

CARACTERIZAÇÃO DE MINERAIS PESADOS USADOS
COMO INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO MAYNART,
SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG



UFOP

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

Marcone Jamilson Freitas Souza

Vice-Reitor

Célia Maria Fernandes Nunes

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Fábio Faversani

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Issamu Endo

Vice-Diretor

José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Antonio Luciano Gandini



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 75

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 336

**CARACTERIZAÇÃO DE MINERAIS PESADOS USADOS COMO
INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO MAYNART, SUL DO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG**

EDUARDO LUÍS CARNEIRO DE OLIVEIRA

Orientador

Ricardo Augusto Scholz Cipriano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Naturais, Área de Concentração: Petrogênese/Depósitos Minerais/Gemologia

OURO PRETO

2016

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 85-230-0108-6
Depósito Legal na Biblioteca Nacional
Edição 1^a

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

Oliveira, Eduardo Luís Carneiro de.

G694c Caracterização de minerais pesados usados como indicadores de depósitos minerais na bacia hidrográfica do Ribeirão Maynard, Sul do Quadrilátero Ferrífero, MG.
(Contribuições às Ciências da Terra. Série M, v.76, n.336)

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Área concentração: Petrogênese/ Depósitos Minerais/ Gemologia

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano.

1 Recursos Minerais. 2. Minerais indicadores. 3. Depósitos Minerais. I. Scholz, Ricardo Augusto Scholz Cipriano. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título Caracterização de minerais pesados usados como indicadores de depósitos minerais na bacia hidrográfica do Ribeirão Maynard, Sul do Quadrilátero Ferrífero, MG

CDU: 552(815.1)

Fonte de catalogação: sisbin@sisbin.ufop.br



ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado INTITULADA:
"CARACTERIZAÇÃO DOS MINEIRAIS INDICADORES ASSOCIADOS A DEPÓSITOS MINERAIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO MAYNART, SUL DO QUADRILÁTERO FERRIFERO, MG"
APRESENTADA POR: EDUARDO LUÍS CARNEIRO DE OLIVEIRA

As 14h do dia 30 de junho de 2016, no auditório II do DEGEO/UFOP, deu-se início à defesa pública da referida dissertação pelo candidato ao grau de mestre, Eduardo Luís Carneiro de Oliveira. A apresentação durou 25 min, passando-se a seguir, à arguição pelo membro da banca examinadora abaixo relacionado, durante a qual o candidato demonstrou domínio do tema e um nível de conhecimento compatível com a titulação pretendida. A seguir, em reunião secreta, a banca examinadora aprovou o candidato por unanimidade. De acordo com o Art. 45, parágrafo único, do Regulamento do PG-ECRM/DEGEO, o candidato deverá apresentar ao orientador, em um prazo de sessenta dias, os volumes finais da dissertação com as alterações sugeridas pelo membro da banca examinadora para o recebimento do grau de mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano (Presidente)

Prof. Dr. Mário Luiz de Sá Carneiro Chaves

Prof. Dr. Antônio Luciano Gandini

Ouro Preto, 30 de junho de 2016.

Dedicatória

Em memória de meu pai, Antônio Izac de Oliveira, exemplo de dedicação e trabalho. À minha mãe, Maria Das Dores Carneiro, por todo amor. À minha esposa Carina, pelo companheirismo. E ao meu filho Carlos Eduardo, por ter dado um novo sentido à minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Professores Dr. Maurício Antônio Carneiro e Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano, por acreditarem no trabalho proposto e desenvolvido e por se dedicarem na orientação do trabalho.

Ao Professor Dr. Marcos Tadeu de Freitas Suíta pelas discussões técnicas ao longo da dissertação.

Ao Professor Dr. Hermínio Arias Nalini Jr. por disponibilizar a estrutura do laboratório de geoquímica para realização de análises químicas.

Aos Professores Dr. Leonardo Lagoeiro e Dr. Leonardo Martins Graças pela disponibilização do laboratório de microanálise usado na caracterização e identificação de minerais pesados.

Aos professores Dr. Antonio Luciano Gandini e Dr. Mário Luiz de Sá Carneiro Chaves pela disponibilidade de participar da banca examinadora do trabalho, contribuindo na avaliação e correção do trabalho.

Ao engenheiro geólogo Francisco de Assis Silva, pela oportunidade de trabalho no programa de exploração de diamante da Vale.

Ao engenheiro geólogo Cleber dos Santos Alves pelo ajuda no trabalho de campo.

Ao engenheiro geólogo Luis Rodrigues Armôa Garcia pelas análises na microsonda eletrônica da UFMG.

Ao Setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP por ter disponibilizado a amostra do diamante encontrado no ribeirão Maynart, distrito de Santo Antônio do Salto, Ouro Preto, MG, para fotografia que ilustrou essa dissertação.

À FAPEMIG pelo financiamento do projeto.

SUMÁRIO

| | |
|--|--------------|
| AGRADECIMENTOS | VIII |
| SUMÁRIO | IX |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | XII |
| LISTA DE TABELAS | XVII |
| RESUMO | XVIII |
| ABSTRACT | XX |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 PROSPECÇÃO MINERAL POR MEIO DE GEOQUÍMICA DE MINERAIS INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS | 1 |
| 1.2 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS | 2 |
| 1.3 – FONTE E ORIGEM DO DIAMANTE | 8 |
| 1.4 – ESCOLHA DA ÁREA E METODOLOGIA | 10 |
| CAPÍTULO 2 | 14 |
| METODOLOGIA | 14 |
| 2.1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO | 14 |
| 2.2 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO | 14 |
| 2.3 – ESCOLHA DA DENSIDADE AMOSTRAL E QUANTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS | 17 |
| 2.4 – COLETA DAS AMOSTRAS DE CONCENTRADO DE MINERAIS PESADOS..... | 19 |
| 2.5 – SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA..... | 22 |
| 2.6 – SEPARAÇÃO POR MEIOS DENSOS..... | 22 |
| 2.7 – SEPARAÇÃO MAGNÉTICA USANDO IMÃ DE MÃO | 23 |
| 2.8 - SEPARAÇÃO ELETROMAGNÉTICA POR MEIO DE FRANTZ | 24 |
| 2.9 – IDENTIFICAÇÃO DAS FASES MINERAIS POR MEIO DE LUPA TRINOCULAR..... | 25 |
| 2.10– ANÁLISE QUALITATIVA | 26 |
| 2.11 – ANÁLISE QUANTITATIVA..... | 27 |
| 2.12 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 28 |
| CAPÍTULO 3 | 29 |
| GEOLOGIA REGIONAL | 29 |
| 3.1 – CONTEXTO GEOTECTÔNICO | 29 |
| 3.2 – UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS | 30 |
| 3.2.1 <i>COMPLEXO METAMÓRFICO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA</i> | 32 |

| | | |
|-------------------------|--|-----------|
| 3.2.2 | COMPLEXO METAMÓRFICO MONSENHOR ISIDRO..... | 32 |
| 3.2.3 | SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS..... | 32 |
| 3.2.4 | SUPERGRUPO MINAS..... | 33 |
| 3.2.5 | GRUPO ITACOLOMI..... | 33 |
| 3.2.6 | CORPO SERRA DO CARMO | 34 |
| CAPÍTULO 4 | | 35 |
| MINERALOGIA..... | | 35 |
| | <i>Diamante (C)</i> | 37 |
| | <i>Ouro (Au)</i> | 37 |
| | <i>Platina (Pt)</i> | 38 |
| | <i>Diopsídio [CaMg(Si₂O₆)]</i> | 39 |
| | <i>Piropo [Mg₃Al₂(SiO₄)₃]</i> | 40 |
| | <i>Almandina [Fe²⁺₃Al₂(SiO₄)₃]</i> | 41 |
| | <i>Spessartina [Mn²⁺₃Al₂(SiO₄)₃]</i> | 41 |
| | <i>Zircão [Zr(SiO₄)]</i> | 42 |
| | <i>Pirita (FeS₂) -</i> | 42 |
| | <i>Arsenopirita (AsFeS) (Figura 4.13)</i> | 43 |
| | <i>Pentlandita [(Fe,Ni)₉S₈]</i> | 43 |
| | <i>Hematita (Fe₂O₃)</i> | 44 |
| | <i>Pirolusita (MnO₂)</i> | 44 |
| | <i>Grupo do Espinélio (X) (Y)₂O₄</i> | 45 |
| | <i>Cr-Espinélio {Cromita [Fe²⁺Cr³⁺₂O₄]}</i> | 45 |
| | <i>Magnetita (Fe²⁺Fe³⁺₂O₄) -</i> | 45 |
| | <i>Gahnita (ZnAl₂O₄) -</i> | 46 |
| | <i>Galaxita [(Mn,Fe,Mg)(Al,Fe³⁺)₂O₄]</i> | 47 |
| | <i>Hercinita (Fe²⁺Al₂O₄)</i> | 48 |
| | <i>Ilmenita [Fe²⁺TiO₃]</i> | 48 |
| | <i>Rutilo (TiO₂)</i> | 49 |
| | <i>Brookita (TiO₂)</i> | 49 |
| | <i>Anatásio (TiO₂)</i> | 50 |
| | <i>Oxalcioroméita [</i> | 50 |
| | <i>Monazita [(Ce,La,Nd,Sm)PO₄]</i> | 51 |
| | <i>Tremolita–Actinolita [Ca₂(Mg,Fe)₅(Si₈O₂₂)(OH,F,Cl)₂] - [Ca₂(Mg_{4,5-2,5},Fe_{0,5-2,5})₅(Si₈O₂₂)(OH)₂]</i> | 51 |
| | <i>Grupo da Turmalina NaFe²⁺₃Al₆(BO₃)₃Si₆O₁₈(OH)₄ -</i> | 52 |
| | <i>Topázio [Al₂(SiO₄)(F,OH)₂]</i> | 53 |
| | <i>Euclásio [BeAl(SiO₄)OH]</i> | 54 |
| | <i>Berilo Be₃Al₂(Si₆O₁₈)</i> | 54 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 5..... | 55 |
| QUÍMICA MINERAL DE MINERAIS INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS..... | 55 |
| 5.1 – DIOPSÍDIO $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ | 55 |
| 5.2 – GAHNITA ZnAl_2O_4 | 60 |
| 5.3 – OXICALCIOROMÉITA $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_6\text{O}$ | 64 |
| CAPÍTULO 6..... | 67 |
| CONCLUSÕES | 67 |
| 6.1 - OCORRÊNCIA DE DIAMANTE EM OURO PRETO | 67 |
| 6.2 - AMOSTRAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE MINERAIS PESADOS USADOS COMO INDICADORES DE FONTES PRIMÁRIAS DIAMANTÍFERAS E DE METAIS BASE | 68 |
| 6.3 - DIOPSÍDIO | 69 |
| 6.4 - GAHNITA..... | 72 |
| 6.5 - OXICALCIOROMÉITA | 74 |
| CAPÍTULO 7..... | 76 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 76 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1.01: Documento da <i>Devassa Diamantina</i> ocorrida em Ouro Preto no ano de 1789, localizado no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência em Ouro Preto..... | 3 |
| Figura 1.02: Relatório da diretoria do DNPM de 1937 que descreve os trabalhos executados desde 1935 entre Ouro Preto e Mariana, no intuito de esclarecer as ocorrências de diamante nessas cidades. | 5 |
| Figura 1.03: Relatório da diretoria do DNPM do ano de 1938, onde é caracterizada a provável rocha fonte diamantífera existente em Ouro Preto. | 6 |
| Figura 1.04: Diamante de 1,6 ct encontrado no ribeirão Maynard, localizado no distrito de Santo Antônio do Salto, município de Ouro Preto. Exemplar exposto no Setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. | 7 |
| Figura 1.05: Condicionamento geotectônico do sul do Cráton São Francisco e a relação com a cristalização do diamante e ascensão de rochas fontes diamantíferas, modificado de Harggety (1986)..... | 9 |
| Figura 1.06: Imagem aeromagnética da porção sul do Cráton São Francisco, ilustrando a anomalia aeromagnética de Quadrilátero Ferrífero em contato com o embasamento cristalino paleoproterozóico do Cinturão Mineiro na imagem à esquerda; Borda do Cráton São Francisco com a anomalia gravimétrica associada, na imagem da direita; Modificado de Pereira & Fuck (2005). | 11 |
| Figura 1.07: Região escolhida para coleta de amostras de minerais pesados. Notar as cidades de Ouro Preto e Ouro Branco, circundando a área amostrada. | 13 |
| Figura 2.01: Delimitação da bacia da hidrográfica do ribeirão Maynard à montante do distrito de Santo Antônio do Salto, Ouro Preto, com a localização das amostras coletadas para identificação mineralógica | 16 |
| Figura 2.02: Mapa de pontos das amostras coletadas | 18 |
| Figura 2.03: Material de campo usado para coleta de amostras de minerais pesados (Mudderidge, 1995). | 19 |
| Figura 2.04: Etapa de coleta das amostras no campo: a) Coleta do cascalho e armazenamento em um balde de aço de 10 l; b) Concentração nas peneiras de 50 cm de diâmetro com deposição dos minerais passantes na fração -0,5mm em um balde de plástico; c) Concentração dos minerais pesados por meio de uma bateia; d) Concentrados de minerais pesados na fração -1+0,5mm. | 20 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.05: Fluxograma utilizado na coleta, identificação e caracterização de concentraods de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 21 |
| Figura 2.06: Separação granulométrica das amostras em laboratório, com um conjunto de 04 peneiras..... | 22 |
| Figura 2.07: Separação das fases minerais por meio denso. | 23 |
| Figura 2.08: Etapa de separação magnética das fases minerais, mostrando a superfície coberta por uma folha de papel fino e resistente, o ímã de mão utilizado na separação das frações magnéticas e os recipientes utilizados para armazenamento das fases minerais..... | 24 |
| Figura 2.09: FRANTZ utilizado no Laboratório de Preparação de Amostras para Geocronologia (LOPAG), Departamento de Geologia da Escola de Minas da UFOP. | 25 |
| Figura 2.10: Lupa trinocular que foi utilizada na identificação e separação das fases minerais. | 26 |
| Figura 2.11: Identificação de granda piropo, proveniente de uma amostra coletada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. Notar a superfície de corrosão, que provavelmente se deu em função da interação do mineral com o líquido magmático formador da rocha. | 27 |
| Figura 2.12: Microsonda eletrônica a ser utilizada na análise de química mineral das espécimes minerais relacionadas a fonte primária diamantífera identificadas na bacia do ribeirão Maynard. | 27 |
| Figura 3.01 – Contexto geotectônico da área de estudo, modificado de Alkmim (2004). | 29 |
| Figura 3.02 - Mapa geológico da área de estudo, reproduzido do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (1:50.000) de Lobato et al. (2005). | 31 |
| Figura 4.01: Diamante de 1,6 ct encontrado no ribeirão Maynard e exposto no Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP, Setor de Mineralogia. È possível observar os trígonos e steps na face do octaedro. | 37 |
| Figura 4.02: Amostra de ouro, encontrado na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard... .. | 38 |
| Figura 4.03: Grãos de ouro coletados nas amostras de concentrados de bateia dos aluviões do ribeirão Maynard..... | 38 |
| Figura 4.04: Mineral do grupo da platina encontrado nos concentrados de bateia das amostras coletadas no ribeirão Maynard..... | 39 |
| Figura 4.05: Cristais de diopsídio provenientes das amostras de concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynard;..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.06: Cristal de diopsídio encontrado em uma amostra coletada na bacia do ribeirão Maynard, e analisado em MEV-EDS..... | 40 |
| Figura 4.07: Imagem de um piropo obtido nas análises de MEV-EDS | 40 |
| Figura 4.08: Grupo de cristais de almandina coletadas em amostras da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 41 |
| Figura 4.09: Cristal de almandina em imagem MEV-EDS. | 41 |
| Figura 4.10: Zircão em imagem MEV-EDS..... | 42 |
| Figura 4.11: Grupo de zircão encontrado em uma amostra coletada nos aluviões da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 42 |
| Figura 4.12: Cristal de pirita arredondado e limonitizado encontrado nos concentrados de minerais pesados das amostras do ribeirão Maynard e analisada em MEV-EDS. | 43 |
| Figura 4.13: Grão de arsenopirita encontrada nas amostras dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard..... | 43 |
| Figura 4.14: Grão de pentlandita encontrado nas amostras de concentrado de minerais pesados aluvionares..... | 44 |
| Figura 4.15: Cristal de pirolusita..... | 44 |
| Figura 4.16: Conjunto de cristais de cromita identificada nas amostras de concentrados de bateia. | 45 |
| Figura 4.17: Cristal de magnetita analisado em MEV-EDS..... | 46 |
| Figura 4.18: Dois cristais de gahnita de coloração azul, cristalização octaédrica, apresentando clivagem perfeita e fratura conchoidal, além de inclusões. | 46 |
| Figura 4.19: Amostra de gahnita identificada nos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. A figura (a) exhibe os minerais antes do ataque de água régia. A figura (b) exhibe os mesmos grãos após o ataque de água régia. Notar a limpeza dos óxidos existentes na superfície dos grãos. | 47 |
| Figura 4.20: Imagem do MEV com as respectivas análises químicas em EDS de um grão de gahnita encontrado nas amostras de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 47 |
| Figura 4.21: Cristal de galaxita em imagem MEV-EDS..... | 47 |
| Figura 4.22: Cristal de hercinita em imagem MEV-EDS..... | 48 |
| Figura 4.23: Amostra de ilmenita encontrada em uma amostra de concentrados de minerais pesados do ribeirão Maynard. | 48 |
| Figura 4.24: Ilmenita encontrada nos concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynard, e analisada em MEV-EDS..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.25: Cristal de rutilo analisado em MEV-EDS..... | 49 |
| Figura 4.26: Grão de brookita encontrado em uma amostra do concentrado de bateia das amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 50 |
| Figura 4.27: Cristal de anatásio encontrado em uma amostra coletada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 50 |
| Figura 4.28: Cristais de oxicalcioroméita de coloração alaranjada encontrados na bacia do ribeirão Maynard..... | 51 |
| Figura 4.29: Cristal de monazita encontrado em uma amostra de concentrado de bateia do ribeirão Maynard. | 51 |
| Figura 4.30: Grupo de cristais de tremolitas-actinolitas encontrado no concentrado de minerais pesados do ribeirão Maynard. | 52 |
| Figura 4.31: Cristais de turmalina variedade <i>schorl</i> encontrados nas amostras dos concentrados de minerais pesados | 53 |
| Figura 4.32: Cristais de topázio imperial encontrados em amostras de concentrados de minerais pesados coletados nos aluviões do ribeirão Maynard, Ouro Preto..... | 53 |
| Figura 4.33: Cristal de euclásio encontrado nas amostras dos concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 54 |
| Figura 4.34: Cristais de berilo encontrados nas amostras dos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 54 |
| Figura 5.01: Diagrama ternário ($\text{Ca}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$ vs $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$ vs $\text{Mg}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$) aplicado aos diopsídios encontrados nas amostras de concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, modificado de Quirt 2004. | 57 |
| Figura 5.02: Diagrama químico de CaO vs Cr_2O_3 dos diopsídios encontrados na amostras de concentrado de bateia coletadas no ribeirão Maynard. Campo MIK (Minerais Indicadores de Kimberlitos) definido por Fipke et al. (1989)..... | 58 |
| Figura 5.03: Relação Cr_2O_3 vs Al_2O_3 nos diopsídios encontrados nas amostras de concentrados de bateia coletadas no ribeirão Maynard, aplicado ao diagrama de Ramsay (1995)..... | 59 |
| Figura 5.04: Relação Al_2O_3 vs MgO nos diopsídios encontrados nas amostras de concentrados de bateia coletadas no ribeirão Maynard, modificado de Ramsay (1995)..... | 59 |
| Figura 5.05: Diagrama ternário Spnl-Gah-Herc modificado de Spry and Scott (1986) e Heimann et. al (2005) mostrando que a composição química das gahnitas coletadas na amostras de concentrados de bateia do ribeirão Maynard são coincidentes com quatro campos do diagrama: 1) margas; 2) depósitos metamorfizados de sulfetos maciços e rochas pobres em | |

| | |
|---|----|
| "S" em zonas de alteração hidrotermal à Mg-Ca-Al; 3) depósitos metorizados de sulfetos maciços em rochas metavulcânicas e metassedimentares alteradas à Al-Fe; 4) Metabauxitas; 5) Pegmatitos; 6) Rochas metavulcânicas e metassedimentares não alteradas hidrotermalmente e alteradas ricas em Fe-Al. | 62 |
| Figura 5.06: Análise ZnO vs FeO vs Al ₂ O ₃ para as gahnitas provenientes de amostras de concentrados de bateia do ribeirão Maynard. | 63 |
| Figura 5.07: Dispersão dos valores de Al ₂ O ₃ vs ZnO. | 63 |
| Figura 5.08: Diagrama Sb ₂ O ₅ vs TiO ₂ vs CaO mostrando as duas populações químicas encontradas nas amostras de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 65 |
| Figura 5.09: Relação Sb ₂ O ₅ vs TiO ₂ das amostras dos concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 65 |
| Figura 5.10: Correlação negativa entre TiO ₂ vs Na ₂ O observada nas amostras de oxicalcioroméita. | 66 |
| Figura 5.11: Diagrama FeO vs Na ₂ O mostrando a variação composicional das amostras analisadas dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard. | 66 |
| Figura 6.01: Ocorrência de diopsídio sub-cálcico na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 71 |
| Figura 6.02: Ocorrência de gahnita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 73 |
| Figura 6.03: Ocorrência de oxicalcioroméita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 4.01: Mineralogia encontrada nas amostras dos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 34 |
| Tabela 5.01: Composição química quantitativa de grãos de diopsídio. | 55 |
| Tabela 5.02: Composição química semiquantitativa de grãos de diopsídio da amostra DRM-SG-005..... | 56 |
| Tabela 5.03: Análise química quantitativa dos grãos de gahnita recuperados na amostragem de concentrados de bateia..... | 60 |
| Tabela 5.04: Análise química semiquantitativa dos grãos de gahnita recuperados na amostragem de concentrados de bateia do ribeirão Maynard..... | 61 |
| Tabela 5.05: Resultado das análises químicas dos cristais de oxicalcioroméita encontrados em concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard..... | 64 |

RESUMO

O estudo de minerais indicadores é uma das mais antigas técnicas de exploração mineral usadas no mundo. Os minerais indicadores são espécimes minerais encontrados em grãos que são transportados em sedimentos clásticos e indicam a presença de afloramentos, à montante do ponto de coleta da amostra, que contém esses minerais e são associados à alguma mineralização, alteração hidrotermal ou litologia. Os minerais indicadores tem como característica propriedades físicas e químicas, como alta densidade, facilidade de preservação em ambientes de intemperismo químico e físico acentuados e fácil identificação visual, de modo que permite sua correlação com um grande número de depósitos minerais, tais como: ouro, diamante, Ni-Cu, EGP, depósitos de cobre pórfiro, sulfetos maciços e tungstênio.

