoneamento oscilatório e setorial, ou. exibindo bordas alteradas a arfvedsonita. Em alguns eudialita nefelina sienitos mesocráticos, a quantidade de piroxênio é tão grande que chega a 35% da composição modal da rocha. Nessas variedades o piroxênio pode apresentar textura poiquilítica e atingir dimensões de até 1,5cm.
Outros	Titanita euédrica e opacos subédricos (<1mm) são as principais fases acessórias ocorrendo como agregados. Às vezes, entretanto, titanita pode ocorrer inclusa nos feldspatos, e os opacos junto a finas palhetas de biotita e/ou anfibólios. Apatita, zircão, haynita e fluorita em agregados microgranulares, também são fases acessórias comuns, além de sulfetos e mais raramente sodalita. Ocupando os espaços intersticiais restantes ocorrem associações de zeólitas, albita e piroxênios egirínicos tardio (foto 79). Zeólitas e carbonatos estão presentes como minerais de alteração tanto das nefelinas como feldspatos e estão concentrados nas bordas, fraturas ou traços de clivagens dos grãos. Nas variedades agpaíticas estão presentes ainda, uma série de silicatos complexos raros (*e.g.*eudialita, astrofilita, normandita entre outros)

6.5.2 Veio de nefelina sienito em brecha

Veio nefelino sienítico fanerítico (2cm), intrusivo em brecha extrusiva de conduto vulcânico no afloramento PDC-8. Sob o microscópio apresenta textura granular xenomórfica constituída por ortoclásio, piroxênio egirínico e alguma nefelina. Os feldspatos apresentam contornos serrilhados, geminação simples ou Carlsbad e, às vezes, lamelas de exosolução e inclusões de egirinas mal formadas. Piroxênio ocorre como cristais subedricos isolados ou nas bordas e porções internas dos cristais de

feldspato como agulhas isoladas ou em arranjos plumosos. Nefelina ocorre como cristais subédricos intercrescidos junto aos feldspatos. Próximo da borda do veio, os minerais félsicos e as egirinas crescem ortogonalmente, em relação ao plano de contato do dique com a brecha.

6.6 Brechas de conduto vulcânico

6.6.1 Brechas intrusivas

Essas se referem às partes subsuperficiais dos condutos vulcânicos. São polimíticas, clasto-suportadas com estrutura maciça, e matriz grossa de cor verde. Destacam-se nessas rochas fragmentos subarredondados de nefelina sienitos e fonolitos de até 30cm, e raros pegmatitos com feldspatos decimétricos cinza-esverdeados intercrescidos com prismas de anfibólios ou piroxênios. Ocorrem também fragmentos centimétricos de feldspatos, piroxênios e/ou anfibólios e, mais raramente, cristais de biotita em placas delgadas.

Sob o microscópio a matriz da brecha apresenta aspecto porfiróide com fenocristais euédricos de sanidina, nefelina, piroxênio e cristais menores de titanitas losangulares, imersos em matriz feltrosa. Sanidina ocorre segundo três tamanhos distintos: cristais límpidos (2-3mm) com inclusões de egirinas e titanitas; cristais de 2,5mm, manchados com exsoluções, e cristais de 0,5mm. Os cristais têm formas prismáticas curta a alongada, ou ainda tabular, havendo indivíduos com geminação simples ou segundo Carlsbad. Nefelinas reconhecidas através de grãos em cortes hexagonais, estão presentes em menor quantidade como cristais límpidos (~2,5mm). Ocorrem também fenocristais de pseudoleucita (2,5-7mm) com intercrescimento de feldspato/nefelina e inclusões de opacos e egirina, piroxênio euédrico a subédrico (0,5mm) com inclusões de piroxênios e félsicos, e titanitas losangulares bem formadas, dispersas na matriz ou inclusas nos feldspatos.

As matriz apresenta textura fina com aspecto de feltro, caracterizada pelo intercrescimento difuso de finas agulhas verdes de baixa birrefrigência, provavelmente de egirinas. O pequeno espaço entre elas é incolor e, aparentemente ocupado por massa félsica ou por zeólitas cristalizadas segundo uma textura em mosaico. Não foram encontrados carbonatos ou associações minerais como nas brechas extrusivas de conduto vulcânico descritas a seguir.

6.6.2 Brechas extrusivas 1

São rochas polimíticas clasto-suportadas de matriz grossa (<1cm) e estrutura maciça ou acamadada, com predominância de fragmentos subarredondados a angulosos de fonolitos afaníticos com dimensões de até 0,6m. Em menor quantidade

ocorrem fragmentos de nefelina sienitos, piroxenitos (foto 82), granitóides (foto 83) e rochas carbonáticas a carbonatíticas (foto 84) e, mais raramente, fragmentos de arenitos, vulcanoclásticas e ankaratritos. Na matriz, os mesmos fragmentos podem estar presentes, juntamente com feldspatos, piroxênios fragmentados e raras biotitas, todos cimentados por material intersticial fino de cor verde associado a carbonatos (foto 85).

Além dos fragmentos de rocha já citados, foram reconhecidos sob o microscópio, lascas e fragmentos vulcânicos (~4mm) vítreos a criptocristalinos de cor verde e baixa birregrigência, em parte desvitrificados e alterados para clorofeítas, carbonatos e zeólitas (foto 86). Microfenocristais de sanidina e opacos euédricos, além de pseudomorfos alongados de carbonato e serpentina ou mesmo amígalas, são as únicas feições originais ainda preservadas nesses grãos (*volcanic shards*). Esse tipo de material é comum nos vulcanoclastitos tufosos com estruturas de deposição por fluxo (tipo *base-surge*), onde as variações granulométricas sistemáticas são função da alternância dos estratos com grãos e lascas vulcânicas finos e grossos (foto 87).

Grãos e fragmentos (0,5-2mm) de quartzo límpido e arredondado, feldspatos fraturados (microclínio, plagioclásio e ortoclásio) límpidos ou manchados por lamelas de alteração carbonática (alguns totalmente alterados), piroxênios egirínicos fraturados e carbonatos, completam os constituintes minerais da fração fina da matriz, visíveis somente ao microscópio. Além desses, ocorrem biotitas flogopíticas cloritizadas com bordas de reação e opacos ao redor do grão, e carbonatos angulosos a arredondados com sobrecrescimentos de cristais de piroxênio, zeólitas, titanitas e apatitas (fotos 88 e 89)

Os carbonatos da matriz podem ser de dois tipos: grãos angulosos e fraturados de tamanhos milimétricos (~1,3mm), ou carbonatos em massas microgranulares tardias e responsáveis pela alteração dos constituintes da matriz. Esse segundo tipo está normalmente relacionado a fluídos de provável filiação carbonatítica uma vez que ocorre associado à apatita e piroxênio, e quantidades menores de opacos e flogopitas e, mais raramente, ao pirocloro.

Os grãos maiores de carbonatos da matriz exibem uma feição bastante comum, apresentam sobrecrescimentos de egirinas prismáticas e estão rodeados por piroxênios fibrosos formados a partir do material criptocristalino intergranular, que às vezes chega a envolver o grão (foto 90). Algo semelhante ocorre com o quartzo, ao redor do qual, além de egirina formam-se também finos prismas de wollastonita.

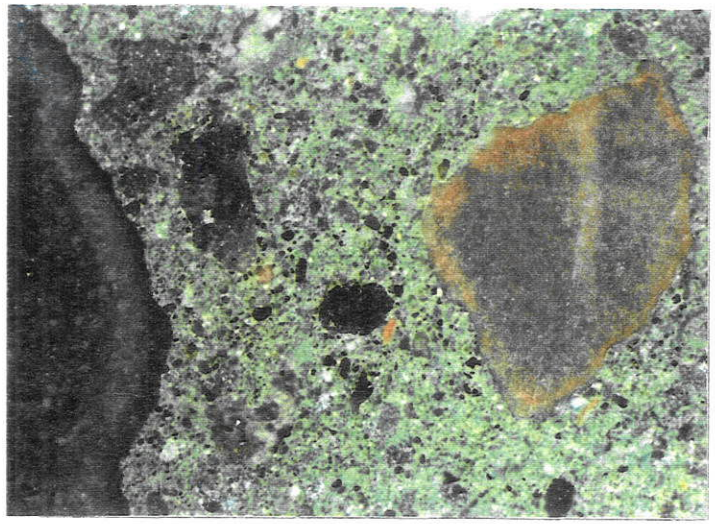


Foto 83. Fragmentos de aplitos finos com bordas de reação com a matriz de brecha extrusiva. (Lado maior: 3cm). PDC 7

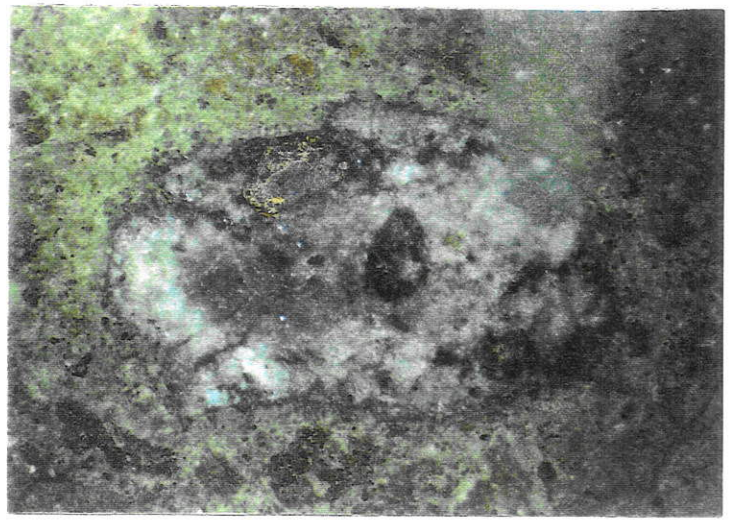


Foto 84. Fragmento de carbonatito em brecha extrusiva. Massa verde dentro do fragmento é formado por egirina. Material amarelo-dourado corresponde a sulfetos. (Lado maior: 2,8cm). PDC 8

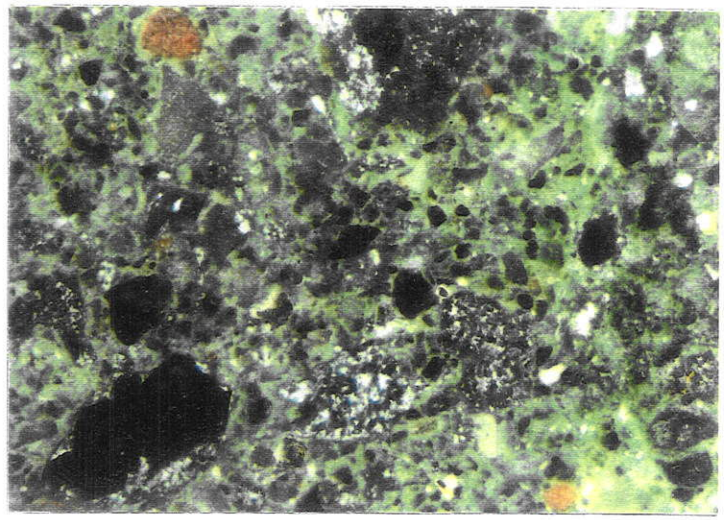


Foto 85. Matriz de brecha extrusiva. Notar fragmentos de piroxênio, arenitos, quartzo arredondado e grãos de fonolitos alterados. Massa intersticial composta por massa esverdeada com carbontaos. (Lado maior: 2cm). PDC 8

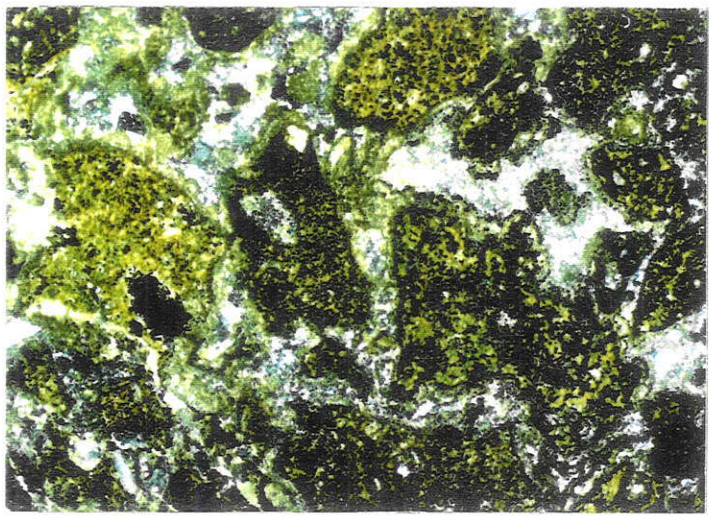


Foto 86. Matriz de brecha extrusiva. Lascas, fragmentos de lavas e vidros vulcânicos alterados (*volcanic shards*) em massa zeolítica e carbonática. (Lado maior: 5mm). PDC 7

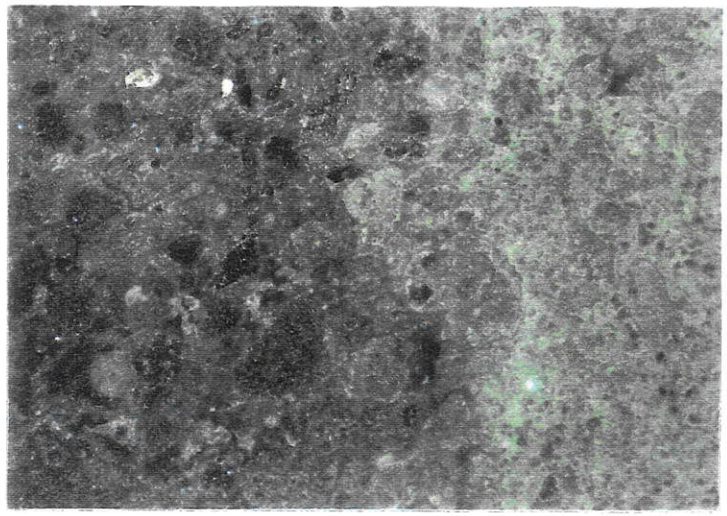


Foto 87. Brecha extrusiva. Detalhe da interface entre estratos com diferentes granulometrias. (Lado maior: 7cm). PDC 7

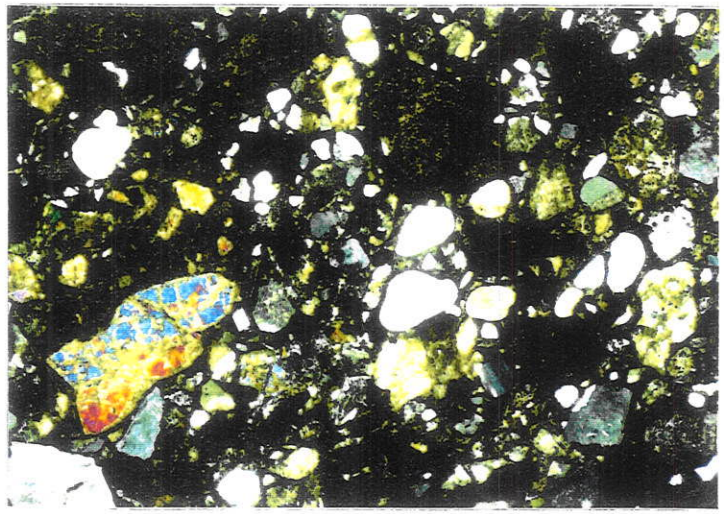


Foto 88. Matriz de brecha extrusiva. Grãos de quartzo arredondados, piroxênios fraturados, feldspatos alterados, lascas vulcânicas verde-escuras. O espaço intergranular é ocupado ppor massa fina esverdeada microgranular composta por egirinas finas e algum carbonato. (Lado maior: 5mm). PDC 7

Preenchendo os espaços intergranulares da matriz, ocorre um material criptocristalino de cor verde escura, opaco a translúcido. Distribui-se por entre os grãos chegando mesmo a englobá-los e tornando a imagem no microscópio translúcida e pigmentada, de difícil identificação. Além disso, também é responsável pela substituição e transformação dos félsicos em pseudomorfos de carbonato e zeólita. Ocupam também os espaços intergranulares e fraturas, associações de egirina, apatita e menos comumente albita xadrez, juntamente com massas zeolíticas. Zeólitas cristalizadas em mosaicos ou associações intergranulares de carbonatos e zeólitas em proporções variadas são, às vezes, os únicos componentes intergranulares da matriz podendo ocupar também veios e fraturas na rocha. Em alguns dos veios são comuns, concentrações de zircões euédricos inclusos nos carbonatos.

6.6.3 Brechas extrusivas 2

Ocorrem na porção W do Complexo (afloramentos PDC-2, PDC-3) e referen-se a um centro vulcânico explosivo. São rochas polimíticas clasto-suportadas, constituídas quase que exclusivamente por fragmentos com dimensões de até 2m, de arenitos e diabásios, em matriz arenosa. Diabásios mostram formas arredondadas a angulosas e estrutura maciça ou vesiculada, enquanto os arenitos têm formas tabulares ou subarredondadas, e na maioria dos casos preservam ainda as estruturas primárias. A matriz é microconglomerática arenosa (~2cm), amarelo-avermelhada composta por clastos de diabásios e arenitos com formas subangulosas (foto 91).

Sob o microscópio os fragmentos de diabásio encontram-se, via de regra, alterados, com plagioclásio manchado por massas amorfas de carbonatos e epídotos. Óxidos e hidróxidos ocupam os espaços intersticiais ou formam pseudomorfos com formas alongadas (ilmenitas). Apatita é bem visível como prismas finos e alongados inclusos nos plagioclásios enquanto os opacos estão isolados ou formam agregados associados com manchas escuras de alteração. Ainda assim é perceptível a textura intersetal original da rocha. Os fragmentos de arenitos são texturalmente mais límpidos que a matriz da brecha, e seus grãos mostram-se bem empacotados no fragmento.

Na porção fina da matriz da brecha (0,2-0,6mm) ocorrem grãos detríticos de quartzo, biotitas e feldspatos (plagioclásio e microclínio), além de opacos, e zircões em prismas gastos por abrasão. Quartzo é de longe o componente mais abundante (~90%)

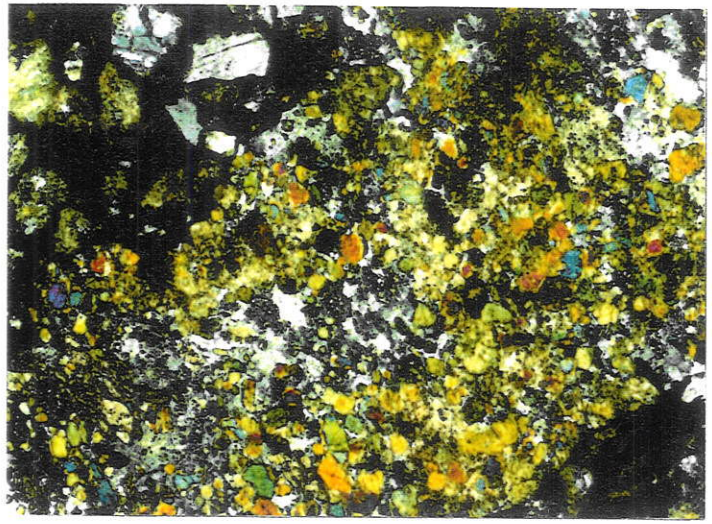


Foto 89. Brecha extrusiva. Detalhe do espaço intergranular preenchido por massa constituída por misturas de zeólitas e carbonatos finos. Também estão presentes nessa massa, piroxênios egirínicos, apatitas, zircão e raras flogopitas. (Lado maior: 2 mm). PDC 8

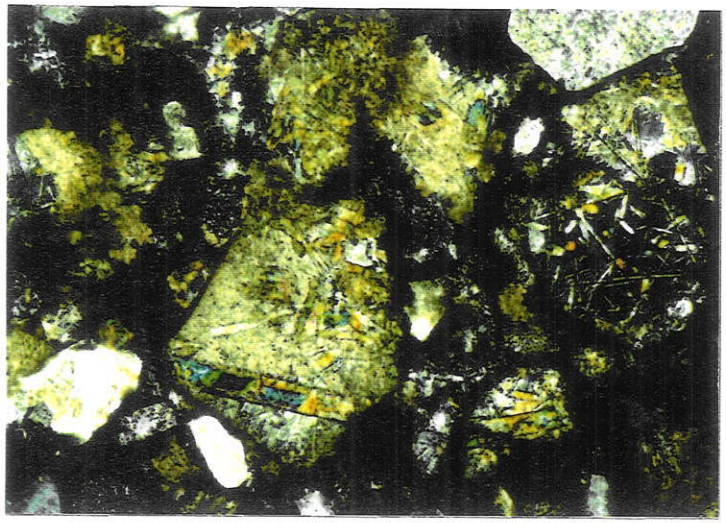


Foto 90. Brecha extrusiva. Detalhe do grão de carbonato com sobrecrescimento de egirina. Notar que os espaços intergranulares são preenhcidos por zeólitas e por massa verde criptocristalina. (Lado maior: 0,5mm). PDC 8

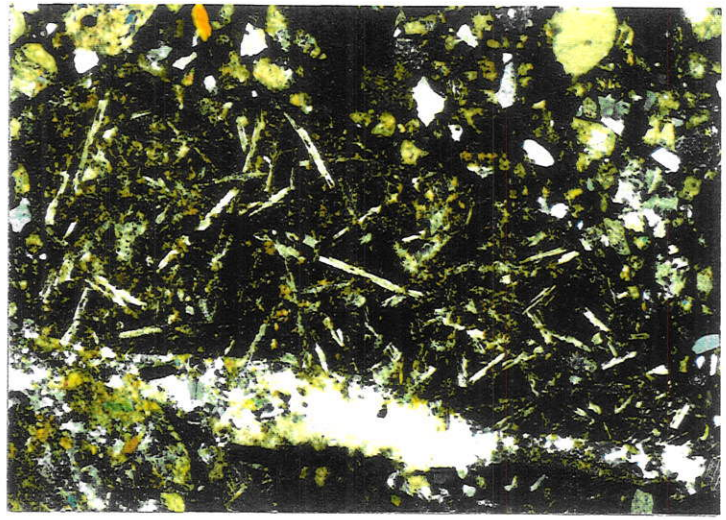


Foto 91. Fragmento de diabásio alterado em brecha. (Lado maior: 1cm). PDC 8

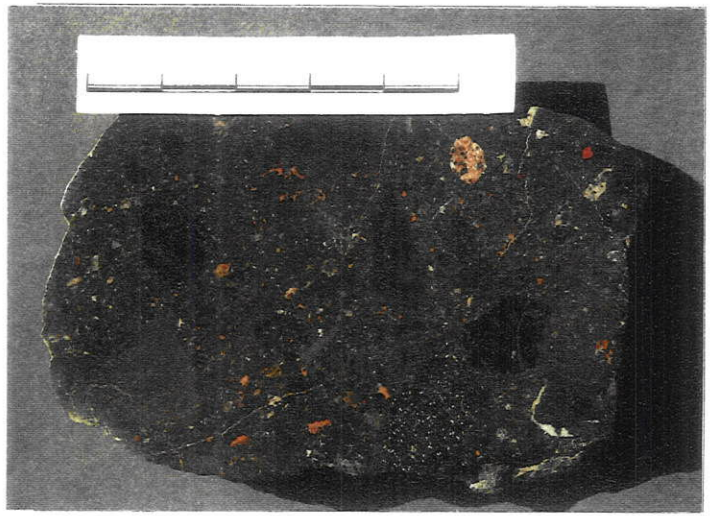


Foto 92. Brecha polimítica de fluxo piroclástico com fragmento de ankaratritos vesiculados, piroxenitos, granitóides, além de nefelina sienitos e fonolitos. PDC 11

Foto 93. Brecha polimítica de fluxo piroclástico igual à foto anterior. PDC 11

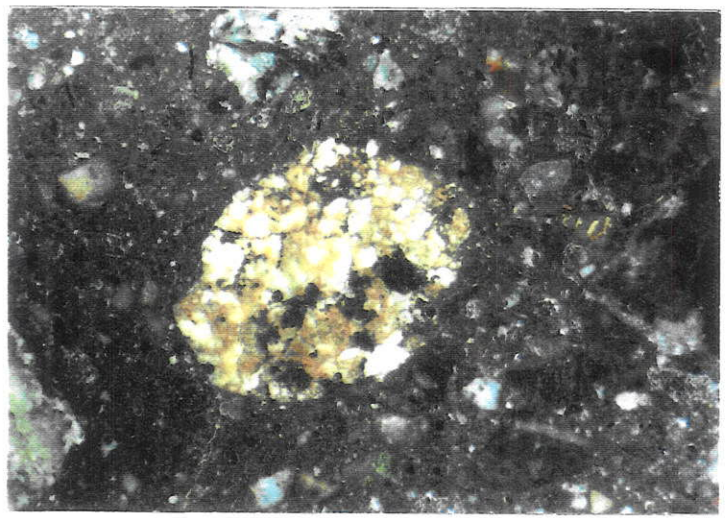


Foto 94. Brecha. Detalhe do framento de granitóide. (Lado maior: 1cm). PDC 11

ocorrendo como grãos submilimétricos límpidos em formas arredondadas e estilhaçadas. Biotita marrom pleocróica a cloritizada ocorre como restos intersticiais ou como palhetas deformadas, com ondulações na clivagem basal. Opacos estão isolados ou formam agregados com bordas de óxidos e hidróxidos de ferro, que por sua vez ocupam os espaços entre os grãos da matriz. A maior ou menor concentração desses óxidos e hidróxidos conferem à rocha, manchas irregulares deutéricas, distribuídas por zonas intergranulares pouco definidas nos vazios da matriz ou mesmo sobre os minerais (foto 49; item 6.2.1).

Os espaços intergranulares da matriz são ocupados por carbonatos e zeólitas em massas finas e criptocristalinas, juntamente com cloritas e clorofeítas. Às vezes, nas bordas dos grãos e fragmentos, observam-se enriquecimentos em clorofeítas e cloritas. Em muitas amostras bem alteradas, entretanto, predominam massas de óxidos e hidróxidos de ferro de cor vermelha, responsável pelas manchas visíveis em amostras de mão.

6.7 Brechas de fluxo piroclástico

6.7.1 Brechas de fluxo piroclástico

Essas são brechas polimíticas clasto-suportas com estrutura acamadada e cor castanho-avermelhada (fotos 92 e 93). Apresentam intercalações contínuas de tufos e lapilli tufos, e fonolitos vulcânicos com textura variolítica. São constituídas por blocos subangulosos a subarredondados de ankaratritos vesiculados, piroxenitos, nefelina sienitos, diabásios, granitóides, carbonatitos e também, fragmentos de rochas afaníticas (fonolitos e aplitos) e de brechas extrusivas iguais àquelas de conduto vulcânico descritas no item 6.2.2, além de outras vulcanoclásticas (fotos 94, 95, 96 e 97). Apesar de haver fragmentos de até 0,5m, predominam os de pequenas dimensões (<10cm), destacando-se inclusive, que existe vasta gama de tamanhos, desde os grandes fragmentos até a porção fina da matriz.

A porção fina da matriz é formada por fragmentos centimétricos a subcentimétricos de rochas de mesma litologia dos fragmentos maiores anteriormente citados, além de fragmentos de quartzo, piroxênios egirínicos e diopsidico-hedenbergíticos alterados (~0,8mm), feldspatos (microclínio e ortoclásio), carbonato (0,3-1,7mm) e quantidades menores de apatitas, placas de biotita, opacos e magnetita (<0,1mm) (foto 98).

A porção intergranular da matriz é carbonática microcristalina a zeolítica mais subordinada, com finos opacos e apatitas granulares (~0,5mm) disseminados. Predomina,l entretanto, material escuro de cor castanha provavelmente de alteração e que envolve os constituintes menores da matriz.

6.7.2 Tufos e lapilli tufos

Esses referen-se às intercalações existentes entre as camadas de brechas de fluxo piroclástico descritas no item anterior. Trata-se de rocha vulcanoclástica estratificada fina (0,5-4 mm) de cor castanha, com alternância de níveis finos e grossos (fotos 99a e 99b). Os estratos são plano-paralelos, têm aspecto brechóide, exibem granodecrescência ascendente e estão cortados por venulações submilimétricas ricas em carbonatos. Entre os constituintes, destacam-se fragmentos e lascas subcentimétricos de minerais félsicos angulosos a arredondados, minerais máficos de cor verde, fragmentos de rochas afaníticas de cores verdes e amarelas, e uma massa intergranular vermelha, que predomina nas camadas mais finas.

Sob o microscópio são reconhecidos fragmentos de quartzo, feldspatos, carbonatos, quantidades menores de egirina e piroxênio diopsídico-hedenbergítico (~0,5mm), fraturados e alterados a anfibólio, e delgadas placas deformadas de biotita pleocróica com bordas opacitizadas. Fragmentos de nefelina sienitos e de material vulcânico lenticular vermelho translúcido e cheio de inclusões de pseudomorfos de carbonatos também estão presentes.

O quartzo apresenta formas arredondadas e angulosas (por fragmentação) podendo exibir contatos serrilhados ou reentrâncias preenchidas por carbonatos. Alguns poucos grãos encontram-se deformados e exibem extinção ondulante característica. Entre os feldspatos ocorrem feldspatos alcalinos com geminação do microclínio, e ortoclásio total ou parcialmente alterado em carbonato.

Os interstícios granulares estão ocupados por carbonato microcristalino e massas amorfas avermelhadas que podem predominar sobre o carbonato nos níveis mais finos da rocha. Opacos subédricos a euédricos ocorrem disseminados nos níveis finos da rocha como manchas de tamanho e formato irregulares por vezes poiquilíticos. Na matriz, ocorrem também, agregados finos de zeólitas preenchendo as demais áreas intersticiais, ou mesmo, veios tardios que cortam a rocha.

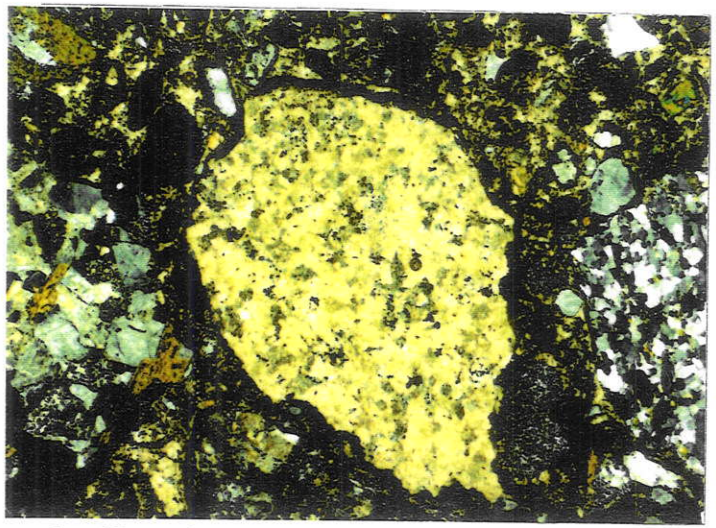


Foto 95. Detalhe de fragmento carbonatítico granular. Ao lado deste, podem ser vistos fragmentos de fonolito e de nefelina sienito. (Lado maior: 0,5cm). PDC 11

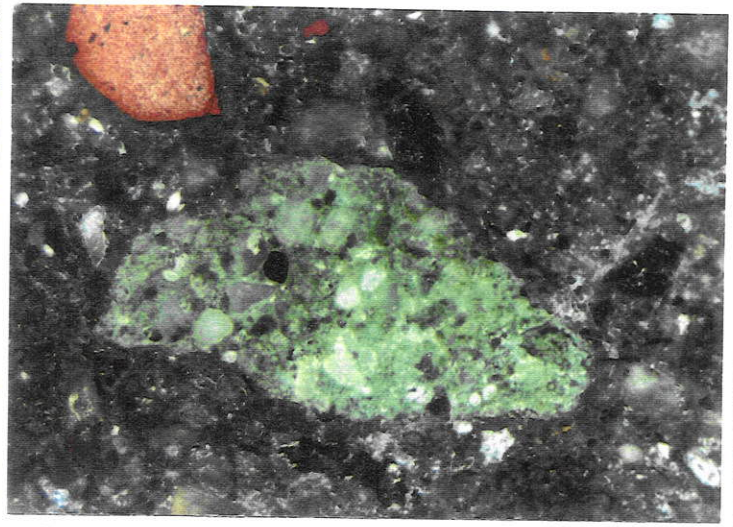


Foto 96. Fragmentos de brecha extrusiva de conduto vulcânico, e de aplito com borda de reação, em brecha de fluxo piroclástico. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11

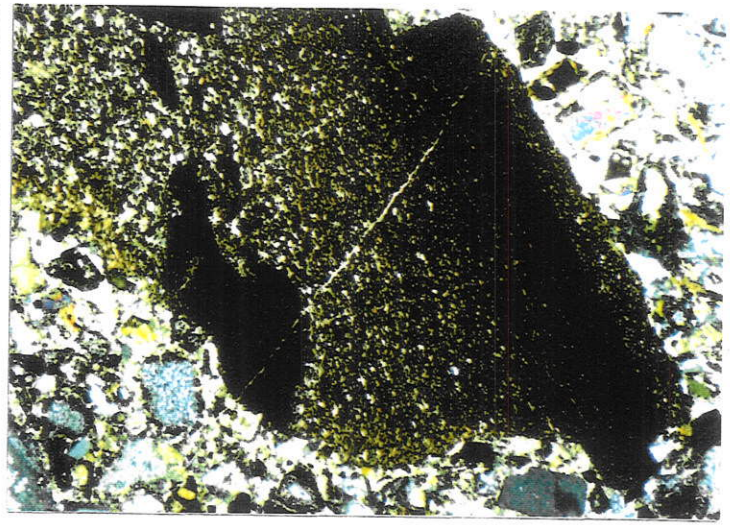


Foto 97. Fragmento de tufo fino estratificado em brecha de fluxo piroclástico. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11

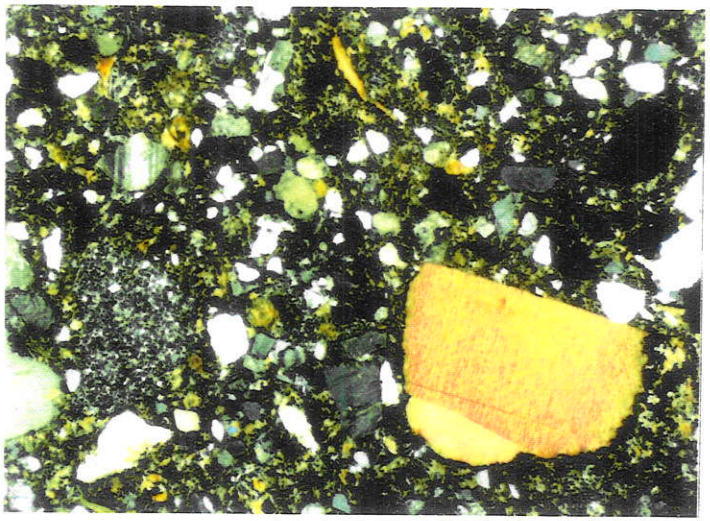


Foto 98. Matriz de brecha de fluxo pirolástico. Essa é composta por fragmentos de minerais e de rochas. Notar placa de biotita com bordas opacitizadas e de fonolito fino. (Lado maior: 2mm). PDC 11

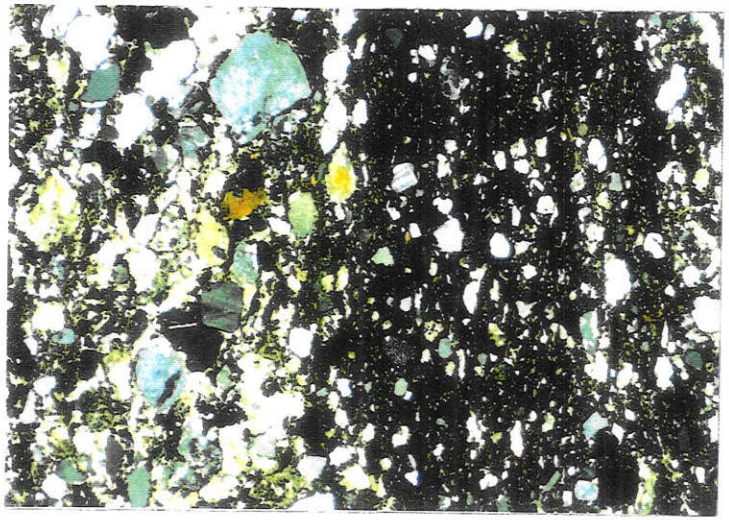


Foto 99a. Tufo vulcânico estratificado. Notar interface entre camadas com diferentes granulometrias. (Lado maior: 2cm). PDC 11

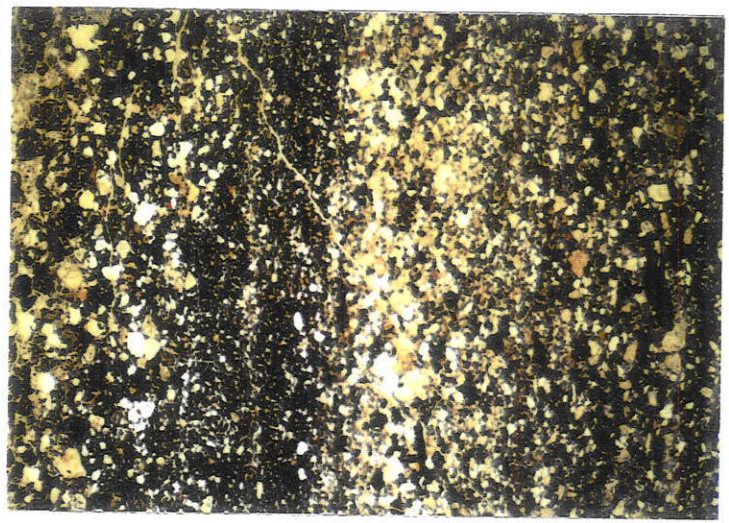


Foto 99b - Nicóis descruzados. Tufo vulcânico estratificado igual à foto anterior. PDC 11

6.8 Rochas vulcanoclásticas retrabalhadas

6.8.1 Lahars

São rochas sedimentares argilo-siltosas de cor vermelho-terrosa, finamente laminadas, com níveis subcentimétricos de areia fina a conglomerática e estruturas granodecrescentes bem marcadas, na interface entre os níveis arenoso e argilo-siltoso. Ocorrem também, estruturas singenéticas e de sobrecarga como por exemplo, estratos argilosos deformados por clastos maiores, dobras convolutas, microfraturas e minúsculos diques clásticos intrusivos nas lâminas argilosas a partir das lâminas arenosas.

Sob microscópio, a cor vermelha dos óxidos e hidróxidos de ferro, predomina nas porções argilo-siltosas como manchas homogêneas e translúcidas, ressaltadas ao longo dos níveis de deposição. Nesses, são comuns opacos e finas palhetas de minerais incolores e de alta birrefrigência, semelhantes a muscovitas detríticas. Nos níveis mais grossos, predominam grãos de quartzo límpidos e arredondados, e raros feldspatos (microclínio) alterados. Cortando as estruturas da rocha ocorrem veios milimétricos preenchidos por zeólitas finamente cristalizadas.

6.9 Fragmentos encontrados nas brechas

6.9.1 Aplitos

Rocha afanítica encontrada como fragmentos amarelados centimétricos (~10cm), semelhantes a arenitos, que exibem fina borda de reação com a matriz da brecha. Apresentam minúsculos pontos esbranquiçados em massa afanítica amarelo-esverdeada e, sob o microscópio, exibem textura fina a microporfirítica com microfenocristais (~0,01mm) de feldspatos anédricos e cristais aciculares não pleocróicos de birrefrigência anômala azulada. Zonas de alterações carbonáticas e zeólitas são observadas próximo do contato com a matriz da brecha (foto 96; item 6.7.1).

6.9.2 Fonolitos afaníticos

Fragmentos arredondados de rocha afanítica. Quando observada ao microscópio apresentam textura sacaroidal fina (<0,04mm) felsofírica, localmente alterada em manchas de carbonato criptocristalino. Minúsculas agulhas de piroxênio verde ainda mal formadas estão disseminadas pela matriz. Essa mesma textura, um pouco mais grossa, é observada nas áreas de borda dos diques de fonolitos. (foto 95; item 6.7.1).

6.9.3 Brechas extrusivas, tufos e lapilli tufos vulcânicos

Estão presentes como fragmentos pequenos podendo, entretanto, atingir dimensões de até 30cm. Sua petrografia já foi descrita anteriormente. Destaca-se apenas que esses fragmentos se ressaltam no afloramento por apresentarem cores verdes, contrastantes com a cor vermelho-acastanhada, característica da matriz da rocha que a suporta (foto 96; item 6.7.1).

Tufos e lápilli-tufos estão presentes como fragmentos angulosos centimétricos. Sob o microscópio exibem finos estratos e laminações plano-paralelas submilimétricas com estruturas granodecrescentes bem preservadas. São constituídos por fragmentos de cristais de feldspato, quartzo, carbonatos, opaco e raros máficos. Os interstícios granulares são ocupados por massa intersticial vermelha, impregnada entre os grãos e concentrada principalmente nos níveis mais finos (foto 97; item 6.7.1).

6.9.4 Carbonatitos

São fragmentos de rocha fanerítica (0,5mm) cinza, geralmente pequenos constituídos principalmente por carbonato e opacos. Um único bloco um pouco maior (~0,3m), encontrado nas brechas do ponto PDC-11, apresenta estrutura de fluxo com segregação de leitos enriquecidos em máficos/opacos (fotos 100 e 101).
Sob o microscópio apresentam textura granular hidiomórfica a alotriomórfica média-fina (0,5mm), e são constituídos principalmente por carbonato xenomórfico e apatita granular (0,5-1,5mm). Em outros fragmentos também estão presentes piroxênio egirínico subédrico (~0,7mm) com inclusões de apatita e carbonatos, biotita (~2,5mm) marrom-esverdeada pleocróica como palhetas deformadas com bordas opacitizadas, magnetita, e pirocloro euédrico zonado (~2,5mm) (fotos 102 e 103). Na rocha, as porções com segregação mineral estão enriquecidas em piroxênio e carbonato enquanto as demais têm apenas carbonatos e apatitas. Magnetita ocorre dispersa por toda a rocha sem preferência por qualquer das duas faixas.

Os minerais de alteração mais comuns são óxidos e hidróxidos de ferro formados pela alteração do piroxênio e biotitas. Carbonatos, biotitas, titanitas, apatitas, zeólitas e analcima preenchem veios tardios.

6.9.5 Clinopiroxenitos 1

São rochas ultramáficas de textura média e cores verde oliva a cinza escuro encontradas como fragmentos angulosos a subarredondados (até 3cm) (foto 104). Sob o microscópio apresentam textura granular alotriomórfica cumulática a hipidiomórfica fina (~1,5mm), composta por piroxênio, apatita e opacos (fotos 105 e 106). Diopsidio-hedembergitas e hedembergitas (~2mm) ocorrem como grânulos ou

prismas subédricos fraturados, às vezes zonados e/ou geminados juntamente com apatitas granulares e opacos anédricos intersticiais (~1mm). A quantidade de apatita é bastante variável de rocha para rocha. Nas bordas dos fragmentos são comuns concentrações carbonáticas e zeolíticas que adentram a rocha carreando também quantidades variáveis de biotitas, titanitas e pirocloros (foto 107).

6.9.6 Clinopiroxenitos 2

Rocha ultramáfica fanerítica grossa com fenocristais granulares de olivinas e piroxênios euédricos (~1cm), imersos em matriz alterada fina e de cor verde escura, cheia de magnetitas e outros opacos euédricos disseminados. Sob o microscópio predomina o clinopiroxênio sobre a olivina. Diopsídio zonado com borda marrom e núcleo incolor, está presente como cristais geminados e fraturados, apresentando finas inclusões de opacos (~0,3mm) maiores que aqueles da matriz. Ao longo das fraturas dos grãos ocorrem pequenos bolsões ricos em carbonatos e zeólitas. Os pseudomorfos de olivina têm formas subédricas granulares e estão tomados por massas turvas de serpentina, talco e clorita ou exibem núcleo carbonático envolto em borda de serpentinas e cloritas. Podem apresentar ainda, pequenos piroxênios subédricos inclusos nos grãos, juntamente com opacos (foto 108).
A matriz é microcristalina fina (<0,2mm) e amarelada, alterada em misturas de clorofeíta, zeólita e algum carbonato. Opacos euédricos de hábito cúbico supostamente de magnetitas, piroxênios (~0,1mm) e finas palhetas de biotita marrom levemente pleocróicas e em grande parte cloritizadas, estão presentes como microfenocristais espalhados na massa fundamental e integram a mineralogia essencial da matriz, juntamente com raros cristais de relevo e birrefrigência altos.

6.10 Brecha de conduto

Um tipo peculiar de brecha foi localizado próximo no afloramento PDC-5. Essas se caracteriza pela presença de fragmentos máficos (até 3cm), em matriz fina de cor verde clara. Sob o microscópio os fragmentos são semelhantes àqueles dos diques ankaratríticos (item 6.3.3). Estão imersos em matriz fina composta por cristais fragmentados de piroxênios diopsídicos a titanoaugíticos (~1mm), opacos e raras apatitas granulares (~0,2mm), e cimento carbonático microgranular. No fragmento de ankaratrito ocorrem, além de piroxênios (augitas e titano-augitas), cristais granulares de apatita e de opacos, em matriz vítrea a translúcida de baixa birrefrigência, localmente alterada em clorofeíta. (fotos 109 e 110).

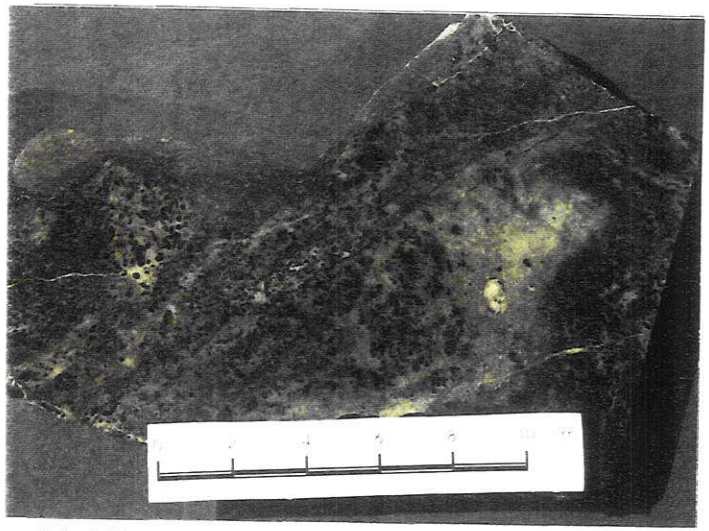


Foto 100. Fragmento de rocha carbonatítica com estruturas de segregação mineral. PDC 11

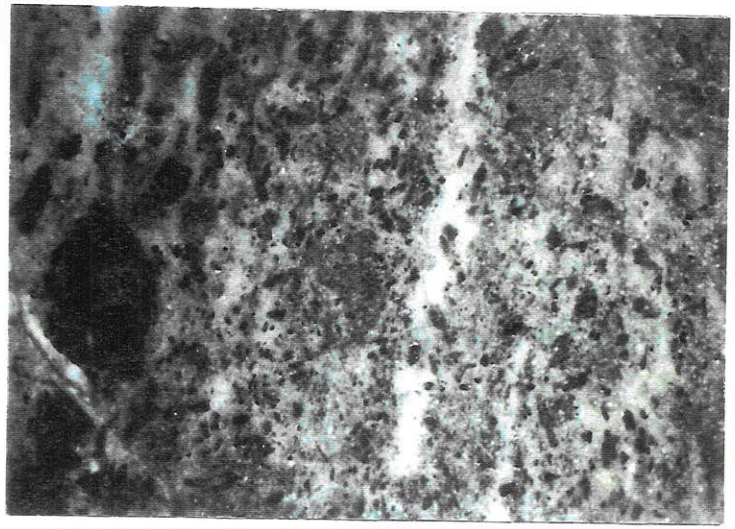


Foto 101. Carbonatito. Detalhe das camadas ricas em opacos e máficos. (Lado maior: 2cm). PDC 11

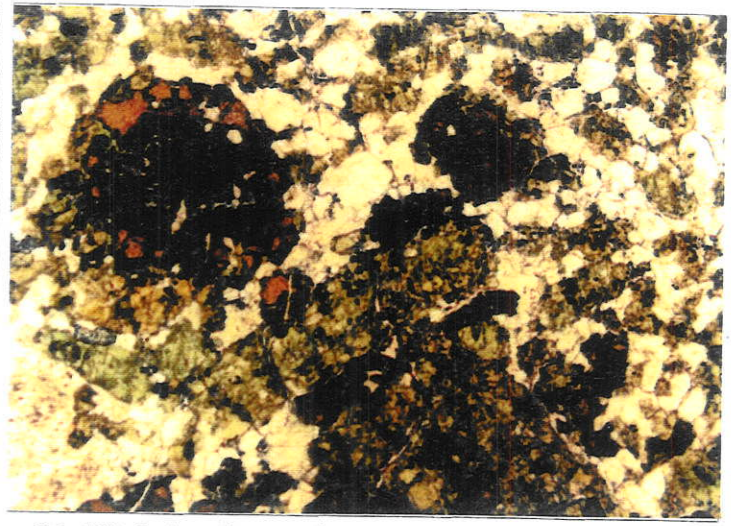


Foto 102. Carbonatito. Detalhe do cristal de pirocloro zonado com núcleo opaco e borda pardacenta. Cristais verdes são de piroxênios. (Lado maior: 2mm). PDC 11

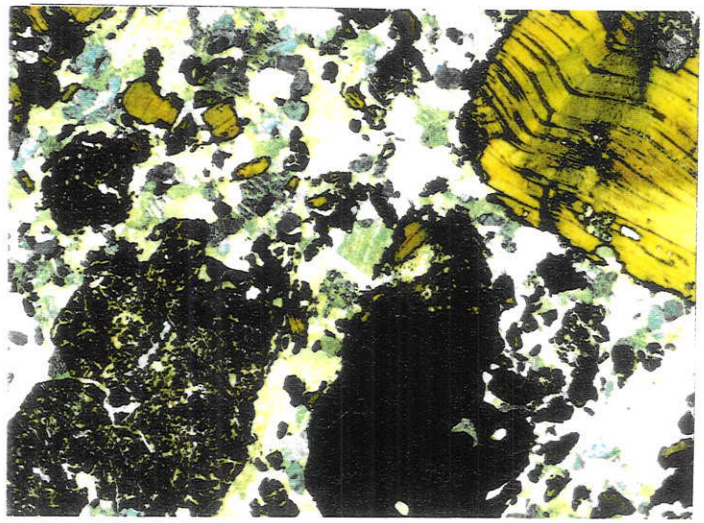


Foto 103. Carbonatito. Biotita verde pleocróica deformada com bordas opacas, opacos subédricos marrom-translúcidos fraturados, e pirocloro. Dentro deste (preenchendo fraturas) ocorrem clorofeíta, clorita e carbonatos em massas criptocristalinas. (Lado maior: 1cm). PDC 11

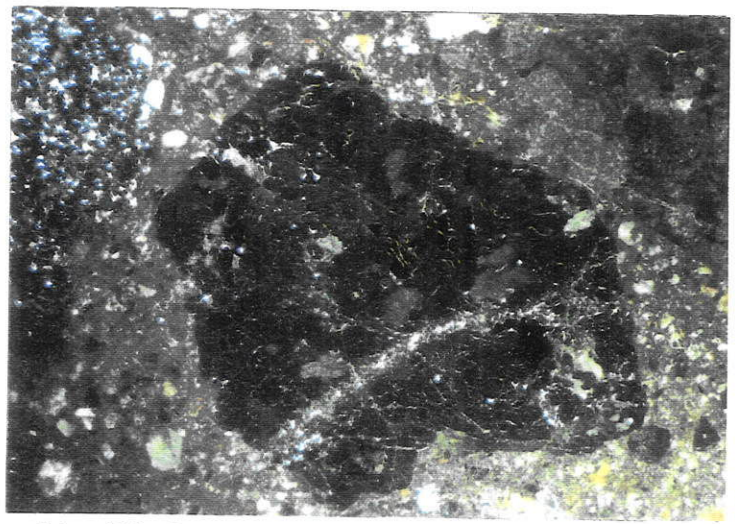


Foto 104. Fragemento de rocha ultramáfica piroxenítica cumulática, formada por piroxênios, apatitas e opacos. (Lado maior: 2cm) PDC 11

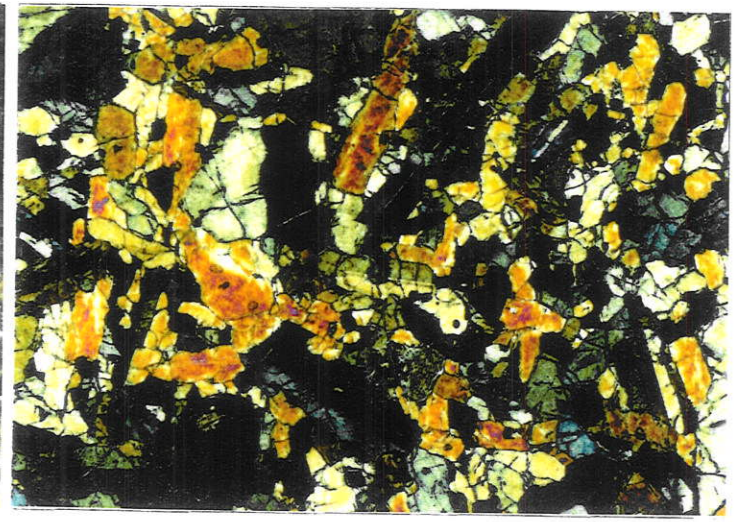


Foto 105. Clinopiroxenito cumulático. Detalhe dos cristais euédricos a subédricos de augita e raros grãos de apatita . (Lado maior: 3mm).PDC 11

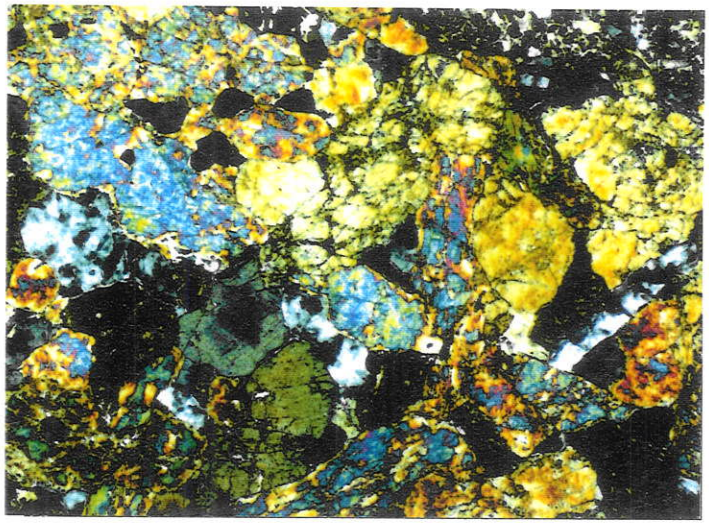


Foto 106. Clinopiroxenito cumulático. Detalhe dos cristais de augita e dos grãos de apatita (cinza escuro). (Lado maior: 0,5mm). PDC 11

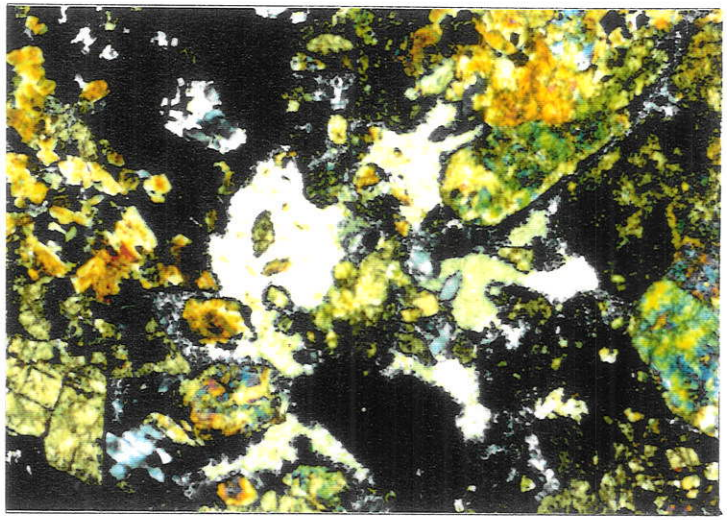


Foto 107. Borda de fragmento de clinopiroxenito cumulático. Massa intersticial composta por carbonatos e zeólitas finos, além de grãos de apatita e titanita. (Lado maior: 1cm). PDC 11

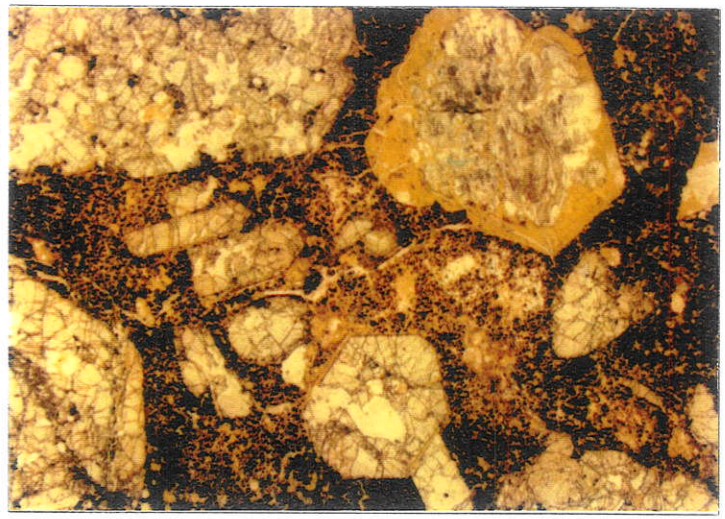


Foto 108. Detalhe dos fenocristais euédricos de piroxênio diopsídico incolor e de pseudomorfo de olivina com borda clorítica. A matriz é fina, alterada para clorofeítas e com opacos disseminados. (Lado maior: 1,5cm). PDC 11

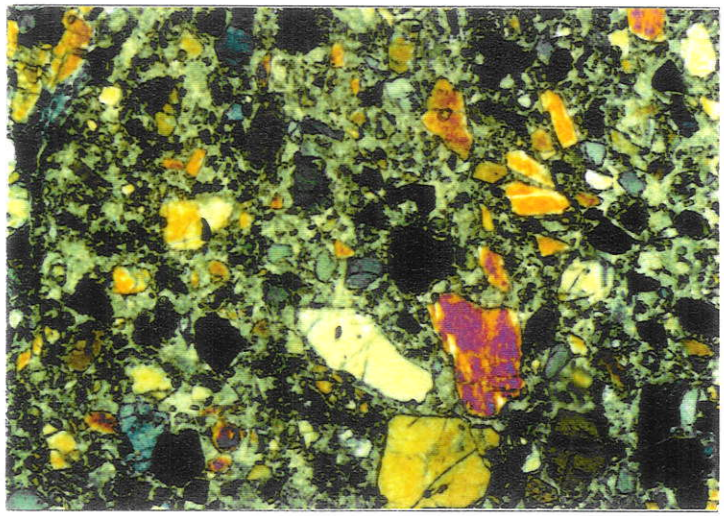


Foto 109. Detalhe da matriz da brecha com fragmentos de piroxênios em cimento carbonático. (Lado maior: 10mm). PDC 3

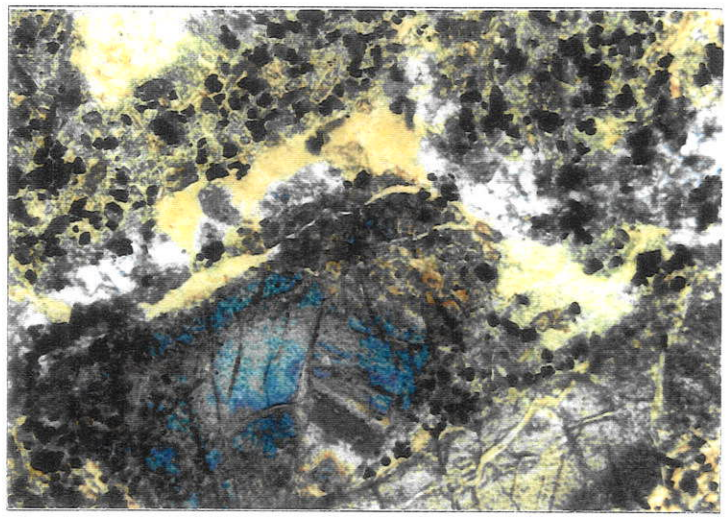


Foto 110. Detalhe da matriz em volta do fragmento de piroxênio titanoaugítico com pequenos opacos dispersos em massa carbonática a zeolítica fina.(Lado maior: 1mm). PDC 3

7. Geoquímica

Foram determinados por fluorescência de raios X (FRX), os elementos maiores (EM), traço (ET), e alguns terras raras (ETR) das amostras de rochas selecionadas. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 a 7 do Anexo IV, e estão organizados conforme o tipo de rocha e sua natureza de ocorrência no campo. Em cada tabela, as amostras estão listadas por um número que a identifica em alguns dos gráficos apresentados neste capítulo. Foram calculadas também, as composições mineralógicas normativas, e os parâmetros: Mg#, K_2O/Na_2O, total-álcalis (K_2O+Na_2O), índice de peralcalinidade (A.I.) (Sørensen, 1997), La/Y e ΣETR(La, Ce e Nd).

Para análise do comportamento dos grupos de elementos traço e terras raras, as concentrações das amostras foram todas normalizadas em relação às do manto primitivo, de MacDonough & Sun (1995). A determinação da composição mineralógica normativa levou em consideração ainda, as razões Fe_2O_3/Fe_2O, sugeridas por Middlemost (1989). Os estudos geoquímicos contaram ainda com o auxílio do trabalho de Rollinson, 1993.

7.1 Ankaratritos, fonolitos e nefelina sienitos

Quando lançadas no diagrama classificatório TAS (K_2O+Na_2O *versus* SiO_2) (Le Maitre, 1989), as rochas ankaratríticas e nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas caem nos campos dos foiditos a basanito-tefritos, e fonolitos (Figura 9).

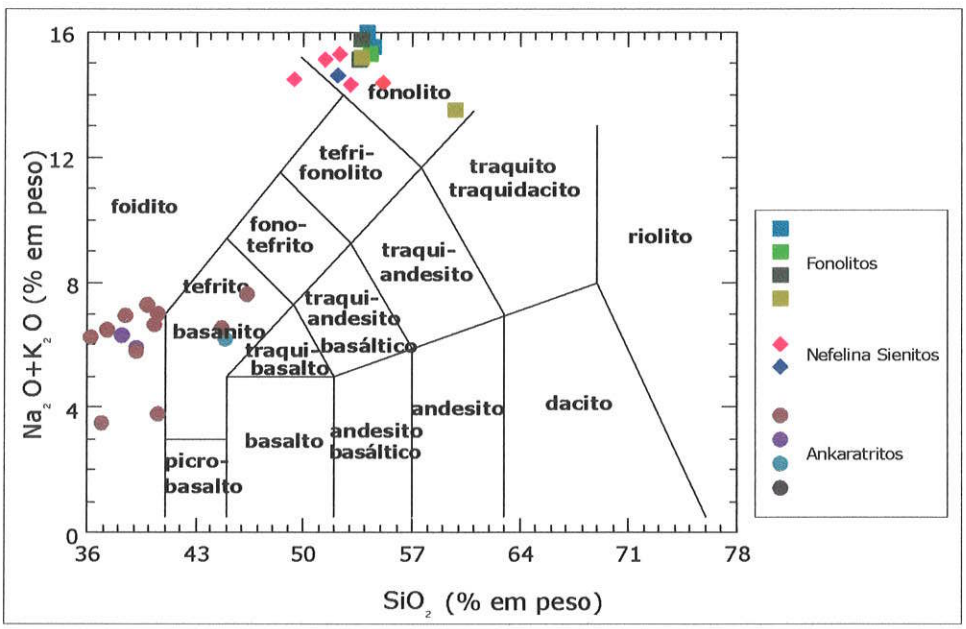


Figura 9. Diagrama classificatório TAS total álcalis *versus* sílica (Le Maitre, 1989).

7.1.1 Elementos Maiores

Ankaratritos

Os ankaratritos são rochas básicas a ultrabásicas, alcalinas, com conteúdos de SiO_2 variando de 30% a 46%, e total álcalis (K_2O+Na_2O) maiores que 3,4. São mais primitivas que os nefelina sienitos e apresentam conteúdos de MgO entre 4,6% e 9,3%, e Mg# entre 28 e 44. Exibem ainda, conteúdos de CaO, TiO_2, Fe_2O_3T, MgO e P_2O_5 maiores que os das rochas nefelino sieníticas.

As razões K_2O/Na_2O podem ser maiores ou menores que 1, e refletem, juntamente com o baixo conteúdo de SiO_2, a existência de variedades potássicas (K_2O até 6,83%) e sódicas (Na_2O até 4,46%), com predomínio de nefelina ou leucita normativa na rocha (Tabela 1B - Anexo IV). O mesmo é observado também, nos dados de ankaratritos compilados de Thompsom (1998), os quais mostram-se mais enriquecidos em Na_2O (Figura 10).