Na porção sul do Quadrilátero Ferrífero, dentre os depósitos minerais conhecidos de ferro, manganês, ouro, Cu-Au-Sb, Hg-Sb e minerais raros como topázio e euclásio, existe uma ocorrência mineral de diamante reportada desde o período colonial na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard que é objeto de curiosidade científica.

Uma vez que a região da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard encontra-se em um contexto geotectônico favorável à ocorrência de fontes primárias diamantíferas, e em função do estudo de minerais indicadores ser amplamente usado na pesquisa de fontes primárias diamantíferas, esse trabalho dedicou-se ao emprego das técnicas exploratórias de identificação e caracterização de minerais pesados usados como indicadores de depósitos minerais com ênfase nos minerais associados à fontes primárias diamantíferas. Porém, também foram analisados minerais indicadores de depósitos de sulfetos maciços e/ou de alteração hidrotermal.

Dentre os principais resultados foram identificados 34 espécimes minerais das quais 03 foram analisadas do ponto de vista químico para determinar o ambiente de cristalização e sua possível correlação com depósitos minerais conhecidos.

Como mineral indicador de fonte primária diamantífera reconhecido na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard destaca-se o diopsídio, que foi classificado como diopsídio sub-cálcico, derivado de um manto eclogítico e/ou peridotítico, encontrado como xenocristais em lamproíto.

O diopsídio é um mineral que se altera muito facilmente em ambientes de intemperismo químico acentuado, portanto sua recuperação em amostras de concentrados de bateia indica que esse mineral encontra-se muito próximo à fonte.

Além do diopsídio, também foram estudados gahnita e oxicalcioroméita.

A gahnita é um espinélio zincífero que ocorre como mineral acessório em granitos e pegmatitos, em rochas metamórficas de médio para alto grau, em depósitos de sulfetos maciços metamorfizados e em *placers* como minerais pesados.

A composição química dos cristais de gahnita encontradas nas amostras de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard sugere que elas estejam associadas a depósitos metamorfizados de sulfetos maciços de zinco ou a rochas metassedimentares ricas em Fe-Al.

A oxicalcioroméita é um titano-antimoniato extremamente raro, porém com uma relativa abundância na região de Ouro Preto, especialmente no córrego Tripuí aonde a oxicalcioroméita correlaciona-se a um depósito de cinábrio. Uma hipótese para a formação da oxicalcioroméita encontrada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard é a associação com o depósito de Au-Cu-Sb de Bico de Pedra. Outro ponto que merece ser destacado é que a relação Sb-Hg, como é encontrado no córrego Tripuí, pode ser verificada em depósitos vulcanogênicos de sulfetos maciços (VMS) de zinco. Portanto a ocorrência de oxicalcioroméita associada à gahnita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard pode estar relacionado à um depósito de sulfeto maciço de zinco.

ABSTRACT

The study of indicator minerals is one of the oldest technique used for mineral exploration in the world. Indicator minerals are mineral specimens found in grains that are transported in clastic sediments and indicate the presence of outcrops, which contains these minerals and are associated with mineralization, hydrothermal alteration and lithology. The indicator minerals has physical and chemical properties, such as high density, preservation in chemical and physical weathering environments and easy visual identification which allows their correlation with a large number of mineral deposits, such as gold, diamond, Ni -Cu, PGE, porphyry copper deposits, massive sulphide and tungsten.

In the southern portion of the Iron Quadrangle several minerals deposits are known, like iron, manganese, gold, Cu- Au- Sb, Hg - Sb and gemstones. However, there is a diamond occurrence reported since the colonial period in the basin of Maynart creek that is scientific curiosity object.

Once the Maynart creek region is located in a favourable tectonic setting to the occurrence of diamondiferous primary sources, and due to the indicator mineral study is widely used in research of diamond primary sources, this work focused in the characterization of indicator mineral with emphasis on diamond indicator minerals. However, it was also analyzed indicator minerals of massive sulphide deposits and/or hydrothermal alteration.

In total were identified 34 mineral specimens, that's 03 were analyzed from a chemical point of view to determine the crystallization environment and its possible correlation with known mineral deposits.

As diamondiferous indicator mineral highlights the diopside which was classified as sub-calc diopside, derived from a eclogitic and/or peridotitic mantle found in xenocrysts of lamproite.

Once the diopside is a mineral that is changed very easily in severe chemical weathering environments, their recovery in concentrated samples of panning, indicates that the mineral phase is very close to the source.

Besides the diopside were also studied gahnite and oxicalcioromeite .

The gahnite is a zinciferous spinel occurs as accessory mineral in granites and pegmatites, in medium to high grade metamorphic rocks and metamorphosed massive sulphide deposits and placers as heavy minerals.

The chemical composition of gahnite found in the Maynart Creek suggests that they are associated with metamorphosed massive zinc sulfides deposits or rich Fe-Al metasedimentary rocks.

The oxicalcioromeite is an extremely rare titano-antimoniate, but has a relative abundance in Ouro Preto, like the Tripuí creek that oxicalcioromeite is associated with a deposit of cinnabar. One hypothesis for the formation of oxicalcioromeite found in the Maynard creek is the association with the Au-Cu-Sb "Bico de Pedra" Deposit. Another point that deserves to be highlighted is that the Sb-Hg relationship, as found in Tripuí creek, can be seen in zinc VMS deposits. Therefore the occurrence of oxicalcioromeite associated with gahnite in the samples of heavy minerals from Maynard creek may be related to a massive zinc sulfide deposit.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 PROSPECÇÃO MINERAL POR MEIO DE GEOQUÍMICA DE MINERAIS INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS

O estudo de minerais indicadores é uma das mais antigas técnicas de exploração mineral usadas no mundo. Os minerais indicadores são espécimes minerais encontrados em grãos que são transportados em sedimentos clásticos e indicam a presença de afloramentos, à montante do ponto de coleta da amostra, que contém esses minerais e são associados à alguma mineralização, alteração hidrotermal ou litologia (Averill 2001, McClenaghan 2005, Coker 2010, McClenaghan 2011). Os minerais indicadores tem como característica propriedades físicas e químicas, como alta densidade, facilidade de preservação em ambientes de intemperismo químico e físico acentuados e fácil identificação visual, de modo que permite sua correlação com um grande número de depósitos minerais, tais como: ouro, diamante, Ni-Cu, EGP, depósitos de cobre pórfiro, sulfetos maciços e tungstênio.

No Brasil a prospecção mineral por meio da mineralogia de minerais indicadores de depósitos minerais culminou com o chamado "Ciclo do Ouro" e o "Ciclo do Diamante", período no qual foram descobertos inúmeros depósitos minerais de ouro e diamante no estado de Minas Gerais. Esse trabalho de identificação e caracterização de minerais indicadores que ocasionou a descoberta de vários depósitos de ouro e diamante no interior do país foi o grande responsável pelo processo de povoamento do interior do Brasil. Na região do Quadrilátero ferrífero vários depósitos minerais de diferentes tipos de minérios foram descobertos a partir da prospecção de minerais indicadores: ouro, mercúrio, antimônio, além de topázio, euclásio e esmeralda.

Porém, dentre os depósitos minerais descritos na região do Quadrilátero Ferrífero, existe uma ocorrência mineral de diamante reportada desde o período colonial que é objeto de curiosidade científica. Um exemplo do diamante encontrado na porção sul do Quadrilátero Ferrífero pode ser observado no Setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP.

Como o estudo de minerais indicadores é amplamente usado na pesquisa de fontes primárias diamantíferas (Fipke *et al.* 1995), esse trabalho dedicou-se ao emprego das técnicas exploratórias de identificação e caracterização de minerais indicadores com ênfase nos minerais indicadores de fontes

primárias diamantíferas, porém também foram analisados minerais indicadores de depósitos de sulfetos maciços e/ou de alteração hidrotermal.

1.2 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A região do Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais, dispõe de um dos maiores acervos geológicos do Brasil, quer seja do ponto de vista das ocorrências minerais, quer seja do ponto de vista do conhecimento acumulado. Dentre as ocorrências minerais destacam-se os metais e ou compostos metálicos representados pelo ouro, ferro, manganês e, também, os minerais gemas representados pela esmeralda, topázio e euclásio. Além desses minerais gemas, minerados de longa data, existem também relatos que, desde o período colonial brasileiro, reportam a ocorrência de diamante na região de Ouro Preto.

Tais relatos estão documentados em investigações denominadas “*Devassas Diamantinas*”, que se encontram no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência de Ouro Preto. As *Devassas Diamantinas* ocorreram em Vila Rica, atual Ouro Preto, a mando do governo português, que suspeitava da extração, extravio e comércio de diamante encontrado nesta cidade, durante o período de 1780 a 1813 (Figura 1.01). A *Devassa Diamantina* era caracterizada pelo depoimento de 30 pessoas pré-selecionadas pelo Juiz de Direito da Comarca de Vila Rica, que arguia os suspeitos a respeito do envolvimento no comércio, extravio e extração de diamante dessa região. Ao longo dos 33 anos das *Devassas Diamantinas*, quase mil pessoas foram investigadas, não sendo comprovada a existência de diamante na região. Como exemplo, segue a descrição inicial da *Devassa Diamantina* ocorrida em Vila Rica no ano de 1789:

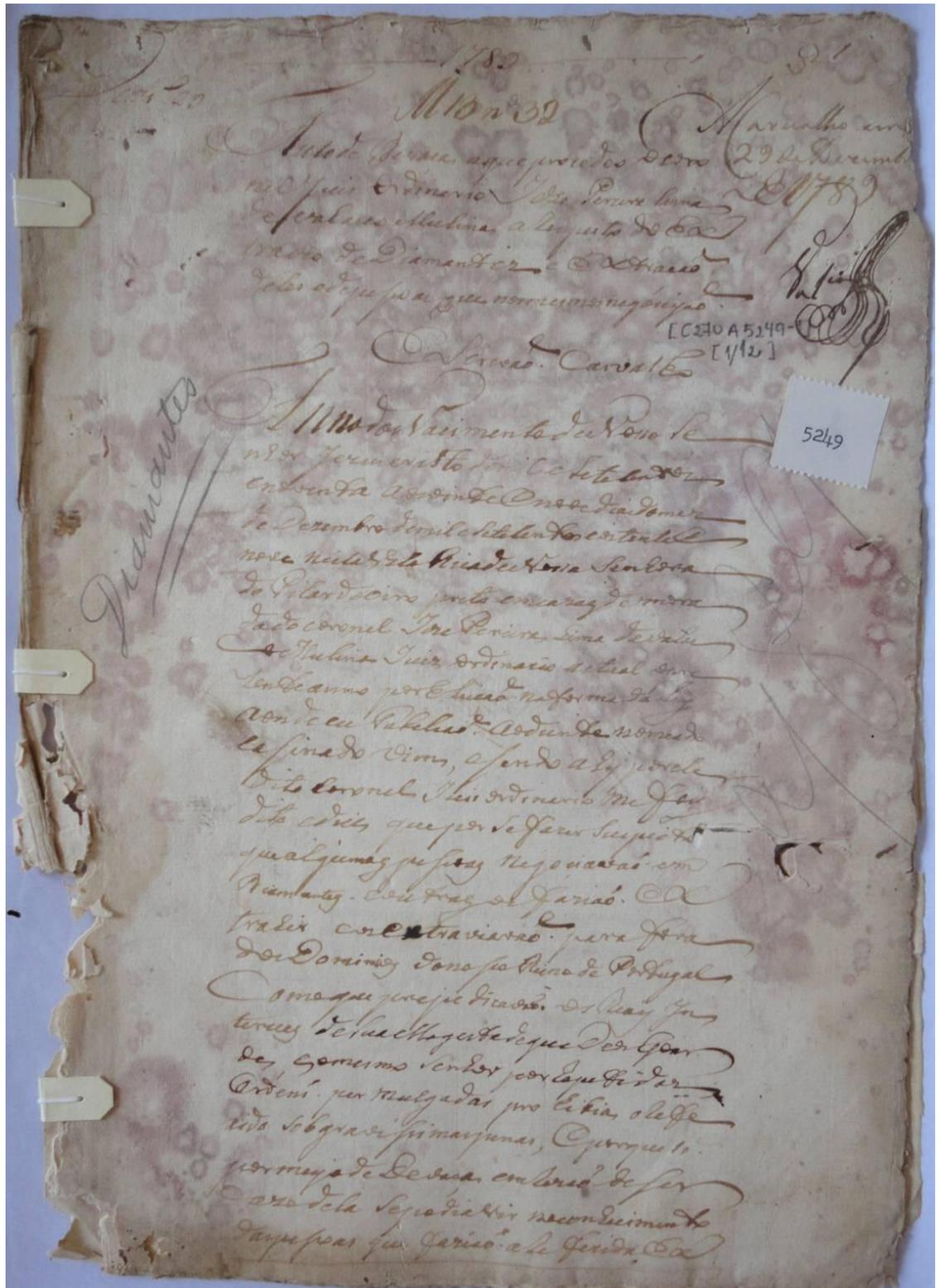


Figura 1.01: Documento da Devassa Diamantina ocorrida em Ouro Preto no ano de 1789, localizado no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência em Ouro Preto.

“1789

M13 n°32

Auto de Devassa a que procedeu ao Coronel Juis Ordinario José Pereira Lima de Valereo Mulina a respeito do Extravio de Diamante e Extração deles e de pessoas que nos mesmos negociação”

“... que por se fazer suspeita que algumas pessoas negociação com Diamante e outras os fazião extrair e os extraviavão para fora dos domínios de Nosso Reino de Portugal...”

(AHMI. 1° Ofício. Códice 270. Auto 5249)

Na década de 30 do século XX, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), retomou o assunto do diamante e, por quatro anos, estudou a região de Ouro Preto e Mariana. Nos

relatórios anuais da diretoria do DNPM, Oliveira (1937) (Figura 1.02) e Oliveira & Barbosa (1938) (Figura 1.03) descrevem o trabalho executado e os resultados obtidos nesse período. Apesar de atestar a ocorrência de diamante na região de Ouro Preto, esse trabalho não foi conclusivo em relação à rocha fonte do diamante encontrado nos aluviões da bacia hidrográfica do ribeirão Maynart entre Mariana e Ouro Preto.

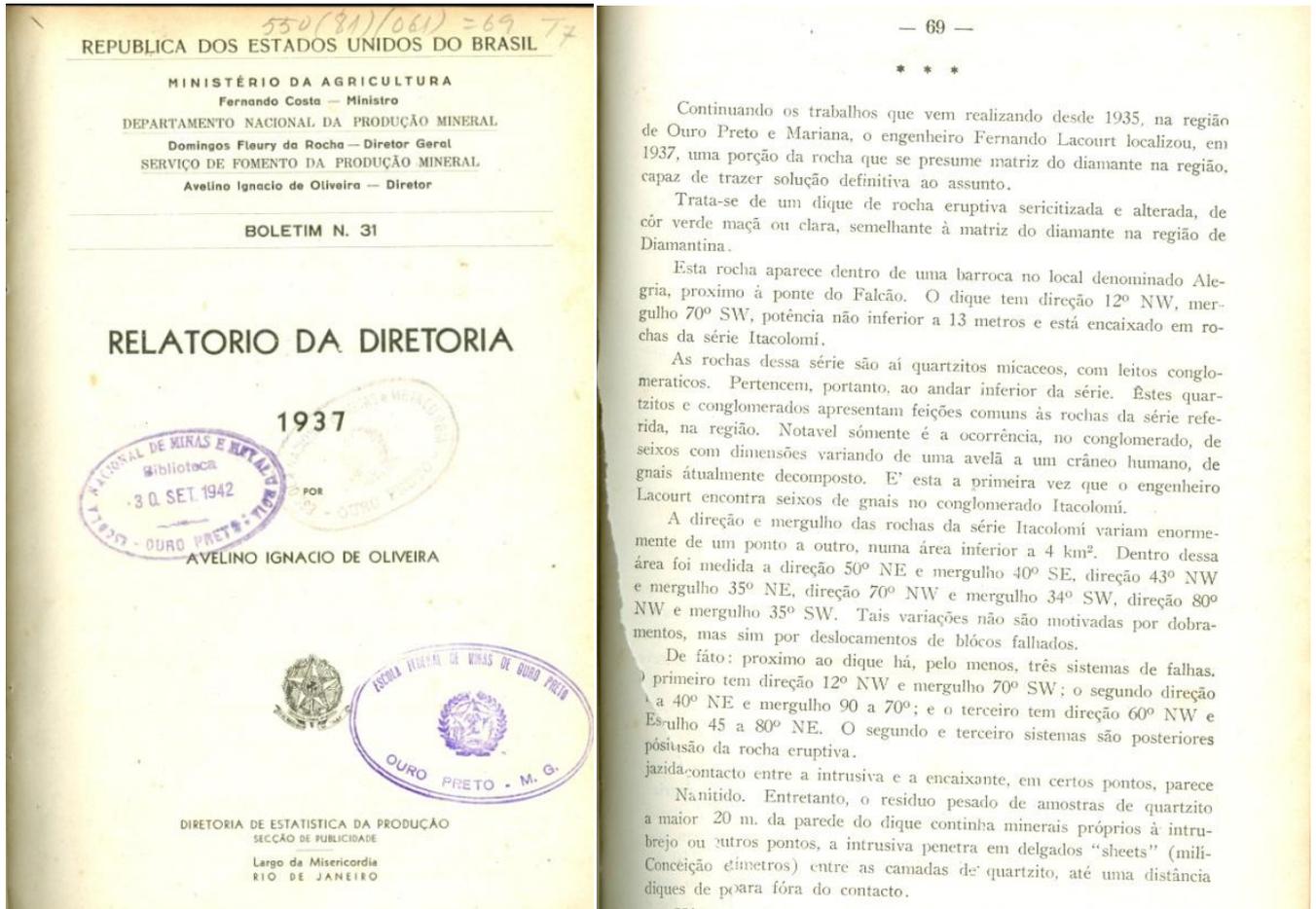


Figura 1.02: Relatório da diretoria do DNPM de 1937 que descreve os trabalhos executados desde 1935 entre Ouro Preto e Mariana, no intuito de esclarecer as ocorrências de diamante nessas cidades.

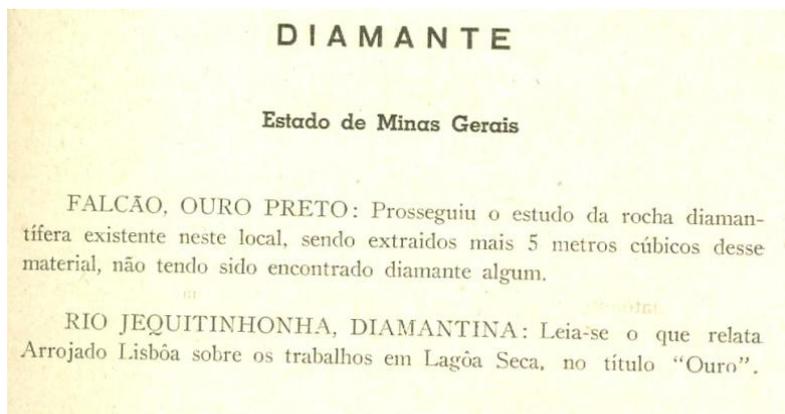
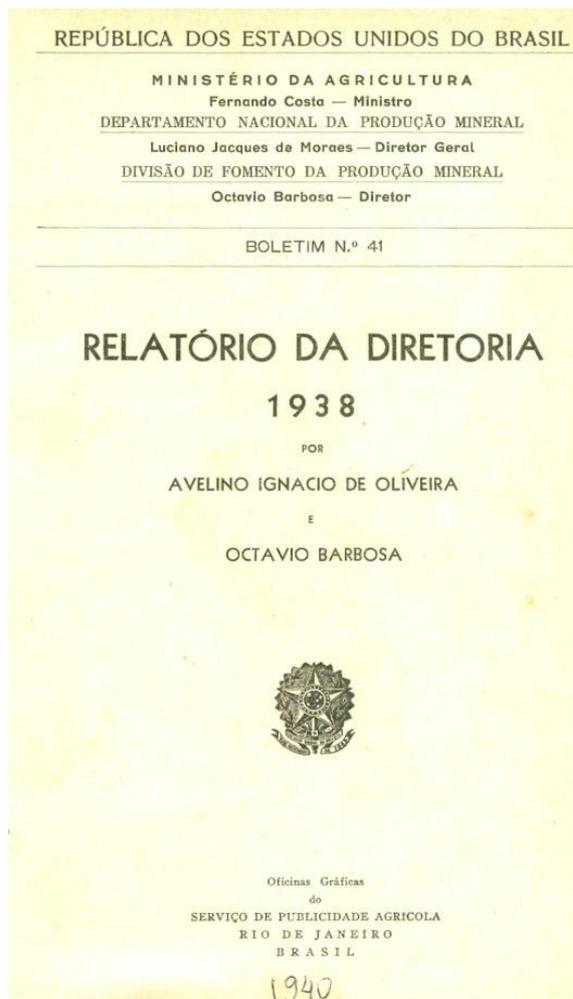


Figura 1.03: Relatório da diretoria do DNPM do ano de 1938, onde é caracterizada a provável rocha fonte diamantífera existente em Ouro Preto.