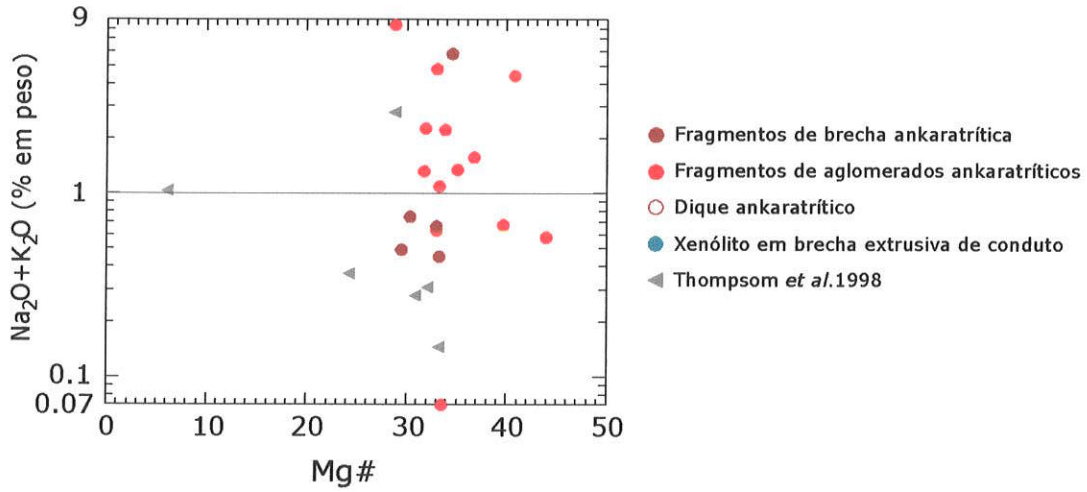
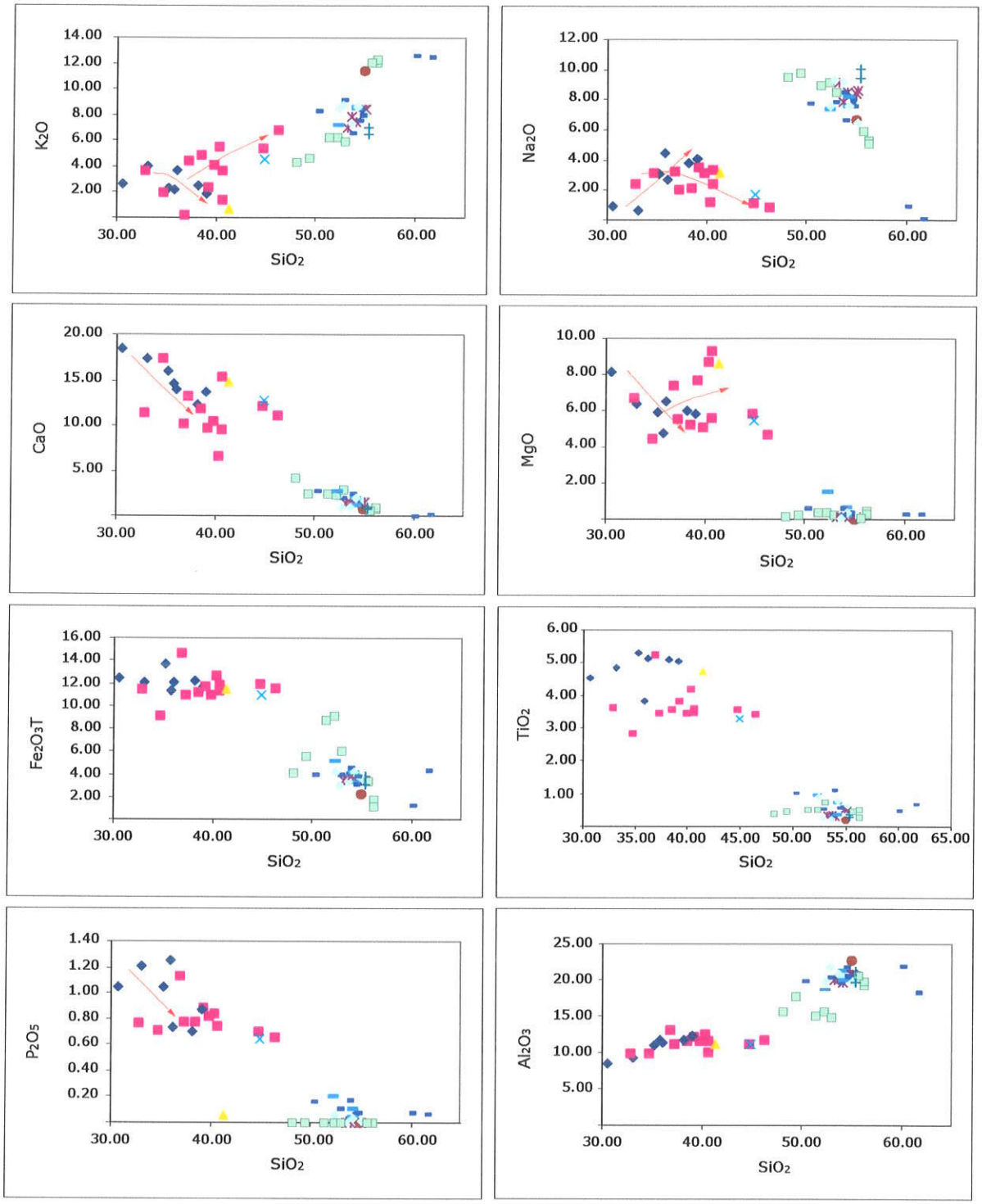


Figura 10. Diagrama K_2O/Na_2O *versus* Mg# mostrando a existência de rochas ankaratríticas potássicas e sódicas. Como complemento dos dados foram utilizados os dados de Thompson (1998).

Entre os ankaratritos, as brechas mostram-se mais primitivas que os aglomerados vulcânicos. Isso é observado nos diagramas tipo *Harker*, através da transição entre as duas variedades, com o aumento do conteúdo de SiO_2, das brechas em direção aos aglomerados (Figura 11). Essa figura mostra ainda, distintos *trends* evolutivos para as brechas e aglomerados, destacando-se nesses, o decréscimo de K_2O, MgO e P_2O_5 (nas brechas) com o aumento de SiO_2, seguido do incremento desses mesmos óxidos, nos aglomerados. O Na_2O mostra comportamento oposto, com incremento de seu conteúdo com o aumento de SiO_2 nas brechas, e decréscimo nos aglomerados.



LEGENDA

Ankaratritos	Fonolitos	Nefelina Sienitos
◆ Brecha	✱ Dique Fon.	▬ Vulcanoclástica Fon.
■ Aglomerado	● Xenólito Fon.	Nef. S. Miaskítico
▲ Dique Ank.	+ Fonolito da PP	□ Nef. S. Agpaítico
× Fragm. Ank.	▪ Fonolito Reg.	

Figura 11. Diagramas de variação tipo Harker, dos óxidos (% em peso) *versus* sílica (% em peso).

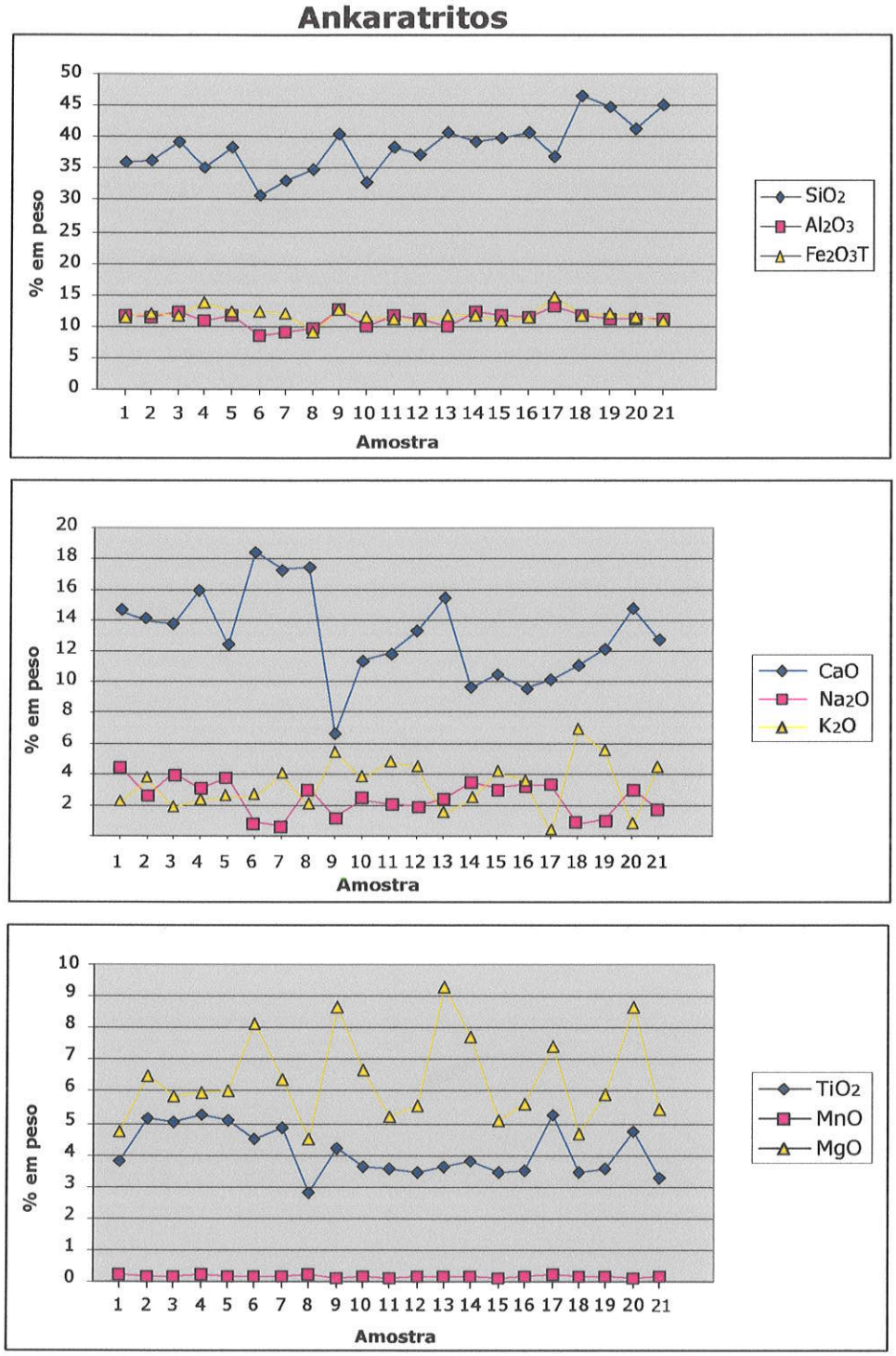


Figura 12. Diagramas das concentrações dos elementos maiores das rochas ankaratríticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (Identificação das amostras 1-21 - consultar Tabela 1A do Anexo IV).

A distribuição dos elementos maiores dentro do grupo das amostras, pode ser vista também, na Figura 12, onde os valores (% em peso) dos óxidos, estão lançados conforme a Tabela 1A do Anexo IV (amostras 1 a 21), das brechas ankaratríticas, em direção aos aglomerados, incluindo também, as composições do dique e xenólito

ankaratritos (amostras 20 e 21). Pela figura, observa-se que os conteúdos de SiO_2 e Al_2O_3 são equivalentes para todas amostras (~11%), e que o TiO_2 (conteúdos de 2,5% a 5,5%) é maior nas brechas e no dique (amostra 20) ankaratríticos, do que nos aglomerados (exceto a amostra 17). Chama a atenção ainda, a dispersão dos conteúdos de MgO dentro do intervalo de 4,48% a 9,7%, o que deve refletir a presença de olivina normativa nas amostras mais ricas nesse óxido.

Os valores de H_2O e CO_2 observados nas análises, estão associados à presença de carbonatos e zeólitas nas amígdalas e partes alteradas da rocha, ou ainda, na matriz intergranular das brechas e aglomerados ankaratríticos (amostra 8; PDC-14). H_2O e CO_2, juntamente com outros componentes voláteis (*e.g.* SO_2), totalizam altos valores de LOI (até 17,62% na amostra 10 da tabela 1-Anexo IV), fazendo com que proporcionalmente, os conteúdos de SiO_2 e dos demais óxidos de algumas amostras analisadas, fiquem menores que a composição química normal das rochas nefeliníticas e basaníticas de outros complexos alcalinos.

Destaca-se que, entre as amostras selecionadas, tanto aquelas com poucas amígdalas quanto as amigdaloidais, apresentaram valores de LOI maiores que 10%,o que torna o excesso de componentes voláteis nessas rochas, uma característica comum entre elas. Além disso, no capítulo de petrografia, foi destacado que em algumas amostras de ankaratritos estão presentes pequenos agregados de amígdalas, provavelmente formados a partir da coalescência de bolhas exolvidas da matriz silicática da rocha.

Essas características geoquímicas e petrográficas, apontam no sentido de que as rochas ankaratríticas do Complexo, são enriquecidas em componentes voláteis integrantes de uma fase carbonática inicial, que se separou do magma silicático de composição nefelinítica a basanítica, durante sua ascensão e extrusão em superfície. Green (1970, *apud* Edgar, 1987) e Mylsen & Boettcher (1975) demonstraram que a fusão parcial de uma fonte peridotítica com alta concentração de CO_2 e alta razão de H_2O/CO_2, leva à geração de magmas alcalinos insaturados em SiO_2, como basanitos e nefelinitos. A ocorrência dessas rochas com carbonatitos, a presença de massas carbonáticas primárias como nódulos de imiscibilidade em nefelinitos, e também, a presença de CO_2 no gás de muitos vulcões alcalinos ativos, estudados em detalhe, mostra que esse, parece ser a espécie volátil principal nesses tipos de associações de rochas alcalinas.

Nos nefelinitos e basanitos de provícinas alcalinas associadas com carbonatitos do Rift do Kenya, os conteúdos de SiO_2 estão entre 40% a 50%, e CaO entre 2% a 16% (Le Bas, 1987; Baker, 1987), já as rochas basaníticas do Maciço Central de Cantal, na França, exibem conteúdos de SiO_2 próximos de 41%, CaO em torno dos

11% e LOI menor que 1,5% (Wilson *et al.*, 1995). Por outro lado, os ankaratritos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, são mais pobres em SiO_2 (entre 30% e 44%), e exibem conteúdos altos de CaO (6,7% a 17,5%), condizentes com os valores de LOI e CO_2 das análises, e com a abundância de carbonatos, e feldspatóides normativos. Dessa forma, as rochas ankaratríticas do Complexo são algo mais enriquecidas em carbonatos que as rochas de outras províncias alcalinas analisadas.

Uma outra comparação pode ser feita em relação à média das composições de nefelinitos e basanitos no mundo, que mostra também, conteúdos maiores de álcalis totais nas rochas do Complexo em relação às demais ocorrências mundiais, como ilustra a tabela 7.1 a seguir:

Tabela 7.1. Comparação dos ankaratritos de Poços de Caldas com as rochas de outros Complexos Alcalinos:

				Ankaratritos de Poços de CaldasPoços		
	Nefelinitos ricos e pobres em olivina (I e II)*		Basanito		Nefelinitos com baixo e alto LOI (V e VI)	
	I	II	III	IV	V	VI
SiO_2	39,80	40,60	41	39,10	40,30	32,80
TiO_2	3,00	2,60	3,64	5,04	4,18	3,61
Al_2O_3	11,30	11,40	11,87	12,04	12,45	9,86
Fe_2O_3T	13,80	12,34	15,57	11,74	12,62	11,44
MnO	0,20	0,26	0,23	0,17	0,12	0,19
MgO	12,30	6,39	10,52	5,85	8,68	6,66
CaO	12,80	11,89	11,10	13,74	6,65	11,37
Na_2O	3,40	4,79	2,33	4,06	1,23	2,35
K_2O	1,10	3,46	1,48	1,84	5,45	3,68
P_2O_5	0,09	0,60	0,94	0,87	0,84	0,77
H_2O	2,1	1,65	0,87	3,55	4,19	1,13
CO_2		0,60	0,07	1,16	3,35	16,04

I-Média dos nefelinitos com olivina após Le bas, 1978 apud Fitton & Upton, 1987.
II-Basanito da suíte basanito-fonolítica do Monte Kenya (dados de Prince *et al.*, 1985 *apud* Wilson, 1989).
III- Média das composições de rochas ígneas extrusivas (176 amostras) (Le Maitre, 1976, *apud* Hall, 1987).
IV- fragmento em brecha ankaratrítica (nefelinito) do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.
V e VI- Blocos (nefelinito) em aglomerado ankaratrítico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Fonolitos e Nefelina Sienitos

Os nefelina sienitos e fonolitos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas são rochas alcalinas intermediárias, com conteúdos de SiO_2 em torno dos 55%, mais diferenciadas que os ankaratritos (Mg# médio de 8,4), e são classificadas como fonolitos, quando têm seus conteúdos de álcalis totais e SiO_2, lançados no diagrama TAS.

Fonolitos e nefelina sienitos são quimicamente parecidos. Os gráficos da Figura 13, mostram muitas semelhanças entre eles, a começar pelos conteúdos de SiO_2 (~55%) e Al_2O_3 (~20%), praticamente iguais nos dois grupos. As únicas exceções são os fonolitos 7 e 11 (PDC-2 e PDC-22), cujos conteúdos de SiO_2 são maiores que 55%, e que no diagrama TAS caem próximo ou dentro do campo dos traquitos.

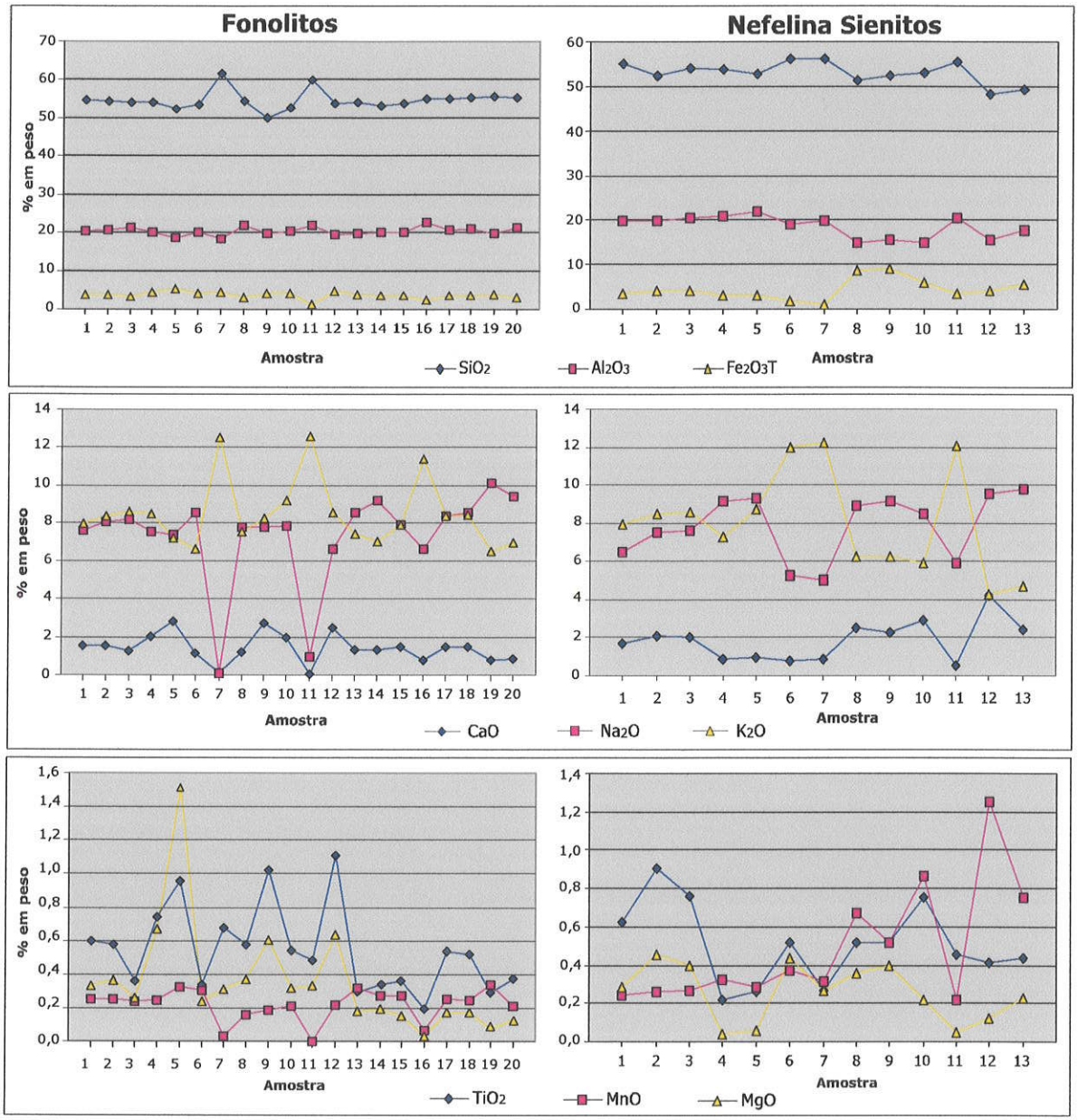


Figura 13. Diagramas das concentrações dos elementos maiores, dos fonolitos e nefelina sienitos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (Identificação das amostras 1-23 e 1-13 - consultar Tabelas 2A e 3A do Anexo IV).

Os dois grupos, apresentam conteúdos de TiO_2, MnO e MgO menores que 1,3%. Nos nefelina sienitos, MgO e TiO_2 não exibem um padrão definido e tanto os

tipos da Pedra Balão quanto os da Pedreira da Prefeitura (e Morro do Ferro) mostram valores diversos. Nessas rochas apenas o MnO mostra-se progressivamente mais enriquecimento em direção aos eudialita nefelina sienitos da Pedra Balão. Nas rochas fonolíticas, ocorre certo empobrecimento de TiO_2 e MnO, dos tipos regionais, em direção aos diques que cortam as brechas da borda N-NW-W e os nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura. MgO está presente em conteúdos baixos e próximos de 0,2%.

Entre as amostras analisadas, as maiores variações dos conteúdos de Na_2O e K_2O, ocorrem nos nefelina sienitos da Pedra Balão, onde os teores oscilam de 4% a 13% para o K_2O, e de 5% a 9% para o Na_2O. Esse comportamento é explicado pela existência de rochas mesocráticas, ricas em piroxênio egirínico, e rochas hololeucocráticas com pouca egirina. Nas primeiras, a composição química é algo mais rica em Fe_2O_3T e Na_2O e, portanto, pobre em K_2O, já nos nefelina sienitos hololeucocráticos, os conteúdos de K_2O são maiores que os de Na_2O e, devido à escassez de egirina, também são mais pobres em Fe_2O_3T.

Nos fonolitos regionais, e diques que cortam as rochas vulcanoclásticas da borda N-NW-W do Complexo, os conteúdos de Na_2O e K_2O são próximos de 8% (dentro do padrão das rochas regionais), enquanto os fonolitos que cortam os nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura (amostras 19 e 20 da tabela: 2A-Anexo IV) são mais ricos em Na_2O. O xenólito de fonolito encontrado no eudialita nefelina sienito da Pedra Balão (amostra 16 da tabela:2A-Anexo IV), apresenta por sua vez, conteúdo de K_2O maior que o de Na_2O. Apesar dessas diferenças, os conteúdos de Fe_2O_3T são todos próximos de 3,5%, não indicando variedades mais ricas ou pobres, em egirina.

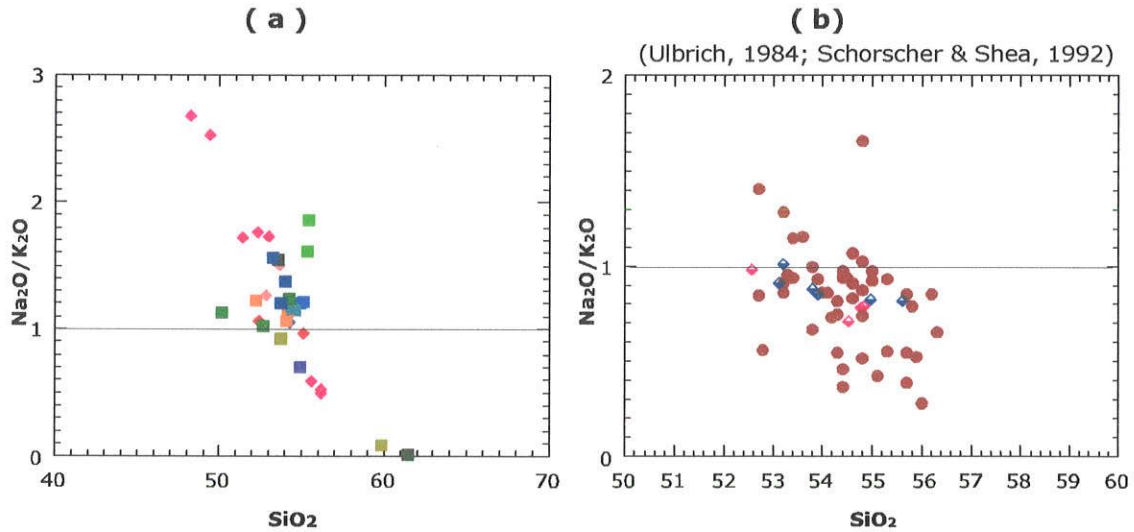


Figura 14. Diagramas (Na_2O/K_2O) *versus* SiO_2, mostrando a distribuição das rochas nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas nos campos sódico e potássico.

Nos diagramas da Figura 14, foram plotadas as composições das rochas nefelino sieníticas do Complexo, em dois campos distintos; um onde estão concentradas as rochas com razões $K_2O/Na_2O>1$, e outro com as rochas com razões menores que 1. Nesse mesmo diagrama, foram também lançados os dados de um grupo maior de nefelina sienitos e fonolitos do Complexo, compilados dos trabalhos de Ulbrich, H. (1984) e Schorscher & Shea (1992). Com relação às amostras desses trabalhos, foram comparados os conteúdos de K_2O e Na_2O como mostra a Figura 15.

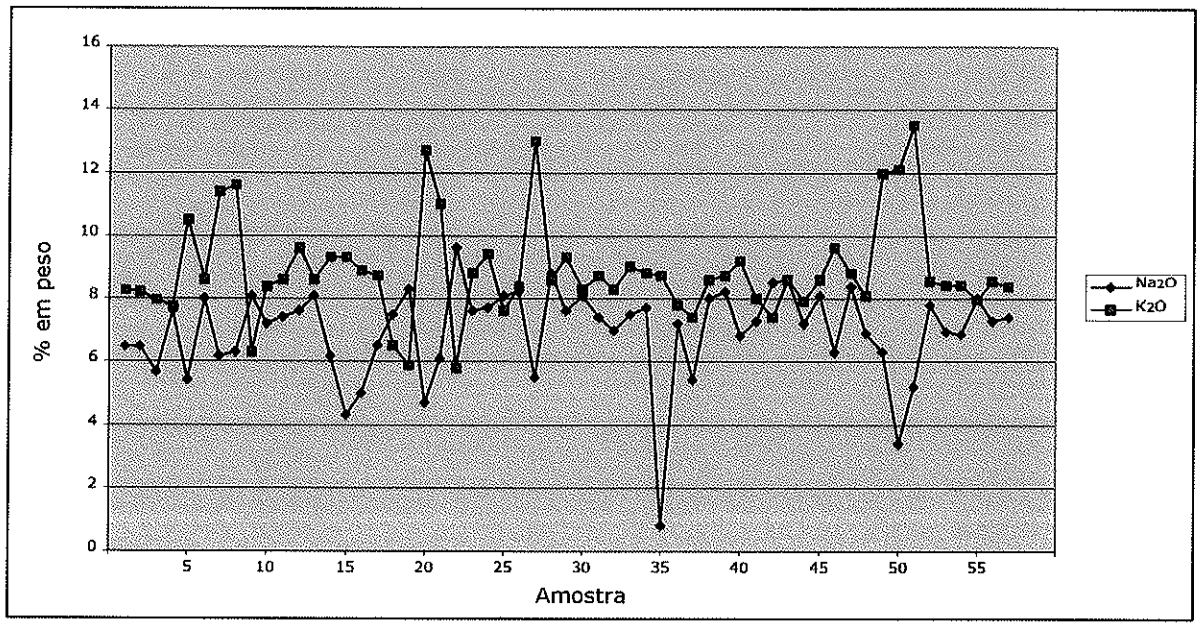


Figura 15. Concentrações de Na_2O e K_2O de nefelina sienitos e fonolitos de Poço de Caldas, referentes às amostras do diagrama (b) da figura anterior. (Dados extraídos de Ulbrich H., 1984; Schorscher & Shea, 1992).

Entre os nefelina sienitos, ocorrem ainda, variedades miaskíticas e agpaíticas, estas últimas, caracterizadas pela presença de eudialita. Sørensen (1997), define rocha agpaítica não apenas pelo caráter peralcalino (quando K_2O+Na_2O/Al_2O_3 em proporções moleculares, é maior que 1), mas também pela presença de minerais característicos de rochas agpaíticas. A grande maioria das rochas nefelino sieníticas do Complexo são peralcalinas, entretanto, nem todas exibem mineralogia típica de rochas agpaíticas. Na região do Morro do Serrote foram descritas relações de contato, onde a rocha agpaítica intrude a rocha miaskítica. Ulbrich, H. (1984), descreve os nefelina sienitos agpaíticos, como posteriores e diferenciados, a partir de magmas nefelina sieníticos miaskíticos. Com relação às rochas fonolíticas, sabe-se que os tipos regionais são mais antigos que aqueles que cortam as brechas da borda N-NW-W. Entretanto, devido à sua textura afanítica, e dificuldade de se reconhecer minerais agpaíticos, essas são caracterizadas apenas quanto à sua peralcalinidade sendo esse

índice, um indicador do caráter agpaítico e, provavelmente, de diferenciação em relação aos tipos menos peralcalinos.

A Figura 16 a seguir, exemplifica o grau de peralcalinidade das rochas do Complexo através do diagrama de Shand (1951). Esse é subdividido nos campos peralcalino, peraluminoso e metaluminoso, e os conteúdos de K_2O+Na_2O, Al_2O_3 e CaO das amostras, foram todos recalculados para 100% antes de serem plotados. Observa-se que nefelina sienitos e fonolitos distribuem-se principalmente no campo peralcalino e, em menor quantidade, no campo metaluminoso. Quando comparadas às demais rochas nefelino sieníticas da literatura (Le Maitre, 1976), mostram-se fortemente enriquecidas em K_2O. Isso provavelmente é devido à característica perpotássica primária do líquido magmático silicático inicial (Schorscher & Shea, 1992).

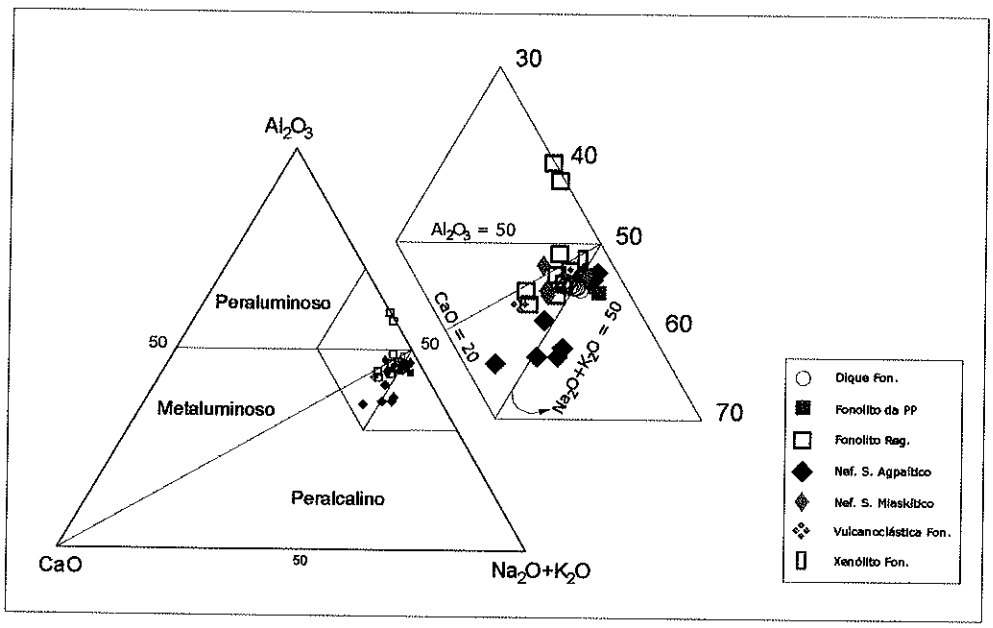


Figura 16. Grau de peralcalinidade das rochas nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, segundo a classificação de Shand (1951).

Pelo diagrama, nefelina sienitos miaskíticos e fonolitos regionais estão mais próximos do limite entre os campos peralcalino e metaluminoso, enquanto nefelina sienitos agpaíticos e os diques de fonolitos que cortam as brechas da borda N-NW-W e fonolitos da Pedreira da Prefeitura são mais peralcalinos que as demais rochas. Destaca-se ainda que, entre os nefelina sienitos, as variedades agpaíticas contêm mais CaO que as miaskíticas e, entre os fonolitos, aqueles da Pedreira da Prefeitura são os mais peralcalinos dos fonolitos analisados.

Assim como os nefelina sienitos, os fonolitos mais peralcalinos e de idade relativa mais jovem que os tipos menos peralcalinos (regionais), podem muito bem representar variedades intermediárias entre rochas miaskíticas e agpaíticas.

7.1.2. Elementos Traço e Terras Raras

São mostrados na Figura 18 os spidergramas dos elementos traço e de alguns terras raras do conjunto das rochas ankaratríticas e nefelino sieníticas do Complexo, normalizados em relação ao manto primitivo de McDonough & Sun (1995).

Nota-se que existe pouca correlação dos ankaratritos com os nefelina sienitos e fonolitos, principalmente com relação aos elementos incompatíveis. Nos diagrama das rochas ankaratríticas, os incompatíveis mostram-se pouco diferenciados em relação ao manto primitivo, exibem uma curva pouco acentuada, com enriquecimentos pontuais de U e Ta. O Ba e K mostram-se diferenciados em poucas amostras. Somente a partir do elemento La, é que a curva sofre inflexão para valores menos enriquecidos. Razões La/Y são baixas (~3) e indicam baixo fracionamento de ETR-L em relação aos ETR-P, ao contrário das razões dos fonolitos e nefelina sienitos (entre 4 e 19) que exibem progressivo enriquecimento de La e Ce.

Nos ankaratritos os elementos V, Cu, Zn e Ga mostram-se pouco fracionados, permanecendo próximos das concentrações do Manto Primitivo, enquanto Cr, Ni e Co já caracterizam anomalias negativas, indicando para os ankatratritos, fracionamentos de piroxênio e mais provavelmente de olivina. Diagramas Cr e Ni vs. Mg# mostram mais claramente o processo de empobrecimento dos conteúdos desses metais nos ankaratritos com a diminuição de Mg# (Figura 17).

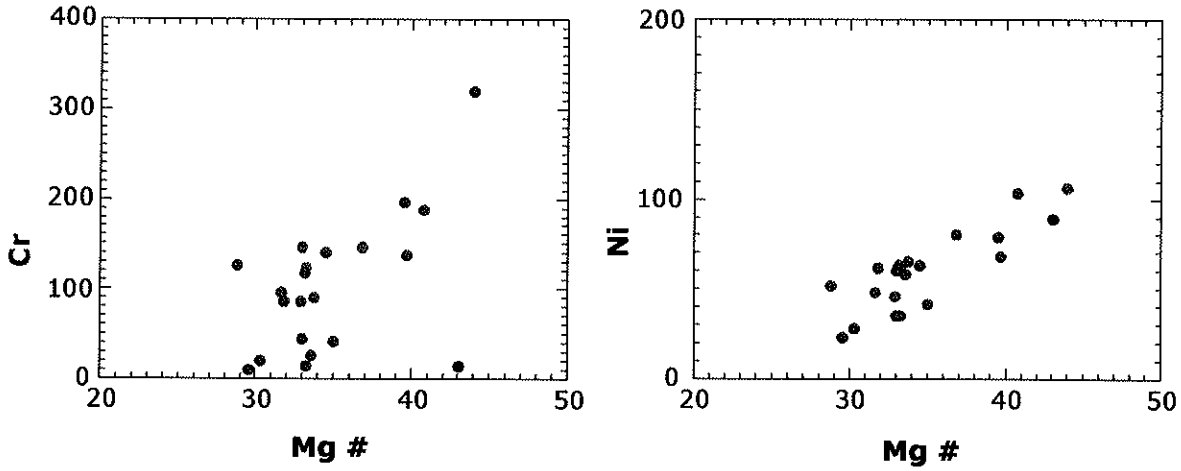


Figura 17. Diagramas Cr *versus* Mg# e Ni *versus* Mg# das rochas ankaratríticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Esse comportamento é compatível com a diminuição do conteúdo de CaO, que deve entrar na composição do piroxênio augítico. Os fatores de enriquecimentos de Ti e V, maiores que os das rochas nefelino sieníticas apontam para enriquecimento em

fases minerais como ilmenita, titanita e magnetitas, como mostram as observações petrográficas.

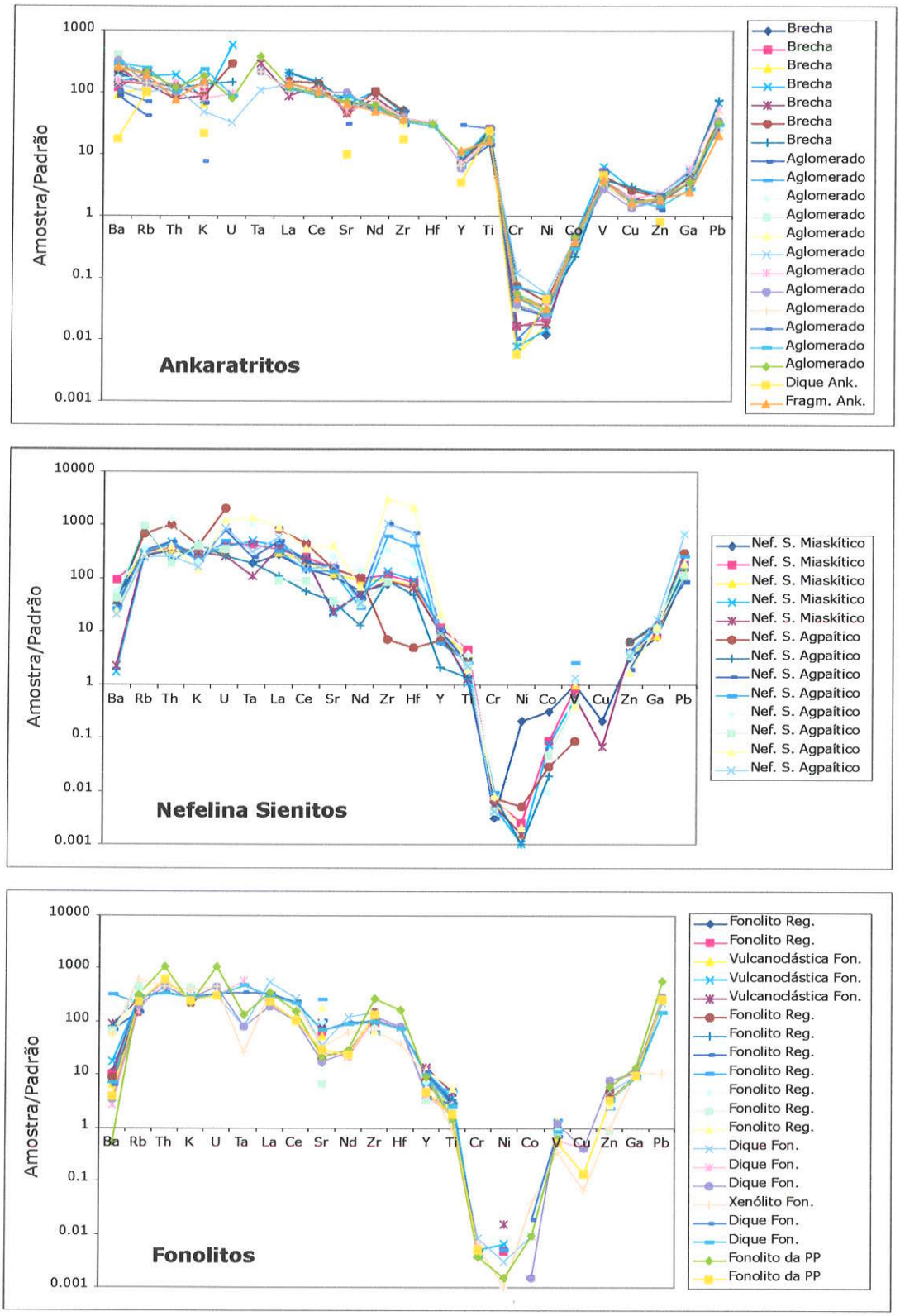


Figura 18. Spidergramas dos Elementos Traço (ET) dos três grupos de rochas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, normalizados em relação ao Manto Primitivo de McDonough & Sun (1995).

Os spidergramas dos fonolitos e nefelina sienitos mostram boa correlação entre as curvas. Essas são caracterizadas pelo enriquecimento preferencial dos elementos incompatíveis, destacando-se principalmente Zr e Hf, e empobrecimento de Ba e Ta. Também estão presentes as anomalias negativas de Cr, Ni, Co, além de V e Cu. Uma comparação importante entre as três curvas é a razão La/Y, que se mostra mais acentuada nos nefelina sienitos agpaíticos. Considerando o comportamento do Y como a de um ETR-P, deduz-se que o fracionamento de ETR-L é maior nas rochas nefelino sieníticas do que nos ankaratritos. Isso pode ser analisado com a progressiva diferenciação acompanhada do enriquecimento de incompatíveis e de ETR-L dos fonolitos para os nefelina sienitos, e entre esses, das variedades miaskíticas para as agaíticas. Entre os fonolitos, aqueles intrusivos nos nefelina sienitos da Pedreira da Prefeitura mostram-se mais diferenciados que os demais, com valores mais altos de U, Th, Zr, Hf e Pb, o que leva a crer num padrão de diferenciação semelhante ao dos nefelina sienitos agpaíticos.

Uma feição característica das suítes vulcânicas do Leste Africano é a constância das razões Zr/Nb (~3,5), em rochas com amplo conteúdo de SiO_2 (Weaver *et al.* 1972; Lippard, 1973 *apud* Wilson, 1989). Esse comportamento, sugere que as rochas de uma série magmática (*e.g.* Mt. Kenya: série basanito-fonolito), representam produtos de cristalização fracionada de uma mesma fonte. Por outro lado, razões Nb/Zr variáveis, apontam para outros componentes envolvidos durante os processos petrogenéticos. Kamber and Collerson (2000), propõem que a correlação entre esses elementos, reflete uma mistura binária (hibridização) de dois líquidos distintos, que dão origem ao magma parental dos termos mais primitivos da série alcalina (enriquecido em Nb), e cuja razão Zr/Nb se mantém até os termos mais diferenciados, não sendo modificada por fracionamento mineral, ou por pequenas taxas de fusão. Entretanto, o envolvimento de outros componentes enriquecidos, pode alterar os valores originais das concentrações desses elementos.

As rochas ankaratríticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas mostram razões Nb/Zr variáveis. Entre os ankaratritos, apenas algumas amostras apresentam razões lineares, estando distribuídas ao longo da reta dos pontos com razão 3,5, enquanto a outra, mostra certo enriquecimento de Zr sobre Nb, resultando em razões maiores (Figura 19).

As rochas nefelino sieníticas por sua vez, também não apresentam razões lineares, mas o grupo de fonolitos que cortam as brechas da borda N-NW-M do Complexo e os fonolitos da Pedreira da Prefeitura, caem ao longo de uma linha com razão constante Nb/Zr, maior que 10. Já os nefelina sienitos agpaíticos mostram certa

dispersão dos valores, enquanto os nefelina sientitos miaskíticos ficam um pouco mais próximos de razões Nr/Nb de 5 e 3,5.

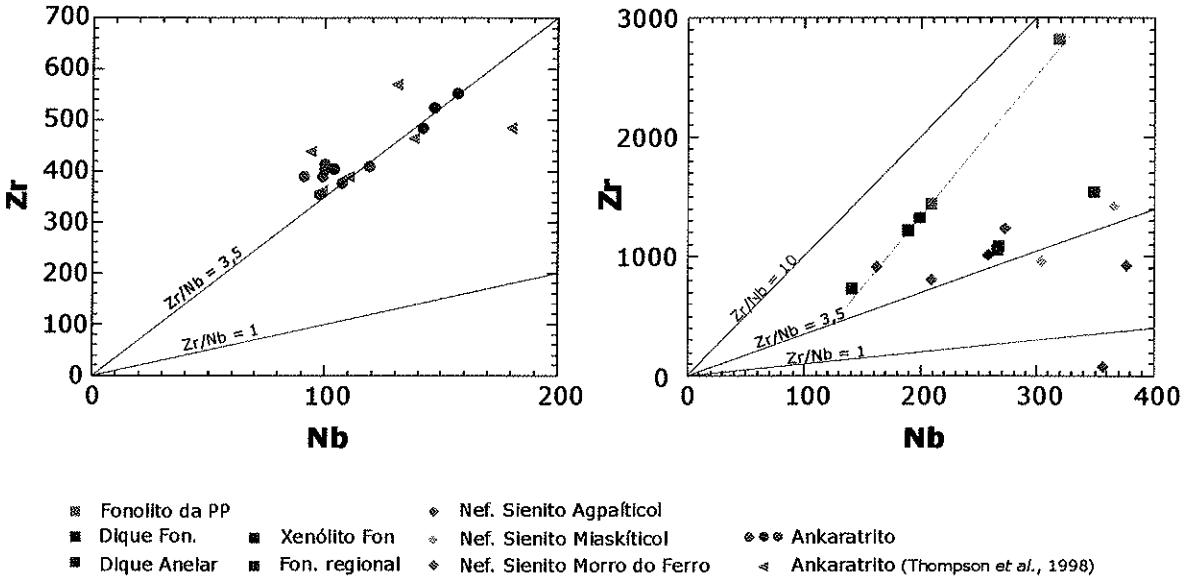


Figura 19. Diagramas Zr *versus* Nb em relação à razão Zr/Nb=3,5, das rochas ankaratrítcas e nefelino sieníticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Entre os ankaratritos destacam-se dois grupos de rochas e, provavelmente, aquelas não alinhadas, tiveram seus conteúdos de Zr e Nb alterados ao longo da evolução magmática. Os nefelina sienitos em geral, mostram-se dispersos e esse comportamento, pode estar ligado a mudanças no líquido magmático, provavelmente por segregação de fases minerais ricas em incompatíveis, como ocorre com as variedades agpaíticas. Os fonolitos por sua vez mostram comportamentos distintos para os diques que cortam as brechas da borda N-NW-W e aqueles da Pedreira da Prefeitura, e os fonolitos regionais. Os diques, mais tardios e provavelmente mais diferenciados são enriquecidos em Zr, e têm altas razões Zr/Nb. Já os fonolitos regionais e os diques anelares também mostram certa dispersão dos valores.

7.2 Rochas vulcanoclásticas

Foram analisadas as matrizes das brechas extrusivas e intrusivas de conduto vulcânico, e das brechas vulcanoclásticas de fluxo piroclástico. Essas rochas apresentam pouca seleção granulométrica, ora predominando material fino tufáceo, rico em cinzas vulcânicas, ora contendo abundantes fenocristais de minerais félsicos e máficos ou ainda, pequenos fragmentos de rochas de composição distinta da matriz. Dessa forma, para se evitar problemas analíticos, considerou-se como material de

análise, toda a porção fina da matriz, cuja granulometria fosse inferior a 1cm. Tentou-se dessa maneira analisar apenas a porção fundamental da matriz, que representasse a brecha como um todo. No caso das brechas intrusivas, de matriz mais grossa, com fenocristais submilimétricos, adotou-se os critérios de coleta de quantidades adequadas de material, que representasse adequadamente a matriz da rocha.

7.2.1 Elementos Maiores

Na figura 20, estão representados os resultados das análises, em diagramas de variação dos elementos maiores em óxidos, por amostras. Neles, três grupos distintos de rochas são reconhecidos quanto ao comportamento geoquímico: brechas intrusivas de conduto vulcânico, juntamente com as amostras 13 e 14 (M-2 e D5, respectivamente); brechas extrusivas de conduto vulcânico; e brechas vulcanoclásticas de fluxo pirclástico.

As brechas do primeiro grupo apresentam conteúdos de maiores, muito próximos das médias dos conteúdos apresentados pelas rochas nefelino-sieníticas miaskíticas. Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 são próximos de 50% e 20% respectivamente; K_2O e Na_2O ocorrem em concentrações iguais e próximas aos 8%, e os demais óxidos, estão todos abaixo de 2,5%. CaO oscila entre 1,15% e 2,06%, enquanto TiO_2, MnO e MgO estão presentes em concentrações menores que 0,65%.

As brechas do segundo tipo são todas do tipo extrusivas de conduto vulcânico, e diferem composicionalmente das demais, por apresentarem conteúdos de CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2 e P_2O_5 superiores aos das brechas anteriores. Esse aumento reflete-se na composição mineralógica da matriz, rica em carbonatos e associações de carbonatos, piroxênios egirínicos, titanitas e apatitas, além de zeólitas e óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e magnetita foram reconhecidas em seção delgada, e em amostras de mão). Os conteúdos de K_2O e Na_2O encontram-se próximos de 3,5% e mantêm as mesmas razões K_2O/Na_2O, dos fonolitos e nefelina sienitos miaskíticos. SiO_2 oscila entre 35% e 53%, CaO entre 10% e 16,5%, e Al_2O_3 mantém-se constante em torno dos 7,31%. MgO e TiO_2 ocorrem em concentrações acima dos 2%: o conteúdo de MgO está entre 3,9% e 7,4%; e do TiO_2, entre 2,1% e 4%.

As brechas do terceiro grupo mostram certa familiaridade com as brechas do segundo grupo, principalmente com relação aos conteúdos de CaO, TiO_2, e MgO. Apenas os conteúdos de P_2O_5 são algo maiores, enquanto os de Na_2O são bem menores, ficando abaixo de 1%. Mineralogicamente na matriz dessas rochas, ocorrem as mesmas associações mineralógicas encontradas nas brechas de conduto vulcânico, diferindo apenas nos tipos de fragmentos.

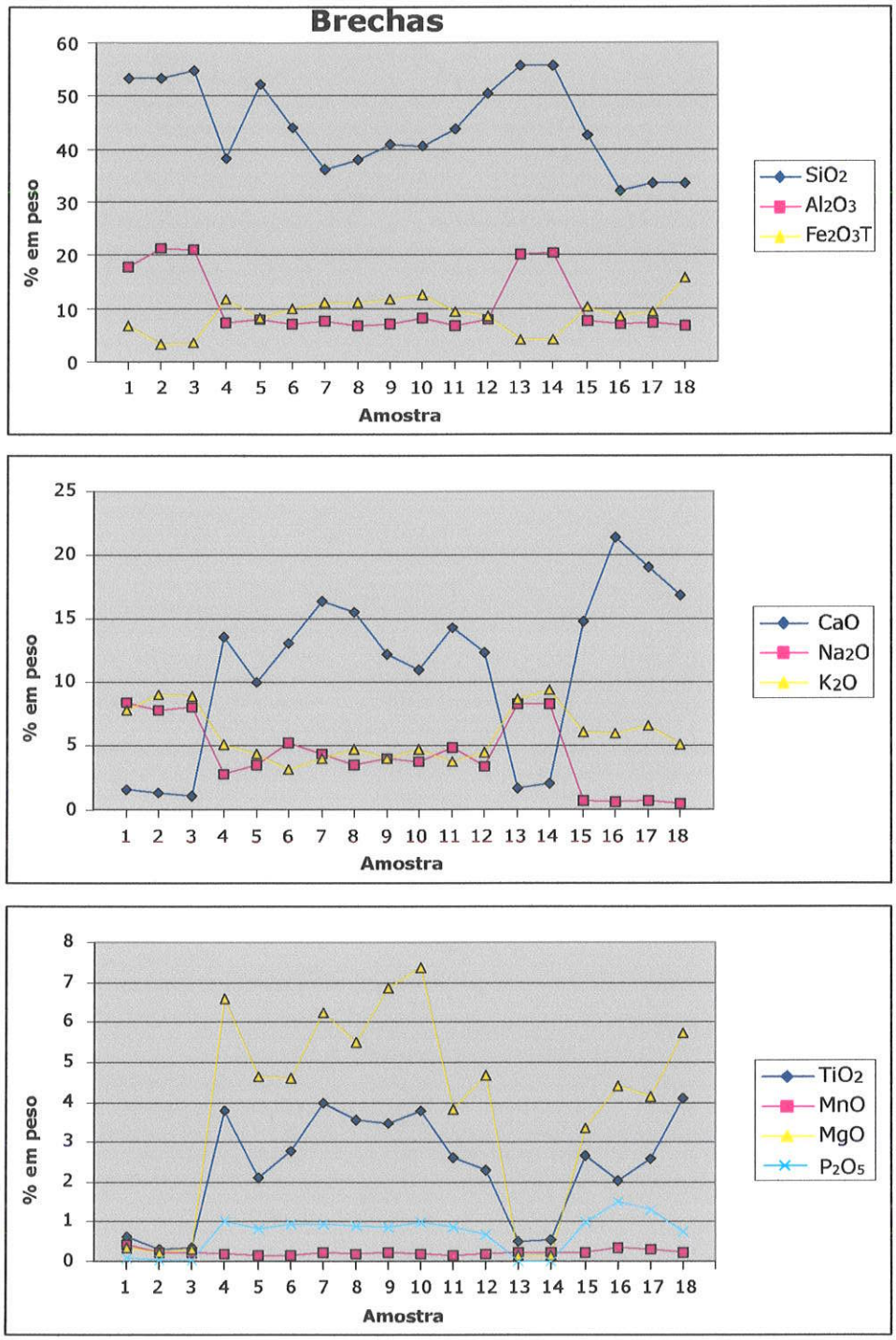


Figura 20. Diagramas das concentrações de elementos maiores das rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (Identificação das amostras 1-18 - consultar Tabela 4 do Anexo IV).

7.2.2 Elementos traço e terras raras

O spidergrama dos elementos menores e traço, normalizados em relação ao Manto Primitivo de McDonoug & Sun (1995), das brechas intrusivas e extrusivas de conduto vulcânico, e brechas de fluxo piroclástico é apresentado na figura 21.

Esse diagrama apresenta um padrão intermediário entre aqueles exibidos pelos ankaratritos, e pelas rochas nefelino sieníticas, do Complexo. Nas brechas, o padrão de enriquecimento dos elementos incompatíveis é semelhante ao dos ankaratritos no intervalo entre os elementos La e Y, onde a curva apresenta-se pouco inclinada e sem grandes fracionamentos de Sr, Zr e Hf, ao contrário do que ocorre com as rochas nefelino sieníticas. Por outro lado K e Ba, estão menos enriquecidos que os demais elementos incompatíveis, como é observado em alguns ankaratritos (amostra 20: dique ankaratrítico que corta os aglomerados vulcânicos no afloramento PDC-16). Nos nefelina sienitos e fonolitos o enriquecimento desses elementos é desigual, estando o Ba muito pouco enriquecido, ou mesmo caracterizado como anomalia negativa (fonolito da Pedreira da Prefeitura), enquanto o K tende a enriquecer cada vez mais, principalmente nos membros mais peralcalinos. Nas brechas, o K está pouco enriquecido, principalmente nas brechas extrusivas e de fluxo piroclástico. Nas brechas intrusivas e nas amostras 13 e 14 seus valores são equivalentes aos das rochas nefelino sieníticas miaskíticas.

Chama a atenção ainda, nas brechas, o comportamento anômalo do Ta, entre os incompatíveis, estando esse, enriquecido mais de 10000 vezes a concentração do manto primitivo. Os demais elementos incompatíveis mostram-se pouco diferenciados, e exibem uma curva de enriquecimento pouco acentuada.

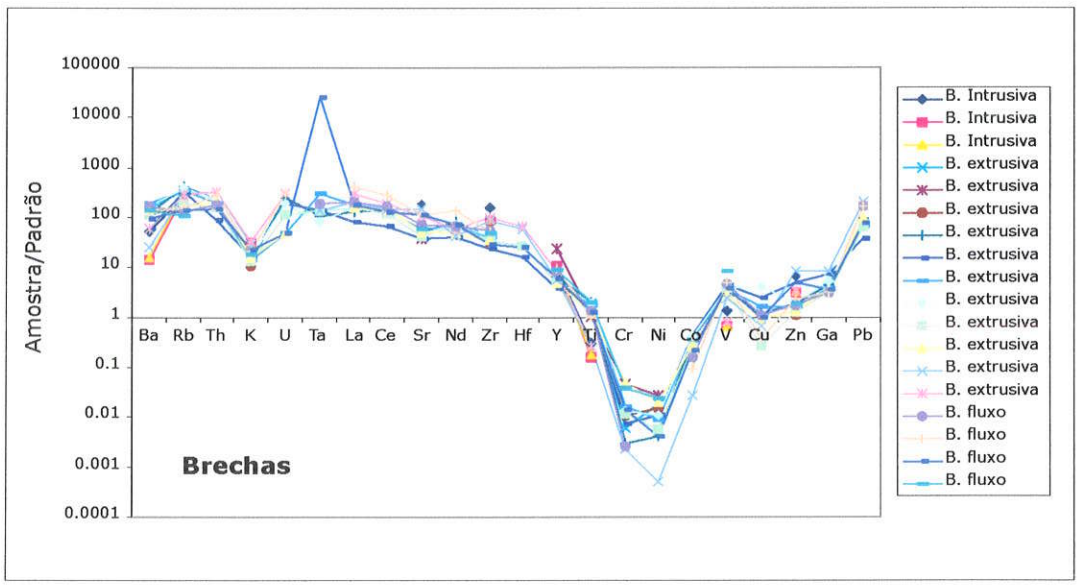


Figura 21. Spidergrama dos elementos traço (ET) das rochas vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, normalizado em relação ao manto Primitivo de McDonough & Sun (1995).

O Ti nas brechas está bem próximo aos valores do manto primitivo, enquanto nas demais rochas ele está levemente enriquecido (principalmente nos ankaratritos).

Cr, Ni, e Co ocorrem como anomalias negativas, como nas demais rochas do Complexo, enquanto V e Cu, apresentam fatores de fracionamento intermediários entre os ankaratritos e as rochas nefelino sieníticas. Zn e Ga estão próximos das concentrações do manto primitivo, ora ocorrendo também, como anomalias negativas.

Considerando apenas os ETR La, Ce e Nd, determinados em algumas amostras, verifica-se que as brechas de fluxo piroclástico são mais enriquecidas em ETR que as intrusivas e extrusivas de conduto vulcânico (ΣETR = 428ppm), apresentando valor máximo de ΣETR entre de 916ppm na amostra 16 (PDC-11CF). Razões La/Y (próximas de 4) são baixas e semelhantes às dos ankaratritos. Entre os diferentes tipos de brechas parece não haver grandes diferenças nos conteúdos desses elementos. Apesar das razões La/Y das brechas intrusivas de conduto vulcânico não terem sido determinadas e, a julgar pela similaridade da composição química dessas com as rochas nefelino sieníticas miaskíticas essas provavelmente devem apresentar razões maiores indicando leve fracionamento de ETR-L, assim como ocorre com os fonolitos dos diques que cortam as brechas da borda N-NW-W e também os diques da Pedreira da Prefeitura, que apresentam razões maiores que as dos fonolitos regionais.

7.3 Fragmentos de brecha

Entre os fragmentos analisados, deu-se preferência àqueles de composição incomum às rochas do Complexo. Foram analisados fragmentos de granitóides, diabásios, rochas sedimentares quartzo-areníticas, fragmentos de carbonatos e de rochas carbonatíticas e por fim, fragmentos de rochas ultramáficas piroxeníticas.

7.3.1 Granitóides e diabásios

Elementos Maiores

Com base nos gráficos da figura 22, observa-se que os conteúdos de SiO_2 oscilam entre 50% a 70%. Conteúdos de Al_2O_3 estão próximos dos 12%. A única exceção é a amostra 2 (tabela 5A do Anexo IV) cujo conteúdo observado é o menor de todos (6,91%). K_2O e Na_2O exibem conteúdos variáveis em cada amostra. Os aplitos M9-FB e M9-FC (amostra 4 e 5 da tabela 5A do Anexo IV), representam as porções central e de borda de um fragmento de rocha. Esses apresentam conteúdos de Na_2O (~8%), maiores que os das demais rochas, e por outro lado, seus conteúdos de K_2O são os menores (1,2% e 0,21%) registrados. Já a amostra 6, apresenta os maiores conteúdos de CaO e K_2O, e menor de Na_2O (10,8%, 9,2% e 1,59%

respectivamente). O conjunto dos valores pode indicar ou a variabilidade composicional das rochas do embasamento, ou mais provavelmente, que muitas dessas rochas tiveram seu conteúdo químico e mineralógico originais modificados por atividade metassomática (evidente nas amostras 6 e 7).

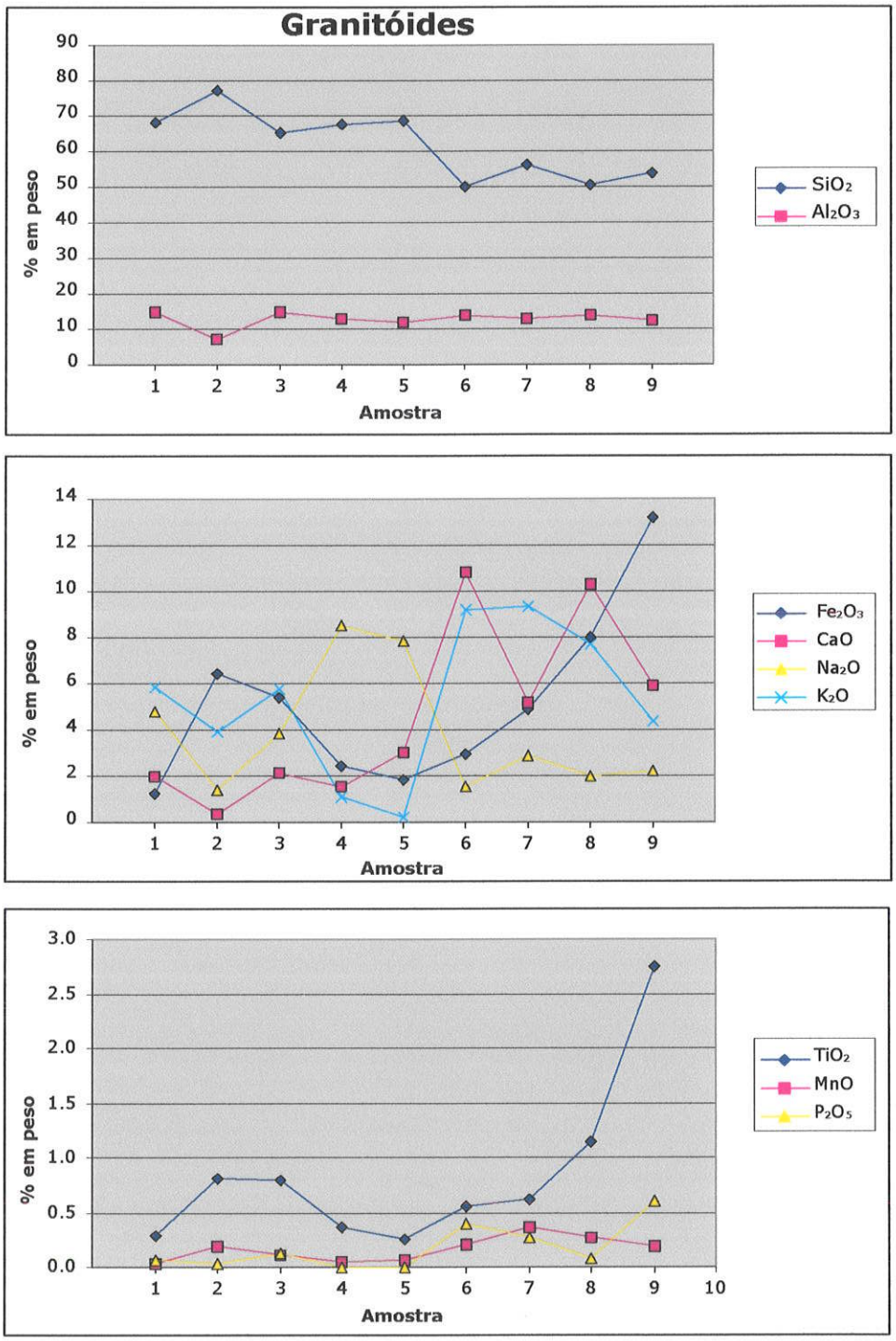


Figura 22. Diagramas das concentrações de elementos maiores dos granitóides e diabásio, do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (Identificação das amostras 1-9 - consultar Tabela 5 do Anexo IV).

Aparentemente os conteúdos de Fe_2O_3, TiO_2 e K_2O, tendem a aumentar nos granitóides fenitizados, acompanhando o CaO e o P_2O_5. sendo neste menos evidente. Esse comportamento mostra-se anômalo e indicativo de alteração metassomática, refletindo-se na mineralogia pela alteração carbonática, enriquecimentos de piroxênio egirínicos, redução do quartzo livre, aumento do feldspato potássico e aparecimentos de minerais com apatita e titanita. Em alguns casos o teor original de SiO_2 chega a diminuir como é o caso das amostras 6, 7 e 8.

A amostra 9 refere-se a um diabásio aparentemente pouco alterado, sua composição é normal com relação aos conteúdos de Al_2O_3, SiO_2. O Na_2O, CaO e K_2O mostram conteúdos maiores de K_2O sobre o Na_2O, o que pode estar relacionado com a entrada de K_2O por alteração metassomática.

Elementos Traço e Terras Raras

Ao se analisar o padrão de distribuição dos elementos traço dessas rochas, nota-se claramente que as amostras 6 e 8 (fenitos) têm comportamentos diferente das demais amostras. Principalmente na amostra 6 ocorrem enriquecimentos de La, Ce e Nd, além de Ta, V e Cu (esse último mais enriquecido na amostra 8). Nas demais amostras, os padrões observados notados para os conteúdos de alguns elementos. são baixos. Anomalias nas distribuições dos conteúdos de Rb, Ba e Cs, além de outras são notados nas amostras 4 (de borda: M9-FB) e 5 (de centro M9-FC) de um aplito. Esse, exibe marcante borda de reação com a matriz da brecha de onde foi coletado.