Já na década de 1960, é publicado pela Oficina Gráfica da Escola de Minas de Ouro Preto, Manual de Mineralogia, onde Lisboa (1967) relata a ocorrência de dois cristais de diamante recuperados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, sendo um diamante de 3 ct na localidade de Venda do Campo, próximo à Ouro Preto e um outro diamante de 4 ct, no ribeirão Maynard, próximo à Mariana.

De qualquer forma, um diamante encontrado nas cabeceiras do ribeirão Maynard no distrito de Santo Antônio do Salto, pode ser apreciado no Setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP. Trata-se de um cristal octaédrico com 1,6 ct (Figura 1.04). Esse espécime, no entanto, não é o único diamante encontrado na região. Existem relatos da cata de diamante em garimpos de topázio imperial no córrego do Tripuí em Saramenha, além de uma ocorrência na região de Rodrigo Silva e, outros cristais de diamante, nas mãos de particulares, que foram encontrados no ribeirão Maynard, em Santo Antônio de Salto.



Figura 1.04: Diamante de 1,6 ct encontrado no ribeirão Maynard, localizado no distrito de Santo Antônio do Salto, município de Ouro Preto. Exemplar exposto no Setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

1.3 – FONTE E ORIGEM DO DIAMANTE

Clifford (1970) condiciona a ocorrência de diamante em rochas fontes primária do tipo kimberlitos localizados nos centros de regiões cratônicas estáveis desde o período Pré-Cambriano. Nesses locais, a litosfera teria uma raiz mais profunda e, conseqüentemente, ter-se-iam as condições necessárias de pressão e temperatura para a cristalização do diamante. Harggety (1986), a partir da descoberta do lamproíto de Argyle (Atkinson *et. al.* 1984) na faixa móvel proterozoica Halls Creek, localizada na porção oriental do cráton de Kimberley região nordeste da Austrália, apresenta uma nova ideia a respeito da origem das rochas fontes primárias de diamante confinadas a ambientes cratônicos estáveis e também, a faixas móveis proterozoicas. Segundo esse condicionamento geotectônico proposto por Harggety (1986) os cristais de diamante peridotíticos se formam em ambientes de manto depletado, caracterizado pelos altos teores de MgO e Cr₂O₃ e baixo nível de CaO e são transportados à superfície como xenocristais nos kimberlitos e lamproítos (Helmstaedt & Gurney, 1995).

Considerando a hipótese de Harggety (1986) verifica-se que a região do Quadrilátero Ferrífero estaria situada em um ambiente favorável à ocorrência tanto de kimberlitos, quanto de lamproítos, que poderiam estar mineralizados em diamante, uma vez que esta região encontra-se justamente no contato de zona cratônica estável desde o período Pré-Cambriano com uma faixa móvel proterozoica, na qual reproduz o ambiente geotectônico da mineralização do olivina-lamproíto de Argyle, nordeste da Austrália (Figura 1.05).

Segundo Dill (2010), o diamante também pode se formar em ambientes de rochas metamórficas de alto grau, porém mesmo que os cristais de diamante formados apresentem uma característica gemológica, o interesse nesse tipo de depósito é mais acadêmico do que econômico, uma vez que todo o diamante encontrado em rochas associados à terrenos metamórficos são microcristais.

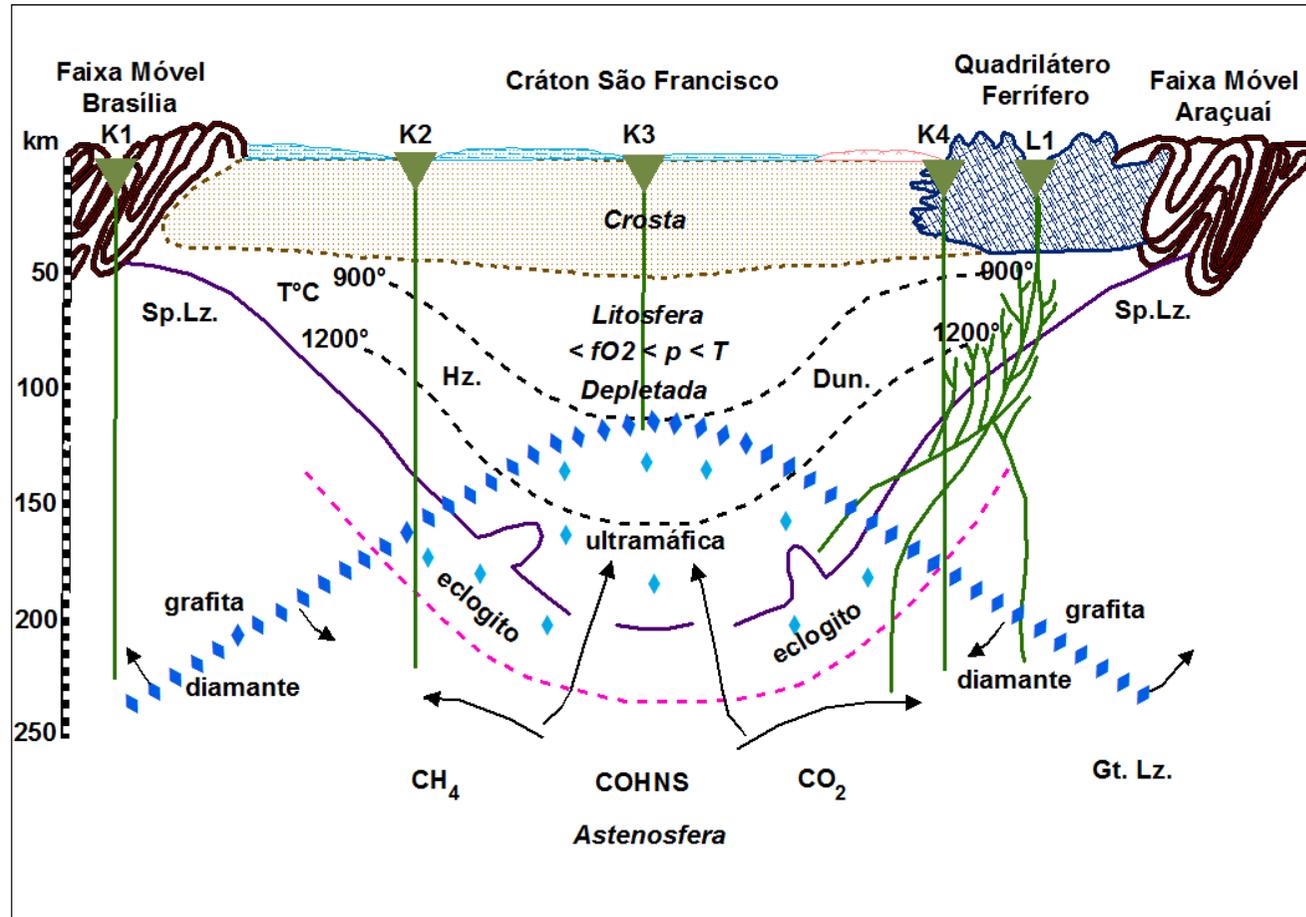


Figura 1.05: Condicionamento geotectônico do sul do Cráton São Francisco e a relação com a cristalização do diamante e ascensão de rochas fontes diamantíferas, modificado de Harggety (1986).

1.4 – ESCOLHA DA ÁREA E METODOLOGIA

A ocorrência de diamante na crosta está diretamente relacionada à existência de rochas fontes primárias, kimberlitos e/ou lamproítos, que se formam em um manto mineralizado em diamante, e ascendem a uma velocidade capaz de preservar o diamante até a superfície (Helmstaedt & Gurney, 1995). Por sua vez, kimberlitos e lamproítos mineralizados em diamante localizam-se em ambientes tectônicos bastante específicos (White *et al.*, 1995), nos quais a região do Quadrilátero Ferrífero se encaixa.

Por outro lado, a opção por estudar a ocorrência de diamante na região de Ouro Preto se justifica pelo exemplar encontrado no aluvião do ribeirão Maynart, na localidade de Santo Antônio do Salto e, atualmente, exibido no setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP.

A partir dessa ocorrência presume-se que uma rocha fonte, de origem primária ou secundária, estaria sendo erodida e, conseqüentemente, alimentando com minerais pesados característicos e, também, com diamante o aluvião deste ribeirão.

Segundo Pereira & Fuck (2005), a região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, apresentaria uma das melhores áreas do Cráton São Francisco para a existência de kimberlitos e/ou rochas relacionadas com a mineralização de diamante (Figura 1.06). Segundo esses autores, essa constatação baseia-se em função do condicionamento geotectônico representado por um núcleo arqueano, além de dados de química mineral de kimberlitos descobertos nas proximidades do Quadrilátero Ferrífero (*e.g.* Kimberlito Maravilhas – Pereira & Fuck 2005), somado ao estudo da proveniência de diamante das áreas diamantíferas próximas ao Quadrilátero Ferrífero, das idades geocronológicas encontradas nessa região e das relações de campo.

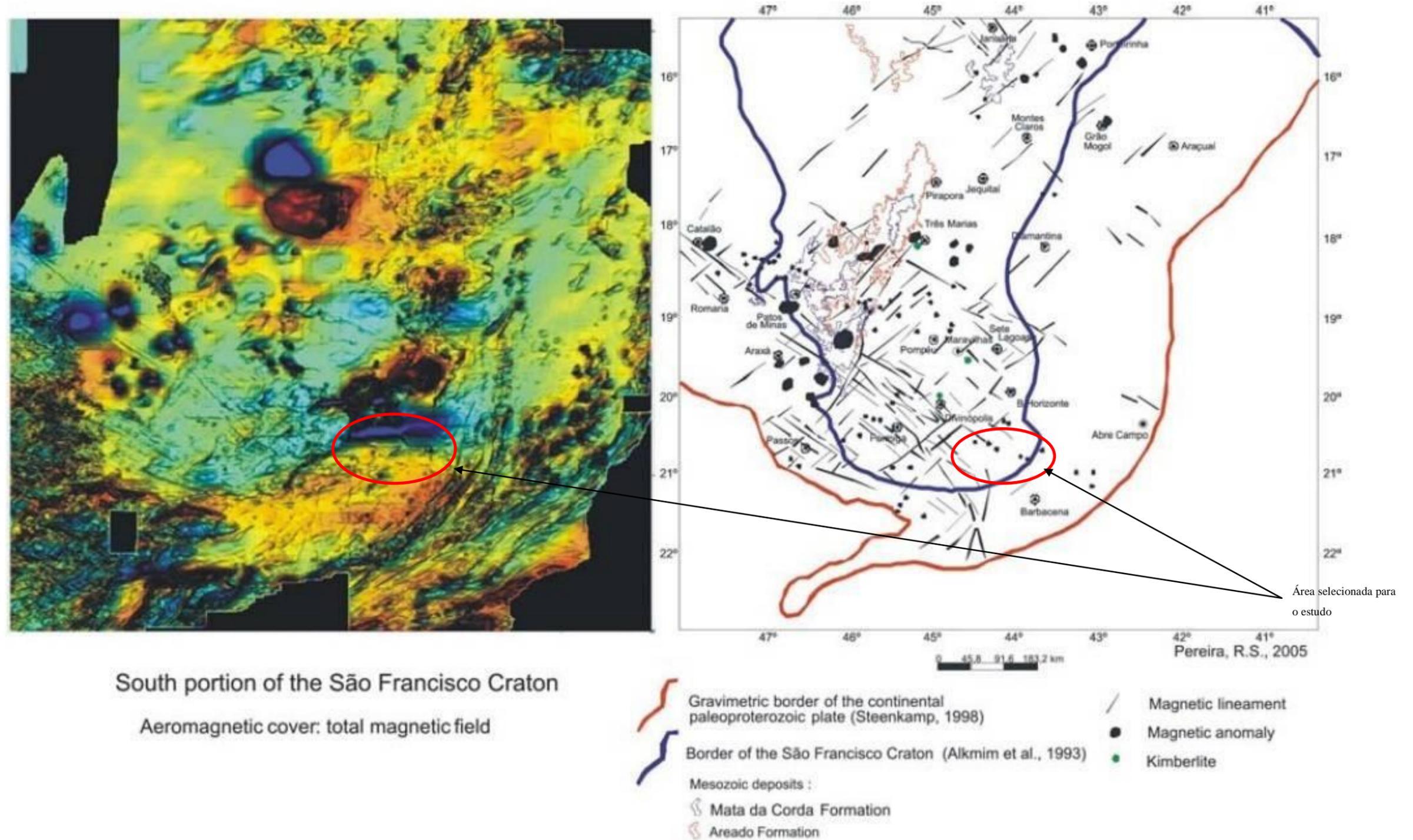


Figura 1.06: Imagem aeromagnética da porção sul do Cráton São Francisco, ilustrando a anomalia aeromagnética de Quadrilátero Ferrífero em contato com o embasamento cristalino paleoproterozóico do Cinturão Mineiro na imagem à esquerda; Borda do Cráton São Francisco com a anomalia gravimétrica associada, na imagem da direita; Modificado de Pereira & Fuck (2005).

Uma das técnicas utilizadas na prospecção mineral de kimberlitos e lamproítos é o estudo de minerais pesados (McClenaghan 2005) relacionados às paragêneses ultramáficas lherzolíticas, harburgíticas e ecoglíticas do manto superior, onde se cristaliza o diamante (Atkinson, 1989; Griffin *et al.*, 1999). Tais minerais são o piropo (G9 e G10) (Dawson & Stephens 1975; Gurney 1984), Cr-espinélio, ilmenita magnésiana e Cr-diopsídios (Gurney and Moore 1991).

Assim, no intuito de investigar a existência de rochas fontes mineralizadas em diamante na bacia do ribeirão Maynart (Figura 1.07), foi realizado um estudo mineralógico e geoquímico a partir da coleta de minerais pesados em ambiente aluvionar, que tem por objetivo indicar uma paragênese que possa estar associada à fonte primária diamantífera na região, bem como caracterizar a existência de minerais pesados usados como indicadores de depósitos de minerais metálicos.

Portanto, este trabalho se desenvolveu em duas frentes de identificação e caracterização mineralógica:

- 1^a) identificação e caracterização geral dos minerais pesados;
- 2^a) Correlação de minerais pesados identificados, com uma possível rocha fonte de diamante, a partir de análise química quantitativa dos elementos e, estudo de proveniência.

Com a identificação de minerais pesados relacionados com rochas fontes de depósitos de diamante e metais bases na região de Ouro Preto, uma nova etapa na exploração mineral poderá ser alavancada no Quadrilátero Ferrífero. Este é o objetivo, em última instância, deste projeto de pesquisa: desenvolver um trabalho científico sistemático relacionado à caracterização mineralógica de minerais pesados da região de Ouro Preto, que permita inferir a ocorrência de diamante primário na região, mineral este de extrema raridade e de grande valor agregado e/ou de algum mineral indicador de depósitos de sulfetos maciços.

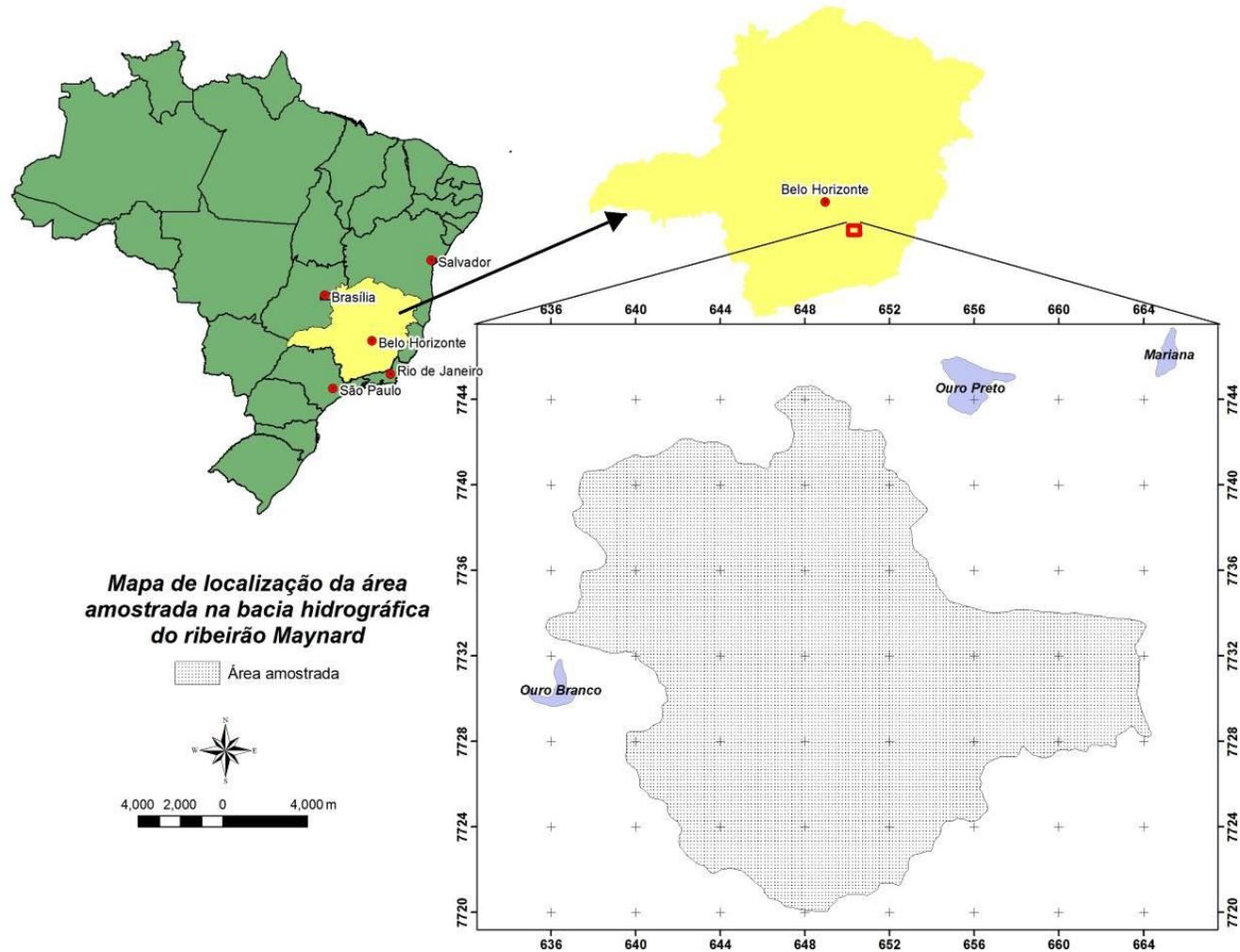


Figura 1.07: Região escolhida para coleta de amostras de minerais pesados. Notar as cidades de Ouro Preto e Ouro Branco, circundando a área amostrada.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

A metodologia empregada na realização deste trabalho consistiu nas etapas de levantamento bibliográfico, definição da área a ser trabalhada, coleta de amostras de concentrados de minerais pesados, identificação das fases minerais, análise química qualitativa e quantitativa de cada espécime mineral, sua respectiva interpretação quanto ao provável ambiente geotectônico de formação desses minerais e suas correlações com fontes primárias diamantíferas conhecidas mundialmente (Muggeridge 1995) e/ou com algum depósito mineral associado à minerais indicadores.

2.1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Como justificativa do trabalho, foi realizado um extenso programa de levantamento bibliográfico, por meio de análises de documentos históricos localizados no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência em Ouro Preto, que reportam o período colonial brasileiro, compreendido entre o fim do século XVIII e início do século XIX, bem como análise de relatórios da Diretoria do DNPM executados no início do século XX. Além da análise de documentos históricos que comprovassem a ocorrência de diamante na região de Ouro Preto, um trabalho de avaliação de dados técnicos recentes também foi elaborado, para caracterizar melhor a pesquisa de minerais pesados na tentativa de correlacionar os minerais identificados com fontes primárias diamantíferas conhecidas na literatura mundial, bem como correlacionar possíveis minerais pesados usados como indicadores de depósitos de minerais metálicos.

2.2 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO

A primeira medida adotada para a identificação das fases minerais identificadas, analisadas e comparadas com fases minerais usadas como indicadores de depósitos minerais foi a delimitação da área de influência da bacia hidrográfica dos respectivos minerais. Como objetivo desta Dissertação, escolheu-se delimitar uma área localizada nas cabeceiras do ribeirão Maynard, situado ao sul da cidade de Ouro Preto, MG. A escolha do ribeirão Maynard, como foco dos trabalhos de coleta, identificação e análise mineralógica se deu em função de algumas ocorrências diamantíferas terem sido reportadas nessa drenagem nas últimas décadas (1990 a 2000). Outro ponto importante, na definição da área de abrangência dos trabalhos é a análise geotectônica da região trabalhada. As cabeceiras do ribeirão Maynard encontram-se localizadas em uma área de contato entre uma estrutura cratônica estável, o Cráton do São Francisco, e uma faixa móvel neoproterozoica, a Faixa Araçuaí. Os kimberlitos e

lamproítos conhecidos como sendo rochas responsáveis pelas fontes primárias diamantíferas no mundo são encontrados em regiões cratônicas e de faixas móveis, respectivamente. Portanto, optou-se por estudar essa região em função das ocorrências diamantíferas já descritas e do seu posicionamento geotectônico favorável à existência de fontes primárias diamantíferas (Figura 2.01).

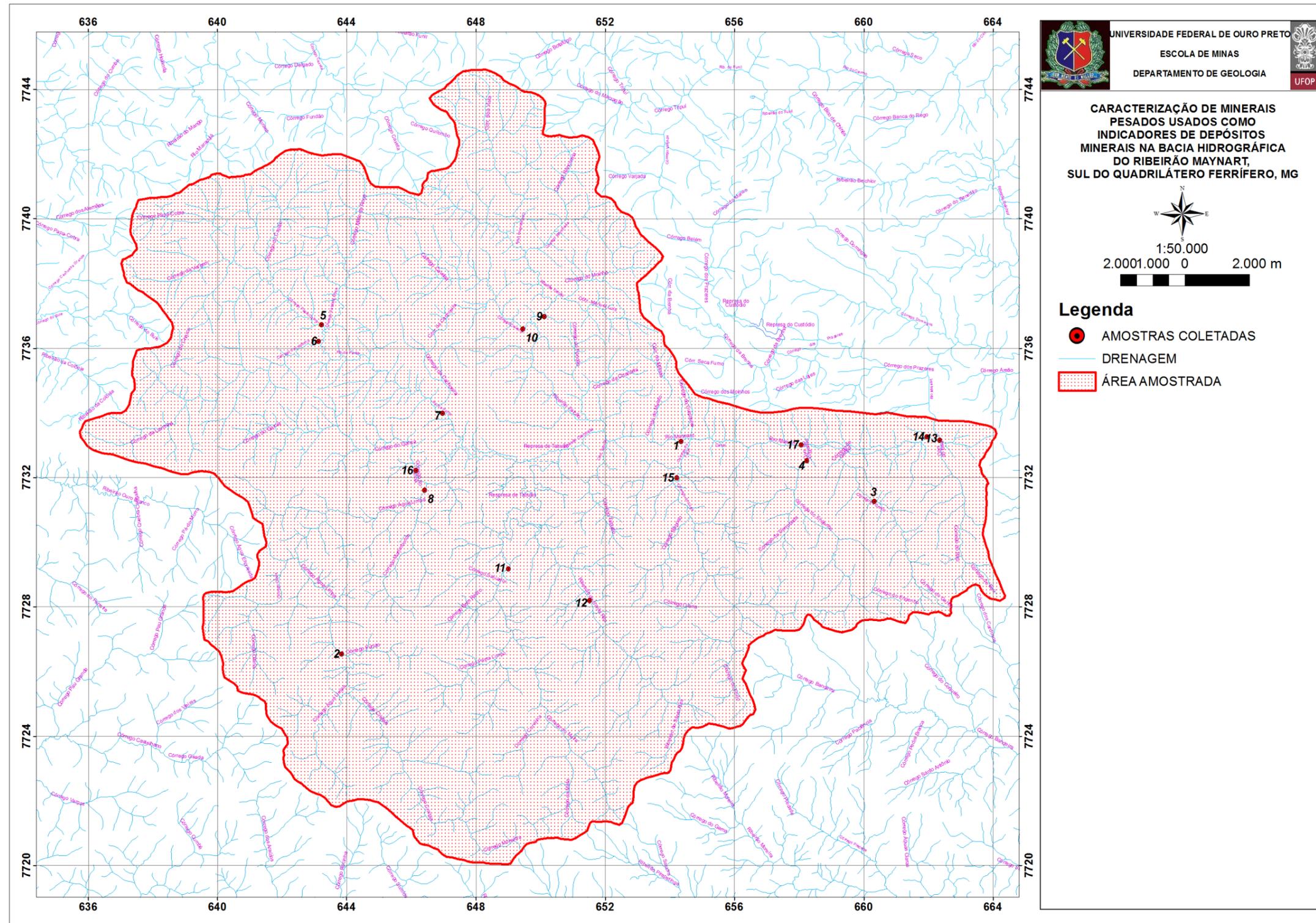


Figura 2.01: Delimitação da bacia da hidrográfica do ribeirão Maynart à montante do distrito de Santo Antônio do Salto, Ouro Preto, com a localização das amostras coletadas para identificação mineralógica.

2.3 – ESCOLHA DA DENSIDADE AMOSTRAL E QUANTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Nesta etapa, definiu-se a densidade amostral que melhor atendesse ao tamanho da área amostrada e à quantidade de dados gerados. Como os trabalhos, nesta etapa são de reconhecimento regional das fases minerais existentes na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, optou-se por uma densidade amostral de uma amostra para análise mineralógica coletada a cada 5 km lineares por drenagem escolhida para ser amostrada. A superfície areal do projeto tem cerca de 365 km², o que gerou a coleta de 17 amostras para análise mineralógica (Figura 2.02)

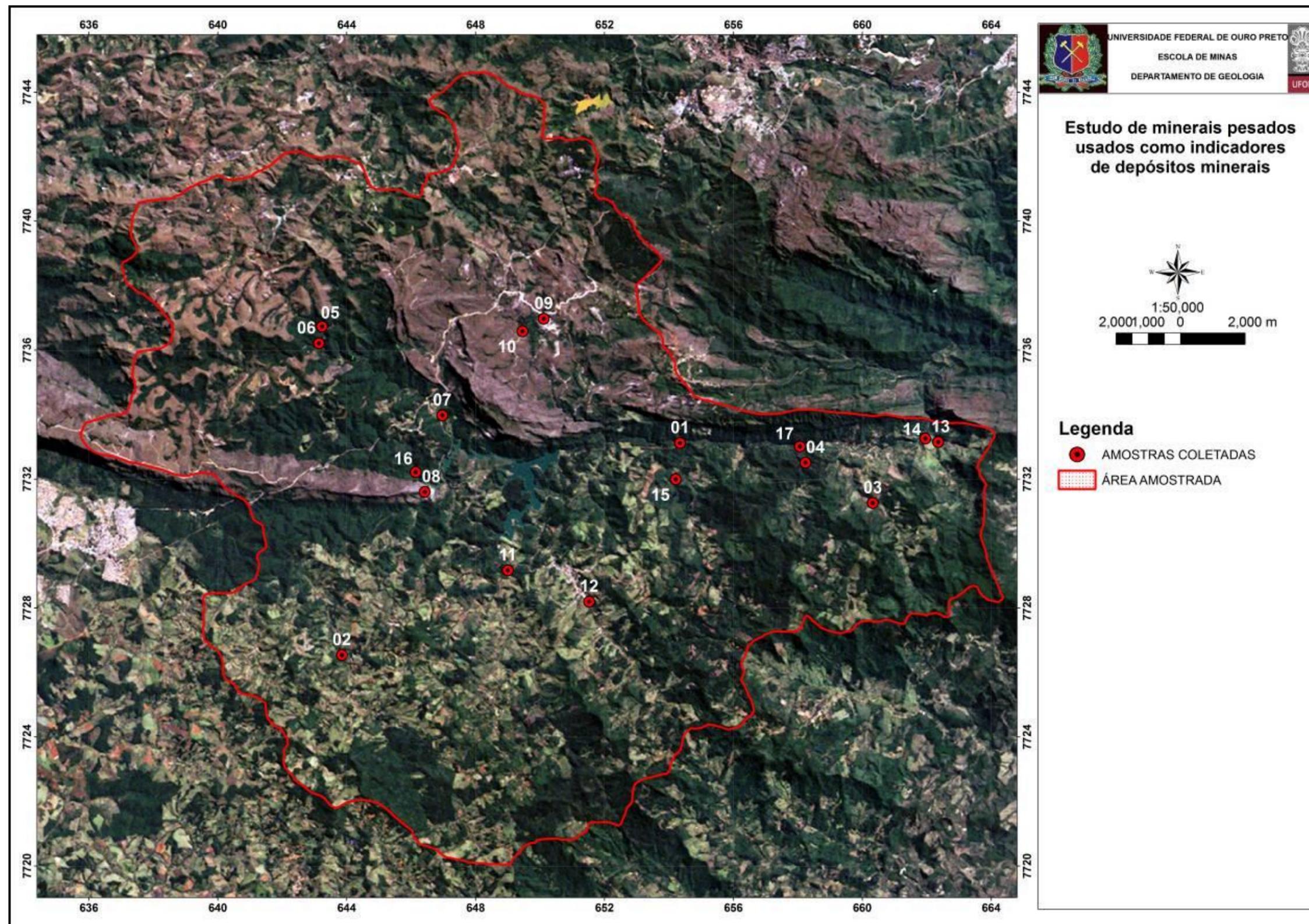


Figura 2.02: Imagem de satélite mostrando os pontos amostrados na baixa hidrográfica do Ribeirão Maynard.

2.4 – COLETA DAS AMOSTRAS DE CONCENTRADO DE MINERAIS PESADOS

A coleta das amostras para identificação e análise mineralógica consistiu na escolha do melhor ambiente de concentração dos minerais pesados existentes nas proximidades do ponto escolhido para a coleta da amostra na drenagem. A escolha do melhor ponto de concentração dos minerais pesados se deve pelo fato do diamante e todos os minerais a ele associados, derivados de fontes primárias se concentrarem nesses ambientes de concentração.

A partir da escolha do ponto amostral prosseguiu-se na coleta da amostra. Para coleta, utilizou-se uma bacia plástica de 50 cm de diâmetro, quatro peneiras de aço de 50 cm de diâmetro, nas frações 7, 2, 1 e 0,5 mm, uma bateia média de alumínio ou de fibra de vidro, uma pá, um balde de aço de 10 L, uma escova de aço, uma balança de mão e sacos plásticos para armazenamento das amostras (Figura 2.03).

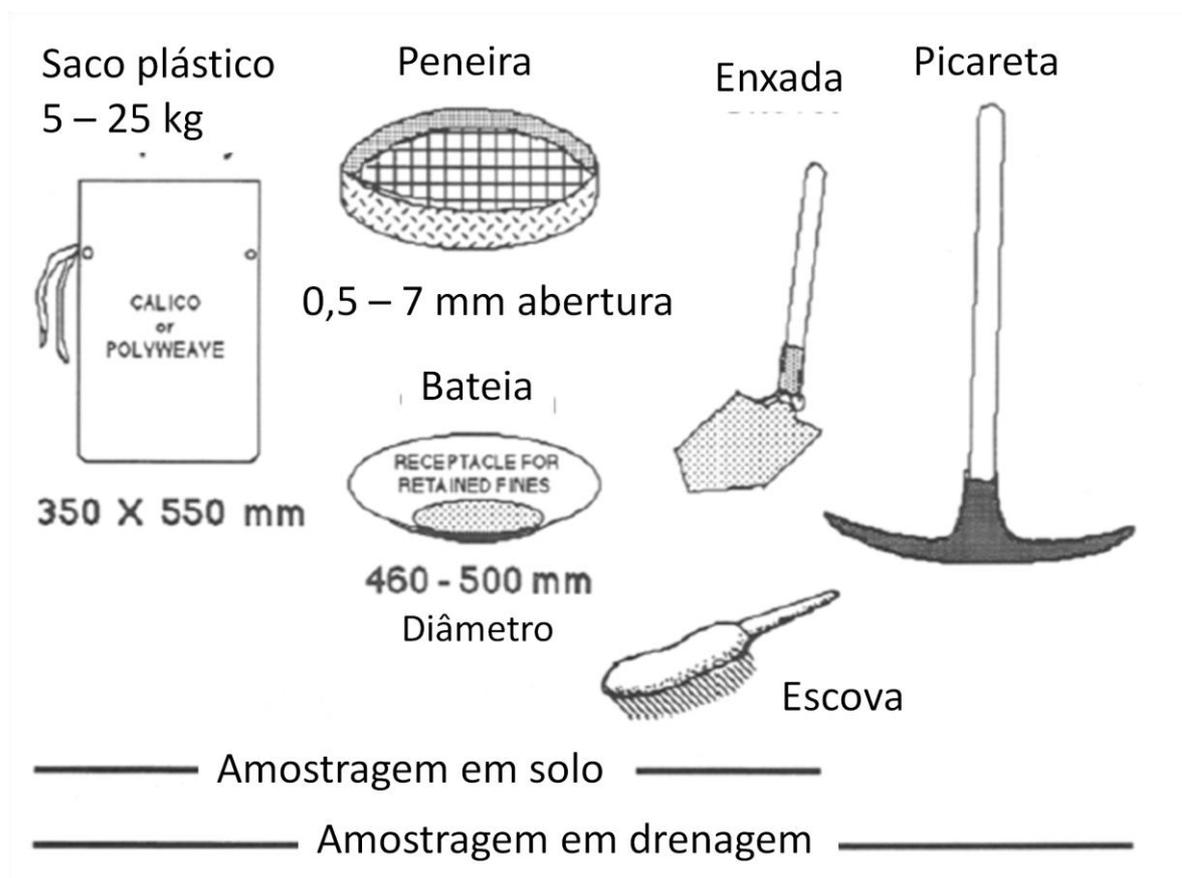


Figura 2.03: Material de campo usado para coleta de amostras de minerais pesados (Mudderidge 1995).

Colocou-se a bacia plástica na drenagem, juntamente com as quatro peneiras de aço de 50 cm de diâmetro. As peneiras metálicas foram inseridas acima da bacia, porém ainda cobertas pela água da drenagem. Em seguida, encheu-se o balde com 10 L de cascalho e despejou-se este cascalho sobre as peneiras. Posteriormente, se deu o peneiramento e concentração dos minerais pesados.

Neste trabalho definiu-se coletar 60 L de amostra de cascalho, o que gerou um peso de aproximadamente 150 kg de material por ponto amostrado. Por último, após a coleta e peneiramento dos 60 L de material utilizou-se a bateia de alumínio ou fibra de vidro para concentração das fases minerais pesadas e descarte do material leve. Nessa hora, a amostra que se iniciou com uma massa de, aproximadamente, 150 kg foi para o laboratório com uma massa em torno de 2 kg de minerais pesados na fração abaixo de 0,5 mm (Figura 2.04).



Figura 2.04: Etapa de coleta das amostras no campo: a) Coleta do cascalho e armazenamento em um balde de aço de 10 L; b) Concentração nas peneiras de 50 cm de diâmetro com deposição dos minerais passantes na fração $-0,5\text{mm}$ em um balde de plástico; c) Concentração dos minerais pesados por meio de uma bateia; d) Concentrados de minerais pesados na fração $-1+0,5\text{mm}$.

A figura 2.05 ilustra o fluxograma simplificado da metodologia utilizada na amostragem, caracterização e identificação de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart.

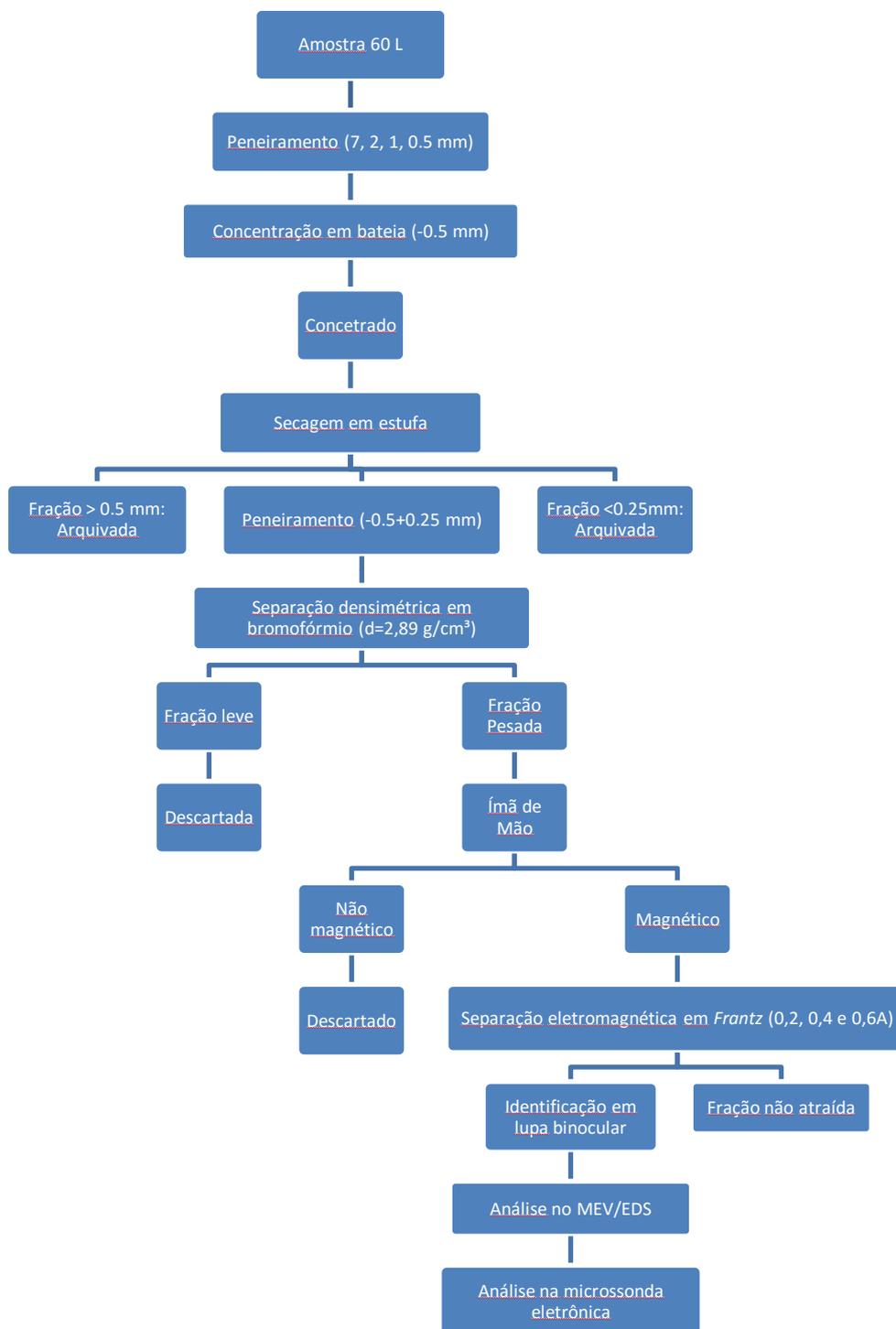


Figura 2.05: Fluxograma utilizado na coleta, identificação e caracterização de concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart.

2.5 – SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Após a coleta e identificação das amostras no campo, segue-se para as etapas de laboratório. A amostra é seca em estufa a 100 °C por um período suficiente até que não haja mais unidade. Em seguida é realizada a separação granulométrica das fases minerais existentes em cada amostra. Utiliza-se para tanto, quatro peneiras vibratórias de 20 cm de diâmetro, nas frações 2, 1, 0,5 e 0,25 mm (Figura 2.06). As amostras selecionadas para identificação e análise mineralógica se encontram na fração -0,5+0,25 mm. Em ambientes aluvionares, a maior parte da população dos minerais pesados correlacionados as fontes primárias diamantíferas se encontram justamente na fração -0,5+0,25 mm (McClenaghan 2005).



Figura 2.06: Separação granulométrica das amostras em laboratório, com um conjunto de 04 peneiras.

2.6 – SEPARAÇÃO POR MEIOS DENSOS

A amostra gerada na fração -0,5+0,25 mm passa então, por uma separação por meios densos. Nessa etapa foi utilizada uma capela de exaustão de ar, um funil de vidro acoplado a um dispositivo de torneira, filtros de papel, um béquer de vidro, bromofórmio e acetona. Encheu-se o funil de vidro com a torneira fechada com o líquido denso, preferencialmente bromofórmio ($d=2,89 \text{ g/cm}^3$). Em seguida completou-se aos poucos o funil com a amostra selecionada. Esperou-se que o ambiente do funil entrasse em harmonia entre o líquido e os minerais. Neste momento, os minerais mais densos que o bromofórmio concentraram-se no fundo do funil. Foi aberta a torneira, de modo que os minerais densos passassem pelo orifício até chegarem os minerais menos densos, que se encontravam no nível da superfície do líquido denso. Nesse momento foi fechada a torneira. Os minerais que passaram pelo orifício foram coletados em outro funil com filtro de papel e o líquido denso passou para o béquer

existente abaixo desse funil. Por último, utilizou-se acetona para limpar toda a estrutura montada para separação das fases minerais mais densas (Figura 2.07).



Figura 2.07: Separação das fases minerais por meio denso.

2.7 – SEPARAÇÃO MAGNÉTICA USANDO IMÃ DE MÃO

A separação magnética por meio de imã de mão, das fases minerais recuperadas, se deu em função dos minerais indicadores de fontes primárias diamantíferas não serem atraídas pela fonte magnética do imã. Portanto, nesta etapa separaram-se as fases minerais magnéticas das não magnéticas utilizando-se de um imã de mão, com forte magnetismo. O imã foi envolvido por um filme plástico, que por sua vez foi embrulhado por uma folha de papel fino e resistente (Figura 2.08).

A amostra foi colocada sobre uma superfície lisa e plana, que continha duas folhas sobrepostas de papel fino, que no caso foram do mesmo material do papel que envolveu o imã de mão. Em seguida, passou-se o imã sobre a amostra até que não houvesse mais fases minerais magnéticas. As fases minerais não magnéticas, que ficaram sobre a superfície de papel, foram levadas a uma placa de petri e identificadas. As fases minerais magnéticas foram levadas a outra placa de petri,

identificadas e posteriormente poderão ser analisadas. Estas fases minerais não magnéticas foram, portanto, objeto de estudo na identificação e análise química mineral.