Padrões de fracionamento de ETR mostram novamente que a amostra M9-G é mais enriquecida em La, Ce e Nd que as demais amostras e, também, que a porção de borda de um fragmento de rocha afanítica, mostra indícios de enriquecimentos de alguns elementos.

7.3.2 Quartzo arenitos, carbonatos e carbonatitos

Elementos Maiores

São bastante comuns os indícios de atividade magmática a pós-magmática relacionada, a fluidos carbonáticos e carbonatíticos. Alguns exemplos são: o tipo de material cimentante da matriz das brechas de conduto vulcânico e de fluxo piroclástico, os fragmentos de rochas carbonatíticas com estruturas maciça granular e de fluxo magmático, nos depósitos de brechas, e a presença de carbonato como principal mineral que cimenta os fragmentos das brechas ankaratríticas.

Além disso, alguns dos tipos de brechas estudados, mostram evidências da atuação de fluidos carbonáticos a carbonatíticos durante sua formação. Entre elas

destacam-se fragmentos carbonáticos puros, e fragmentos carbonatíticos, veios e venulações diversas preenchidas por carbonato, os elevados teores de CaO, P_2O_5, TiO_2. As observações petrográficas de associações de carbonatos e apatitas, com quantidades variadas de opacos e raros pirocloros, são outros fortes indicativos da presença de fluidos carbonatíticos na formação, ou alteração de brechas, inicialmente fonolíticas, como é o caso de algumas das amostras de brecha analisadas, e cujos conteúdos de elementos maiores são muito parecidos com as das rochas nefelino sieníticas miaskíticas (amostras 13 e 14: M2 e D5 da tabela 4 do Anexo IV).

Durante os trabalhos, foram coletados fragmentos ricos em carbonatos, que em seção delgada revelaram-se rochas ricas em grãos detríticos de quartzo em cimento carbonático, e rochas carbonáticas com ou sem apatita, além de associações minerais típicas de rochas carbonatíticas. Os resultados comparativos dos conteúdos dos óxidos por amostra podem ser visto nos gráficos da figura 23.

Observa-se nos gráficos, importantes diferenças no conteúdo químico global das amostras. Os quartzo arenitos exibem concentrações de SiO_2 próximas de 60%, e de CaO em torno dos 20%, já os fragmentos carbonáticos e carbonatíticos (amostras 7 a 12), apresentam conteúdo de SiO_2 próximo dos 10%, e de CaO próximo de 50%. Acompanham o CaO, o Fe_2O_3, TiO_2 e P_2O_5, além de quantidades menores de Na_2O, K_2O, Al_2O_5 e MgO. Esses valores são compatíveis com as observações petrográficas de amostras de carbonatitos, nas quais foi identificada, mineralogia composta essencialmente por por carbonatos e apatitas, além de piroxênios, magnetitas e titanitas. Já os quartzo arenitos, mostram mineralogia monótona, composta essencialmente por carbonato granular e grãos de quartzo detríticos, bem arredondados, com bordas de reação e formação de cristais aciculares de piroxênio verde e wollastonita em torno do grão.

Logo, para as rochas carbonatíticas de Poços de Caldas, o conteúdo de CaO está em torno de 45%, e de Al_2O_3, abaixo dos 2%. Nos carbonatitos mais ricos em piroxênios o conteúdo de SiO_2 podem chegar aos 10%. MnO, MgO e TiO_2 mostram valores inferiores a 1%. Eventualmente, as amostras ricas em titanitas podem apresentar conteúdos maiores de TiO_2. Os conteúdos de K_2O são baixos, apresenta valores em torno de 1,5%, mas em média predominam valores inferiores a esse.

Elementos traço e terras raras

As principais diferenças entre os quartzo arenitos e os fragmentos de rochas carbonatíticas, dizem respeito aos conteúdos de Sr, Zr, V e ΣETR (La, Ce e Nd). Nos quartzo arenitos, os valores mais expressivos são os de Ba, Rb e Sr, que podem atingir no máximo, conteúdos de 680ppm enquanto os demais elementos estão

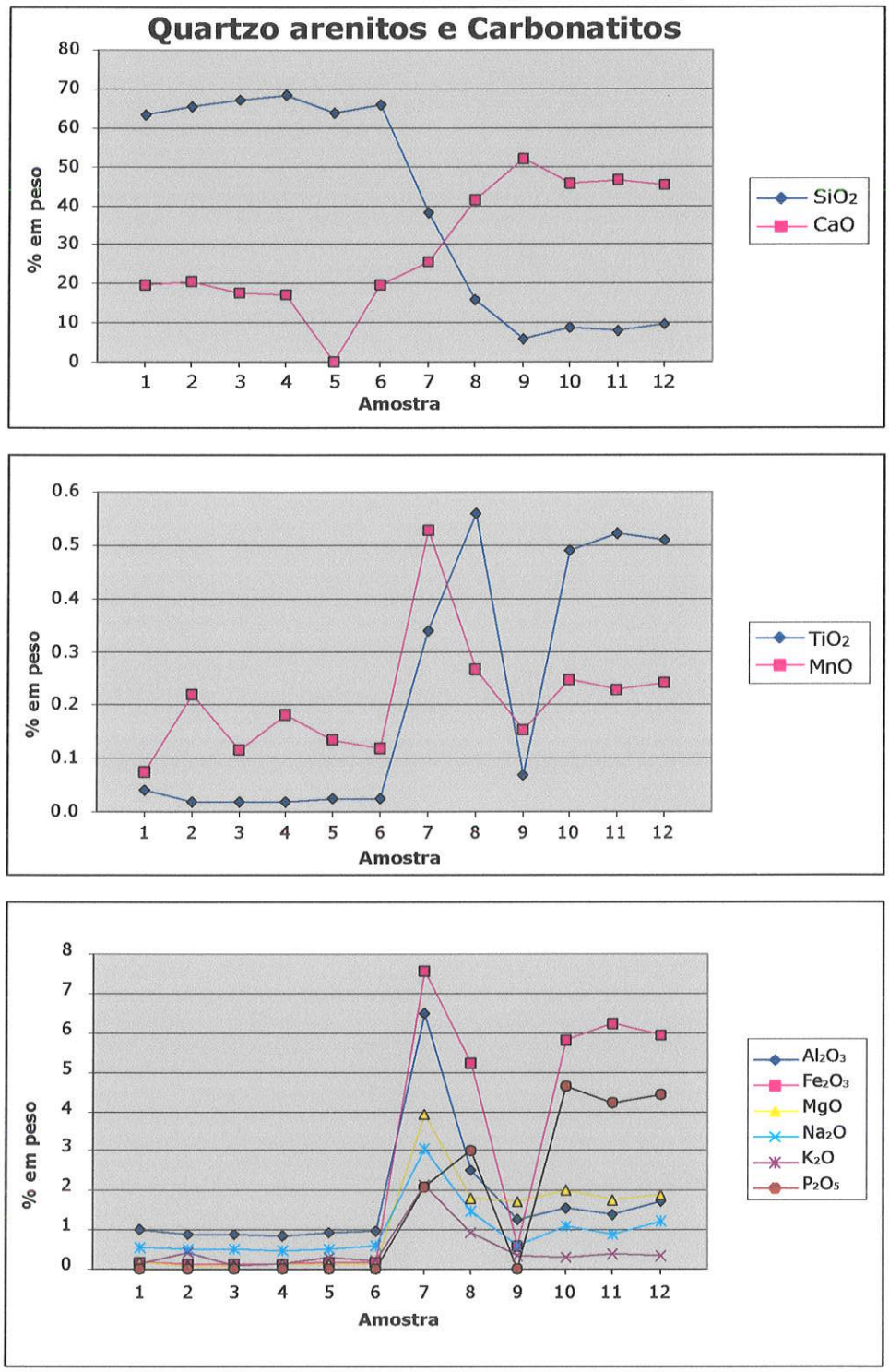


Figura 23. Diagramas das concentrações de elementos maiores dos fragmentos de quartzo arenitos e carbonatitos, das brechas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (Identificação das amostras 1-12 - consultar Tabela 6 do Anexo IV).

presentes em concentrações menores que 50ppm. Nos carbonatitos, os conteúdos de Sr, Zr e V podem atingir concentrações de 6000ppm, 327ppm e 79ppm, respectivamente. No caso do Sr esse valor é comparável aos dos nefelina sienitos

agpaíticos, cujo valor máximo de Sr foi determinado na amostra 12 (PB-XA: 8167ppm). Os conteúdos de ETR mostram-se elevados e comparáveis aos dos nefelina sienitos agpaíticos da Pedra Balão. Nos fragmentos de carbonatitos o conteúdo máximo de ΣETR (La, Ce e Nd) foi de 1636ppm (amostra 12: PDC11C). Entre os nefelina sienitos agpaíticos o maior valor desse ínice foi de 1799ppm (amostra 10: PB2).

7.3.2 Clinopiroxenitos

Elementos Maiores

Os fragmentos de clinopiroxenitos encontrados nas brechas, são compostos por piroxênios e quantidades variáveis de apatita. Apenas a amostra 4 (PDC-11), diferencia-se das demais, pela alta densidade e pela composição mineralógica rica em fenocristais euédricos de piroxênio diopsídico a titanoaugítico, e fenocristais de olivina pseudomorfizada, imersos em matriz fina, alterada para clorofeítas e zeólitas, rica em opacos (magnetitas). No geral, .apresentam conteúdos de Fe_2O_3 entre 10% e 22%, e de MgO, entre 3% e 14%. A amostra 4 é mais rica em MgO (14,62%) que as demais amostras (incluindo as rochas ankaratríticas, com MgO entre 2% e 11%) em função da presença dos fenocristais de olivina.

A figura 24 mostra o comportamento dos elementos maiores por amostra analisada. Nela, observa-se que as concentrações de SiO_2 e Al_2O_3, oscilam entre 35% e 50%, e 5% a 11%, respectivamente. Nas amostras 3 e 5 (A8, e M-17) os conteúdos de Al_2O_3 são maiores (~10%) que nos demais fragmentos. Acompanham essa tendência, o K_2O (~4,4%), Na_2O, SiO_2 e também, os elementos traço Cr e Ni (tabela 7 do Anexo IV). A presença de apatita, reflete-se nos conteúdos de P_2O_5 nas amostras, com elevados teores de Fe_2O_3 e CaO (ricas em piroxênios e apatitas). TiO_2 também está presente em concentrações consideráveis, principalmente na amostra 2, o que pode estar relacionado à presença de titanita na rocha.

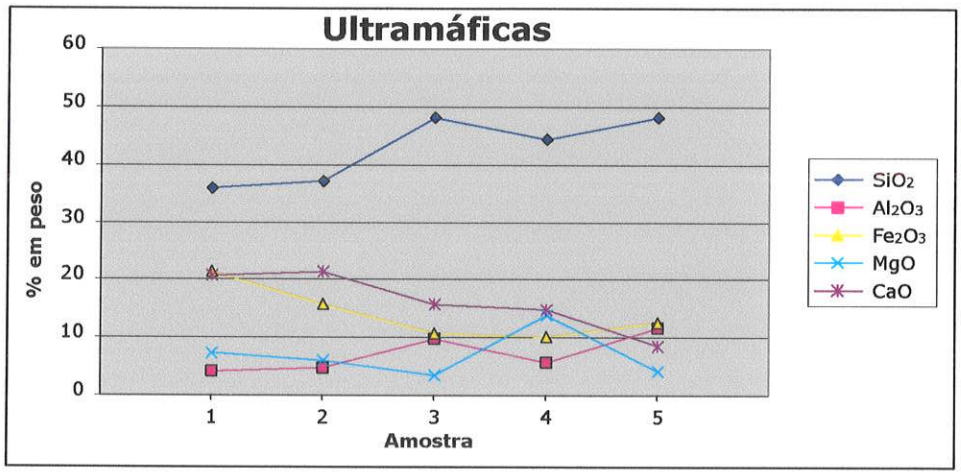
Os conteúdos de K_2O observados nos clinopiroxenitos são relativamente altos, maiores inclusive que algumas das rochas ankaratríticas. E como já mencionado anterioremente, nas brechas ankaratríticas são observados empobrecimentos de K_2O, MgO, CaO P_2O_5 com o aumento do teor de SiO_2.

Elementos Traço e Terras Raras

A análise dos elementos menores e dos terras raras, mostra que a amostra 4 (PDC-11) é a mais rica em de Cr e Ni, e com baixo ΣETR (La, Ce e Nd). Nos ankaratritos menos diferenciados os conteúdos de máximos de Cr e Ni são de apenas

309ppm e 106ppm. Nos demais clinopiroxenitos os conteúdos desses elementos é menor que 50ppm.

Os baixos conteúdos de Cr e Ni, e os valores de Mg# (entre 27,9 e 22), juntamente com as observações petrográficas, permitem inferir que os clinopiroxênitos podem muito bem, representar porções cumuláticas, enriquecidas em clinopiroxênio e apatita e em menor escala titanita, a partir das rochas nefelíno sieníticas. As amostras com alto conteúdo de K_2O, mostram sob o microscópio, partes da rocha permeadas por material rico em massas zeolíticas, juntamente com quantidades menores de biotitas e raros pirocloros, o que pode indicar a atuação de fluídos metassomáticos responsáveis pela adição incomum de K_2O. A amostra 4, por outro lado apresenta Mg# de 58,1, e conteúdos de Cr e Ni de 1117ppm e 273ppm. Sob o microscópio ela não exibe textura cumulática, como as demais rochas ultramaficas e provavelmente, deve representar uma rocha (ou cumulato) mais primitiva que os ankaratritos do Complexo.



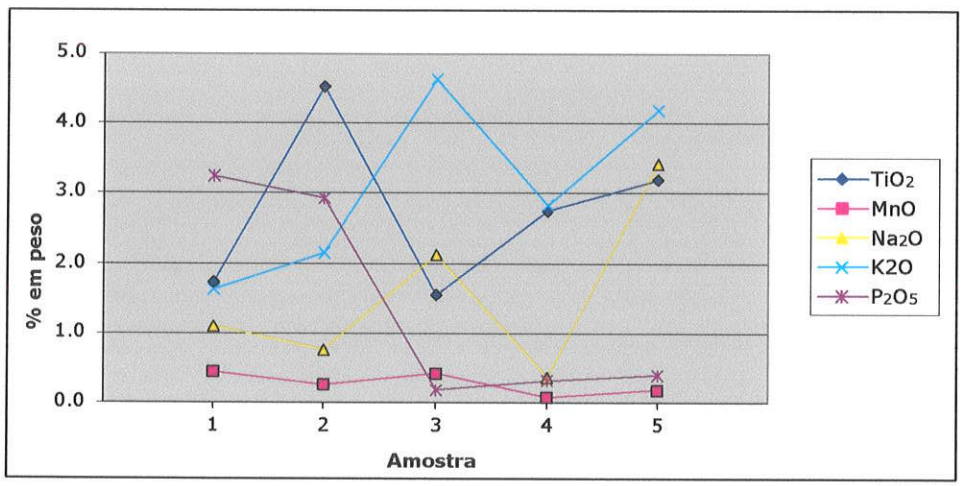


Figura 24. Diagramas das concentrações de elementos maiores dos fragmentos de rochas ultramáficas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. (identificação das amostras 1-5 - consultar Tabela 7 do anexo IV)

8. Considerações finais e conclusões

As observações dos estudos geoquímicos permitiram separar as rochas do Complexo em tipos geológicos e geoquímicos distintos. Foram separadas as rochas ankaratríticas em brechas e aglomerados vulcânicos, e as rochas nefelino sieníticas nos fonolitos e nefelina sienitos miaskíticos e agpaíticos. Entre os ankaratritos, as brechas são menos evoluídas que os aglomerados. Elas apresentam números de Mg# e conteúdos de Cr e Ni maiores que os dos aglomerados. Entre as rochas nefelino sieníticas, os fonolitos do tipo regional são mais antigos e menos diferenciados, apresentando características não tão peralcalinas quanto outros fonolitos, notadamente mais jovens e peralcalinos, que ocorrem na forma de diques, intrudindo as brechas da borda N-NW-W e os nefelino sieníticas da Pedreira da Prefeitura. O mesmo ocorre com os nefelina sienitos miaskíticos, e agpaíticos, sendo esses últimos, os mais jovens do magmatismo alcalino nefelino sienítico. Todas essas rochas, quando lançadas no diagrama TAS de Le Maitre (1989), caem nos campos dos foiditos, basanito-tefritos e fonolitos. Algumas poucas amostras caem próximas ou dentro do campo dos traquitos.

As brechas também têm característcas geológicas e geoquímicas distintas. As brechas de conduto vulcânico extrusivas proximais e distais, originariamente fonolíticas, caracterizam-se pela presença de associações mineralógicas ricas em carbonatos, apatitas, magnetitas, titanitas, piroxênios e mais raramente, biotita flogopítica e pirocloro, juntamente com fragmentos de fonolitos, nefelina sienitos, fragmentos de cristais de feldspatos, grãos de quartzo e cinzas e lascas de material vulcânico pulverizado.

As brechas de fluxo piroclástico apresentam as mesmas feições mineralógicas, indicativas da atuação de componentes carbonatíticos, inclusive pela ocorrência de fragmentos decimétricos de rochas carbonatíticas. Diferem das brechas de conduto vulcânico principalmente pela natureza de formação, e também, pela variabilidade maior de seus clastos, sendo mais ricas em fragmentos de rochas ultramáficas e ankaratríticas.

As brechas de conduto vulcânico do tipo intrusiva, não mostram a presença de paragênese indicativa componentes carbonatíticos durante sua formação, e também, não reagem ao HCl, como as demais brechas. Sua mineralogia e composição geoquímica, são muito similres às dos nefelina sienitos e fonolitos miaskíticos. Como esses, ela também apresenta conteúdos normais de K_2O e Na_2O em torno de 8%.

Entre os fragmentos encontrados nas brechas destacam-se os de carbonatitos e os de rochas ultramáficas piroxeníticas. Entre os carbonatitos, ocorrem variedades

T3826
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

ricas em carbonatos e apatitas ou somente carbonatos, ou então, variedades com carbonato, apatita, magnetita, e pirocloro. Além desses ocorrem também biotitas e piroxênios.

Os fragmentos ultramáficos clinopiroxeníticos são ricos em clinopiroxênios e apatitas. Suas composições químicas, algo diferentes entre si, também são marcadas por altos conteúdos de TiO_2 e concentrações expressivas de K_2O. Essas rochas sob o microscópio exibem associações mineralógicas tardias ricas em titanitas, apatitas, pirocloro e biotitas. Predominam no entanto, os clinopiroxênios alcalinos e apatitas em textura cumulática, que junto com sua composição rica em Ba, aponta para uma origem a apartir de porções cumuláticas dentro de câmaras magmáticas nefelinio sieníticas. Outros fragmentos apresentam composição pobre em Ba, porém mais ricas em Cr e Ni, Al_2O_3 e K_2O. Seus piroxênios são mais diopsídicos a titano-augíticos e, provavelmente, podem representar porções cumuláticas de magmas mais antigos, talvez geradores das rochas ankaratríticas.

Fragmentos de rochas graníticas e de diabásios mostram-se alterados pela adição de CaO e Fe_2O_3. Nessas rochas são é comum a formação/alteração dos minerais pré-existentes, para carbonatos, e formação de piroxênio egirínicos. Aliás, essa é uma feição também observada na matriz das brechas, juntamente com a formação de carbonatos, apatitas, opacos, titanitas e menos comumente pirocloro.

Por fim todas as observaçõe petrográficas mostraram associações complexas com zeólitas, clorofeítas e carbonatos na grande maioria das rochas, indicando sobreposição de fases pós-magmáticas.

Evolução geológica o Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

As características geoquímicas, juntamente com as observações de campo, apontam para uma evolução do magmatismo alcalino do Complexo de Poços de Caldas, começando por atividade vulânica máfica ankaratrítica com formação das brechas ankaratríticas, juntamente com rochas fonolíticas subordinadas, seguidas dos aglomerados vulcânicos. Apóiam esse início a disposição de corpos de brechas e fonolitos em posição topográfica inferior à dos aglomerados vulcânicos, bem caracterizada na região do Vale do Ribeirão do Quartel.

Com a evolução do magmatismo de ankaratrítico para nefelino sienítico formam-se as principais rochas fonolíticas regionais, equivalentes aos nefelina sienitos miaskíticos. Nesse período, os nefelina sienitos do tipo Pedreira da Prefeitura colocaram-se nas porções intermediárias do edifício vulcânico. Atualmente, esse nefelina sienitos afloram em posição topográfica superior à dos ankaratritos.

A transição do magmatismo ankaratrítico para nefelino sienítico ainda não está clara. Os padrões de enriquecimento e diferenciação dos elementos menores e de alguns terras raras das rochas ankaratríticas mostram pouca correlação com aqueles das rochas nefelino sieníticas. Nefelina sienitos e fonolitos, por outro lado exibem padrões de diferenciação correlacionáveis, apontando para uma evolução dos tipos miaskíticos para os agpaíticos.

Após a constução do edifício vulcânico deu-se o processo de abatimento. Esse foi, provavelmente, mais uma acomodação de blocos do que um abatimento propriamente dito. Caractrerizou-se sobretudo pela acomodação relativa de blocos, com soerguimentos próximos da borda com os diques anelares e subsiências das partes mais centrais da estrutura vulcânica. Durante ou logo após esse período, deve ter-se instalado um processo erosivo, capaz de remover grandes quantidades de rocha, trazendo para os níveis mais rasos, rochas como aquelas que afloram na pedreira da Pedreira Bortolan e Pedreira da Prefeitura, no mesmo nível das brechas intrusivas de conduto vulcânico e brechas de fluxo piroclástico.

Entre as duas gerações de brechas, aquelas intrusivas e extrusivas, de conduto vulcânico, são mais velhas que as de fluxo piroclástico. Ambas apresentam assinaturas geoquímicas marcadas por indícios de atividade carbonatítica. Frações não alteradas das brechas de conduto vulcânico mostram, no entanto, composição igual à das rochas nefelino sieníticas miaskíticas e também são encontradas como fragmentos dentro das brechas de fluxo piroclástico.

Fonolitos que cortam essas brechas mostram-se algo mais peralcalinos que alguns nefelina sienitos miaskíticos e fonolitos regionais. São mais jovens e diferenciados, portanto, do que as rochas nefelino sieníticas tipicamente miaskíticas. Entre essas os fonolitos da Pedreira da Prefeitura são os mais peralcalinos e muito provavelmente podem representar tipos agpaíticos, embora a textura fina e dificuldades de se reconhecer minerais agpaíticos impossibilitem uma caracterização mais precisa. O conjunto desses diques deve marcar o período de transição do magmatismo nefelino sienítico miaskítico para agpaítico, cumlinando com a formação dos nefelina sienitos tipo Pedra Balão.

Mais tarde, novos processos vulcânicos teriam sido rresponsáveis pela geração das brechas intrusivas tipo Mina de Urânio, e o hidrotermalismo mineralizante associado, em diferentes pontos do Complexo. Por fim, ocorreu a colocação dos corpos de biotita lamprófiros, intrusivos nas brechas da mina de urânio e que não se encontra alterada.

8. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. (1967) Origem e evolução da plataforma brasileira. *Bol. Div. Geol. Mineral.* Dep. Nac. Prod. Mineral, 241. 36p.

ALMEIDA, F. F. M. de, (1969) Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: CONGR. BRAS. GEOL., 23, Salvador, 1969. Anais, Belém, SBG, v.1, p.65-69.

ALMEIDA, F. F. M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 13, n. 3, p. 139 – 158.

ALMEIDA, F. F. M. (1986) Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 4, p. 325 – 349.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS J. H. (1967) Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et Comosmochimica Acta*, v. 31, p. 117 - 142.

ARTUR, A. C.; WERNICK, E. (1984) Terrenos policíclicos e estágios de evolução crustal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG, v. 7, p. 3081 – 3090.

BAKER, H. B. (1987) Nefelinites and carbonatites. *In:* FITTON, J. G.; UPTON, B. G. J., eds. *Alkaline Igenous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Geological Society Special Publication, n. 30, p. 53 - 83.

BJÖRNBERG, A. J. S. (1956) Arenitos do bordo do Planalto de Poços de Caldas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 28, n. 4, p. 465 – 471.

BJÖRNBERG, A. J. S. (1959) Rochas clásticas do Planalto de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Filos. Ciênc. Letras*, Univ. São Paulo, Bol. 237, Geologia 18, p. 65 - 123.

BUSHEE, J. (1971) *Geochronological and petrographic studies of alkalines rocks from southern Brazil.* Berkeley, 145p. PhD Thesis - Dept. Geol. Geoph., University of California.

CAPOVILLA, M. M. G. M. (2001) Urânio nos hidrotermalitos potássicos ("rocha potássica") da Mina Osamu Utsumi, Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG. São Paulo. Tese (Doutoramento), Universidade de São Paulo.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. (1992) *An introduction to the Rock-Forming Minerals*. Second Edition. Longman Scientific & Tecnical. 696p.

DREHER, A. M. (1979) *Texturas em rochas cumuláticas*. Exame de qualificação Igc-USP, 17p.

EDGAR, A. D. (1987) The genesis of alkaline magmas with emphasis on their source regions: inferences from experimental studies. *In:* FITTON, J. G.; UPTON, B. G.

J., eds. *Alkaline Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Geological Society Special Publication n. 30, p. 29-52.

ELLERT, R. (1959) Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Filos. Letras*, Univ. São Paulo, Bol. 237, 18, p. 11 - 64.

FITTON, J. G.; UPTON, B. G. J. (1987) *Alkaline Igneous Rocks*. Geological Society Special Publication n. 30. London, Blackwell Scientific Publications. 568p.

FRAENKEL, M. O.; SANTOS, R. D. D.; LOUREIRO, F. E. D. V. L.; MUNIZ ,W. D. S. (1985) Jazida de urânio no Planalto de Poços de Caldas - Minas Gerais, In: C. SCHOBBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S., eds. *Principais depósitos minerais do brasil.* Vol. 1, Recursos Minerais Energéticos. MME, DNPM and CVRD, Brasília, p. 89 - 103.

GARDA, G. M. (1990) Alteração hidrotermal no contexto da evolução geológica do maciço alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. São Paulo, 213 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.

GORSKY, V. A.; GORSKY, E. (1974) *Contribuição à mineralogia e petrografia do Planalto de Poços de Caldas*. Com. Nac. Energ. Nucl. Rio de Janeiro, Bol. 13, 93p.

HALL, A. (1996) *Igneous Petrology*. 2nd ed. Edingburgh, Longman Group Limited, 551p.

HOLMES, D. C.; PITTY, A. E.; NOY, D. J. (1992) Geomorphological and hydrogeological features of the Poços de Caldas caldera analogue study sites. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 45, p. 215 – 247.

KAMBER, B. N.; COLLERSON, K. D. (2000) Zr/Nb Sistematics of Ocean Island Basalts Reassessed-The Case for Binary Mixing. *Journal of Petrology*, v. 41, n. 7, p. 1007-1021.

KAWASHITA, K.; MAHIQUES, M.M.; ULBRICH, H. H. (1984) Idades Rb/Sr de nefelina sienitos do Anel Norte do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Breves comunicações*. Rio de Janeiro, SBG, p. 244.

LE BAS, B. J. (1987) Outline of the petrology of the Kenya rift alcaline province. *In:* FITTON, J. G.; UPTON, B. G. J., eds. *Alkaline Igenous Rocks*. Geological Society Special Publication n. 30. Blackwell Scientific Publications. p. 293 - 311.

LE MAITRE, R. W. (1976) Some Problems of Projection of Chemical Data into Mineralogical Classifications. *Contrib. Mineral Petrol.,* 56, p. 181 - 189.

LE MAITRE, R. W. ed. (1989) *A Classification of Igenous Rock and Glossary of Terms*. IUGSS-Subc. Syst. Igneous Rock. Oxford, Blackewll Scient. Pub., 139p.

MACKENZIE, W. W.; DONALDSON, C. H.; GUILFORD, C. (1993) *Atlas of igneous rocks and their textures*. Longman Scientific & Technical. 148p.

MIDDLEMOST, E. A. K. (1989) Iron oxidation ratios, norms and the classifications of volcanic rocks. *Chem. Geol.*, 77, p. 19 - 26.

MYSEN, B. O.; BOETTCHER, A. L. (1975) Melting of a Hydrous Mantle: II. Geochemistry of Crystals and Liquids Formed by Anatexis of Mantle Peridotite at High Pressure and High Temperatures as a Function of Controlled Activities of Water, Hydrogen, and Carbon dioxide. *Journal of Petrology*, v.16, n. 3, p. 549-593.

OLIVEIRA, M. A. F.; ALVES, F. R.; COIMBRA, A. M. (1975) Sedimentação associada ao vulcanismo alcalino de Poços de Caldas (Divinolândia, SP). *Boletim IG. Instituto de Geociências*, Universidade de São Paulo, v. 6, p. 13 - 19.

PARADELLA, W. R.; ALMEIDA, F. R. (1976) Condicionamento das mineralizações radioativas no Planalto de Poços de Caldas baseado em imagens MSS do Landsat. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. *Anais*. Ouro Preto, SBG, v.3, p. 181-190.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLIENI, G.; ERNESTO, M. MARQUES, L. S; NARDY, A. J. R.; PACCA, I. G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. (1988). Lower Cretaceous tholeiitic dike swarms from the Ponta Grossa Arch (southeast Brazi): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic tlationships whit the Paraná food volcanics. *Chemical Geology*, 89, p. 19 – 48.

ROLLINSON, H. (1993) *Using geochemical data: evaluation, presentations, interpretation*. New York, Longman Scientific & Technical. 352 p.

SCHORSCHER, H. D.; SHEA, M. E. (1992) The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites. *Journal of Geochemical Exploration*, 45, p. 25 - 51.

SHAND, S. J. (1951) *Eruptive Rocks*. Murby, London.

SHEA, M. E. (1992) Isotopic geochemical characterization of selected nepheline syenites and phonolites from the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. In: CHAPMAN, N. A.; MCKINLEY, I. G.; SHEA, M. E.; SEMELLIE, J. A. T., eds. The Poços de Caldas Project: Natural Analouges of Processes in a Radioactive Waste Repository, *Journ. Geochem. Explor.*, 45, p. 173 - 214.

SØRENSEN, H. (1997) The agpaitic rochs – an overview. *Mineralogical Magazine*, 61, p. 485-498.

SMITHS, J. V.; BROWN, W. L. (1988) *Feldspar Minerals*, V1. Springer-Verlag. 828p.

THOMPSON, R. N.; GIBSON, S. A.; MITCHELL, J. G.; DICKIN, A. P.; LEONARDOS, O. H.; BROD, J. A.; GREENWOOD, J. C. (1998) Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the

Deflected Trindade Mantle Plume? *Journal of Petrology*, v. 39, n. 8, p. 1493 – 1526.

TRÖGER, W. E. (1979) *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'scheverlagsbuchhandlung, 188p.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. (1994) Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: High precision Ar^{40}/Ar^{39} geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 121, p. 333 - 348.

ULBRICH, H.; ULBRICH, M. N.; KAHN, H.; VLACH, S.; BAGNOLI, E. (1979) Estrutura e petrologia dos nefelina sienitos do maciço alcalino de Poços de Caldas, MG-SP: nota preliminar. *Boletim Mineralógico,* Recife, nº 6, p. 31 - 40.

ULBRICH, H. H. G. J. (1984) *A Petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. São Paulo, 2 v. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ULBRICH, H. H. G. J.; VLACH, S. R. F.; ULBRICH, M. N. C.; KAWASHITA, K. (2002) Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 1, p. 15 – 36.

WABER, N.; SCHORSCHER, J. H. D. (1992) Hydrothermal and supergene uranium mineralization at the Osamu Utsumi Mine, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 45, n. 1-3, p. 53 - 112.

WAGER, L. R.; BROWN, G. M. (1968) *Layered igneous rocks*. San Francisco, W. H. Freeman. 588p.

WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M. (1982) *Petrography – An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. Second Edition. New York, W. H. Freeman and Company. 626p.