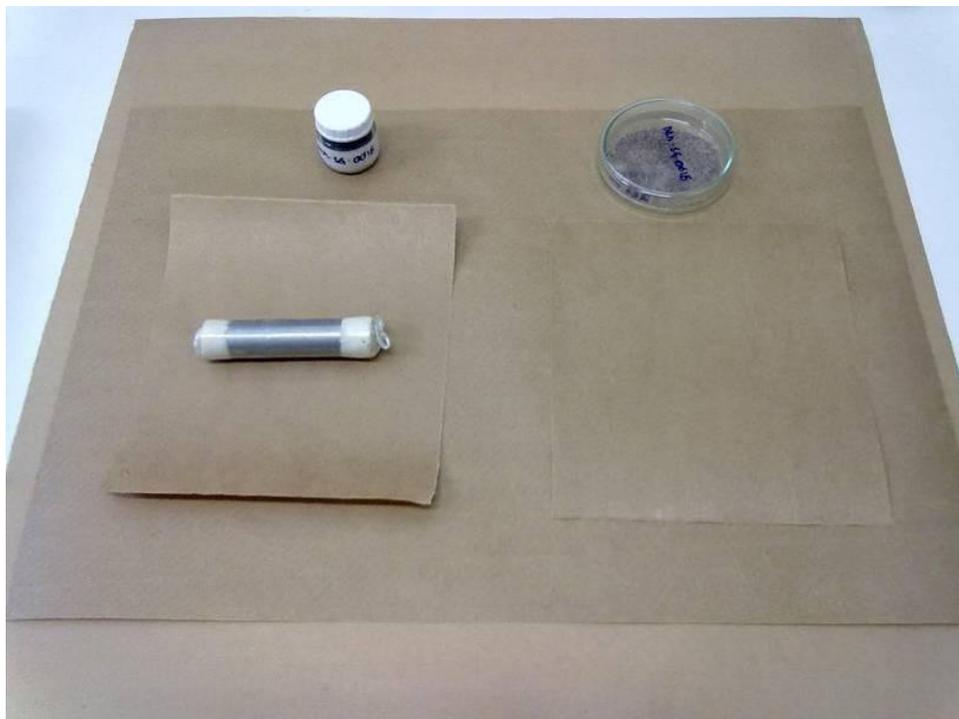


Figura 2.08: Etapa de separação magnética das fases minerais, com a superfície coberta por uma folha de papel fino e resistente, o ímã de mão utilizado na separação das frações magnéticas e os recipientes utilizados para armazenamento das fases minerais.

2.8 - SEPARAÇÃO ELETROMAGNÉTICA POR MEIO DE FRANTZ

Após uma primeira separação magnética por meio de ímã de mão, as fases minerais não magnéticas foram levadas a um separador eletromagnético denominado *FRANTZ* (Figura 2.09). Os minerais do grupo do espinélio e do grupo da granada são atraídos em diferentes frações de corrente elétrica. Foram utilizadas as frações de 0,4 A para separação de minerais do grupo do espinélio e 0,6 A para separação de piropo.



Figura 2.09: FRANTZ utilizado no Laboratório de Preparação de Amostras para Geocronologia (LOPAG), Departamento de Geologia da Escola de Minas da UFOP.

2.9 – IDENTIFICAÇÃO DAS FASES MINERAIS POR MEIO DE LUPA TRINOCULAR

As amostras de mineralogia que chegaram ao laboratório pesando cerca de 2 kg iniciaram esta etapa com uma massa de alguns gramas e contendo alguns milhares de espécimes minerais que foram identificados e separados individualmente para análises qualitativas e quantitativas, quanto à química de cada fase. Nesta etapa utilizou-se uma lupa trinocular da marca OLYMPUS, modelo SZ60, que tem aumento de até 40X (Figura 2.10). Na identificação e separação das fases minerais, levou-se em conta sua forma cristalográfica, presença de estruturas superficiais que indiquem interação com provável líquido magmático e/ou metamorfismo, e coloração. Portanto, os minerais separados individualmente, dando-se preferências a minerais do grupo das granadas, piroxênios, espinélios, anfibólios e sulfetos, foram levados a uma análise preliminar qualitativa em microscópio eletrônico de varredura (MEV-EDS).



Figura 2.10: Lupa trinocular que foi utilizada na identificação e separação das fases minerais.

2.10- ANÁLISE QUALITATIVA

Após a identificação e separação dos espécimes minerais, utilizou-se o MEV-EDS do laboratório MICROLAB do Departamento de Geologia da UFOP, onde foi possível confirmar a devida fase mineral identificada e descrita na fase anterior (Figura 2.11). Após a identificação dos minerais no MEV-EDS, algumas fases foram selecionadas para análise de química mineral quantitativa em microsonda eletrônica, que foi realizada no laboratório de microanálise do departamento de Física da UFMG.

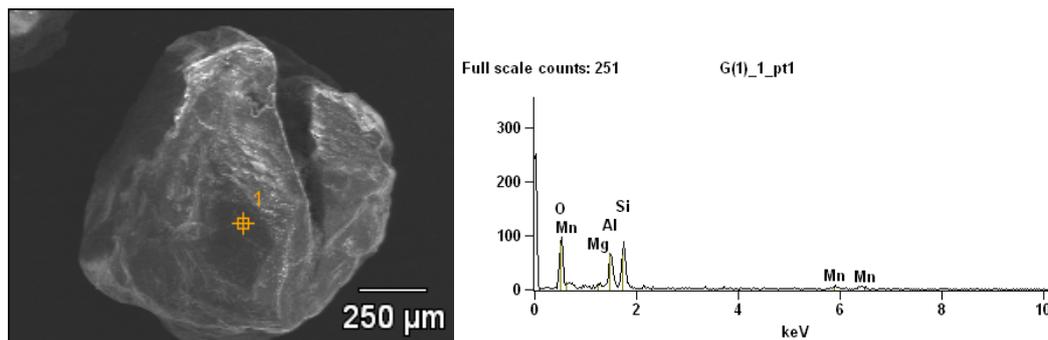


Figura 2.11: Identificação de granada piropo, proveniente de uma amostra coletada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. Notar a superfície de corrosão, que provavelmente se deu em função da interação do mineral com o líquido magmático formador da rocha.

2.11 – ANÁLISE QUANTITATIVA

Após a separação mineral, identificação em lupa trinocular, e confirmação do espécime em MEV-EDS, prosseguiu-se na quantificação da química mineral de cada fase. Nesta etapa foi utilizada uma microsonda eletrônica de varredura da marca JXA-8900R (www.ufmg.br) (Figura 2.12). A assinatura química de cada fase mineral aponta um ambiente particular de formação do mineral, seja ele no manto ou crosta. Os minerais indicadores de fonte primária diamantífera têm origem de cristalização no manto superior.



Figura 2.12: Microsonda eletrônica da UFMG utilizada na análise de química mineral das espécimes minerais relacionadas a fonte primária diamantífera identificadas na bacia do ribeirão Maynard.

2.12 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A interpretação dos resultados de química mineral obtidos nas análises quantitativas da população das amostras encontradas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, de maneira geral, foi feita de modo a agrupar todos os resultados por fase mineral analisada. Em seguida, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico, de modo que as fases minerais analisadas pudessem ser comparadas com resultados obtidos conhecidos na literatura. Foram analisadas três populações distintas de minerais. No caso de minerais indicadores de fonte primárias diamantíferas, escolheu-se analisar cristais de diopsídio, em função de sua relativa abrangência na área e em função também, de uma grande quantidade de dados publicados em relação a essa fase mineral. Somando-se as análises nos cristais de diopsídio foram estudadas mais duas fases minerais: gahnita e oxicalcioroméita (Atencio *et al.*, 2010). A gahnita é um espinélio zincífero utilizado como indicador de depósitos de sulfetos maciços vulcanogênicos metamorfisados, bem como, de pegmatitos associados à mineralizações de elementos raros (Morris *et al.*, 1997). Já a oxicalcioroméita, que no passado era conhecida como lewisita é um titano-antimonato descrito no ribeirão Tripuí por Hussak & Prior (1895) e associa-se a depósito de Hg-Sb-(Au).

3.1 – CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área do estudo localiza-se no contato da região sul do Cráton São Francisco (Almeida, 1977) com a faixa móvel Araçuaí (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000), onde afloram rochas que fazem parte do Cinturão Mineiro (Teixeira & Figueiredo 1991) na porção sul da área, e na porção norte da área, afloram as unidades que definem o Quadrilátero Ferrífero (Dorr II *et al.*, 1957) (Figura 3.01).

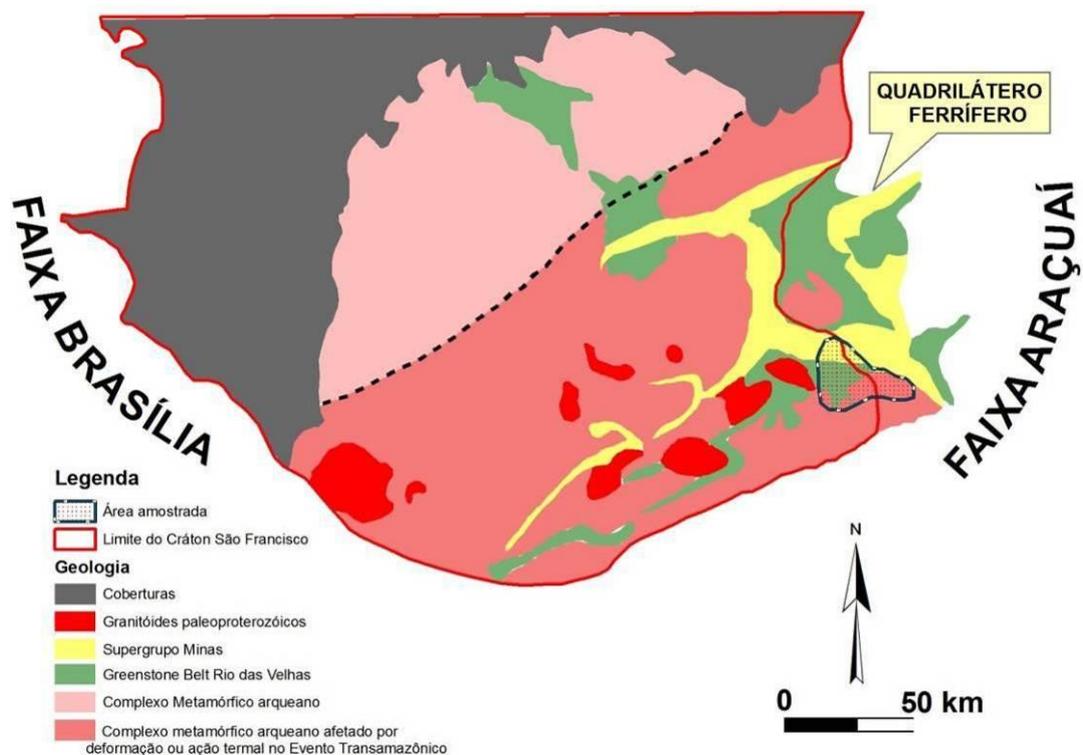


Figura 3.01: Contexto geotectônico da área de estudo, modificado de Alkmim (2004).

Do ponto de vista de evolução geotectônica a região do Quadrilátero Ferrífero teve um período de, aproximadamente, 3.000 Ma de atividade tectônica, com seu início no paleoarqueano (3.500 - 3.200 Ma) com a formação de uma crosta continental que, apesar de ser pouco preservada é evidenciada por cristais de zircão detrítico de idade Paleoarqueana em rochas supracrustais. Passando por três eventos magmáticos principais: Rio das Velhas I (2.920 - 2.850 Ma), Rio das Velhas II (2.800 - 2.760 Ma) e Mamona (2.760 - 2.680 Ma). Sobreposto às rochas dos ciclos magmáticos depositaram-

se aproximadamente 6.000 m dos sedimentos das rochas do Supergrupo Minas no período de 2.600 a 2.000 Ma (Farina *et al.* 2015; Moreira *et al.* 2016) e também os sedimentos do Grupo Itacolomi, de idade mesoproterozoica (Alkmim & Marshak 1998). Todo esse pacote rochoso foi afetado pelo evento de deformação brasileiro (900 - 500 Ma) de idade neoproterozoico (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000).

3.2 – UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

A figura 3.02 exhibe o contexto geológico no qual se insere a área de trabalho, compreendida por complexos metamórficos de idade arqueanos a paleoproterozoicos, rochas do *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas, metassedimentos paleoproterozoicos relacionados ao Supergrupo Minas e ao Grupo Itacolomi e corpos graníticos intrusivos de idade paleoproterozoica.

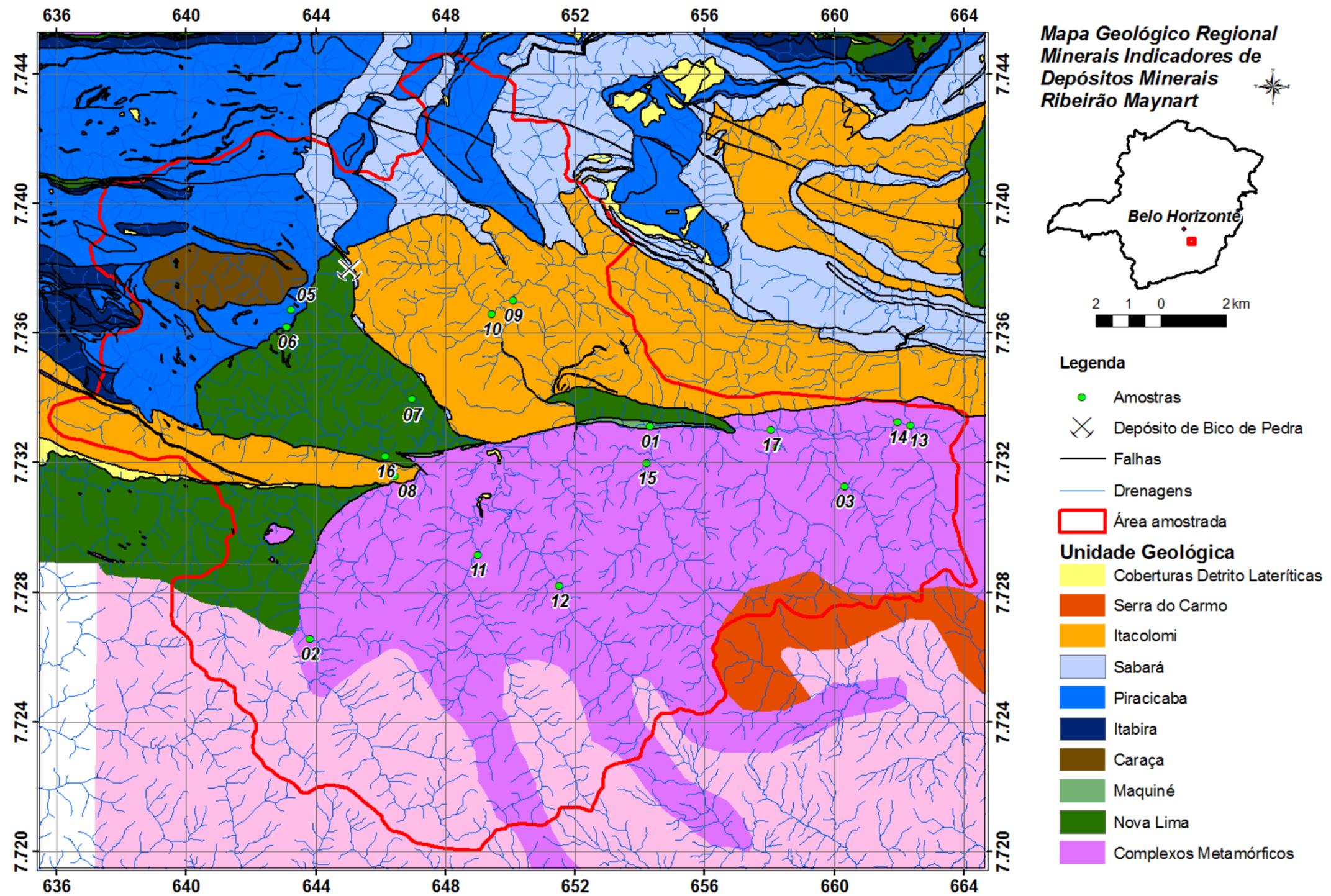


Figura 3.02: Mapa geológico da área de estudo, reproduzido do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (1:50.000) de Lobato *et al.* (2005).

3.2.1 **COMPLEXO METAMÓRFICO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA**

As rochas agrupadas no Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga ocupam uma posição de destaque na região estudada, compreendendo toda a porção centro-sul da área.

Segundo Raposo (1991) o Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga é caracterizado por rochas metabásicas e metaultrabásicas, gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos, com xistos, formações ferríferas e quartzitos subordinados. As rochas da unidade metabásica são caracterizadas por anfibolitos e clorita-tremolita-xistos.

Já as rochas metaultrabásicas são divididas em quatro grupos principais: metaultrabásicas maciças, sem xistosidade ou foliação evidentes; metaultrabásicas sem olivina preservada ou caracterizada por serpentinitos; metaultrabásicas apresentando agregados centimétricos de talco e metaultrabásicas essencialmente constituída por tremolitas (>90% da matriz da rocha).

Os gnaisses aflorantes nesta unidade estão intimamente relacionados às rochas metaultrabásicas, e são caracterizados pela afinidade trondhjemítica e tonalítica. Subordinadamente, ainda existem nessa unidade, quartzitos extremamente cisalhados e níveis delgados de formações ferríferas.

3.2.2 **COMPLEXO METAMÓRFICO MONSENHOR ISIDRO**

O Complexo Metamórfico Monsenhor Isidro (Heineck *et al.* 2003) pode ser considerado como uma extensão sul do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga, descrito anteriormente, em função de sua complexidade geológica e relações de campo.

Os litotipos descritos para essa unidade são caracterizados por rochas metaultramáficas e metamáficas cortadas por granitoides, extremamente alteradas, e de idade paleoproterozoica.

3.2.3 **SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS**

O Supergrupo Rio das Velhas, inicialmente definido por Dorr II *et al.* (1957) como série Rio das Velhas, é motivo de estudos por diversos autores, em função de sua importância geológico-econômica, uma vez que representa um clássico terreno do tipo *greenstone belt* de idade arqueano, onde existem importantes mineralizações auríferas associadas (Schorscher 1979; Baltazar & Pedreira 1996; Zucchetti *et al.* 1998; Baltazar & Zucchetti 2000; Lobato *et al.* 2001; Baltazar & Zucchetti 2007).

O Supergrupo Rio das Velhas é caracterizado pelos Grupo Nova Lima, na base e Grupo Maquiné, no topo. O Grupo Nova Lima é constituído por uma sequência de rochas metavulcanossedimentares que hospedam os principais depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero. As rochas metavulcânicas desta sequência consistem de metakomatiitos com textura *spinifex*

(Schorscher *et al.* 1982) e metabasaltos tholeiíticos, além de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas intermediárias a félsicas. As rochas metassedimentares são constituídas por rochas metapelíticas, mármore, formações ferríferas do tipo *Algoma*, metagrauvas, metarenitos e metaconglomerados (Dorr II 1969; Ladeira 1980). O Grupo Maquiné é dividido nas formações Palmital e Casa Forte, e representa a unidade de sedimentação clástica do Supergrupo Rio das Velhas, constituído por quartzitos micáceos, conglomerados e metarenitos microconglomeráticos (Zucchetti & Baltazar 2000).

Segundo Carneiro (1992), o intervalo de tempo compreendido entre 2,78 a 2,70 Ga, é definido como Evento Orogenético Rio das Velhas, onde ocorreu um retrabalhamento do crosta siálica arqueana preexistente, além da intrusão de corpos tonalíticos e do vulcanismo félsico no Supergrupo Rio das Velhas.

Os litotipos do Supergrupo Rio das Velhas aflorantes na área estudada correlacionam-se às rochas do Grupo Nova Lima, e ocorrem em uma pequena zona localizada na porção oeste da área.

3.2.4 ***SUPERGRUPO MINAS***

O Supergrupo Minas é uma sequência de rochas de metassedimentares, de idades paleoproterozoica, depositadas em margem passiva, que abriga o importante depósito de ferro que dá forma ao Quadrilátero Ferrífero. O Supergrupo Minas é constituído pelos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr II 1969) além do Grupo Sabará (Renger *et al.* 1994). O grupo Caraça é constituído pelas formações Moeda, na base, e Batatal, no topo. A formação Moeda é composta por quartzitos e conglomerados depositados em ambiente fluvial, onde os conglomerados basais hospedam pequenos depósitos de ouro e urânio. A formação batatal é composta por filitos derivados de pelitos depositados em plataforma estável. O grupo Itabira é dividido nas formações Cauê, hospedeira dos grandes depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, e Gandarela, constituída por mármore, depositados em ambiente marinho, com águas rasas e calmas. O Grupo Piracicaba é composto pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro, que definem uma sedimentação cíclica entre quartzitos e filitos, com lentes de carbonatos subordinados. O grupo Sabará, que é interpretado por uma sedimentação do tipo *flysch* (Barbosa 1968; Dorr II 1969) é composto por metapelitos, metagrauvas, metaconglomerados, quartzitos, filitos grafitosos, clorita-xistos e raras formações ferríferas. A deposição do Grupo Sabará marca uma mudança nos processos deposicionais e na fonte dos sedimentos, da unidade mais nova do Supergrupo Minas.

3.2.5 ***GRUPO ITACOLOMI***

Discordantemente, sobre as unidades do Supergrupo Minas existem quartzitos impuros e conglomerados relacionados ao Grupo Itacolomi (Guimarães 1931), de idade paleoproterozoico. O

Grupo Itacolomi aflora na área do estudo em uma região restrita à porção centro-oeste, nas proximidades da localidade de Chapada.

3.2.6 ***CORPO SERRA DO CARMO***

O corpo Serra do Carmo, definido por Raposo (1991) constitui um granitoide de afinidade tonalítica-trondhjemítica, descrito como parte integrante dos leucognaisses descritos no Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga. Macroscopicamente, caracterizam-se como rochas brancos-leitosas, de granulação média a grossa, constituídas por albitas ou albita/oligoclásio e quartzo com predomínio de plagioclásio.

CAPÍTULO 4

MINERALOGIA

Conforme descrito no capítulo de metodologia, as amostras analisadas para identificação mineralógica foram obtidas de concentrados de bateia, os quais passaram por um tratamento em laboratório, que consistiu na separação gravimétrica, separação granulométrica e por fim, separação magnética, para que as amostras estivessem prontas para serem descritas.

Desta forma, serão aqui apresentadas as fases minerais identificadas na fração granulométrica -0,5+0,25 mm, uma vez que, segundo McClenaghan (2005) grande parte dos minerais indicadores da presença de diamante encontra-se nesta fração granulométrica.

A paragênese de minerais indicadores da presença de fontes primárias diamantíferas é composta, essencialmente, por minerais provenientes de regiões do manto superior, que se cristalizam em ambientes de grandes temperaturas e pressões, e que são encontrados em rochas de natureza vulcânica (Fipke *et al.* 1995). Portanto, destacam-se como guia prospectivo para a descoberta de fontes primárias diamantíferas o piropero, a cromita magnésiana, o Cr-diopsídio e a Mg-ilmenita, além de olivina, zircão entre outros acessórios, e do próprio diamante (Sobolev 1971; Gurney 1984; Gurney & Moore 1991; Gurney *et al.* 1993). Entretanto, em ambientes de clima tropical, com expressivo intemperismo químico, os minerais indicadores de fonte primária diamantífera tendem a desaparecer, sobrando apenas a cromita, que é um mineral resistente a este tipo de alteração (Pereira 2001). A recuperação de minerais indicadores, todavia, pode marcar a proximidade da fonte desses minerais (Pereira. & Soares 1999).

A tabela 4.01 mostra a distribuição dos minerais identificados nas amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart. Ao todo foram descritas 34 fases minerais.

Neste sentido, descrever-se-ão, a seguir, minerais pesados encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart que podem estar associados à fontes primárias diamantíferas e ou a outros tipos de depósitos minerais de interesse econômico.

Os dados mineralógicos foram compilados dos *sites* mindat.org e webmineral.com.

| MINERALOGIA | DRM-SG-001 | DRM-SG-002 | DRM-SG-003 | DRM-SG-004 | DRM-SG-005 | DRM-SG-006 | DRM-SG-007 | DRM-SG-008 | DRM-SG-009 | DRM-SG-010 | DRM-SG-011 | DRM-SG-012 | DRM-SG-013 | DRM-SG-014 | DRM-SG-015 | DRM-SG-016 | DRM-SG-017 |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ouro | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Granada | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Piropo | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gahnita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oxalcioroméita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cromita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ilmenita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diopsídio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zircão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hornblenda | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trem-Act | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Almandina | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espessartita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Topázio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Euclásio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Berilo | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Turmalina | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rutilo | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brookita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anatásio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfetos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pirita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calcopirita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arsenopirita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Petlandita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Platina | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Magnetita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hematita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hercinita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pirolusita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Galaxita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Goetita-Limonita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Monazita | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Epidoto | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela 4.01: Mineralogia encontrada nas amostras dos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Diamante (C) - o cristal descrito está exposto no setor de Mineralogia do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP (Figura 4.01) e foi encontrado no leito do ribeirão Maynart no distrito de Santo Antônio do Salto, Ouro Preto, MG. Trata-se de um cristal octaédrico de 1,6 ct, o qual exibe estruturas de absorção magmática como trígono e *steps*. Esse exemplar é incolor e possui na superfície pequenos pontos marrons. Uma das faces do exemplar encontra-se quebrada, o que sugere que esse grão sofreu um transporte até ser recuperado em ambiente aluvionar. O diamante apresenta dureza relativa 10 na escala de Mohs. Seu nome deriva de sua própria dureza, do grego incontestável, indomável. Exibe uma densidade relativa entre 3,50-3,53. Apresenta clivagem perfeita e fratura conchoidal. Cristaliza-se no sistema isométrico, comumente encontrado no hábito octaédrico. É composto de carbono cristalizado, podendo ser transparente e o índice de refração está entre 2,417-2,419.

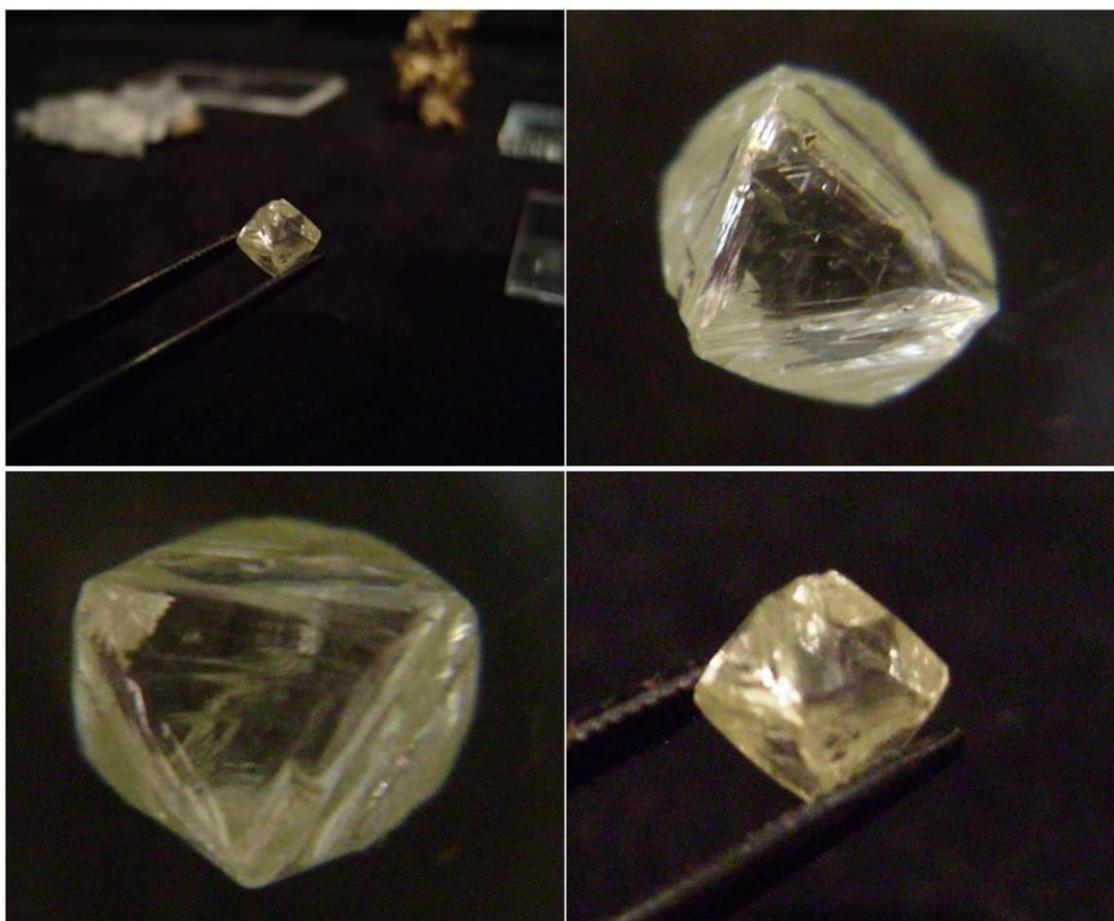


Figura 4.01: Diamante de 1,6 ct encontrado no ribeirão Maynart e exposto no Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP, Setor de Mineralogia. É possível observar os trígono e *steps* na face do octaedro.

Ouro (Au) - extremamente abundante na região de Ouro Preto (Figuras 4.02 e 4.03), é um metal relativamente raro, com enorme interesse econômico. Nas amostras de concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart foram catalogados quatro pontos com ocorrência

de ouro. Em geral, exibem formas granulares, cristalizam-se no sistema isométrico-hexaoctaedral, tem dureza baixa, variando de 2,5 a 3, maleáveis, extremamente densos (19,3), e exibem coloração amarelo-ouro. Geralmente, associam-se a ambientes de veios de quartzo e depósitos aluvionais.

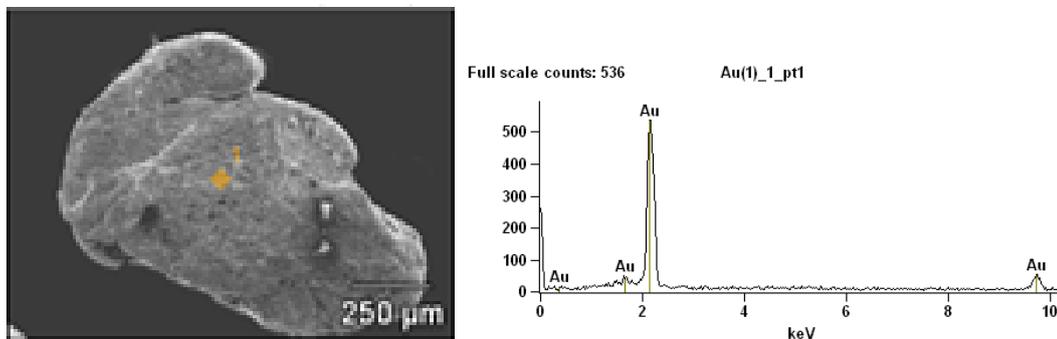


Figura 4.02: Amostra de ouro, encontrado na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

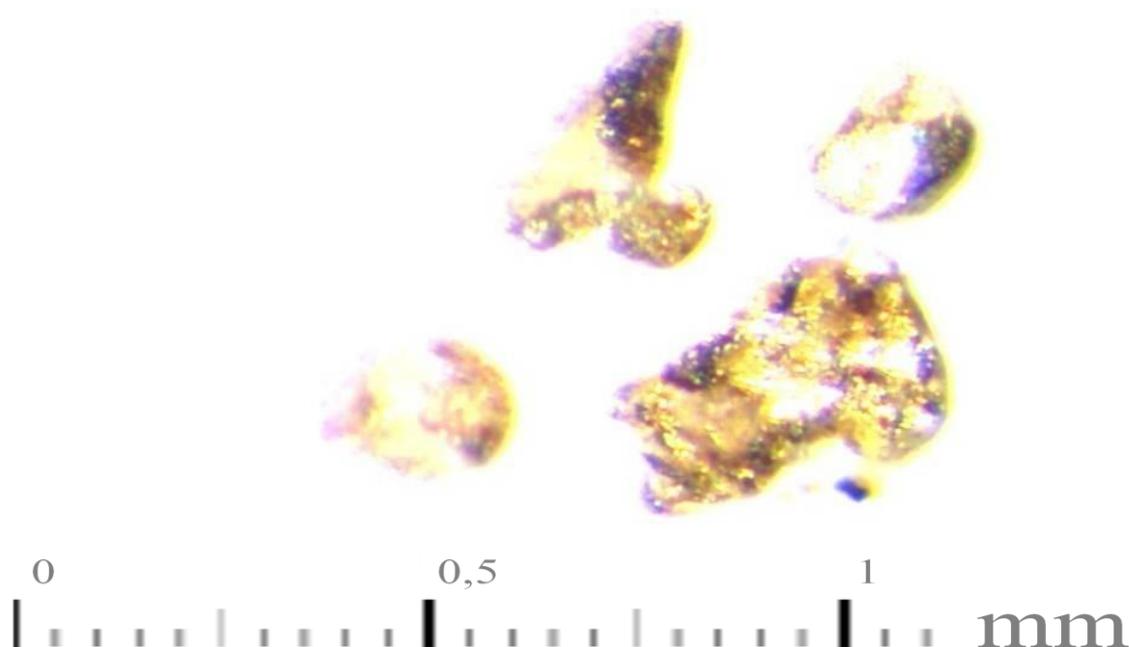


Figura 4.03: Grãos de ouro coletados nas amostras de concentrados de bateia dos aluviões do ribeirão Maynard.

Platina (Pt) - foram encontrados dois grãos de platina em duas amostras distintas, provavelmente, associados a rochas ultramáficas existentes na porção sul da área trabalhada (Figura 4.04). A platina também é um metal de grande interesse econômico e extremamente rara de se encontrar na natureza. Existem apenas alguns depósitos de fontes primárias deste elemento no mundo: Bushveld (África do Sul), Urais (Rússia) e Luanga (Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil). Destaca-se, no Brasil, a ocorrência aluvionar de platina da região do Serro-Conceição do Mato Dentro, MG. Os grãos encontrados exibem hábito granular, coloração cinza, brilho metálico. A platina

crystaliza-se no sistema isométrico-hexaocédrico, exibe densidade relativa extremamente elevada variando de 14 a 22 e dureza entre 4 a 4,5.

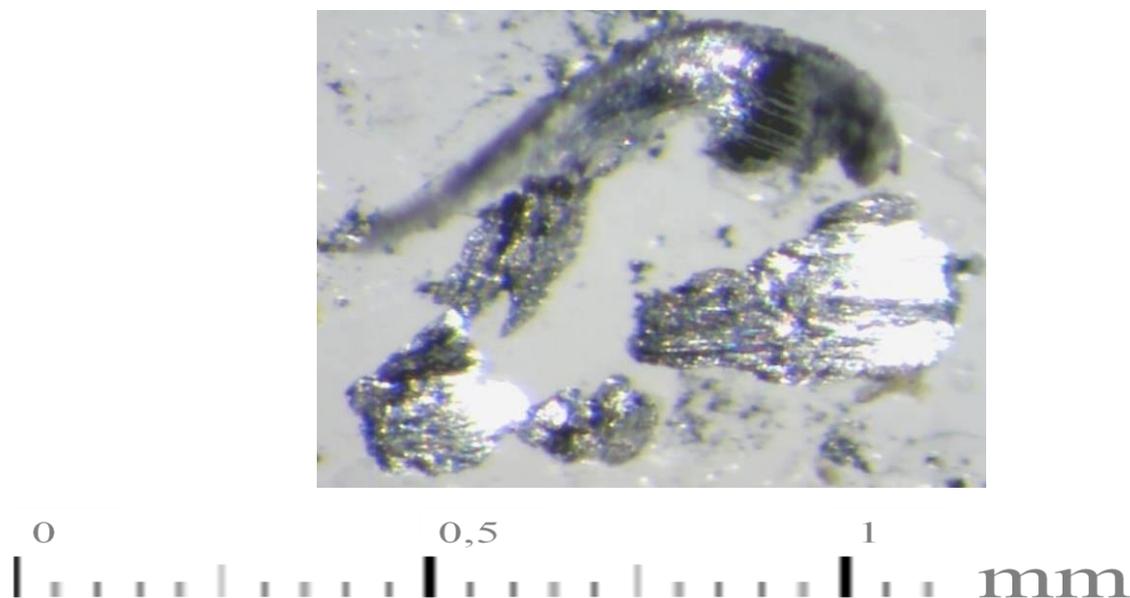


Figura 4.04: Mineral do grupo da platina encontrado nos concentrados de bateia das amostras coletadas no ribeirão Maynart.

Diopsídio [$CaMg(Si_2O_6)$] é um mineral extremamente raro de ser encontrado em ambientes aluvionares por ser facilmente alterável em condições de intemperismo químico. Quando encontrados indicam a proximidade de áreas fontes ainda não alteradas. Mineral da grupo dos clinopiroxênios, cristaliza-se no sistema monoclinico, apresenta-se em formas prismáticas, com clivagem perfeita, fratura áspera, dureza variando entre 5 e 6, densidade relativa 3,22 a 3,38, coloração verde-cana (Figura 4.05). Quando apresentam Cr em sua estrutura cristalina, associam-se a rochas kimberlíticas. No caso de apresentarem Al em baixas concentrações, associam-se a fenocristais em lamproítos (Mitchell & Bergman 1991) (Figura 4.06).

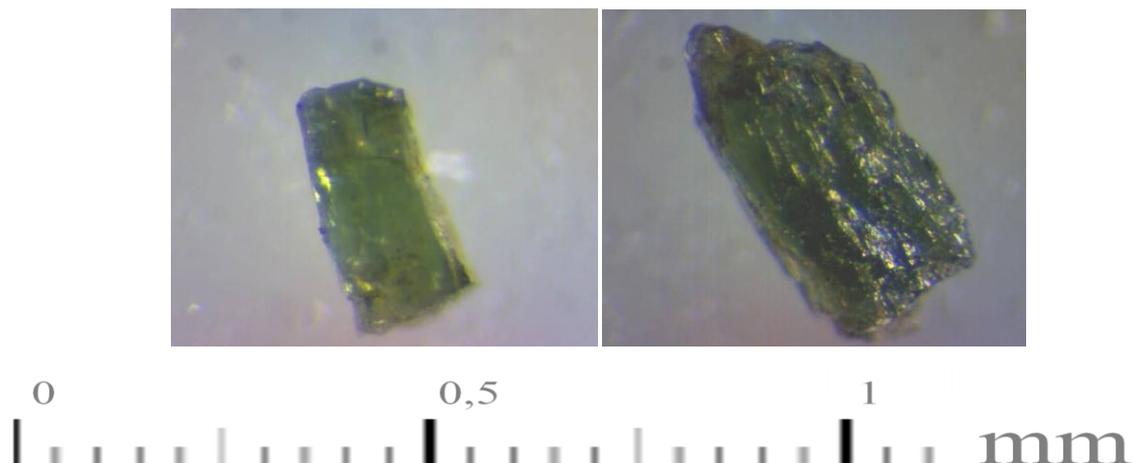


Figura 4.05: Cristais de diopsídio provenientes das amostras de concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynart.

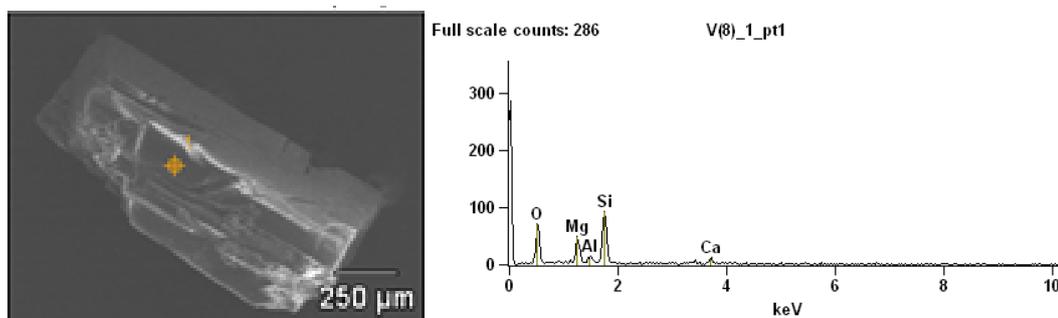


Figura 4.06: Cristal de diopsídio encontrado em uma amostra coletada na bacia do ribeirão Maynart, e analisado em MEV-EDS.

Piropo [$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$] - cristaliza-se no sistema isométrico-hexaocédrico. Sua densidade relativa varia entre 3,62-3,87, de dureza 6,5 a 7,5. Exibe fratura subconchoidal. É atraído a 0,6 A no separador eletromagnético Frantz. Os cristais de piropo encontrados nas amostras estudadas exibem coloração rosa, vermelho e laranja. A figura 4.07 exibe um piropo estudado em MEV-EDS, encontrado em uma amostra de concentrado de bateia coletada no ribeirão Maynart.

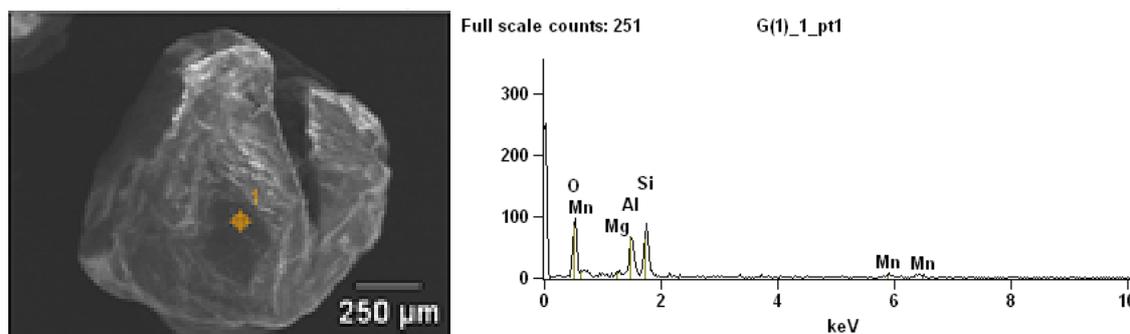


Figura 4.07: Imagem de um piropo obtido nas análises de MEV-EDS;

Almandina [$Fe^{2+}_3Al_2(SiO_4)_3$] - é de formação essencialmente metamórfica que se cristaliza no sistema isométrico. Apresenta hábito rombododecaédrico, coloração alaranjada, densidade relativa entre 4,09 a 4,31, dureza variando de 7 a 8, fratura conchoidal, brilho vítreo (Figuras 4.08 e 4.09).