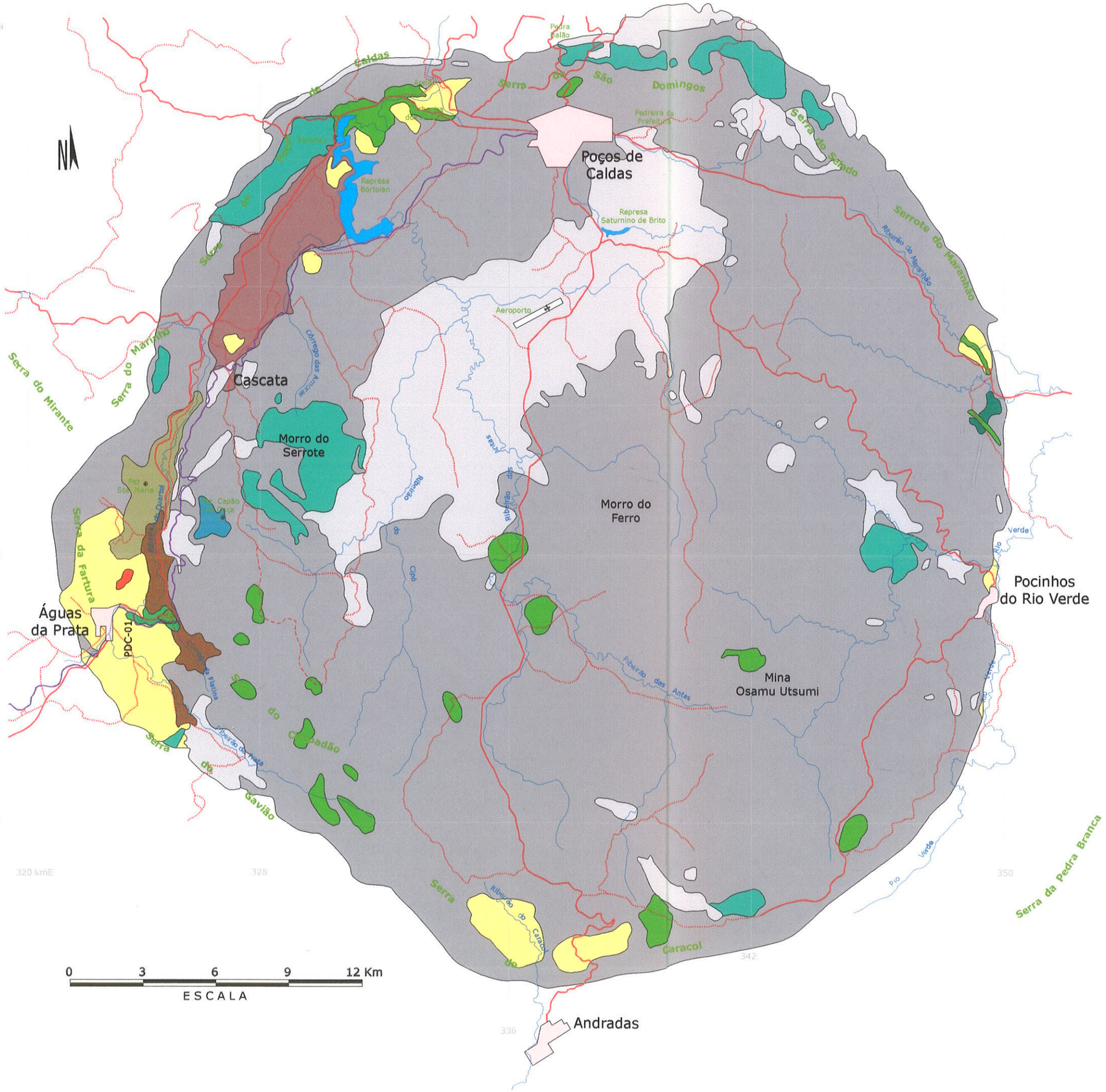
WILSON, M., DOWNES, H.; CEBRIÁ, J. M. (1995) Constrasting Fractionation Trends in Coexisting Continental Alkaline Magma Series; Cantal, Massif Central, France. *Journal of Petrology,* v. 36, n. 6, p. 2739 - 1753.

ANEXOS

MAPA GEOLÓGICO DO COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS

Rochas Vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas

----------Brasil-2003---------



LEGENDA

- Estrada Asfaltada
- Estrada de Terra
- Estrada de Ferro
- Curso d'água
- Perímetro Urbano
- Área útil da mina
- PDC-49 Afloramento

- Nefelina sienitos agpaíticos
- Brechas vulcanoclásticas de fluxo
- Brechas intrusivas e extrusivas de conduto vulcânico
- Nefelina sienitos miaskíticos
- Tufos, lapilli tufos fonolíticos
- Fonolitos indivisos
- Aglomerado vulcânico
- Brecha ankaratrítica
- Diabásio diques/soleiras
- Quartzo arenitos com siltitos subordinados

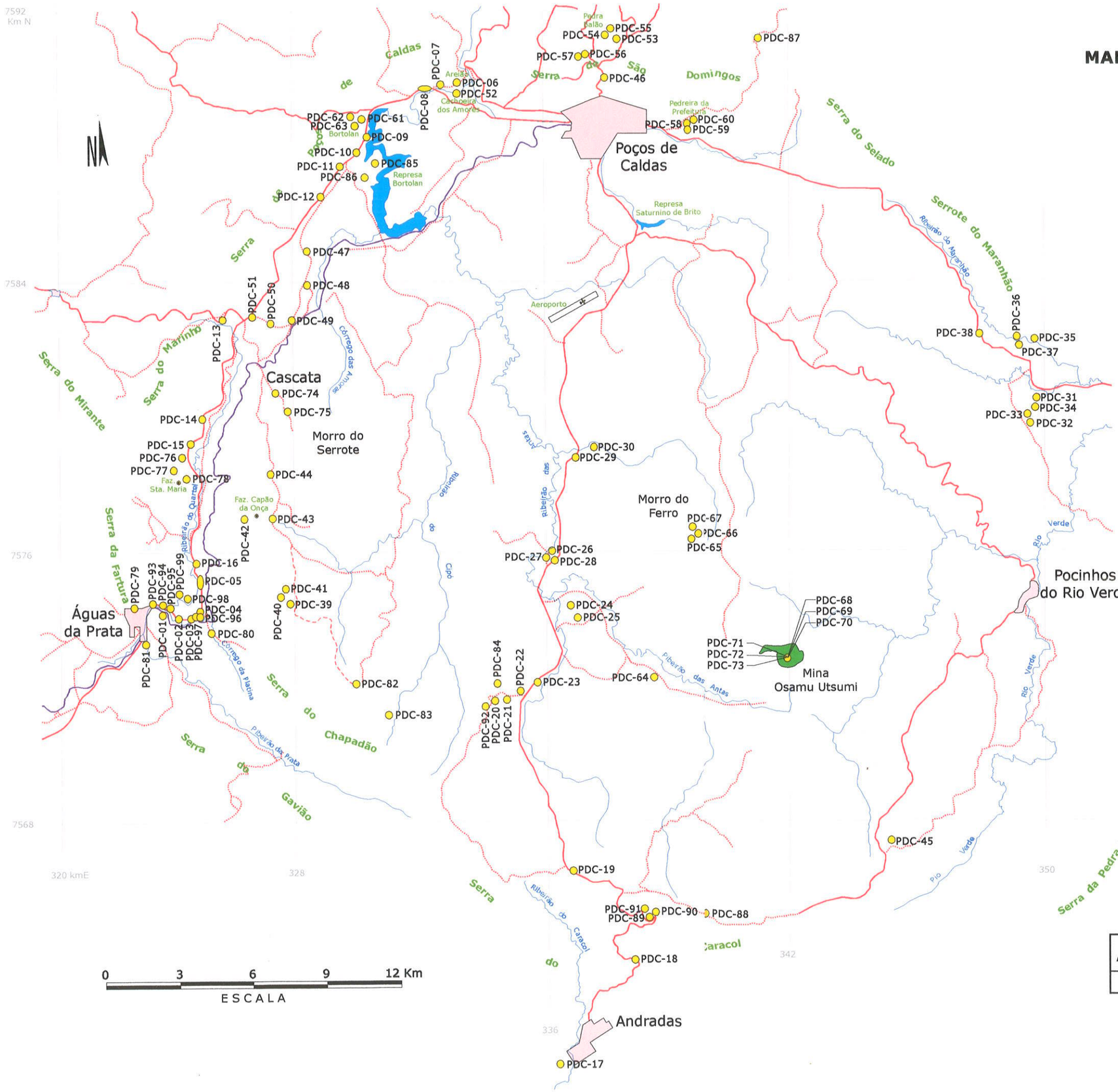
ANEXO II - Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas

ARTUR DEODATO ALVES

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS

Rochas Vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas

----------Brasil-2003---------



LEGENDA

- Estrada Asfaltada
- Estrada de Terra
- Estrada de Ferro
- Curso d'água
- Perímetro Urbano
- Área útil da mina
- PDC-49 Afloramento

ANEXO I - Mapa de Localização dos Afloramentos

ARTUR DEODATO ALVES

Anexo III

Trabalho de Campo realizado nos dias 01 e 02 de maio de 1999 na Região de Poços de Caldas e Águas da Prata.		
PDC – 01	Localização: Estrada de Ferro (próx. Águas da Prata).	870 m
Às margens de pequeno riacho ocorrem blocos de brecha verde polimítica alterada com fragmentos de outras brechas, fonolitos e rochas ultramáficas, além de cristais de flogopita. Próximo desse riacho, um afloramento de arenito fino amarelo recristalizado, com estratificação plano-paralela subcentimétrica, é cortado por dique fonolítico afanítico caulinizado, amarelo-esbranquiçado.		

PDC – 02	Localização: Estrada de asfalto, à frente do ponto anterior.	870 m
Brecha polimítica clasto-suportada por matriz, com estrutura maciça a localmente estruturada (So **318/15** e **212/10**) e cor de alteração ocre. Fragmentos de afanitos e faneritos caulinizados, diabásio e cristais de flogopita estão presentes. Diques fonolíticos afaníticos vítreos, alterados, de espessura variável (0,1 até 1,2 m) cortam a brecha em diferentes pontos (direção de mergulho do dique principal **N270/60**, **N89/65** e **N95/60**). Ao lado da brecha, em contato mal definido, ocorre arenito amarelo recristalizado, com estrutura maciça. Próximo desse contato pequenas cavidades abrigam cristais bem formados de quartzo fumê.		

PDC – 03	Localização: Cachoeira da Cascatinha	840 m
À beira da estrada, há blocos removidos de brechas verdes polimíticas clasto-suportadas por matriz e blocos de fonolitos afaníticos. Em direção ao córrego, na cachoeira, estão expostos brechas e arenitos. A brecha tem matriz grossa brechada, e suporta grandes blocos de dimensões métricas de diabásios e arenitos. Alguns dos fragmentos exibem ainda estruturas acamadadas, enquanto outras exibem vesículas já vazias (ankaratritos). Os blocos de diabásio normalmente apresentam-se bem ressaltados em relação aos demais fragmentos. Ao nível da cachoeira um dique fonolítico bem deformado corta a brecha ao mesmo tempo em que é fortemente deformado (direção de mergulho do plano de fratura **N128/15**).		

PDC – 04	Localização: Beira da estrada, área de empréstimo.	890 m
Brecha monomítica clasto-suportada por matriz a matriz suportada, com estrutura maciça e cor cinza. Predominam fragmentos esverdeados de rochas ankaratríticas sem amígdalas, e outros poucos, de cor cinza chumbo e cheios de amígdalas de carbonatos e zeólitas. A matriz é grossa e composta por fragmentos dessas rochas e de cristais de piroxênio. Finos veios calcíticos irregulares, envolvem e cimentam os fragmentos em proporções locais variáveis, distinguido-se dois tipos texturais distintos de brecha. Uma com matriz de natureza lítica cominuída e outra com matriz calcítica (hidrotermal), às vezes intrusiva na primeira. Uma segunda geração de rocha ankaratrítica brechada, rica em amígdalas, intrude a brecha com fragmentos sem amígdalas. Localmente, é possível reconhecer estruturas de fluxo de lava ankaratrítica em posição inclinada com mergulho segundo **N195/15** onde o fluxo e o topo do derrame podem ser vistos pelo alongamento e disposição das amígdalas. Parece haver a presença de um sistema de fratura/falha com atitudes de mergulho de **N168/62**, **288/78**, **N82/80**, **N52/62**. Diques fonolíticos afaníticos pretos, de espessuras métricas (≈1m) cortam essas brechas (atitude do		

mergulho do dique: **N88/44, N278/70, N39/70, 158/90** e **N158/90**).

PDC – 05	Localização: Beira da estrada, próximo ao pedágio.	900 m

Brecha polimítica clasto-suportada por matriz, composta por fragmentos de rochas ankaratríticas com e sem amígdalas, cimentados por matriz lítica cominuída dessas mesmas rochas com fragmentos de fenocristais de piroxênio, ou ainda quantidades variáveis de carbonato calcítico. Da mesma forma que o ponto anterior, feições texturais sugerem haver dois tipos distintos de brechas, predominando desta vez, aquela com cimento carbonático. Entre os fragmentos, os que apresentam amígdalas, têm essas dispostas como aglomerados coalescentes em grupos de quatro a seis amígdalas.

No afloramento podem ser identificados dois corpos de brecha e logo acima um derrame de fonolito variolítico. A camada de brecha mais bem preservada é a de baixo enquanto a que está em contato com o fonolito apresenta-se mais alterada. A direção do mergulho dessas camadas mostraram sentido para o interior do complexo com atitudes de **N89/25** e **N120/23**.

Todo o conjunto é cortado por dique fonolítico afanítico (0,4m) parcialmente alterado, exibindo curiosa estrutura pontuada, com varíolas verde-escuras sobre uma matriz verde clara (atitude de mergulho do dique **N85/55**). Um segundo dique de menor espessura (20 cm) tem atitude igual a **N160/85**.

PDC – 06	Localização: Lavra de areia	1230 m

Arenitos amarelo-esbranquiçados finos com estratificações cruzadas métricas de caimento suave para sul e sudeste (≈5º a 20º) (Direção de mergulho do acamamento S_0: **N184/27, N270/15**). Localmente, apresentam-se com algum grau de recristalização. São arenitos formados por grãos de quartzo bem selecionados e arredondados. Diques fonolíticos escuros a cores ocres, estão alterados e cortam os arenitos. Têm posição subvertical com caimentos entre 70º e 80º (Direção de mergulho **N86/75**). Próximo desses arenitos encontram-se granitóides equigranulares finos, intemperizados. Exibem cores avermelhadas com pontos branco-acizentados de cristais caulinizadoas, além de quartzo e poucos máficos alterados a óxidos.

Na mesma área uma seqüência de rochas vulcanoclásticas alteradas, de cores variegadas, são constituídas por tufos e lápilli-tufos sobrepostos a um derrame de fonolítico. Os tufos apresentam cores cinza-chumbo a vermelho escuro. Finos níveis decimétricos de material mais claro caulinizado apresentam fragmentos angulosos com formato de "olhos" de até 1 cm de dimensão. Localmente, ao tato, pode ser notada pequena quantidade de quartzo em meio às porções mais pulverulentas. Mais ao topo da seqüência, um nível mais brechóide com fragmentos de nefelina sienitos e arenitos já bem alterados. Sobre a seqüência está um bloco de arenito de dimensões métricas, que aparentemente deforma a seqüência vulcanoclástica ao longo de seu contato inferior. A posição dessas rochas (direção de mergulho **N195/15** e **N160/18**) faz supor que os mesmos estão mergulhando suavemente por baixo de alguns dos grandes blocos de arenitos presentes no local.

Pequenas ocorrências de blocos de brechas polimíticas clastos-suportadas de cor verde, estão presentes em alguns poucos pontos. Algumas têm matriz carbonática e em alguns casos desenvolvem-se estruturas subcirculares e concêntricas bastante características. Sua matriz é rica em quartzo e entre os fragmentos destacam-se fragmentos líticos de rochas ultramáficas, graníticas

além de nefelina-sienitos e fonolitos. Além dessas destacam-se também raros fragmentos de outras rochas vulcanoclásticas com belas estruturas de fluxo plano-paralelas a acanaladas tipo *base-surge*.

PDC – 07	Localização: Beira da estrada	1240 m

Blocos de brecha clasto-suportada polimítica de cor verde. Matriz verde reage com HCl e suporta fragmentos angulosos a subarredondados de nefelina sienitos leucocráticos, fonolitos afaníticos de cor verde, raros fragmentos carbonáticos e ultramafitos faneríticos (piroxenitos). Os fragmentos maiores de fonolitos exibem fina borda de reação com a matriz da brecha. Minúsculos sulfetos estão presentes disseminados pela matriz ou ao redor dos fragmentos de ultramafitos.

PDC – 08	Localização: Beira da estrada, grande corte de estrada e blocos.	1235 m

Brecha clasto-suportada polimítica de cor verde. Matriz verde reage a HCl e apresenta grande quantidade de cristais bem formados, em "livros" de biotita. A matriz suporta fragmentos angulosos diversos de nefelina sienitos leucocráticos, fonolitos afaníticos de cores preta e cinza escuro com bordas de reação, granitóides equigranulares leucocráticos com feldspato róseo e quartzo, ultramafitos (piroxenitos) e fragmentos da própria matriz. Um acentuado enriquecimento em flogopitas pode ser observado ao longo do afloramento.

Diques de fonolitos afaníticos intemperizados cortam essas brechas. Esses apresentam espessuras entre 0,8 m e 1,2 m.

PDC – 09	Localização: Grande corte de estrada	1260 m

Nefelina sienito. Afloramento composto por rochas mistas com texturas e granulações variadas, oscilando desde nefelina sienitos médios a grossos. São rochas faneríticas leucocráticas de cor cinza a cinza esbranquiçada em que o piroxênio é a única fase mineral máfica observada. A transição entre os diferentes fácies é gradativa ou de difícil definição. Mudanças bruscas de cores, acompanhadas da mudança de rochas leucocráticas faneríticas cinza, para outras mesocráticas com cores preta a verde-escura também estão presentes.

PDC – 10	Localização: Pequena pedreira na beira da estrada	1290 m

Nefelina sienito médio a fino, com textura fina a afanítica nas bordas do corpo. Corpo intrusivo subulcânico de cores cinza a verde-escuro.

PDC – 11	Localização: Próximo à entrada da estrada velha	1300 m

Seqüência de rochas vulcanoclásticas dispostas em camadas tabulares, em posição horizontal localmente abauladas, bem definidas e com espessuras decimétricas a métricas. Da base para o topo são reconhecidos: a- brecha polimítica clasto-suportada por matriz marrom terrosa; b - tufos e lápilli-tufos com fragmentos carbonatíticos; c - brecha polimítica clasto-suportada por matriz marrom terrosa; d - tufos e lápilli-tufos brechóides marrom escuros a vermelhos; e - brechas polimíticas marrom terrosas intemperizadas e; f - derrame fonolítico intemperizado gradando para solo saprolítico avermelhado.

Nas brechas polimíticas clasto-suportadas, a matriz tem cor marrom característica e reage a HCl.

Destacam-se fragmentos de piroxênio, feldspato, biotita e material lítico cominuído, além de fragmentos líticos menores (<1cm). Os fragmentos maiores são de nefelina sienitos, raros fonolitos, granitóides, piroxenitos, rochas ultramáficas, algumas bastante friáveis e de alta densidade, além de fragmentos de brechas verdes iguais às dos pontos 7 e 8, e fragmentos carbonatíticos.

Os níveis de tufos e lápilli-tufos são formados por material lítico cominuído, fragmentos de rocha, de biotita e piroxênio. Localmente, ocorrem intercalados aos tufos, carbonatitos de textura granular e cor branco acinzentada, compostos por carbonato, piroxênio e magnetita.

A maioria das camadas está em posição subhorizontal com mergulhos máximos menores que 11º dirigidos para leste (direção de mergulho do acamamento S_0: **N110/07, N118/10, N82/06, N95/05 e N92/04**).

Cortando todo o conjunto, discretos diques fonolíticos de espessuras variáveis têm espessuras e direções de seus planos de mergulho de: D1 0,5 m (**N20/85 e N51/60**); D2 0,25m (**N65/80 e N70/80**); D3 1,0 m (**N72/68 e N58/75**). Direção de mergulho do plano de fratura **N140/60**

PDC – 12	Localização: Beira da estrada	1290 m

Afloramento com brechas, alteradas, cores variegadas, concreções secundárias produto do intemperismo (**PDC-12**), lateritas com suspeita de concentração de minerais raros RE, presença de fragmentos metamórficos até então não vistos. Diques fonolíticos saprolitizados, intrudidos por outros diques que carregam em seu interior xenólitos diversos, corroídos e orientados segundo a direção de fluxo, abundantes nos limites, próximo ao contado. Esses diques estão colocados no interior do outro dique.

PDC – 13	Localização: Estrada secundária, próximo a uma cachoeira	1400 m

Fonolito subvulcânico com textura fina a afanítica, de cores verde escuro a preta, com alteração superficial em tom amarelo-canela.

PDC – 14	Localização: Estrada asfaltada	1075 m

Brecha com fragmentos ultramáficos de estrutura peculiar (pequenos ocelos carbonáticos), vesículas parcialmente ou totalmente preenchidos por carbonatos (**PDC-14A** e **PDC-14B**). Além desses, também ocorrem fragmentos carbonáticos (**PDC-14C**), ultramafitos (**PDC-14D**, 2 amostras), faneritos e em alguns pontos, grandes fragmentos totalmente alterados (pulverulentos) contendo abundantes minerais máficos (aparentes piroxênios e olivinas e talvez alguma clorita).

Esses novos fragmentos ultramáficos estão sendo interpretados como fragmentos ankaratríticos resultantes das primeiras manifestações vulcânicas do complexo de Poços de Caldas.

PDC – 15	Localização: Estrada asfaltada	1050 m

Brecha polimítica clasto-suportada por matriz com abundantes e grandes (0,5m) fragmentos subarredondados de rochas ankaratríticas ricas em amígdalas. Entre os fragmentos, alguns se destacam por apresentarem grandes fenocristais de piroxênio e pseudomorfos de olivina. A presença de fragmentos de coloração variada também é nítida; estão presentes ankaratritos de cor castanho-avermelhada e ankaratritos cinza escuros a pretos. A matriz da brecha também é de cor castanha e

formada por material ankaratrítico cominuído e fragmentos de fenocristais de piroxênio. Ela reage com HCl indicando, ainda, a presença de carbonatos na matriz.
Todo o afloramento é cortado por um grande dique fonolítico caulinizado com cerca de 1m de espessura.

PDC – 16	Localização: Estrada asfaltada	860 m

Brecha polimítica clasto-suportada por matriz, constituída por fragmentos de ankaratritos presentes tanto como fragmentos quanto constituintes menores e cominuídos da matriz. Certa disposição em bancos regulares superpostos, com muito pouca granodecrescência visível, pode ser observada no afloramento. Cortam essas brechas grandes diques fonolíticos subverticais com direção de mergulho de **N330/80**. Esses estão superficialmente alterados e exibem cor amarelo-clara característica.

Trabalho de Campo realizado entre os dias 15 e 22 de Julho de 2001 no Complexo Alcalino de Poços de Caldas

PDC – 17	Localização: Entrada de Andradas	880 m

Diques de fonolitos alterados, intrusivos nas rochas do embasamento. Esses exibem cores marrom clara a cinza e têm espessuras de 1,5 e 3 m. Sua atitude de mergulho é de **N151/41** e **N163/72**. Eles cortam um granitóide rosa, já alterado, rico em quartzo, feldspato alcalino e biotita, além de outros máficos não identificáveis no campo.

PDC – 18	Localização: Estrada asfaltada - Extremo Sul do Complexo	1100 m

Tufos e lápilli-tufos vulcanoclásticos com raras bombas, recoberto por derrame fonolítico. Intercalam-se distintos níveis de vulcanoclastitos, em cores cinza claro e vermelho. Lentes em forma lenticular, de um arenito arcoseano estão intercaladas. Essas indicam atividade erosiva-deposicional atuante durante o vulcanismo, e preservada principalmente nos intervalos de calmaria, quando tinham maiores chances de se formarem. É comum também, encontrar uma fração areia intercalada aos vulcanoclastitos nos seus níveis mais grossos. Todo o conjunto apresenta-se finamente estratificado, com planos de caimento para fora do Complexo (**N210/35**). Deformações são observadas principalmente ao longo de discretos planos de deslocamento e fraturas. Capeando essas rochas, um derrame de fonolito já alterado parece cortar todo o conjunto, em função de sua morfologia de base em "V", em contato com os vulcanoclastitos.

PDC –19	Localização: Estrada Andradas/Poços (Sul do Complexo)	1400 m

Rocha fonolítica alterada. Apresenta cor bege a ocre e sem estruturas aparentes.

PDC –20	Localização: Pico do Urubu	1390 m

Blocos soltos no alto de morro. Blocos de brecha com numerosos fragmentos de tamanhos diversos. São comuns fragmentos de fonolitos afaníticos homogêneos de cor verde clara, nefelina sienitos diversos, cristais de feldspatos róseos, piroxênios. Alguns raros cristais idiomórficos de feldspatos e piroxênios também ocorrem. Alguns cristais chegam a dimensões decimétricas (10 x 15 cm)

enquanto os fragmentos de rocha chegam a dimensões próximas a 50 x 20 cm. Alguns fragmentos de nefelina sienitos exibem nítida borda de reação com a matriz da brecha. Efeitos da atividade intempérica ressaltam os fragmentos em meio à matriz, de coloração verde e granulometria média

PDC –21	Localização: Próximo ao Pico do Urubu	1325 m
Tufos fonolíticos alterados com cores cinza-clara a bege. O sistema de fraturas, em parte subparalelo ao acamamento, está localmente preenchido por crosta manganesífera de cor marrom tipo borra de café (direção de mergulho dos planos de fratura **N298/75, N128/78, N159/20, e N25/30**). Abaixo desses tufos ocorrem pequenos fragmentos caulinizados, de cor bege clara, em matriz caulinizada rósea acinzentada.		

PDC –22	Localização: Próximo ao Pico do Urubu	1310 m
Fonolito porfirítico cinza esverdeada com destacados fenocristais caulinizados de feldspatos e nefelinas em matriz afanítica O afloramento encontra-se fortemente fraturado, entretanto, sem um padrão definido.		

PDC –23	Localização: Estrada Andradas/Poços	1290 m
Corte em barranco de rocha alterada. São reconhecidos fonolitos microporfiríticos alterados (cor vermelha) sotopostos à rocha intemperizada de cores variegadas, finamente foliada e com estruturas deformadas em olhos/lentes estiradas (tufo). Essa estrutura é muito pouco visível e de sutil reconhecimento.		

PDC –24	Localização: Campo de cultivo	1280 m
Fonolito afanítico cinza-escuro a esverdeado com estrutura brechóide. Apresenta um padrão regular de fraturas subhorizontais.		

PDC –25	Localização: Campo de cultivo	1320 m
Extenso campo de cultivo de milho com raros blocos rolados de fonolito afanítico cinza escuro. Localmente ocorrem blocos e crostas manganesíferas.		

PDC –26	Localização: Próximo à Fazenda	1280 m
Brecha alterada com fragmentos centimétricos de faneritos e afanitos. A matriz é fina e aparentemente sem quartzo. Em outro local a brecha apresenta-se com cores variegadas e aspecto brechóide com finos clastos angulosos de material caulinizado.		

PDC –27	Localização: À margem do Rio	1260 m
Brecha alterada com cores variegadas		

PDC – 28	Localização: Estrada Andradas/Poços	1270 m

PDC – 29	Localização: Lavra de argila. Estrada Andradas/Poços	1275 m

Lavra de bauxita. Blocos de nefelina sienito cinza homogêneo maciço fanerítico leucocrático preservados.

PDC – 30	Localização: Aterro sanitário	1270 m
Aterro sanitário próximo às margens de um afluente do Ribeirão das Antas.		

PDC – 31	Localização: Porção interna da borda E do Complexo	1170 m
Afloramento descontínuo composto por blocos em posição caótica de arenitos pulverulentos, localmente recristalizados e endurecidos. Têm cores em tons bege-claro com máculas irregulares de óxidos de ferro. São arenitos de granulação fina a média com níveis microconglomeráticos de grãos de quartzo arredondados de até 1cm de dimensão. Nessas rochas é visível uma estratificação plano-paralela bem definida. Mais ao alto do morro não ocorrem mais arenitos, apenas blocos e afloramentos de fonolitos afaníticos cinza esverdeados e maciços, que parecem cobrir os blocos de arenitos.		

PDC – 32	Localização: Mesmo morro mais a SW	1170 m
Brecha fonolítica com fragmentos de nefelina sienitos centimétricos (3-2cm), fragmentos de cristais de feldspatos róseos, poucos e raros grãos de quartzo exibindo fratura conchoidal, além de piroxênio.		

PDC – 33	Localização: Próximo a bambuzal	1170 m
Fonolito afanítico de cor cinza esverdeada e com estrutura maciça.		

PDC – 34	Localização: Próximo à casa	1130 m
Arenitos pulverulentos com matriz intemperizada. A rocha apresenta aspecto brechóide.		

PDC – 35	Localização: Encosta da borda E	1170 m
Pequena pedreira de fonolitos faníticos com xenólitos/clastos arredondados de nefelina sienitos faneríticos leucocráticos.		

PDC – 36	Localização: Encosta de drenagem	1110 m
Grandes blocos de arenito friável e maciço. Estratificação plano-paralela está presente. São arenitos finos de cor bege a amarela-clara com manchas/máculas avermelhadas de óxidos de Fe.		

PDC – 37	Localização: Ao longo de drenagem	1090 m
Blocos de brecha alterados, com fragmentos de nefelina sienitos e fonolitos, também alterados. Matriz grossa com restos de minerais alterados.		

PDC – 38	Localização: Estrada Poços/Caldas	1160 m

PDC – 39	Localização: Extremo SE do Complexo	1370 m
Pequeno morro com brecha fonolítica com fragmentos diversos.		

PDC – 39	Localização: Morro da Cobra - Próximo a Serra do Paiol	1330 m
Diversos altos topográficos ressaltados no local, formados por corpos de brecha magmática. Fragmentos de nefelina sienitos e fonolitos subarredondados a angulosos imersos em matriz fanerítica média de cor cinza, com feldspatos, feldspatóides e piroxênio. Os fragmentos têm tamanhos da ordem de poucos cm até 0,5m. Fragmentos de minerais são raros.		

PDC – 40	Localização: Morro próximo ao ponto anterior	1350 m
Brecha de derrame fonolítico constituída por blocos angulosos de fonolito, cimentados por material fonolítico e venulações carbonáticas tardias.		

PDC – 41	Localização: Morro próximo ao ponto anterior	1330 m
Brecha magmática com fragmentos de nefelina sienitos e fonolitos. A matriz é fanerítica média composta por feldspato, feldspatóides e piroxênios. Os fragmentos são subarredondados.		

PDC – 42	Localização: Serra do Paiol, Faz. Capão da Onça	1430 m
Brecha fonolítica. Tufos e lápilli-tufos soldados, intercalados a lavas brechadas de fonolitos. Fragmentos angulosos de tamanhos decimétricos estão unidos por cimento carbonático e fonolítico.		

PDC – 43	Localização: Campo de milho	1330 m
Blocos de fonolitos porfiríticos com fenocristais róseos (1-2cm) de analcima em matriz afanítica cinza esverdeada.		

PDC – 44	Localização:	1350 m
Fonolito afanítico alterado de cor bege.		

PDC – 46	Localização: Estrada para o Cristo	1440 m
Brecha polimítica com fragmentos de nefelina sienitos e de fonolitos com dimensões entre 5 e 6 cm. A matriz é grossa a média, com cristais bem formados de feldspatos, feldspatóides e piroxênios de cor cinza esverdeada.		

PDC – 47	Localização: Estrada Velha Poços/Cascata	1300 m
Blocos rolados de brecha e crosta laterítica e fonolitos. Os fragmentos de brecha apresentam cores avermelhadas e marcante estruturas de deposição e de sobrecarga, tipo cone clástico e em prato (*dishes*).		

PDC – 48	Localização: Estrada Velha Poços/Cascata	1280 m
Fonolitos maciços homogêneos variolíticos.		

PDC – 49	Localização: Estrada Velha Poços/Cascata	1270 m
Blocos alterados, alguns exibindo grossa crosta laterítica, de brechas e vulcanoclastitos retrabalhados (*lahars*) depositados em camadas bem definidas, onde alternam-se finos níveis avermelhados		

semelhantes a argilitos, e outros mais grossos, pouco selecionados e brechóides. Entre as camadas desenvolveram-se estruturas de sobrecarga subcentimétricas convolutas e minúsculos cones clásticos. Entre os fragmentos puderam ser identificados apenas nefelina sienitos e minerais vítreos neo-formados.

PDC – 50	Localização: Estrada Velha Poços/Cascata	1290 m
Blocos alterados de rochas vulcanoclásticas com as mesmas feições texturais descritas no ponto anterior		

PDC – 51	Localização: Estrada Velha Poços/Cascata	1300 m
Blocos de fonolitos afaníticos variolíticos.		

PDC – 52	Localização: Cachoeira Véu da Noiva (em Poços de Caldas)	1200 m
Ponto turístico de Poços de Caldas. Arenitos finos com estratificação cruzada plano-paralela em posição levemente inclinada para dentro do complexo. As camadas têm atitude de mergulho de **N135/25**.		