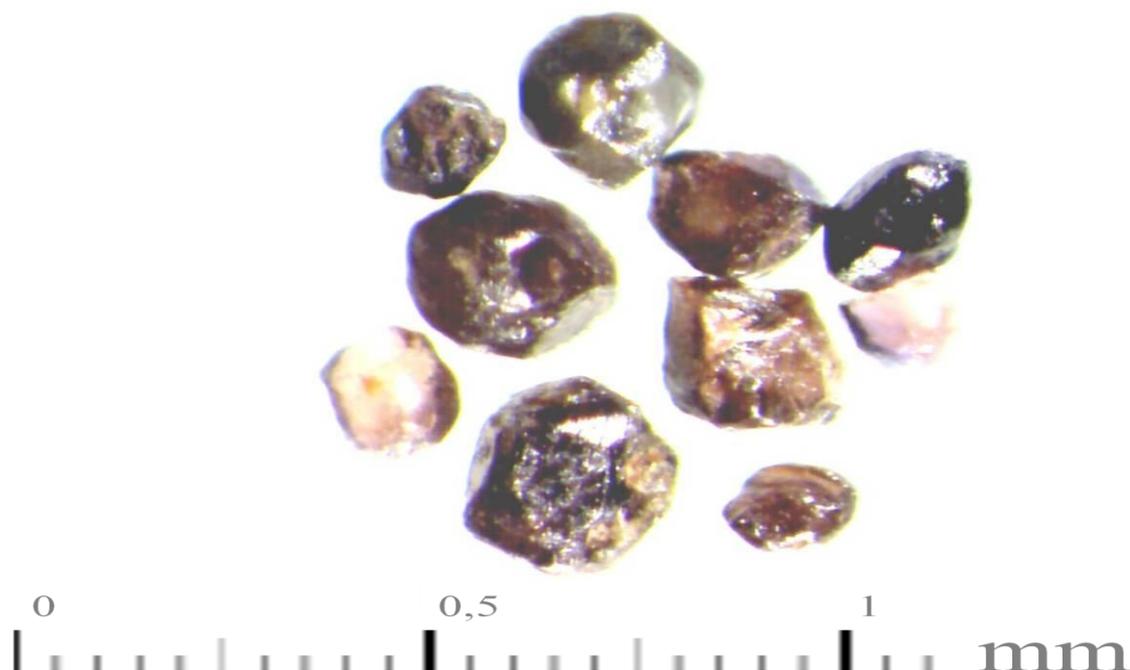


Figura 4.08: Grupo de cristais de almandina coletadas em amostras da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

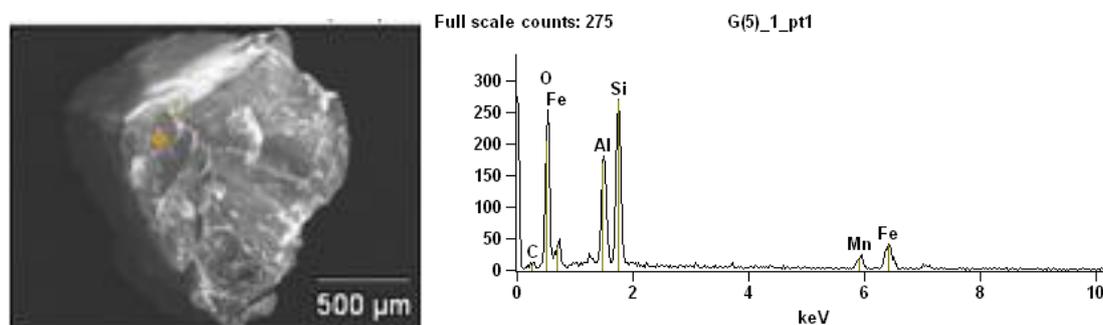


Figura 4.09: Cristal de almandina em imagem MEV-EDS.

Spessartina [$Mn^{2+}_3Al_2(SiO_4)_3$] - pode ocorrer tanto em rochas ígneas quanto metamórficas. A spessartina cristaliza-se no sistema isométrico-hexaocédrico. Sua densidade relativa é 4,18 e a dureza varia entre 6,5 a 7,5. Apresenta brilho vítreo e fratura subconchoidal. Nos concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynard, é um mineral raro, que se apresenta sob a forma granular, de coloração marrom avermelhado.

Zircão [$Zr(SiO_4)$] - é relativamente comum, encontrado em quase todos os tipos de rochas. Formam depósitos minerais secundários de Zr em ambientes costeiros e/ou aluvionares. Suas principais características físicas são: sistema cristalográfico tetragonal – ditetragonal-dipiramidal, hábito prismático ou tabular, coloração branco, marrom, incolor, brilho adamantino, densidade relativa 4,6, dureza 7,5 e fratura conchoidal. Nas amostras de concentrado de bateia da região do ribeirão Maynard, os cristais de zircão são minerais extremamente abundantes, e aparecem em quase todas as amostras analisadas (Figuras 4.10 e 4.11).

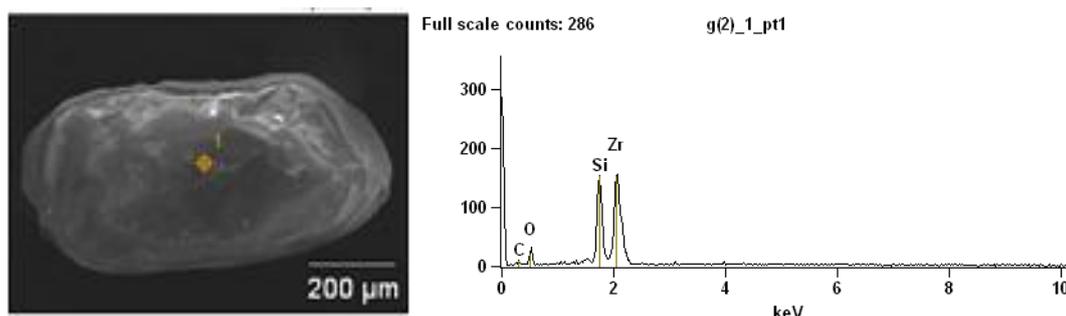


Figura 4.10: Zircão em imagem MEV-EDS.

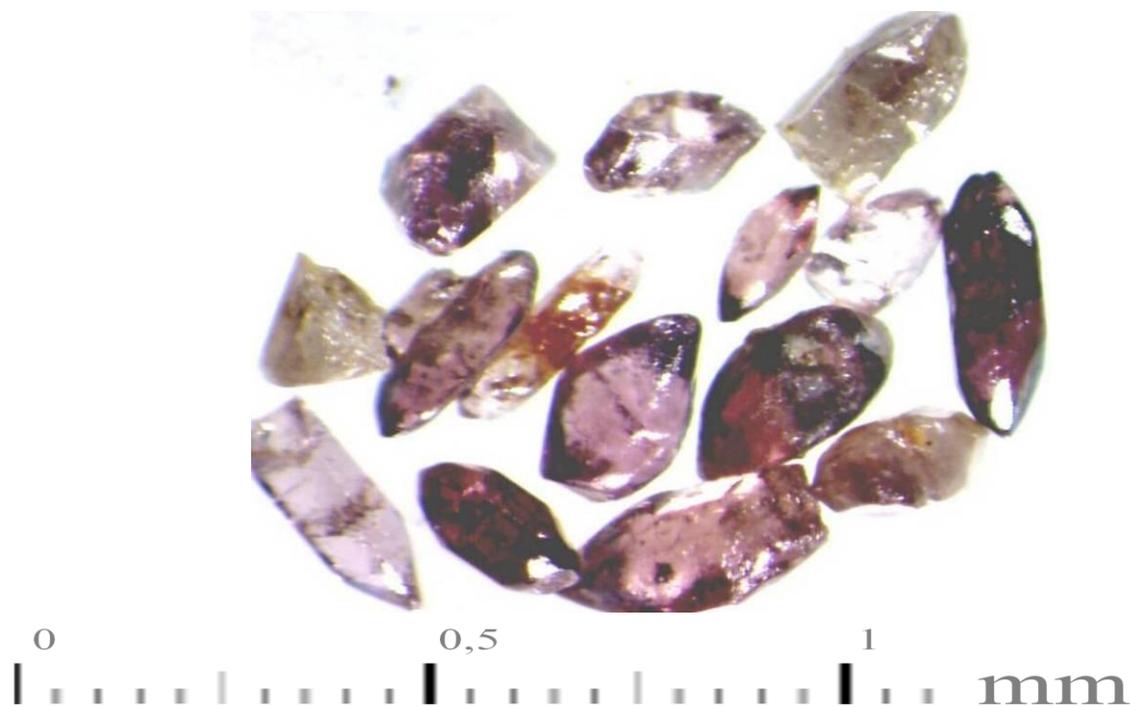


Figura 4.11: Grupo de cristais de zircão encontrado em uma amostra coletada nos aluviões da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Pirita (FeS_2) - é mais comum dos sulfetos. Ocorre em diversos tipos de ambientes. Cristaliza-se no sistema isométrico e exhibe comumente, hábito cúbico. Tem coloração amarelo-clara,

brilho metálico, dureza entre 6 e 6,5 e, densidade relativa variando de 4,9 a 5,2. Nas amostras coletadas no ribeirão Maynard, os cristais de pirita encontram-se limonitizados (Figura 4.12).

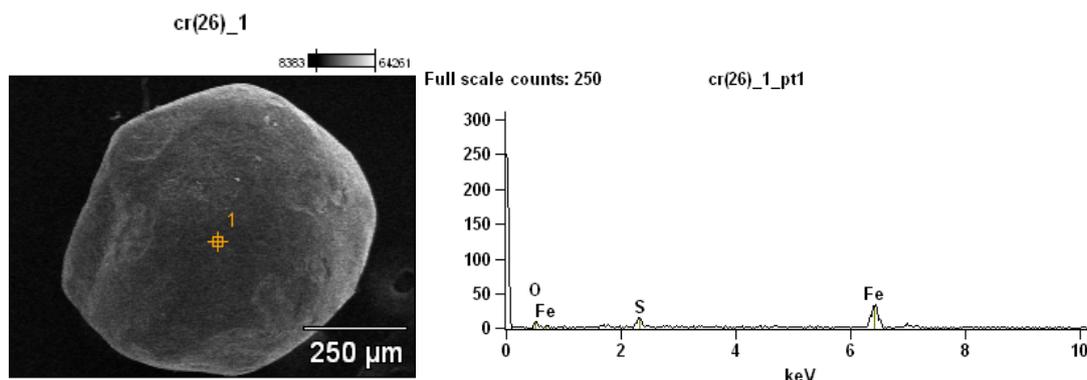


Figura 4.12: Cristal de pirita arredondado e limonitizado encontrado nos concentrados de minerais pesados das amostras do ribeirão Maynard e analisada em MEV-EDS.

Arsenopirita ($AsFeS$) (Figura 4.13) é um sulfeto cristalizado em altas temperaturas e pertence ao sistema monoclinico-prismático, exibe formas granulares euédricos, coloração cinza, brilho metálico, densidade relativa 6,07, dureza 5, fratura frágil. Pode tornar-se magnética após aquecimento.

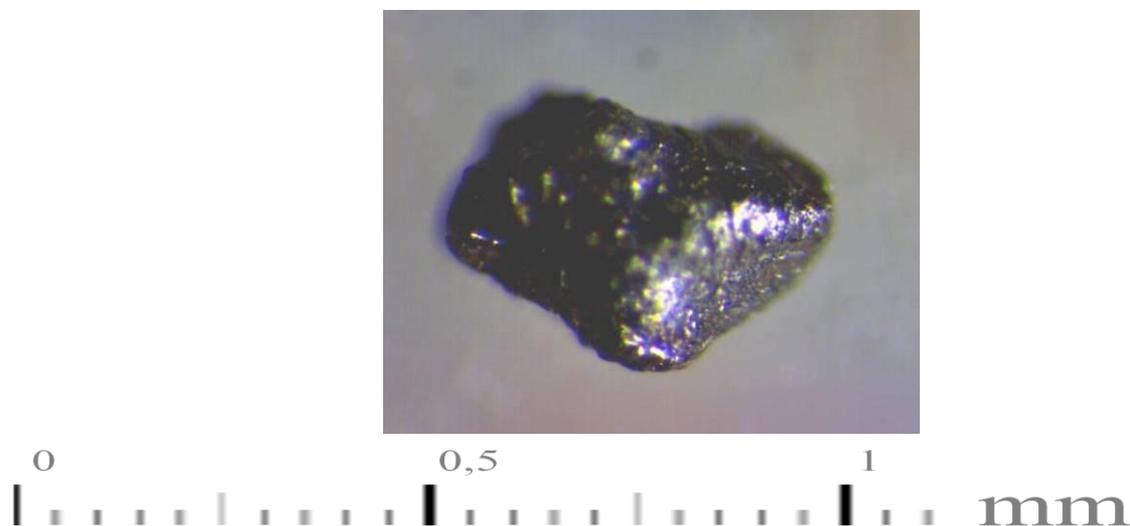


Figura 4.13: Grão de arsenopirita encontrado nas amostras dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard.

Pentlandita $[(Fe,Ni)_9S_8]$ - é essencialmente associado a intrusões básicas e ultrabásicas. Cristaliza-se no sistema isométrico hexaocaedral e exibe hábito granular. Tem densidade relativa variando de 4,6 a 5. A dureza situa-se entre 3,5 a 4. Apresentam brilho metálico e fratura conchoidal.

Nas amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart, apresentam coloração marrom a caramelo (Figura 4.14).

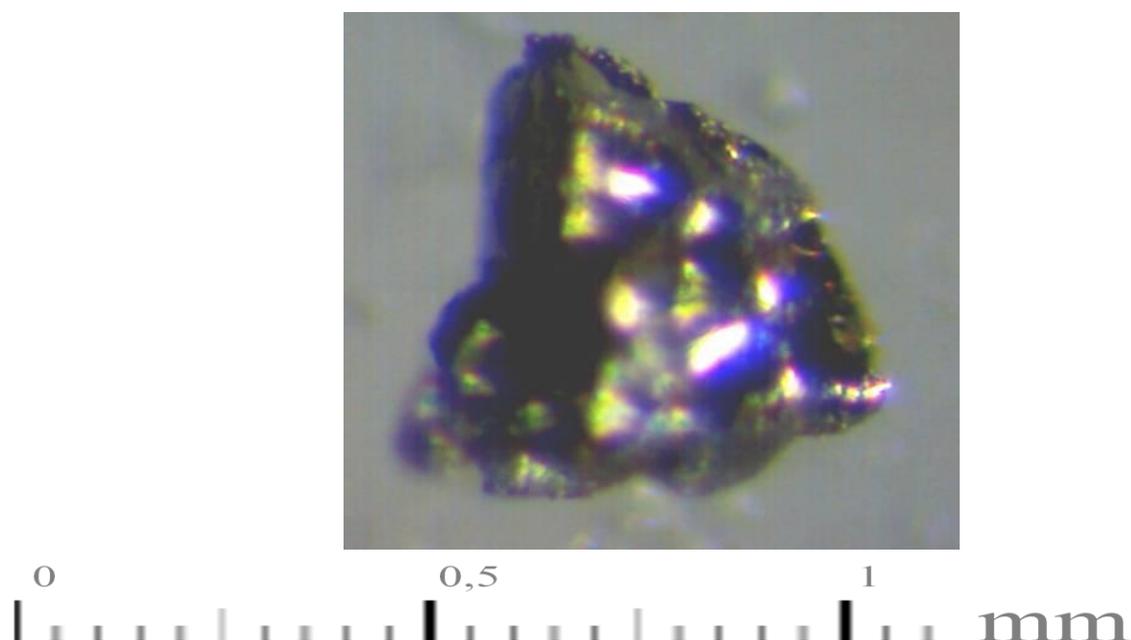


Figura 4.14: Grão de pentlandita encontrado nas amostras de concentrado de minerais pesados aluvionares.

Hematita (Fe_2O_3) é um mineral extremamente comum e um dos principais formadores de depósitos de minério de ferro. Cristaliza-se no sistema trigonal – hexagonal, exibe hábito lamelar, especular, coloração cinza-metálico, brilho metálico, fratura conchoidal, densidade relativa 5,3 e dureza 6,5.

Pirolusita (MnO_2) é um óxido de manganês de origem sedimentar, hidrotermal ou secundária, que se cristaliza no sistema tetragonal – ditetragonal – dipiramidal, e é encontrada na bacia do ribeirão Maynart em grãos (Figura 4.15). Possui coloração cinza-metálica a preto-metálico, brilho submetálico, densidade relativa variando entre 4,4 a 5,06.

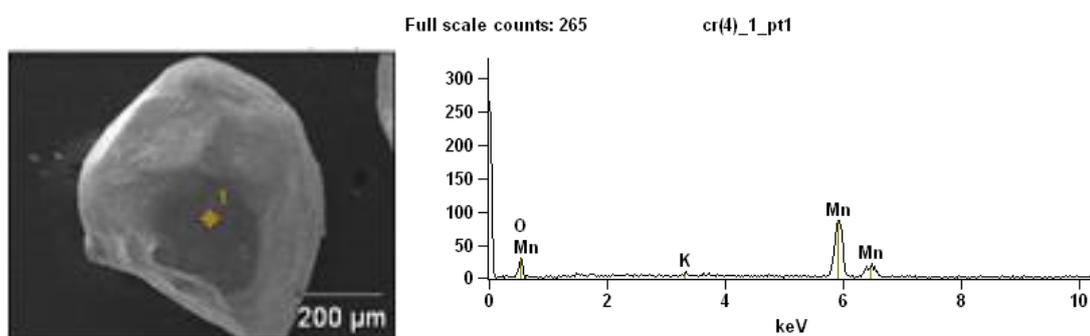


Figura 4.15: Cristal de pirolusita.

Grupo do Espinélio $(X)(Y)_2O_4$ são minerais que se cristalizam no sistema cúbico, com hábito octaédrico. Nas amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard foi possível identificar os seguintes espinélios: cromita, magnetita, gahnita, galaxita e hercenita.

Cr-Espinélio {Cromita $[Fe^{2+}Cr^{3+}_2O_4]$ } trata-se de espinélio cromífero cristalizado no sistema isométrico-hexaoctaedral, de coloração preta, dureza 5,5 a 6,5, densidade relativa entre 4,3 a 4,8, brilho metálico, fratura conchoidal. Ela é atraída pelo separador magnético Frantz na fração 0,4 A. A cromita (Figura 4.16) é de alta temperatura e relaciona-se essencialmente a rochas ultrabásicas (peridotitos e serpentinitos). Por apresentar uma elevada resistência ao intemperismo químico, é considerado um dos principais minerais indicadores de fontes primárias diamantíferas.

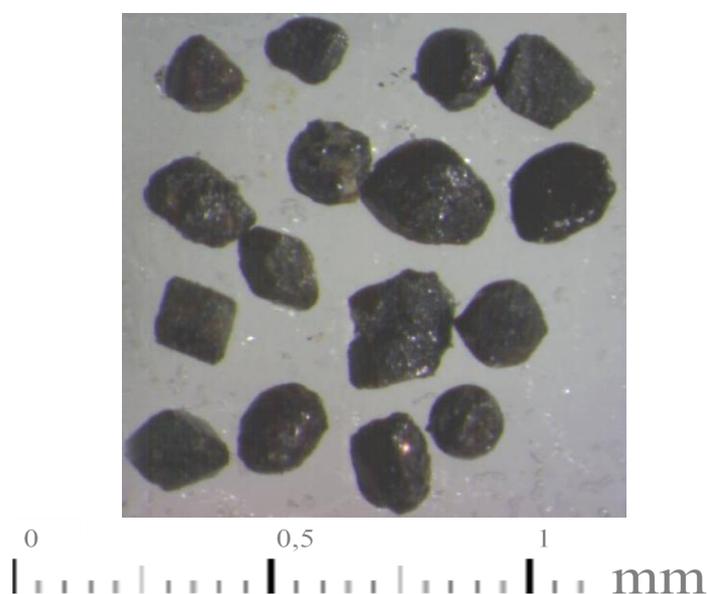


Figura 4.16: Conjunto de cristais de cromita identificado nas amostras de concentrados de bateia do ribeirão Maynard.

Magnetita $(Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4)$ - é muito comum em concentrados de bateia e está associada a quase todos os tipos petrográficos. Cristaliza-se no sistema isométrico hexaoctaedral. Tem coloração preta, dureza 5,5 a 6,5, densidade relativa variando entre 4,9 e 5,2 e brilho metálico. Apresenta-se nas amostras sob a forma de esferulitos e octaedros (Figura 4.17).

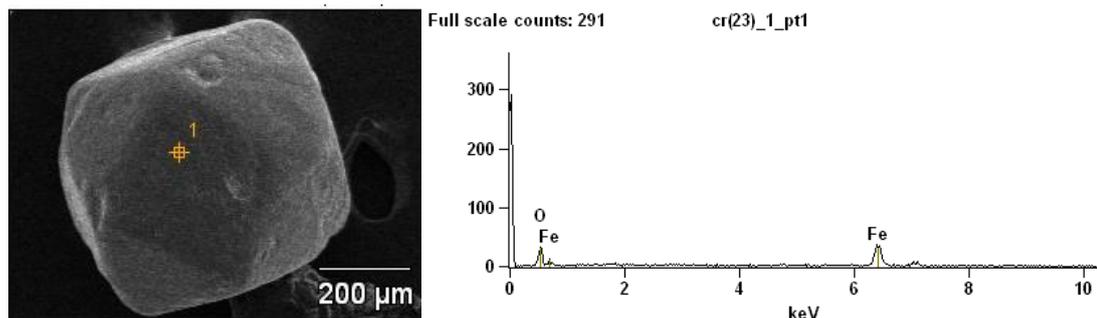


Figura 4.17: Cristal de magnetita analisado em MEV-EDS.