PDC – 53	Localização: Pedra Balão	1440 m
Grande bloco suspenso de nefelina sienito fanerítico grosso com estrutura traquítica orientada. A estrutura é definida pela disposição subhorizontal das placas de feldspato envoltas por agulhas aciculares de piroxênio. Ocupando os espaços menores é possível identificar outros feldspatos e nefelina alterados. Aglomerados locais de eudialita rósea são bastante comuns. Além de piroxênio acicular, também estão presentes cristais maiores poiquilíticos com inclusões de minerais félsicos. A rocha apresenta feição porosa, cheia de vazios, provavelmente originados por dissolução dos minerais menos resistentes ao intemperismo. Um xenólito de rocha fonolítica afanítica foi encontrado dentro dessa rocha.		

PDC – 54	Localização: Pedra Balão	1450 m
Próximo da Pedra Balão, a W desta, há outro afloramento de nefelina sienitos com eudialita. Neste, entretanto, estão mais desenvolvidas estruturas pegmatíticas como possantes veios e vênulas ricos em piroxênio e eudialita, com feldspatos e piroxênios decimétricos aglomerados em bolsões que cortam rocha encaixante.		

PDC – 55	Localização: Pedra Balão	1445 m
Nefelina sienito com eudialita exibindo perfeito bandamento mineralógico com alternância entre bandas claras, ricas em feldspatos e nefelina e bandas escuras, ricas em piroxênios. Eventualmente, em ambas as bandas podem estar concentradas quantidades variáveis de eudialita. Autólitos de coloração escura e formato arredondado com diâmetros de até 5 cm, também estão presentes nessa rocha.		

PDC – 56	Localização: Serra de São Domingos	1450 m
Fonolito alterado a bauxita. A exemplo do que é observado em outras áreas íngremes, nesta o		

processo de bauxitização também é acelerado. O solo originado tem cor ocre-alaranjada e eventualmente podem estar presentes torrões coesos de minério.

PDC – 57	Localização: Serra de São Domingos	1450 m

Próximo ao ponto anterior. Fonolito afanítico fresco de cor cinza-esverdeada e estrutura maciça e fraturada. Raros autólitos de cor cinza apresentam formas de gotas em posição verticalizada como se acompanhassem a ascensão do líquido magmático. Não foram encontrados xenólitos de nefelina sienitos ou de outra rocha.

PDC – 58	Localização: Pedreira da Prefeitura	1340 m

Nefelina sienito fanerítico com marcadas variações faciológicas. Predomina a variedade com cristais de feldspatos alcalinos maiores de cor cinza junto a outros menores e de coloração mais clara. De menor ocorrência são aqueles tipos mais finos e com tons róseos a esbranquiçados. Raros xenólitos foram encontrados, já em estado bastante avançado de assimilação. Suas formas podem ser desde subarredondadas a subangulosas. Outros de dimensões de poucos centímetros puderam ser identificados como fonolitos, nefelina sienitos e raros ultramafitos.

PDC – 59	Localização: Pedreira da Prefeitura	1340 m

Cortam os nefelina sienitos, veios pegmatíticos a pegmatóides, nefelínico-sieníticos de dimensões centimétricas a decimétricas, acompanhados de cavidades miarolíticas. São comuns nesses corpos, feldspatos alcalinos bem desenvolvidos, agregados de egirina, zeólita, fluorita, hematita e argilominerais. Esses corpos às vezes intrudem a rocha e, às vezes, acompanham os planos de fraturas e demais descontinuidades físicas. Nos limites desses corpos é possível identificar feições indicativas de reação do fluído pegmatítico com a rocha encaixante. Pelo menos duas gerações de eventos tardios puderam ser identificados, onde os corpos pegmatóides citados, são cortados por vênulas mais finas (2-3 cm) preenchidas por argilominerais hidrotermais tardios (feldspatos, esmectitas, caolinitas etc.). Corpos pegmatóides e vênulas hidrotermais ocorrem preferencialmente preenchendo fraturas de orientação NW/SE e NE/SW; esses, por sua vez, são localmente cortados por fraturas de orientação N/S.

PDC – 60	Localização: Pedreira da Prefeitura	1340 m

Cortando os nefelina sienitos estão presentes dois diques fonolíticos porfiríticos de bordas finas a vítreas, com cerca de 0,5 m de espessura e atitude de mergulho **N142/70**, **N143/62** a **N168/80**. Outro dique presente na pedreira tem dimensão semelhante, mas direção diferente. Este não é cortado por veios pegmatóides ou venulações e traz consigo, em suas bordas de contato, pequenos xenólitos da rocha encaixante. Trata-se de um fonolito porfirítico com cristais tabulares bem desenvolvidos de feldspato (sanidina) e leucitas subarredondadas. Quando alterada a rocha exibe coloração acastanhada a vermelha. É interessante notar a presença lado a lado de uma rocha de textura fina a vítrea cortando outra mais grossa, cristalizada em maior profundidade.

PDC – 61	Localização: Pedreira Bortolan	1270 m

Nefelina sienito fanerítico cinza, muito parecido com aquele da Pedreira da Prefeitura, em contato

com o dique anelar fonolítico. Veios pegmatíticos e vênulas também estão presentes cortando a encaixante e o fonolito. Estes são preenchidos por mineralogia secundária equivalente àquela presente na Pedreira da Prefeitura.

PDC – 62	Localização: Pedreira Bortolan	1270 m
Xenólitos de nefelina sienitos e fonolito, além de raros ultramafitos estão presentes no nefelina sienito em maior quantidade quando comparado àqueles da Pedreira da Prefeitura.		

PDC – 63	Localização: Pedreira Bortolan	1270 m
Fonolito do dique anelar com intrusões pegmatíticas do nefelina sienito da Pedreira. Autólitos de nefelina sienitos com pouco menos de 3 cm de diâmetro também estão presentes no fonolito, assim como aqueles encontrados na região da Serra de São Domingos (PDC - 57).		

PDC – 64	Localização: Lavra de Argila	1280 m
Argila branca de alta pureza, provavelmente formada pelo retrabalhamento intempérico de nefelina sienitos e fonolitos, e posterior deposição de argilominerais em lagos internos aprisionados dentro da caldeira, que mais tarde vieram constituir esses depósitos.		

PDC – 65	Localização: Morro do Ferro	1420 m
Próximo do fundo do vale, ao lado de um curso d'água ocorre um conjunto de material alterado de coloração ocre a rosa e blocos de canga laterítica. O solo tem coloração ocre a alaranjada.		

PDC – 66	Localização: Morro do Ferro	1440 m
Diques de magnetita limonitizados em superfície cortam o morro em diferentes pontos. O maior deles apresenta espessura de quase 3 metros de espessura e tem atitude de mergulho **N50/65**. Outros diques também estão presentes mas têm espessuras menores, em torno de 1 m.		

PDC – 67	Localização: Morro do Ferro	1491 m
Alto topográfico constituído por material terroso poroso de cor ocre a marrom terroso.		

PDC – 68	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1350 m
Fonolito subvulcânico com porções mais finas afaníticas. A textura porfirítica se manifesta raramente em alguns poucos locais pelo maior ou menor desenvolvimento de fenocristais de feldspato e/ou pseudoleucita. Dentro da mina os fonolitos representam a rocha encaixante NW do corpo de brechas.		

PDC – 69	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1350 m
Corpos de um nefelina sienito cinza fanerítico grosso podem ocorrer agrupadas ou isoladas. Esse parece limitar, dentro da mina, o corpo de brechas em seu contorno S-SW.		

PDC – 70	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1350 m
Pseudoleucita fonolito de coloração cinza a amarelo com fenocristais de pseudoleucita de tamanhos variados com dimensões máximas de até 8 cm de diâmetros, mergulhados numa matriz afanítica. Às		

vezes, a porcentagem destes fenocristais é tão grande que a rocha chega a se tornar um pseudo-leucitito.

PDC – 71	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1350 m

Conduto de brecha polimítica clasto-suportada por matriz fonolítica. Entre os fragmentos destacam-se rochas dos arredores, sendo comuns fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos e mais raramente pseudoleucita fonolitos. A brecha apresenta todas as característica de "*pipe*", onde as porções centrais do conduto contêm os fragmentos maiores e mais arredondados passando para a borda com fragmentos mais angulosos e menos movimentados. Bem afastadas do conduto, ocorrem brechas em mosaico e zonas *crackle*. O corpo principal está na porção central da antiga cava. Corpos menores cortam nefelina sienitos e fonolitos em pontos distintos da mina. Os fragmentos têm formas subarredondadas a angulosas. Os fragmentos maiores chegam a dimensões métricas, predominando entretanto, fragmentos decimétricos. A matriz da brecha é fonolítica e tem aspecto poroso. Está fortemente mineralizada.

PDC – 72	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1350 m

Rochas ultramáficas sob a forma de diques de pequena espessura, cortam indistintamente todos os outros litotipos. Estas, apesar de se encontrarem um pouco alteradas, ao contrário das demais rochas, não foram afetadas pelo hidrotermalismo; em alguns dos diques já foram encontrados xenólitos de nefelina sienitos hidrotermalizados. Entre os diques destacam-se aqueles portadores de biotita.

PDC – 73	Localização: Mina de Urânio Osamu Utsumi	1390 m

Aparentemente, os indícios da extensão do hidrotermalismo além do corpo de brechas está refletido numa faixa marginal ao corpo de brechas onde a ação hidrotermal se manifestou através da reação e transformação da encaixante ao longo de planos preferenciais. Nestes houve ampla deposição de minerais hidrotermais e, concomitante, caolinização da rocha.

PDC – 74	Localização: Próximo de Cascata	1250 m

Solo de alteração de rocha nefelino sienítica.

PDC – 75	Localização: Próximo de Cascata	1152 m

Rocha fonolítica alterada, de cor marrom ocre.

PDC – 76	Localização: Vale do Quartel	925 m

Blocos de aglomerados vulcânicos com fragmentos subarredondados de lavas ankaratríticas amigdaloidais em matriz cinza avermelhada.

PDC – 77	Localização:Vale do Quartel	920 m

Blocos de aglomerados vulcânicos com fragmentos subarredondados de lavas ankaratríticas amigdaloidais em matriz cinza avermelhada.

PDC – 78	Localização: Vale do Quartel	920 m
Blocos de aglomerados vulcânicos com fragmentos subarredondados de lavas ankaratríticas amigdaloidais em matriz cinza avermelhada.		

PDC – 79	Localização: Águas da Prata	1010 m
Blocos de arenitos cinza esbranquiçados, com estratificação plano-paralela.		

PDC – 80	Localização: Vale do Quartel	890 m
Ankaratritos alterados próximo de brechas acamadadas. A relação de contato entre os dois não foi pode ser definida devido ao grau de alteração dos afloramentos.		

PDC – 81	Localização: Águas da Prata	1020 m
Arenito estratificado disposto sobre siltito roxo		

PDC – 82	Localização: SW do Complexo	1390 m
Brecha com estrutura maciça e fragmentos de nefelina sienitos e fonolitos.		

PDC – 83	Localização: SW do Complexo	1390 m
Brecha com estrutura maciça e fragmentos de nefelina sienitos e fonolitos.		

PDC – 84	Localização: Lavra de argila	1390 m
Lavra de argila próximo do Pico do Urubú, onde estão localizadas as brechas intrusivas de matriz gorssa.		

PDC – 85	Localização: Fazenda do Chiqueirão	1200 m
Aparentemente, os indícios da extensão do hidrotermalismo além do corpo de brechas está refletido numa faixa marginal ao corpo de brechas onde a ação hidrotermal se manifestou através da reação e transformação da encaixante ao longo de planos preferenciais. Nestes houve ampla deposição de minerais hidrotermais e, concomitante, caolinização da rocha.		

PDC – 86	Localização: Fazenda do Chiqueirão	1210 m
Blocos de arenitos estratificados em posção caóica		

PDC – 87	Localização: Chibinito de Botelho	1390 m
Nefelina sienito agpaítico com estrutura maciça, rico em eudialita		

PDC – 88	Localização: Sul do Complexo	1420 m
Brecha de cor cinza esverdeada, alterada.		

PDC – 89	Localização: Sul do Complexo	1206 m
Derrame fonolítico vesiculado, às vezes com amígdalas achatadas, preenchidas por carbonatos alterados. em bancos espessos. Direção do mergulho dos planos de derrame **N110/10.**		

PDC – 90	Localização: Sul do Complexo	1230m
Derrame fonolítico vesiculado, às vezes com amígdalas achatadas, preenchidas por carbonatos alterados. em bancos espessos. Direção do mergulho dos planos de derrame.		

PDC – 91	Localização: Sul do Complexo	1240 m
Fonolitos maciços alterados.		

PDC – 92	Localização: Pico do Urubú	1390 m
Brecha intrusiva com fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos, fragmentos de pegmatóides nefelino sieníticos em matriz grossa, com cristais euédricos de feldspatos e piroxênios. Não reage com HCl.		

PDC – 93	Localização: Próximo de Águas da Prata	846 m
Ao longo do corte de estrada aflora o arenito disposto sobre siltitos róseos variegados finos. (Atitude do mergulho entre o arenito e o siltito **N10/18 e 12/24**		

PDC – 94	Localização: Próximo de Águas da Prata	845 m
Diques fonolíticos cortam os arenitos provocando nesses pequeno cozimento em ao longo do contato.		

PDC – 95	Localização: Vale do Quartel	905 m
Brecha de matriz fina, com blocos métricos de diabásios. Ao longo do afloramento ocorrem diques fonolíticos cortando toda a sequênciaitos		

PDC – 96	Localização: Próximo da Cachoeirinha	908 m
Brecha polimítica constituída por blocos de até 2m de dimensão, de arenitos e diabásios.		

PDC – 97	Localização: Vale do Quartel	840 m
Pequena estrada que leva ao cafezal. Ocorrem blocos de arenitos e de ankaratritos		

PDC – 98	Localização: Vale do Quartel	1390 m
Blocos de ankaratritos e arenitos. Além desses ocorre também uma ,rocha estratificada de granulação fina, que reage com HCLI		

PDC – 99	Localização: Vale do Quartel (cafezal)	890 m
Blocos de arenitos e menos, comumente os de ankaratritos.		

Anexo IV

Tabela 1A. Composição química das rochas vulcânicas máficas do Complexo.

Ankaratritos

								Aglomerados			
	Fragmentos de Brecha							Matriz	Blocos e fragmentos		
Amostra	PDC-4a 1	PDC-4b 2	PDC-4c 3	PDC-4B 4	PDC-4C 5	PDC-5CA 6	PDC-5CB 7	PDC-14 8	PDC-14a 9	PDC-14b 10	PDC-14c 11
SiO_2	35,86	36,16	39,10	35,20	38,17	30,63	33,09	34,68	40,30	32,80	38,44
TiO_2	3,81	5,14	5,04	5,28	5,09	4,53	4,84	2,83	4,18	3,61	3,58
Al_2O_3	11,78	11,30	12,24	10,92	11,67	8,55	9,17	9,72	12,45	9,86	11,55
Fe_2O_3T	11,31	12,09	11,74	13,71	12,18	12,42	12,10	9,13	12,62	11,44	11,20
MnO	0,22	0,18	0,17	0,24	0,20	0,19	0,18	0,23	0,12	0,19	0,14
MgO	4,74	6,51	5,85	5,95	6,00	8,12	6,38	4,48	8,68	6,66	5,22
CaO	14,57	13,95	13,74	16,06	12,36	18,44	17,31	17,45	6,65	11,37	11,86
Na_2O	4,46	2,66	4,06	3,06	3,81	0,93	0,68	3,17	1,23	2,35	2,12
K_2O	2,19	3,62	1,84	2,27	2,51	2,56	3,96	1,98	5,45	3,68	4,82
P_2O_5	1,25	0,73	0,87	1,04	0,70	1,04	1,21	0,71	0,84	0,77	0,78
H_2O	3,34	3,32	3,55	*	*	*	*	1,67	4,19	1,13	2,63
CO_2	6,43	3,40	1,16	*	*	*	*	13,69	3,35	16,04	7,46
SO_2	0,12	0,09	0,09	*	*	*	*	0,06	0,09	0,06	0,08
Total	100,08	99,14	99,45	100,60	99,50	100,20	100,60	99,81	100,15	99,96	99,89
LOI	9,89	6,81	4,79	6,30	6,20	12,40	11,10	15,42	7,62	17,23	10,17
Ba	1396	785	608	958	1595	961	1228	591	2015	1098	2658
Rb	80	128	70	109	81	80	91	25	115	104	75
Sr	1501	1015	1083	1277	917	944	1482	1336	1659	1181	1647
Cs	*	*	*	14	9	7	0	*	*	*	*
Ga	*	*	*	21	14	17	18	*	*	*	*
Ta	*	*	*	0	11	0	0	*	*	*	*
Nb	*	*	*	142	104	147	157	*	*	*	*
Hf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zr	476	347	356	484	403	524	551	308	341	318	339
Ti				3	3	3	3				
Y	34	31	31	34	26	31	30	27	27	30	25
Th	*	*	*	15	6	10	9	*	*	*	*
U	*	*	*	12	0	6	3	*	*	*	*
Cr	<10	42	15	20	45	197	141	86	188	146	86
Ni	23	42	35	28	35	79	63	46	103	80	62
Co				51	36	47	23	*	*	*	*
V	389	418	367	514	298	354	321	261	408	291	284
Cu	*	*	*	82	57	79	88	*	*	*	*
Pb	*	*	*	10	4	5	11	*	*	*	*
Zn	110	80	84	126	94	111	111	69	101	90	90
Sn	*	*	*	0	7	1	8	*	*	*	*
W	*	*	*	0	0	0	0	*	*	*	*
La	*	*	*	138,00	58,00	101,00	137,00	*	*	*	*
Ce	*	*	*	256,00	213,00	233,00	235,00	*	*	*	*
Nd	*	*	*	131,00	104,00	129,00	64,00	*	*	*	*
Total ETR	*	*	*	525,00	375,00	463,00	436,00	*	*	*	*
Mg#	29,53	35,02	33,25	30,26	33,00	39,53	34,52	32,90	40,75	36,80	31,79
(La/Y)	*	*	*	4,06	2,23	3,26	4,57	*	*	*	*
K_2O/Na_2O	0,49	1,36	0,45	0,74	0,66	2,75	5,82	0,62	4,42	1,56	2,28
Total Álcalis	6,65	6,28	5,89	5,33	6,32	3,49	4,64	5,15	6,68	6,03	6,94

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 1A.Composição química das rochas vulcânicas máficas do Complexo. (Continuação).

Ankaratritos

	Aglomerados									
	Blocos e fragmentos								Dique	Fragmento em brecha extrusiva
Amostra	PDC-14d 12	PDC-14A 13	PDC-14B 14	PDC-14B1 15	PDC-14B2 16	PDC-15 17	PDC-15A 18	PDC-15B 19	PDC-16 20	M13-A 21
SiO_2	37,23	40,59	39,18	39,84	40,59	36,86	46,35	44,70	41,32	44,90
TiO_2	3,45	3,60	3,82	3,44	3,49	5,23	3,43	3,56	4,73	3,29
Al_2O_3	11,16	9,96	12,17	11,61	11,54	13,16	11,64	11,25	11,24	11,07
Fe_2O_3T	10,90	11,80	11,70	10,92	11,28	14,68	11,59	11,93	11,45	10,90
MnO	0,16	0,16	0,18	0,15	0,15	0,25	0,17	0,18	0,09	0,18
MgO	5,55	9,27	7,70	5,06	5,60	7,42	4,68	5,88	8,65	5,43
CaO	13,28	15,37	9,63	10,51	9,59	10,15	11,05	12,17	14,74	12,70
Na_2O	2,00	2,42	3,47	3,13	3,35	3,26	0,81	1,13	3,12	1,68
K_2O	4,46	1,39	2,34	4,13	3,64	0,23	6,83	5,41	0,63	4,53
P_2O_5	0,78	0,74	0,88	0,82	0,74	1,13	0,66	0,70	0,06	0,65
H_2O	2,90	*	*	*	*	7,06	*	*	2,69	*
CO_2	8,25	*	*	*	*	0,67	*	*	0,53	*
SO_2	0,09	*	*	*	*	0,16	*	*	0,07	*
Total	100,21	100,80	100,50	99,70	99,20	100,26	100,50	100,20	99,31	100,00
LOI	11,24	5,00	9,00	9,80	8,80	7,90	2,60	2,60	3,34	4,00
Ba	1861	885	1017	2123	1706	684	1926	1551	114	1690
Rb	75	61	86	84	84	42	152	124	60	115
Sr	1468	1236	1008	1994	1645	627	1742	1387	200	1288
Cs	*	4	2	0	31	*	0	0	*	1
Ga	*	19	23	14	15	*	11	14	*	10
Ta	*	4	0	8	8	*	0	14	*	0
Nb	*	91	119	100	100	*	98	107	*	99
Hf	*	9	9	*	*	*	8	9	*	*
Zr	328	390	408	413	404	522	355	376	189	390
Ti		2	2	2	2	*	2	2		2
Y	27	29	30	25	28	129	45	45	15	49
Th	*	9	11	8	9	*	8	9	*	6
U	*	1	2	0	0	*	2	2	*	0
Cr	91	319	138	96	118	26	126	146	15	124
Ni	65	106	68	48	63	58	52	60	89	61
Co	*	49	52	40	40	*	31	48		41
V	285	334	283	224	268	427	290	287	380	316
Cu	*	42	58	40	45	*	53	51	*	48
Pb	*	4	8	5	7	*	4	5	*	3
Zn	87	104	125	96	107	119	79	105	44	99
Sn	*	0	0	0	0	*	5	5	*	0
W	*	3	0	0	0	*	0	0	*	0
La	*	86,40	91,70	73,00	68,00	*	74,20	79,30	*	93,00
Ce	*	176,00	186,00	178,00	192,00	*	150,00	162,00	*	175,00
Nd	*	81,30	83,30	67,00	93,00	*	71,20	75,90	*	63,00
Total ETR	*	343,70	361,00	318,00	353,00	*	295,40	317,20	*	331,00
Mg#	33,75	44,00	39,69	31,66	33,18	33,57	28,76	33,02	43,03	33,25
(La/Y)	*	3,01	3,02	2,92	2,43	*	0,26	0,28	*	0,29
K_2O/Na_2O	2,23	0,57	0,67	1,32	1,09	0,07	8,43	4,79	0,20	2,70
Total Álcalis	6,45	3,81	5,81	7,26	6,99	3,49	7,64	6,54	3,76	6,21

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 1B. Composição normativa das rochas vulcânicas máficas do Complexo.

Ankaratritos

	Fragmentos de Brecha							Aglomerados			
								Matriz	Blocos e fragmentos		
Amostra	PDC-4a	PDC-4b	PDC-4c	PDC-4B	PDC-4C	PDC-5CA	PDC-5CB	PDC-14	PDC-14a	PDC-14b	PDC-14c
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Or	7,62	1,34	7,99	1,48	11,62	0,00	0,00	0,00	25,72	0,45	12,27
Pl	4,44	5,88	12,81	6,81	9,83	9,08	7,87	5,40	16,06	4,23	5,78
PlAb	0,00	0,00	6,09	0,00	4,57	0,00	0,00	0,00	7,17	0,00	0,00
PlAn	4,44	5,88	6,72	6,81	5,25	9,08	7,87	5,40	8,89	4,23	5,78
Lc	2,85	12,49	0,00	7,23	0,00	10,19	15,77	8,54	0,00	15,06	9,50
Ne	19,86	10,89	11,78	12,38	12,66	4,04	2,96	14,95	0,78	10,78	9,26
Wo	4,50	0,00	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	10,88	0,00	0,00	0,00
Di	21,62	24,01	20,39	24,68	19,69	14,31	19,81	21,62	1,10	23,51	22,53
DiWo	10,81	12,01	10,20	12,34	9,85	7,15	9,90	10,81	0,55	11,76	11,27
DiEn	10,81	12,01	10,20	12,34	9,85	7,15	9,90	10,81	0,55	11,76	11,27
Ol	0,00	1,25	0,90	0,00	1,94	8,20	3,23	0,00	13,33	2,90	0,32
OlFo	0,00	1,25	0,90	0,00	1,94	8,20	3,23	0,00	13,33	2,90	0,32
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,76	5,18	1,26	0,00	0,00	0,00
Il	0,28	0,21	0,19	0,28	0,23	0,23	0,23	0,31	0,14	0,25	0,18
Hm	6,51	6,40	5,78	7,18	6,37	6,98	6,80	5,57	6,73	6,77	6,33
Sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pf	4,10	5,23	4,76	5,25	5,09	4,86	5,21	3,14	4,32	4,02	3,87
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ap	2,17	1,16	1,28	1,63	1,10	1,75	2,04	1,29	1,34	1,37	1,32

	Aglomerados								Dique	Fragmento em brecha extrusiva
	Blocos e fragmentos									
Amostra	PDC-14d	PDC-14A	PDC-14B	PDC-14B1	PDC-14B2	PDC-15	PDC-15A	PDC-15B	PDC-16	M13-A
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Or	3,19	5,51	10,17	20,79	17,32	0,89	32,89	24,60	2,40	20,11
Pl	6,16	11,98	18,28	6,83	12,44	31,62	6,47	8,72	18,02	11,58
PlAb	0,00	4,25	10,94	2,84	8,41	18,57	0,96	2,13	9,02	5,33
PlAn	6,16	7,73	7,34	3,99	4,03	13,04	5,51	6,59	9,01	6,25
Lc	14,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ne	8,55	5,83	6,61	12,05	8,88	0,00	2,83	3,21	4,90	3,32
Wo	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
Di	24,39	24,42	10,72	19,90	16,02	2,61	20,08	20,75	20,56	21,57
DiWo	12,20	12,21	5,36	9,95	8,01	1,31	10,04	10,38	10,28	10,79
DiEn	12,20	12,21	5,36	9,95	8,01	1,31	10,04	10,38	10,28	10,79
Ol	0,00	3,18	7,22	1,09	2,94	8,77	0,03	1,19	3,26	0,00
OlFo	0,00	3,18	7,22	1,09	2,94	8,77	0,03	1,19	3,26	0,00
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	0,20	0,16	0,20	0,19	0,18	0,24	0,20	0,21	0,08	0,21
Hm	6,04	5,29	5,75	6,21	6,06	6,49	6,31	6,13	4,89	5,47
Sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00
Pf	3,62	3,06	3,55	3,72	3,57	3,33	3,53	3,44	3,96	3,09
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ap	1,29	0,99	1,30	1,40	1,19	1,49	1,08	1,08	0,07	0,98

Or: ortoclásio; Pl plagioclásio; PlAb: albita; PlAn: anortita; Lc: leucita; Ne: nefelina; Wo: wollastonita; Di: diopsídio; DiWo: wollastonita; DiEn: enstatita; Ol: olivina; OlFo: forsterita; Cs: metassilicato de Ca; Il: ilmenita; Hm hematita; Sp: espinélio; Pf: perovskita; Ru: Rutilo; Ap: apatita

Tabela 2A. Composição química das rochas vulcânicas fonolíticas do Complexo.

Rochas fonolíticas

	Fonolitos regionais											
								Porfiríticos				
	Derrame		Vulcanoclástica			Variolitos		Não alterados			Alterados	
Amostra	PDC-24	PDC-35	PDC-33A	PDC-33B	PDC-45	PDC-4	PDC-2	PDC-43	PDC-34	PDC-49	PDC-22	PLcF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO_2	54,56	54,40	54,14	54,10	52,21	53,58	61,46	54,26	50,10	52,68	59,84	53,71
TiO_2	0,59	0,58	0,36	0,75	0,96	0,34	0,67	0,58	1,02	0,54	0,49	1,11
Al_2O_3	20,38	20,52	21,30	19,94	18,60	20,18	18,21	21,64	19,72	20,40	21,83	19,56
Fe_2O_3	3,84	3,84	3,30	4,23	5,13	4,11	4,27	3,03	3,97	3,99	1,24	4,52
MnO	0,26	0,25	0,24	0,25	0,33	0,30	0,03	0,16	0,19	0,21	0,00	0,22
MgO	0,33	0,36	0,26	0,67	1,52	0,24	0,31	0,37	0,61	0,32	0,33	0,63
CaO	1,58	1,58	1,28	2,03	2,83	1,13	0,12	1,23	2,73	1,96	0,06	2,51
Na_2O	7,61	8,07	8,19	7,56	7,40	8,51	0,12	7,78	7,78	7,85	0,96	6,63
K_2O	7,94	8,35	8,58	8,49	7,21	6,61	12,48	7,53	8,24	9,20	12,57	8,55
P_2O_5	0,07	0,07	0,04	0,11	0,21	0,04	0,06	0,06	0,17	0,10	0,08	0,17
H_2O	1,96	0,84	1,30	0,81	1,52	4,55	1,50	2,31	1,78	0,75	1,78	0,98
CO_2	0,08	0,08	0,19	0,07	1,15	0,17	0,05	0,42	2,57	0,09	0,07	0,06
SO_2	0,12	0,12	0,09	0,13	0,04	0,04	0,09	0,10	0,33	0,62	0,16	0,33
Total	99,31	99,07	99,28	99,13	99,11	99,81	99,29	99,47	99,20	99,70	99,41	98,99
LOI	2,23	1,03	1,58	1,11	2,92	4,76	1,55	2,88	4,69	1,45	2,01	1,38
As	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cl	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ba	75	65	43	116	590	59	536	461	2120	396	426	400
Rb	147	156	126	164	159	89	195	89	137	218	273	154
Sr	1638	1296	1087	1584	1909	391	331	2027	5077	2024	138	3628
Cs	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ga	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nb	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zr	854	944	943	838	920	1548	1156	676	618	825	1191	698
Ti	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Y	46	50	54	49	60	34	41	16	29	33	15	53
Th	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
U	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cr	<10	<10	<10	13	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ni	<10	10	<10	13	31	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10
Co	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sc	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
V	72	66	51	86	87	47	86	57	114	77	64	113
Cu	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pb	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zn	188	192	179	180	272	268	193	128	130	157	50	152
Sn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ag	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cd	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pd	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rh	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rn	*	*				*	*	*	*	*	*	*
La	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ce	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nd	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Total ETR	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mg#	7,97	8,66	7,30	13,69	22,79	5,45	6,83	10,88	13,24	7,36	21,09	12,31
(La/Y)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K_2O/Na_2O	1,04	1,03	1,05	1,12	0,98	0,78	101,04	0,97	1,06	1,17	13,08	1,29
AI [(+)]	1,04	1,09	1,07	1,08	1,07	1,05	0,75	0,97	1,10	1,12	0,70	1,03
Total Álcalis	15,55	16,42	16,77	16,05	14,61	15,13	12,60	15,31	16,02	17,04	13,53	15,18

[(+)] $AI=(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ (proporções moleculares)

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 2A. Composição química das rochas vulcânicas fonolíticas do Complexo (Continuação).

Rochas fonolíticas

	Dique em brechas			Xenólito em Lujaurito PB	Dique anelar		Diques PP	
				PDC-53	PDC-57A	PDC-57B	PDC-58	PDC-60
Amostra	PDC-4Ao	PDC-5B	PDC-5E	PC-2-94	AN-13	AN-5	FON-1	FON-2
	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO_2	54,02	53,20	53,70	54,90	54,90	55,10	55,38	55,30
TiO_2	0,29	0,34	0,36	0,19	0,54	0,52	0,29	0,37
Al_2O_3	19,71	19,96	20,01	22,61	20,72	20,79	19,61	21,08
Fe_2O_3	3,76	3,47	3,62	2,21	3,58	3,46	3,78	3,02
MnO	0,32	0,27	0,27	0,07	0,25	0,25	0,34	0,21
MgO	0,18	0,19	0,15	0,03	0,17	0,17	0,07	0,13
CaO	1,31	1,31	1,49	0,79	1,53	1,49	0,82	0,90
Na_2O	8,53	9,17	7,88	6,63	8,38	8,55	10,08	9,39
K_2O	7,46	7,05	7,88	11,40	8,35	8,41	6,51	7,00
P_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H_2O	*	*	*	*	*	*	*	*
CO_2	*	*	*	*	*	*	*	*
SO_2	*	*	*	*	*	*	*	*
Total	100,30	100,50	100,70	100,80	100,30	100,50	101,00	100,90
LOI	4,30	5,20	5,00	1,70	1,30	1,20	3,40	3,10
As	2	0	0	0	0	5	29	0
Cl	0	0	0	451	925	868	2298	1125
Ba	25	18	23	379	43	48	4	26
Rb	131	92	122	365	177	172	191	140
Sr	713	520	344	690	1373	1387	437	574
Cs	0	0	0	4	2	2	5	20
Ga	39	42	45	46	38	34	55	38
Ta	3	22	3	1	13	18	5	0
Nb	349	189	199	141	267	266	319	209
Hf	*	22	23	11	21	21	46	*
Zr	1538	1214	1323	736	1091	1057	2812	1440
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	49	18	20	43	48	45	39	20
Th	46	48	36	36	28	27	86	49
U	6	6	9	9	7	6	22	6
Cr	22	16	14	16	13	10	10	13
Ni	6	0	0	2	0	0	3	0
Co	1	0	0	4	2	0	1	0
Sc	*	44	41	*	*	*	*	*
V	54	48	101	30	68	69	50	44
Cu	0	13	13	2	0	0	0	4
Pb	34	44	43	2	22	22	86	40
Zn	271	443	424	55	195	185	331	185
Sn	10	5	12	13	6	10	0	14
W	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	*	6	6	*	*	*	*	*
Cd	*	1	1	*	*	*	*	*
Pd	*	1	1	*	*	*	*	*
Rh	*	0	0	*	*	*	*	*
Rn	*	4	5	*	*	*	*	*
La	352,00	135,46	125,71	232,00	215,00	201,00	225,00	149,00
Ce	462,00	177,43	176,86	377,00	392,00	372,00	262,00	172,00
Nd	150,00	26,81	33,41	76,90	117,00	111,00	36,00	30,00
Total ETR	964,00	339,70	335,98	685,90	724,00	684,00	523,00	351,00
Mg#	4,57	5,19	3,98	1,34	4,53	4,68	1,82	4,13
(La/Y)	7,18	7,47	6,17	5,35	4,44	4,50	5,81	7,45
K_2O/Na_2O	0,87	0,77	1,00	1,72	1,00	0,98	0,65	0,75
AI (+)	1,12	1,14	1,07	1,03	1,10	1,11	1,20	1,09
Total Álcalis	15,99	16,22	15,76	18,03	16,73	16,96	16,59	16,39

(+) $AI=(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ (proporções moleculares);

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 2B. Composição normativa das rochas vulcânicas fonolíticas do Complexo.

Rochas fonolíticas

	Fonolitos regionais											
								Porfiríticos				
	Derrame		Vulcanoclástica			Variolitos		Não alterados			Alterados	
Amostra	PDC-24	PDC-35	PDC-33A	PDC-33B	PDC-45	PDC-4	PDC-2	PDC-43	PDC-34	PDC-49	PDC-22	PLcF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23	0,00	0,00	0,00	6,12	0,00
Or	42,68	48,14	50,48	48,90	38,89	34,35	78,03	38,21	32,76	35,50	71,93	47,49
Pl	9,90	1,89	0,30	0,79	4,95	14,79	1,33	14,82	0,00	0,00	8,00	5,76
PlAb	9,90	1,89	0,30	0,79	4,95	14,79	1,12	14,07	0,00	0,00	8,00	5,76
PlAn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Lc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,39	15,24	0,00	0,00
Ne	26,57	32,78	36,07	31,13	26,93	26,16	0,00	26,00	33,18	31,48	0,00	25,73
Ac	4,24	8,96	7,78	8,50	6,57	4,78	0,00	0,00	10,16	10,68	0,00	3,98
Ns	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00
Wo	1,39	1,43	1,51	1,16	0,06	1,26	0,00	0,28	2,12	2,24	0,00	1,42
Di	1,60	1,88	1,37	3,46	7,31	1,10	0,00	1,68	3,26	1,68	0,00	3,15
DiWo	0,80	0,94	0,68	1,73	3,66	0,55	0,00	0,84	1,63	0,84	0,00	1,58
DiEn	0,80	0,94	0,68	1,73	3,66	0,55	0,00	0,84	1,63	0,84	0,00	1,58
DiFs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00
HyEn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00
Mt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	0,35	0,37	0,36	0,36	0,45	0,39	0,05	0,20	0,29	0,32	0,00	0,31
Hm	1,27	0,26	0,25	0,62	1,48	1,21	3,02	1,74	0,16	0,00	0,80	1,84
Pf	0,37	0,38	0,12	0,61	0,72	0,00	0,00	0,46	1,10	0,41	0,00	1,08
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00
Ap	0,13	0,14	0,09	0,21	0,38	0,06	0,13	0,11	0,34	0,21	0,09	0,33

	Dique em brechas			Xenólito em Lujaurito PB	Dique anelar		Diques PP	
				PDC-53	PDC-57A	PDC-57B	PDC-58	PDC-60
Amostra	PDC-4Ao	PDC-5B	PDC-5E	PC-2-94	AN-13	AN-5	FON-1	FON-2
	13	14	15	16	17	18	19	20
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Or	42,00	39,62	45,10	42,10	48,18	48,34	33,52	36,62
Pl	7,02	7,36	6,35	0,00	2,20	2,11	13,62	11,76
PlAb	7,02	7,36	6,35	0,00	2,20	2,11	13,62	11,76
PlAn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lc	0,00	0,00	0,00	20,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Ne	29,49	31,35	29,92	30,56	33,23	33,16	25,31	29,51
Ac	9,57	8,81	7,54	4,96	9,33	8,99	8,79	7,14
Ns	0,53	1,31	0,00	0,00	0,33	0,87	2,62	0,49
Wo	1,83	1,85	2,29	1,27	2,07	2,00	1,09	1,06
Di	1,09	0,96	0,77	0,16	0,88	0,87	0,54	0,61
DiWo	0,54	0,48	0,38	0,08	0,44	0,44	0,27	0,30
DiEn	0,45	0,48	0,38	0,08	0,44	0,44	0,16	0,30
DiFs	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Hy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HyEn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	0,37	0,39	0,40	0,10	0,37	0,36	0,34	0,28
Hm	0,00	0,00	0,46	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Pf	0,00	0,04	0,07	0,16	0,33	0,32	0,00	0,15
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ap	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Co: córidon; Or: ortoclásio; Pl plagioclásio; PlAb: albita; PlAn: anortita; Lc: leucita; Ne: nefelina; Ac: acmita; Ns: metassilic
Di: diopsídio; DiWo: wollastonita; DiEn: enstatita; DiFs: ferrosilita; Hy: hiperstênio; HyEn: enstatita; Mt: magnetita; Il: ilm
Pf: perovskita; Ru: rutilo; Ap: apatita

Tabela 3A. Composição química dos nefelina sienitos do Complexo.

Nefelina Sienitos

	Nefelina sienitos miaskíticos					Nefelina sienitos agpaíticos							
	Pedreira da Prefeitura			Próx. Morro do Ferro		Pedra Balão							
Amostra	NS1	NS3	PC1-94A	MF1-95	MF4-95	PB1-A	PB1-B	PB1-CD-A	PB1-CD-B	PB2	PB2-A	PBX-A	PBX-B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO_2	55,1	52,4	54,2	53,66	52,8	56,2	56,2	51,38	52,3	52,99	55,6	48,2	49,41
TiO_2	0,62	0,91	0,76	0,22	0,26	0,52	0,27	0,52	0,52	0,75	0,45	0,41	0,44
Al_2O_3	19,79	19,79	20,31	20,8	21,74	19,18	19,86	14,98	15,65	14,82	20,6	15,66	17,7
Fe_2O_3	3,59	4,17	4,17	3,28	3,01	1,75	1,07	8,68	9,09	6,04	3,38	4,03	5,55
MnO	0,25	0,26	0,27	0,32	0,29	0,37	0,31	0,67	0,52	0,86	0,22	1,25	0,75
MgO	0,28	0,45	0,4	0,04	0,06	0,44	0,27	0,36	0,4	0,22	0,05	0,12	0,23
CaO	1,68	2,1	2,05	0,87	1	0,77	0,91	2,47	2,28	2,91	0,58	4,19	2,45
Na_2O	6,45	7,54	7,57	9,12	9,28	5,24	5,04	8,92	9,12	8,49	5,93	9,52	9,83
K_2O	7,96	8,53	8,6	7,28	8,75	12,01	12,25	6,23	6,21	5,87	12,08	4,27	4,67
P_2O_5	0,01	0,05	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOI	3,4	3,9	1,6	3,8	2,8	3,5	3,7	3,2	3,2	4,2	1,3	6,8	6,3
Total	99,7	100,9	100,5	99,9	100,4	100,6	100,5	99,6	100,4	100,2	100,4	100,5	99,3
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Cl	0	351	895	0	1030	0	0	50	0	99	0	558	0
Ba	284	621	352	11	15	261	215	193	177	381	275	159	134
Rb	159	162	191	160	179	402	551	201	192	222	569	164	152
Sr	2185	3096	2420	438	486	2994	712	3239	2629	5260	739	8167	3497
Cs	36	2	2	1	1	10	8	7	5	5	10	5	3
Ga	31	35	33	48	41	53	58	60	51	40	44	50	68
Ta	7	16	0	19	4	0	7	9	0	37	0	51	12
Nb	209	273	258	365	304	357	377	926	529	1421	162	2573	924
Hf		24	20	27	19	1	14	204	115	55		607	188
Zr	804	1233	1015	1424	956	76	921	11059	6316	3476	913	32409	11305
Ti	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	27	52	39	47	39	29	9	44	26	81		94	39
Th	27	31	26	38	31	80	16	39	34	103	15	33	21
U	0	9	6	8	5	41	5	16	10	27	7	26	17
Cr	8	18	15	13	14	19	21	8	24	20	11	21	11
Ni	399	5	3	2	3	10	2	0	0	0	0	4	0
Co	33	9	0	8	0	3	2	0	0	1	5	0	0
V	82	68	80	45	49	7	0	212	216	94	37	33	112
Cu	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	17	28	21	26	19	44	19	13	39	107	17	29	100
Zn	173	199	206	229	225	359	353	106	235	211	194	97	188
Sn	4	0	0	0	3	10	9	27	17	3	11	12	12
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	12	0
La	177	230	199	261	242	546	71,2	329	208	667	59	593	370
Ce	250	407	361	385	368	750	97	341	235	956	148	608	251
Nd	71	125	114	63,8	63,4	128	16,3	51,5	35,3	176	40	84,9	43,9
Soma ETR	498	762	674	709,8	673,4	1424	184,5	721,5	478,3	1799	247	1285,9	664,9
Mg#	7,24	9,74	8,75	1,20	1,95	20,09	20,15	3,98	4,21	3,51	1,46	2,89	3,98
(La/Y)	6,56	4,43	5,05	5,61	6,17	18,76	7,96	7,53	7,88	8,25		6,34	9,49
K_2O/Na_2O	1,23	1,13	1,14	0,80	0,94	2,29	2,43	0,70	0,68	0,69	2,04	0,45	0,48
AI (+)	1,01	1,12	1,10	1,05	1,12	1,33	1,29	1,33	1,28	1,27	1,28	1,11	1,04
Total Álcalis	14,41	16,07	16,17	16,4	18,03	17,25	17,29	15,15	15,33	14,36	18,01	13,79	14,5

(+) $AI=(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ (proporções molares)

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 3B. Composição normativa dos nefelina sienitos do Complexo.

Nefelina Sienitos

	Nefelina sienitos miaskíticos					Nefelina sienitos agpaíticos							
	Pedreira da Prefeitura			Próx. Morro do Ferro		Pedra Balão							
Amostra	NS1	NS3	PC1-94A	MF1-95	MF4-95	PB1-A	PB1-B	PB1-CD-A	PB1-CD-B	PB2	PB2-A	PBX-A	PBX-B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Or	40,42	44,93	49,91	40,78	39,57	55,97	56,63	38,34	37,44	32,28	41,29	24,21	26,55
Pl	17,05	0,00	1,19	7,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	12,48	0,00	11,82	9,30
PlAb	16,64	0,00	1,19	7,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	12,48	0,00	11,82	9,30
PlAn	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lc	0,00	4,86	0,00	0,00	9,80	12,83	13,92	0,02	0,00	0,00	24,68	0,00	0,00
Ne	18,62	32,21	31,90	32,95	37,25	17,84	19,29	25,95	27,33	16,41	22,02	25,52	31,91
Ac	0,00	9,55	7,66	8,30	8,05	4,74	2,92	24,15	24,76	15,01	9,12	10,33	14,26
Ns	0,00	0,00	0,00	0,50	2,35	3,02	2,56	1,95	0,91	2,81	1,03	3,39	0,31
Wo	1,53	1,87	2,12	1,29	1,66	0,17	0,92	3,57	3,26	4,33	0,71	6,06	3,37
Di	1,27	2,41	2,08	0,55	0,49	2,36	1,69	2,65	2,32	1,64	0,27	3,17	2,22
DiWo	0,64	1,20	1,04	0,28	0,24	1,18	0,84	1,32	1,16	0,82	0,13	1,58	1,11
DiEn	0,64	1,20	1,04	0,10	0,16	1,18	0,73	0,99	1,08	0,54	0,13	0,30	0,59
DiFs	0,00	0,00	0,00	0,18	0,08	0,00	0,11	0,33	0,08	0,28	0,00	1,28	0,52
Il	0,32	0,39	0,40	0,28	0,35	0,57	0,37	0,72	0,71	0,93	0,34	0,52	0,56
Hm	2,06	0,43	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pf	0,39	0,83	0,60	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
Ap	0,02	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Or: ortoclásio; Pl plagioclásio; PlAb: albita; PlAn: anortita; Lc: leucita; Ne: nefelina; Ac: acmita; Ns: metassilicato de Na; Wo: wollastonita; Di: diopsídio; DiWo: wollastonita; DiEn: enstatita; DiFs: ferrosilita; Il: ilmenita; Hm: hematita; Pf: perovskit Ap: apatita

Tabela 4. Composição química da matriz das rochas vulcanoclásticas do Complexo.

Rochas vulcanoclásticas

Amostra	Brecha Intrusiva			Brecha Extrusiva											Matriz de Brecha de Fluxo Piroclástico			
				Matriz de Brecha			*Base Surge*						*Base Surge*					
	PDC-20	PDC-39	PDC-46	C-1	P-8	PDC-7	C2	M4	M1-C	M1-E	C5	A5-A	M2	D5	PDC11BG	PDC11CF	PDC-11B	PDC-11-2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO_2	53,38	53,30	54,77	38,15	52,18	44,12	36,09	38,00	40,90	40,54	43,60	50,25	55,53	55,50	42,60	31,90	33,42	33,40
TiO_2	0,62	0,31	0,37	3,78	2,09	2,76	3,99	3,55	3,46	3,80	2,63	2,32	0,52	0,55	2,64	2,04	2,57	4,10
Al_2O_3	17,68	21,16	20,97	7,31	7,85	6,98	7,45	6,78	7,05	8,06	6,62	7,78	20,11	20,33	7,43	7,03	7,31	6,70
Fe_2O_3	6,64	3,21	3,57	11,78	8,22	9,93	11,10	11,16	11,66	12,61	9,28	8,48	4,21	4,07	10,16	8,57	9,28	15,74
MnO	0,41	0,24	0,25	0,19	0,16	0,17	0,23	0,21	0,22	0,21	0,18	0,21	0,24	0,24	0,23	0,34	0,31	0,23
MgO	0,34	0,23	0,32	6,60	4,65	4,59	6,23	5,51	6,87	7,38	3,83	4,70	0,16	0,16	3,34	4,40	4,15	5,75
CaO	1,62	1,29	1,15	13,48	10,04	13,10	16,29	15,50	12,16	11,02	14,31	12,27	1,72	2,06	14,77	21,40	19,04	16,86
Na_2O	8,46	7,81	8,09	2,84	3,49	5,19	4,36	3,51	4,00	3,83	4,90	3,41	8,35	8,35	0,79	0,61	0,73	0,52
K_2O	7,80	9,03	8,84	5,07	4,44	3,11	4,07	4,79	4,04	4,80	3,84	4,55	8,64	9,45	6,13	6,03	6,63	5,14
P_2O_5	0,06	0,06	0,05	1,01	0,80	0,94	0,95	0,89	0,87	0,99	0,86	0,68	0,00	0,00	0,98	1,50	1,27	0,74
H_2O	1,72	1,54	0,85	1,08	1,04	0,74	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,27
CO_2	0,10	0,85	0,10	7,24	4,20	8,44	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9,02
SO_2	1,10	0,24	0,16	2,06	0,07	0,28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,06
Total	99,95	99,26	99,49	100,60	99,24	100,36	100,90	100,00	100,20	100,10	100,90	100,50	100,80	100,90	100,40	99,90	100,6	99,53
LOI	2,92	2,63	1,11	10,38	5,31	9,46	9,30	9,40	7,90	6,10	10,50	5,50	0,90	0,00	10,90	15,50	15,4	10,35
F	*	*	*	*	*	*	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	*
Cl	*	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0	0	1294	1356	0	0	0	*
Ba	344	94	104	1057	941	733	806	399	1272	1091	756	947	168	397	1120	874	606	928
Rb	156	187	192	207	79	107	258	188	208	240	116	94	180	175	80	97	83	66
Sr	3494	1030	872	815	754	836	1062	742	1197	974	835	1027	3017	2182	1412	2197	2214	1211
Cs	*	*	*	*	*	*	32	18	16	13	2	6	0	2	0	14	29	*
Ga	*	*	*	*	*	*	18	30	15	21	13	14	34		13	13	14	*
Ta	*	*	*	*	*	*	4	5	11	3	5	0	5	0	7	0	923	*
Nb	*	*	*	*	*	*	144	103	137	153	135	118	218	215	183	264	165	*
Hf	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	8	*	16	19	*	*	7	*
Zr	1610	911	977	348	327	357	428	242	420	451	363	379	947	1040	567	563	301	527
Y	40	45	37	22	103	25	27	17	23	25	22	22	25	36	35	40	26	38
Th	*	*	*	*	*	*	18	7	15	19	13	17	26	27	14	23	12	*
U	*	*	*	*	*	*	5	4	1	4	2	1	0	6	0	6	1	*
Cr	<10	<10	<10	16	120	29	8	20	42	34	31	132	6	0	7	0	38	101
Ni	<10	<10	<10	35	54	30	8	21	18	21	11	39	1	0	0	0	8	47
Co	*	*	*	*	*	*	39	46	39	43	26	28	3	0	17	10	22	*
Sc	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	31	*
V	110	55	53	316	235	290	279	359	305	307	309	232	204	68	385	420	323	675
Cu	*	*	*	*	*	*	35	71	49	120	8	28	20	0	33	11	29	*
Pb	*	*	*	*	*	*	14	6	10	13	9	15	31	25	25	25	12	*
Zn	370	177	182	82	66	61	102	271	88	111	69	77	457	181	94	126	273	106
Sn	*	*	*	*	*	*	0	13	0	7	7	0	11	29	0	0	0	*

Tabela 4. Composição química da matriz das rochas vulcanoclásticas do Complexo. (Continuação)

Rochas vulcanoclásticas

Amostra	Brecha Intrusiva			Matriz de Brecha			Brecha Extrusiva *Base Surge*						*Base Surge*		Matriz de Brecha de Fluxo Piroclástico			
	PDC-20	PDC-39	PDC-46	C-1	P-8	PDC-7	C2	M4	M1-C	M1-E	C5	A5-A	M2	D5	PDC11BG	PDC11CF	PDC-11B	PDC-11-2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
La	*	*	*	*	*	*	86,0	54,4	113,0	106,0	103,0	102,0	133,7	194,0	137,0	264,0	113,1	*
Ce	*	*	*	*	*	*	238,0	114,4	217,0	232,0	206,0	246,0	243,1	321,0	284,0	481,0	221,2	*
Nd	*	*	*	*	*	*	105,0	50,6	83,0	90,0	84,7	61,0	55,3	76,0	82,0	171,0	87,9	*
Soma ETR	*	*	*	*	*	*	429,0	219,4	413,0	428,0	393,7	409,0	432,1	591,0	503,0	916,0	422,2	*
(La/Y)	*	*	*	*	*	*	3,19	3,26	4,91	4,24	4,68	4,64	5,34	5,37	3,91	6,60	4,35	*
K_2O/Na_2O	0,92	1,16	1,09	1,78	1,27	0,60	0,93	1,36	1,01	1,25	0,78	1,33	1,03	1,13	7,76	9,89	9,08	9,86

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 5A. Composição química de granitóides e diabásios, encontrados nas brechas do Complexo

Granitóides

	Granitóides								Diabásio	
	Granito			Aplito		Fenito				
Amostra	C-4a	KnTkt	M13-G	M9-FB	M9-FC	M9-G	E-2	M-19	PDC-2B	PDC-8
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	68,25	77,10	65,32	67,50	68,40	50,20	56,41	50,67	53,90	*
TiO_2	0,29	0,81	0,79	0,36	0,25	0,56	0,62	1,15	2,75	*
Al_2O_3	14,75	6,91	14,89	12,98	12,06	13,62	12,85	13,80	12,30	*
Fe_2O_3	1,25	6,45	5,38	2,47	1,84	2,94	4,88	8,00	13,20	*
MnO	0,03	0,19	0,11	0,05	0,06	0,21	0,36	0,27	0,19	*
MgO	0,61	0,32	0,61	3,43	2,75	0,86	1,93	2,25	2,48	*
CaO	2,03	0,40	2,17	1,55	3,07	10,80	5,21	10,26	5,95	*
Na_2O	4,82	1,41	3,82	8,53	7,87	1,59	2,89	2,01	2,21	*
K_2O	5,83	3,92	5,81	1,13	0,21	9,20	9,32	7,71	4,39	*
P_2O_5	0,06	0,03	0,12	0,00	0,00	0,39	0,26	0,08	0,61	*
H_2O	0,39	0,48	*	*	*	*	0,47	0,75	*	*
CO_2	1,76	2,24	*	*	*	*	4,94	2,31	*	*
SO_2	0,13	0,24	*	*	*	*	0,09	0,26	*	*
Total	100,19	100,50	99,70	99,30	100,10	99,10	100,22	99,51	100,30	*
LOI	2,28	2,95	0,40	1,30	2,90	8,10	5,50	3,40	2,00	*
Ba	1562	123	1639	223	4141	2710	1067	767	650	819
Rb	149	120	107	38	1	231	142	240	86	125
Sr	335	32	233	369	582	1535	557	1207	485	638
Cs	*	*	0	46	0	7	*	*	2	1
Ga	*	*	16	25	20	17	*	*	20	*
Ta	*	*	0	1	0	28	*	*	0	*
Nb	*	*	42	16	12	234	*	*	38	*
Hf	*	*	*	*	6	*	*	*	10	10
Zr	218	1542	864	248	195	276	639	775	436	350
Ti	*	*	0	0	0	0		*	0	0
Y	<10	40	42	30	78	37	82	75	49	49
Th	*	*	3	16	14	18	*	*	3	5
U	*	*	0	0	1	1	*	*	1	1
Cr	<10	<10	18	37	31	8	<10	<10	0	*
Ni	10	<10	0	9	10	0	14	18	0	*
Co	*	*	5	4	5	6		*	13	*
V	29	29	16	42	35	90	44	*	122	*
Cu	*	*	3	4	3	32	*	273	127	*
Pb	*	*	15	6	6	0	*	*	7	8
Zn	12	179	85	46	30	35	58	*	167	*
Sn	*	*	5	9	6	6	*	70	1	*
La	*	*	84,00	16,00	37,10	122,00	*	*	49,80	48,8
Ce	*	*	168,00	64,00	74,90	214,00	*	*	108,00	109
Nd	*	*	88,00	58,00	33,80	108,00	*	*	60,30	58,7
Soma ETR	*	*	340,00	138,00	145,80	444,00	*	*	218,10	216,50
Mg#	32,73	4,71	10,18	58,14	59,91	22,63	28,31	21,92	15,82	*
(La/Y)	*	*	2,00	0,53	0,47	3,30	*	*	1,02	*
K_2O/Na_2O	*	*	1,52	0,13	0,03	5,79	3,23	3,84	1,99	*
Total Álcalis	10,65	5,34	9,63	9,66	8,08	10,79	12,21	9,72	6,60	*

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 5B. Composição normativa de granitóides e diabásios, encontrados nas brechas do Complexo
Granitóides

	Granitóides								Diabásio	
	Granito			Aplito		Fenito				
Amostra	C-4a	KnTkt	M13-G	M9-FB	M9-FC	M9-G	E-2	M-19	PDC-2B	PDC-8
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Qz	8,71	45,48	10,28	5,56	8,22	0,00	0,00	0,00	8,42	*
Or	24,54	22,75	25,49	3,92	0,73	48,74	51,25	41,27	20,33	*
Pl	30,00	12,31	28,34	35,95	36,41	1,71	5,73	6,82	22,47	*
PlAb	29,57	11,94	24,39	35,95	36,41	0,00	5,73	2,63	14,89	*
PlAn	0,43	0,38	3,96	0,00	0,00	1,71	0,00	4,18	7,58	*
Lc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,92	0,00	0,00	0,00	*
Ne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,85	3,33	7,81	0,00	*
Ac	0,00	0,00	0,00	3,88	2,77	0,00	9,48	0,00	0,00	*
Ns	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*
Wo	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	17,49	3,60	9,41	0,00	*
Di	2,29	0,00	1,19	2,98	6,60	4,91	9,49	10,75	3,97	*
DiWo	1,15	0,00	0,60	1,49	3,30	2,45	4,74	5,38	1,99	*
DiEn	1,15	0,00	0,60	1,49	3,30	2,45	4,74	5,38	1,99	*
Hy	0,00	0,83	0,60	3,84	0,99	0,00	0,00	0,00	3,15	*
HyEn	0,00	0,83	0,60	3,84	0,99	0,00	0,00	0,00	3,15	*
Il	0,03	0,29	0,12	0,04	0,06	0,34	0,51	0,37	0,23	*
Hm	0,60	4,23	2,67	0,00	0,03	2,12	0,66	4,83	6,90	*
Sp	0,36	0,81	0,99	0,36	0,21	0,00	0,00	0,00	3,97	*
Pf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,26	1,02	0,00	*
Ru	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*
Ap	0,09	0,05	0,18	0,00	0,00	0,84	0,49	0,15	0,96	*

Qz: quartzo; Or: ortoclásio; Pl plagioclásio; PlAb: albita; PlAn: anortita; Lc: leucita; Ne: nefelina; Ac: acmita; Ns: metassilic
Wo: wollastonita; Di: diopsídio; DiWo: wollastonita; Hy: hiperstênio; HyEn: enstatita; Il: ilmenita; Hm: hematita; Sp: espin
Pf: perovskita; Ru: rutilo; Ap: apatita

Tabela 6. Composição química dos fragmentos de rochas sedimentares, carbonáticas e carbonatíticas encontradas nas brechas do Complexo.

Fragmentos

	Quartzo arenitos constituídos por grãos de quartzo suspensos em matriz carbo									Carbonatitos		
	Fragmentos em brecha extrusiva									Fragmentos em brecha extrusiva		
Amostra	B1	B2	B3-A	B3-B	B5	M18	P3	A13	A3	PDC-11CA	PDC-11CB	PDC11C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO_2	63,30	65,18	67,10	68,10	63,64	65,62	38,09	16,09	5,85	8,59	7,95	9,55
TiO_2	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,34	0,56	0,07	0,49	0,52	0,51
Al_2O_3	1,01	0,86	0,89	0,82	0,92	0,96	6,50	2,53	1,24	1,55	1,38	1,72
Fe_2O_3	0,18	0,11	0,14	0,12	0,16	0,15	7,58	5,23	0,58	5,81	6,24	5,95
MnO	0,08	0,22	0,12	0,18	0,14	0,12	0,53	0,27	0,15	0,25	0,23	0,24
MgO	0,18	0,08	0,10	0,12	0,13	0,12	3,92	1,79	1,73	2,02	1,77	1,89
CaO	19,74	20,61	17,56	17,15	0,20	19,80	25,70	41,60	51,90	45,60	46,60	45,10
Na_2O	0,11	0,41	0,08	0,14	0,30	0,20	2,13	0,94	0,34	0,31	0,38	0,35
K_2O	0,56	0,50	0,50	0,44	0,52	0,57	3,06	1,48	0,57	1,10	0,86	1,22
P_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09	3,01	0,01	4,65	4,21	4,46
H_2O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CO_2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SO_2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Total	100,10	100,80	99,50	99,90	100,30	100,60	100,90	100,20	100,50	99,90	100,10	100,70
LOI	14,70	12,60	12,80	12,50	14,60	13,00	10,60	25,60	38,00	28,60	28,90	28,60
Ba	663	475	373	362	330	450	824	1321	384	878	653	950
Rb	13	11	14	13	14	14	84	47	28	22	16	27
Sr	673	273	438	339	413	414	1865	6347	1038	5007	5527	5584
Cs	0	5	24	0	21	17	19	19	25	0	11	24
Ga	0	0	0	0	2	1	8	4	0	0	5	8
Ta	15	3	0	8	4	2	4	8	0	0	20	8
Nb	3	3	3	2	3	3	45	265	4	43	45	52
Hf	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zr	38	24	30	25	28	31	182	327	67	257	237	280
Y	4	3	5	2	4	5	39	33	10	78	61	79
Th	6	4	0	2	2	3	16	43	7	26	26	39
U	0	0	0	0	0	0	4	5	0	0	0	0
Cr	0	0	13	0	0	5	17	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0
Co	2	0	0	0	0	0	10	6	5	11	1	5
Sc	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
V	8	15	14	15	14	11	184	201	14	247	261	240
Cu	1	0	0	3	3	2	0	0	0	0	0	0
Pb	6	15	3	5	9	9	18	8	2	10	8	17
Zn	0	1	0	0	0	0	112	59	4	72	83	74
Sn	8	15	7	11	7	2	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Mo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F	0	0,1	0,1	0,4	0	0,1	0	0	0	0	0	0
La	7	0	4	10	1	3	253	396	8	429	492	467
Ce	8	29	26	8	54	6	464	729	13	782	774	875
Nd	33	0	0	0	17	0	163	280	76	322	330	294
Soma ETR	48	29	30	18	72	9	880	1405	97	1533	1596	1636
(La/Y)	1,75	0,00	0,80	5,00	0,25	0,60	6,49	12,00	0,80	5,50	8,07	5,91
K_2O/Na_2O	5,09	1,22	6,25	3,14	1,73	2,85	1,44	1,57	1,68	3,55	2,26	3,49

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

Tabela 7. Composições química e normativa das rochas ultramáficas encontradas nas brechas do Complexo

Rochas ultramáficas

	Fragmentos em brecha extrusiva				
Amostra	A5-C	E1	A-8	PDC-11	M-17
	1	2	3	4	5
SiO_2	35,90	37,20	48,11	44,35	48,09
TiO_2	1,73	4,54	1,55	2,75	3,18
Al_2O_3	4,05	4,61	9,80	5,78	11,60
Fe_2O_3	21,51	15,67	10,68	10,07	12,54
MnO	0,45	0,27	0,41	0,08	0,18
MgO	7,38	6,06	3,33	13,93	3,99
CaO	20,80	21,50	15,72	14,62	8,47
Na_2O	1,09	0,77	2,12	0,36	3,44
K_2O	1,61	2,15	4,63	2,84	4,19
P_2O_5	3,25	2,92	0,18	0,32	0,39
H_2O	*	*	0,58	2,50	0,77
CO_2	*	*	1,95	1,47	2,22
SO_2	*	*	0,19	0,06	0,11
Total	100,00	99,50	99,25	99,13	99,17
LOI	1,70	2,90	2,90	4,03	3,11
F	0	0	860	1922	*
Ba	1283	1952	539	442	1397
Rb	52	105	164	122	102
Sr	1089	2339	1511	269	950
Cs	0	0	2	*	*
Ga	14	7	16	12	
Ta	10	8	*	*	*
Nb	43	163	161	33	*
Hf	*	*	12	*	*
Zr	561	1916	1201	163	213
Y	37	120	99	14	*
Th	21	10	10	4	32
U	14	4	5	*	*
Cr	5	0	22	1177	40
Ni	0	2	10	273	41
Co	7	36		50	*
Sc	*	*	17	44	*
V	321	359	370	322	443
Cu	16	36	12	45	*
Pb	5	7	4	2	*
Zn	173	84	125	68	83
La	227	129	41,2	32	*
Ce	440	302	114	65	*
Nd	202	154	102	32	*
Soma ETR	869	585	257	129	*
Mg#	25,55	27,89	23,78	58,06	24,12
(La/Y)	6,14	1,08	0,42	2,29	*
K_2O/Na_2O	1,48	2,79	2,19	7,82	1,22
Total Álcalis	2,70	2,92	6,74	3,20	7,63

*** não determinado; (<10) abaixo do limite de detecção.**

	Fragmentos em brecha extrusiva				
Amostra	A5-C	E1	A-8	PDC-11	M-17
	1	2	3	4	5
Or	5,05	10,21	22,86	10,96	17,73
Pl	0,89	5,15	10,03	5,41	21,15
PlAb	0,00	3,23	7,66	2,04	18,90
PlAn	0,89	1,92	2,37	3,37	2,24
Lc	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Ne	4,40	1,25	4,53	0,00	1,36
Wo	7,67	8,78	15,09	0,00	0,00
Di	30,53	25,75	14,73	27,89	14,18
DiWo	15,26	12,87	7,36	13,95	7,09
DiEn	15,26	12,87	7,36	13,95	7,09
Ol	0,00	0,00	0,00	7,58	0,34
OlFo	0,00	0,00	0,00	7,58	0,34
Il	0,53	0,32	0,52	0,07	0,20
Hm	11,23	8,40	5,96	4,39	5,99
Sp	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
Pf	1,27	4,54	1,21	2,19	2,84
Ap	5,09	4,70	0,30	0,42	0,55

Or: ortoclásio; Pl plagioclásio; PlAb: albita; PlAn: anortita; Lc: leucita; Ne: nefelina; Wo: wollastonita; Di: diopsídio; DiWo: wollastonita; Ol: olivina; OlFo: forsterita; Il: ilmenita; Hm: hematita; Sp: espinélio;Pf: perovskita; Ap: apatita