Gahnita ($ZnAl_2O_4$) - de origem tanto ígnea, quanto metamórfica, pertence ao sistema isométrico hexaocaedral. Exibe coloração verde escuro a preto, densidade relativa variando entre 4 a 4,6, dureza 8, hábito octaédrico (Figura 4.18). A gahnita é usada mundialmente como mineral indicador de depósitos de sulfetos maciços metamorfizados e depósitos de elementos raros em pegmatitos.

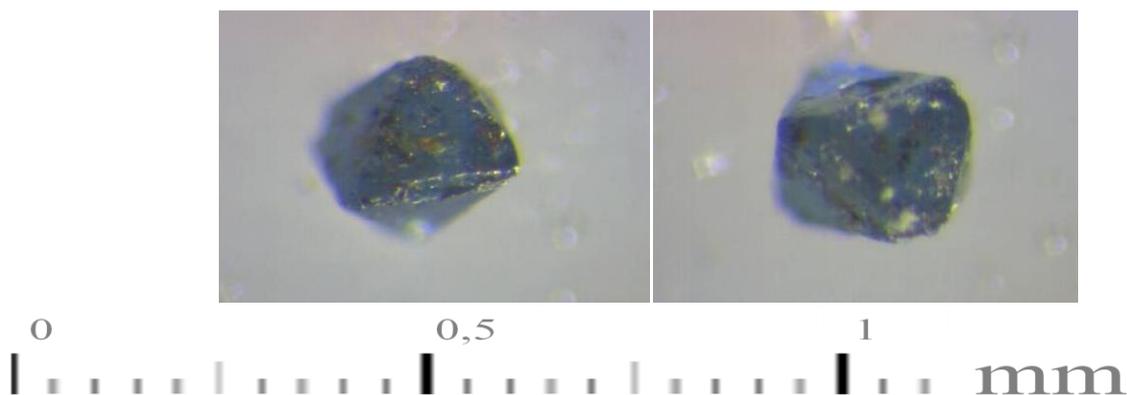


Figura 4.18: Dois cristais de gahnita de coloração azul, cristalização octaédrica, apresentando clivagem perfeita e fratura conchoidal, além de inclusões.

Após a identificação das amostras de gahnita em lupa binocular, os grãos foram submetidos a um ataque de água régia (ácido clorídrico + ácido nítrico). Essa análise foi responsável pela limpeza na superfície dos grãos, sendo que o resultado pode ser visualizado na figura 4.19. Em seguida, essas amostras foram analisadas no MEV-EDS o qual comprovou se tratar de gahnita (Figura 4.20).

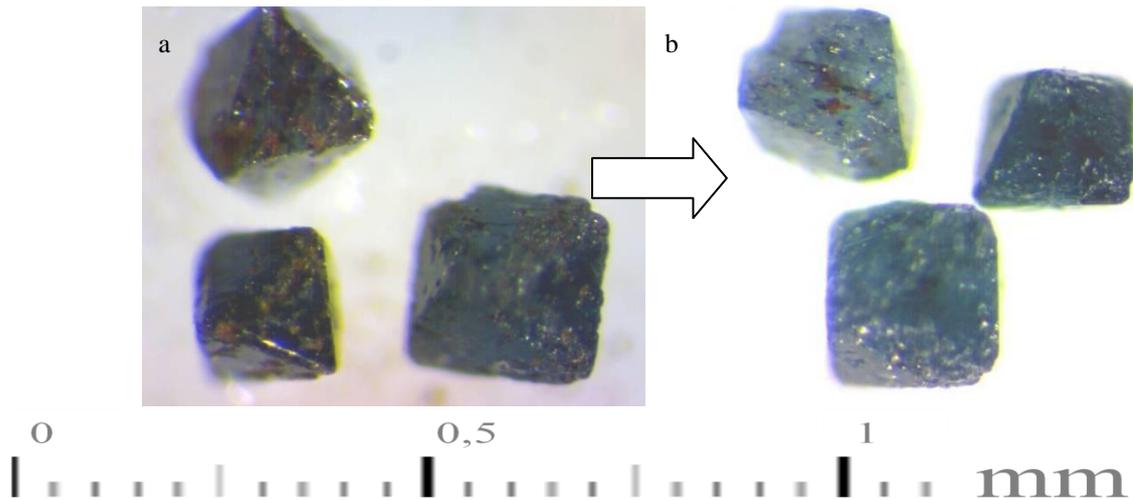


Figura 4.19: Amostra de gahnita identificada nos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. A figura (a) exibe os minerais antes do ataque de água régia. A figura (b) exibe os mesmos grãos após o ataque de água régia. Notar a limpeza dos óxidos existentes na superfície dos grãos.

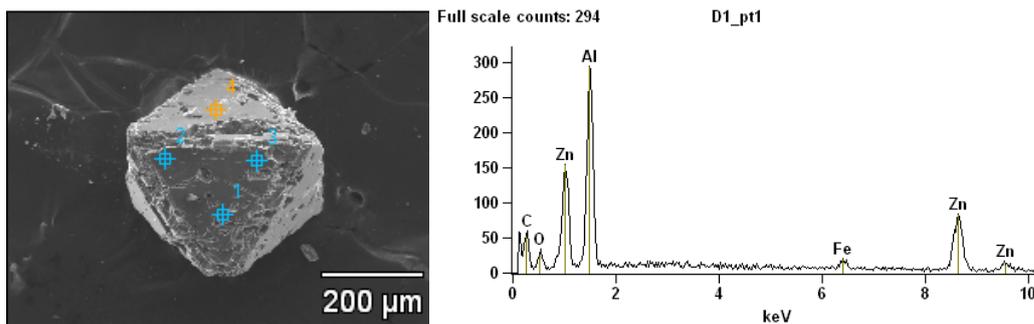


Figura 4.20: Imagem do MEV com as respectivas análises químicas em EDS de um grão de gahnita encontrado nas amostras de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Galaxita $[(Mn,Fe,Mg)(Al,Fe^{3+})_2O_4]$ - é comum em rochas carbonáticas e depósitos de manganês. Cristaliza-se no sistema isométrico-hexaoctaedral, coloração preta, densidade relativa 4,23, dureza 7,5, brilho metálico, fratura conchoidal (Figura 4.21).

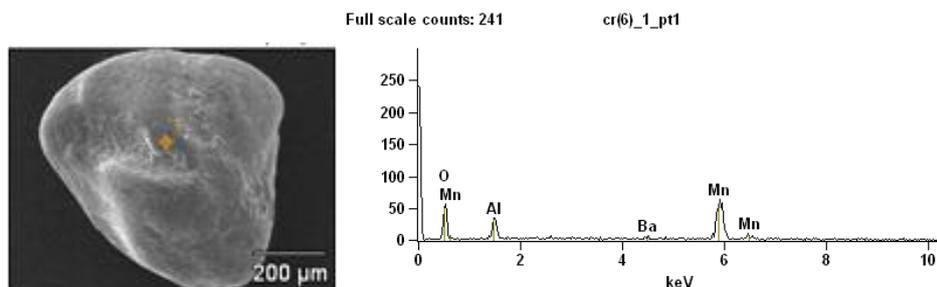


Figura 4.21: Cristal de galaxita em imagem MEV-EDS.

Hercinita ($Fe^{2+}Al_2O_4$) - é acessório em rochas de origem magmática. É um mineral pertencente ao sistema isométrico-hexaoctaedral. Apresenta clivagem indistinta, coloração preta, densidade relativa de 3,95, hábito comumente octaédrico, dureza 7,5 e brilho vítreo. Não é um mineral muito comum nas amostras coletas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart (Figura 4.22).

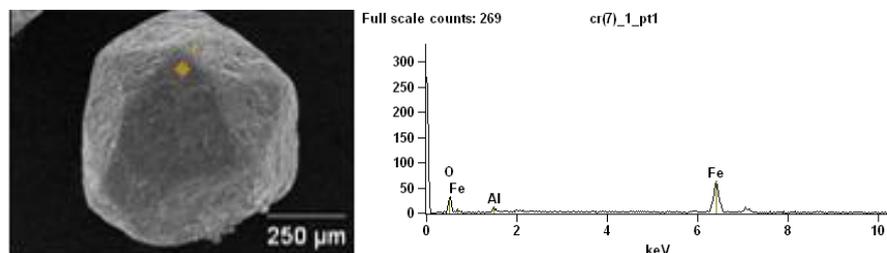


Figura 4.22: Cristal de hercinita em imagem MEV-EDS.

Ilmenita [$Fe^{2+}TiO_3$] - cristaliza-se no sistema trigonal-romboédrico, apresentam brilho metálico a submetálico, dureza que varia entre 5,5 a 6, densidade relativa 4,4 a 4,8, clivagem inexistente e fratura conchoidal a irregular. A ilmenita do concentrado de bateia do ribeirão Maynart (Figuras 4.23 e 4.24) apresenta coloração preta, brilho metálico, arredondada, provavelmente relacionada ao transporte aluvionar. Apresenta Mn na análise química de EDS, possivelmente relacionado a processos de enriquecimento supergênico.

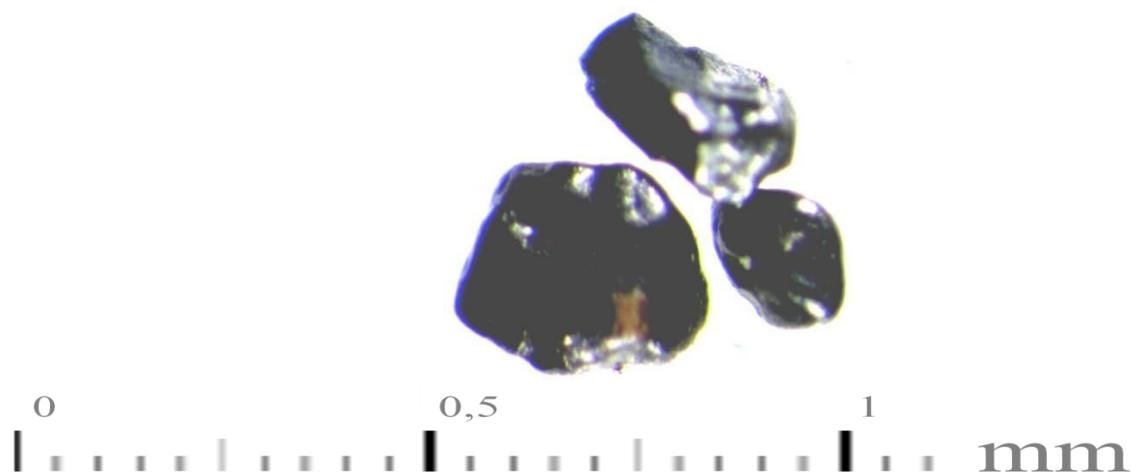


Figura 4.23: Amostras de ilmenita encontradas em concentrados de minerais pesados do ribeirão Maynart.

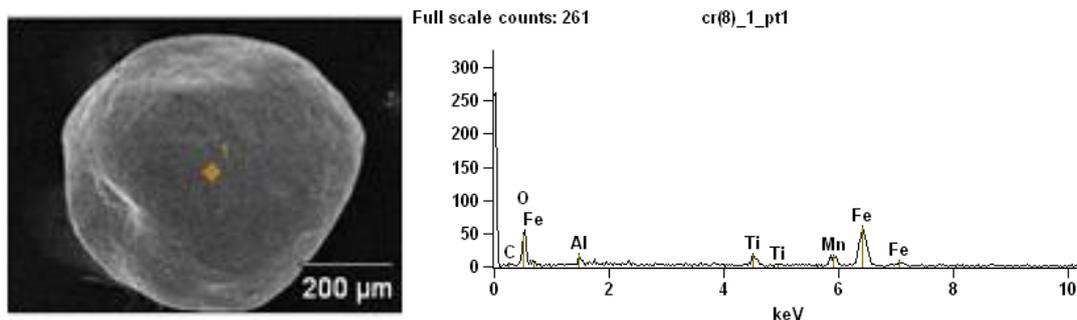


Figura 4.24: Ilmenita encontrada nos concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynart, e analisada em MEV-EDS.

Rutilo (TiO_2) - é acessório de rochas de alta temperatura e pressão. Pertence ao sistema cristalográfico tetragonal-ditragonal-dipiramidal, comumente apresentando maclas, em formas prismáticas, apresenta coloração vermelho carne, brilho adamantino, densidade relativa 4,25 e dureza que varia entre 6 a 6,5. São relativamente comuns nas amostras dos concentrados de bateia do ribeirão Maynart (Figura 4.25).

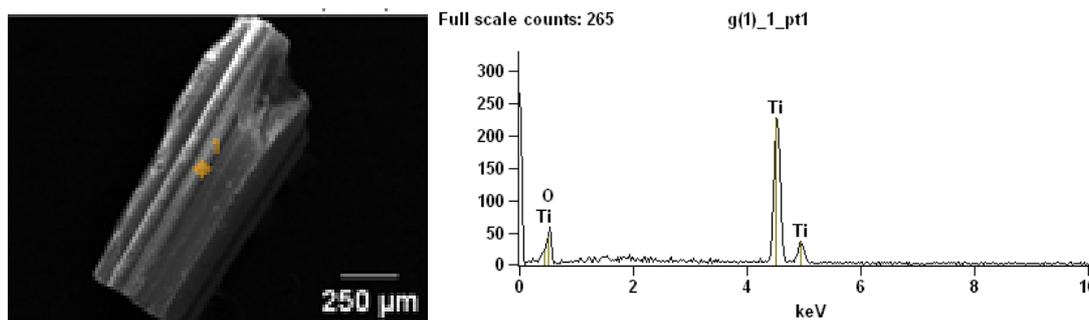


Figura 4.25: Cristal de rutilo analisado em MEV-EDS.

Brookita (TiO_2) - é acessório em algumas rochas ígneas e metamórficas. Cristaliza-se no sistema ortorrômbico, em forma de cristais achatados, exibindo estrias em suas faces. Apresenta coloração alaranjada, brilho adamantino, dureza variando de 5,5 a 6, densidade relativa entre 3,9 e 4,1. Não é muito comum nas amostras dos concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart (Figura 4.26).

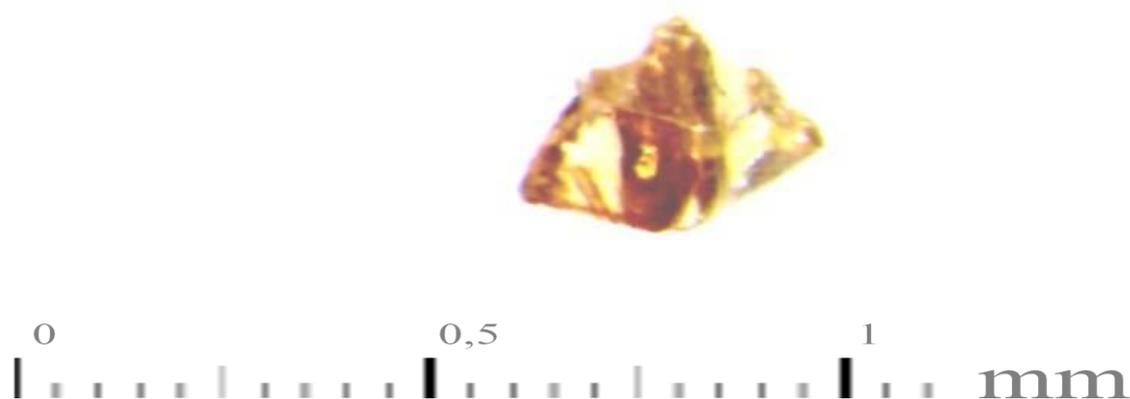


Figura 4.26: Grão de brookita encontrado em uma amostra do concentrado de bateia das amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Anatásio (TiO_2) - também é acessório em rochas ígneas e metamórficas. Porém, pode se formar em ambientes aluvionares. O anatásio forma-se no sistema tetragonal, sob a forma de bipirâmides alongadas segundo o eixo *c*, de coloração cinza, brilho adamantino, dureza variando entre 5,5 e 6 e densidade relativa de 3,8 a 3,9. Não é um mineral muito comum nas amostras de concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard (Figura 4.27).

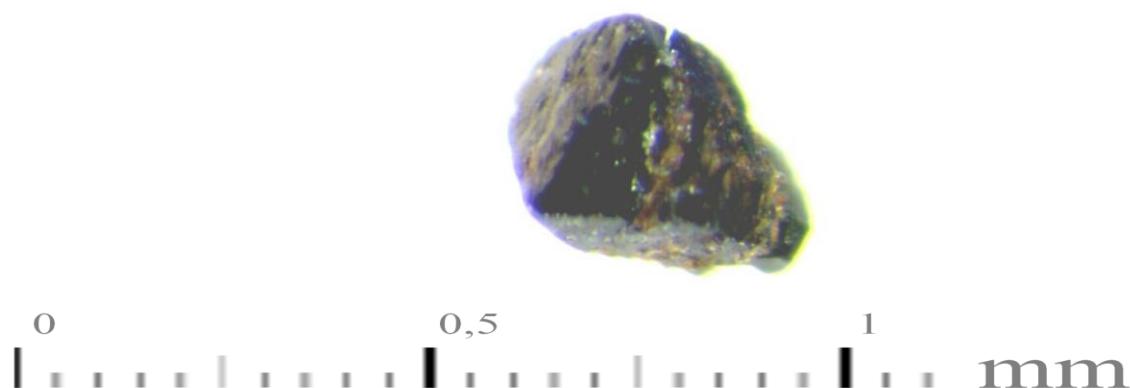


Figura 4.27: Cristal de anatásio encontrado em uma amostra coletada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Oxicalcioroméita $[(Ca,Fe^{2+},Na)_2(Sb,Ti)_2O_7]$.- é associado a ambientes hidrotermais que, apesar de raro é encontrado em três localidades de Ouro Preto, MG. Cristaliza-se no sistema isométrico hexaocaedral. Apresenta clivagem perfeita, dureza 5,5 e densidade relativa de 4,95. Os cristais encontrados nos concentrados de minerais pesados analisados exibem coloração amarelo-alaranjado a marrom-alaranjado (Figura 4.28).

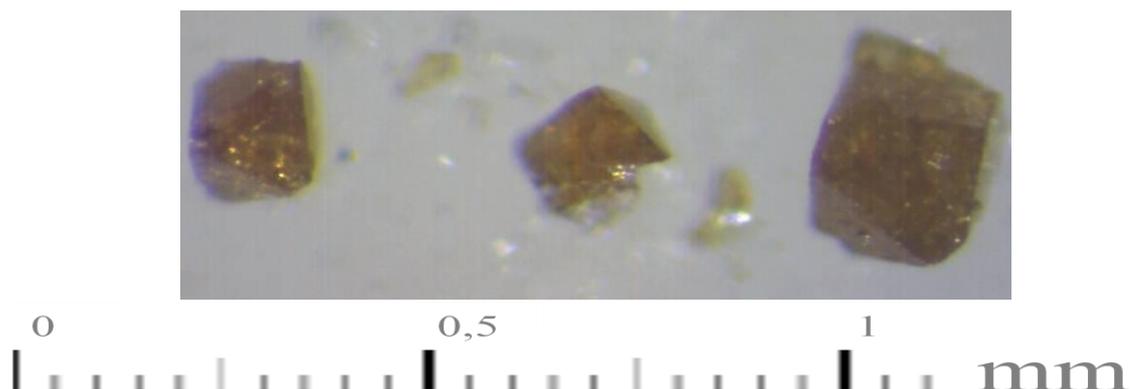


Figura 4.28: Cristais de oxicalcioroméita de coloração alaranjada encontrados na bacia do ribeirão Maynard.

Monazita $[(Ce,La,Nd, Sm)PO_4]$ - é encontrado como mineral acessório em pegmatitos, granitos e em areias de praia como sedimentos recentes (Figura 4.29). Também pode ocorrer como mineral acessório em kimberlitos e lamproítos. A monazita encontrada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard é granular, coloração marrom-alaranjada, brilho resinoso, fratura conchoidal, densidade relativa 5,15 e dureza 5,5.

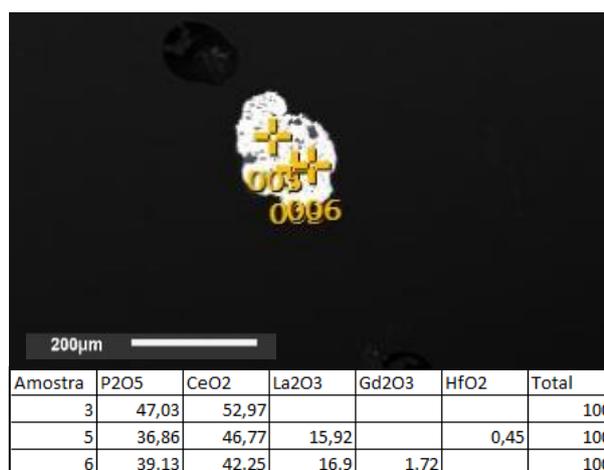


Figura 4.29: Cristal de monazita encontrado em uma amostra de concentrado de bateia do ribeirão Maynard.

Tremolita–Actinolita $[Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_8O_{22})(OH,F,Cl)_2]$ - $[Ca_2(Mg_{4,5-2,5},Fe_{0,5-2,5})_5(Si_8O_{22})(OH)_2]$ - trata-se de minerais do grupo dos anfibólios e formam uma solução sólida entre Mg e Fe. Cristalizam-se no sistema monoclinico prismático, e apresentam-se sob a forma de cristais aciculares ou prismáticos. Exibem coloração esverdeada e diafaneidade transparente a translúcida. Apresentam brilho vítreo, densidade relativa 3,04 e dureza 5,5. São minerais de origem essencialmente metamórfica, relativamente abundantes nas amostras de concentrados de bateia coletadas na porção sul da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard (Figura 4.30).

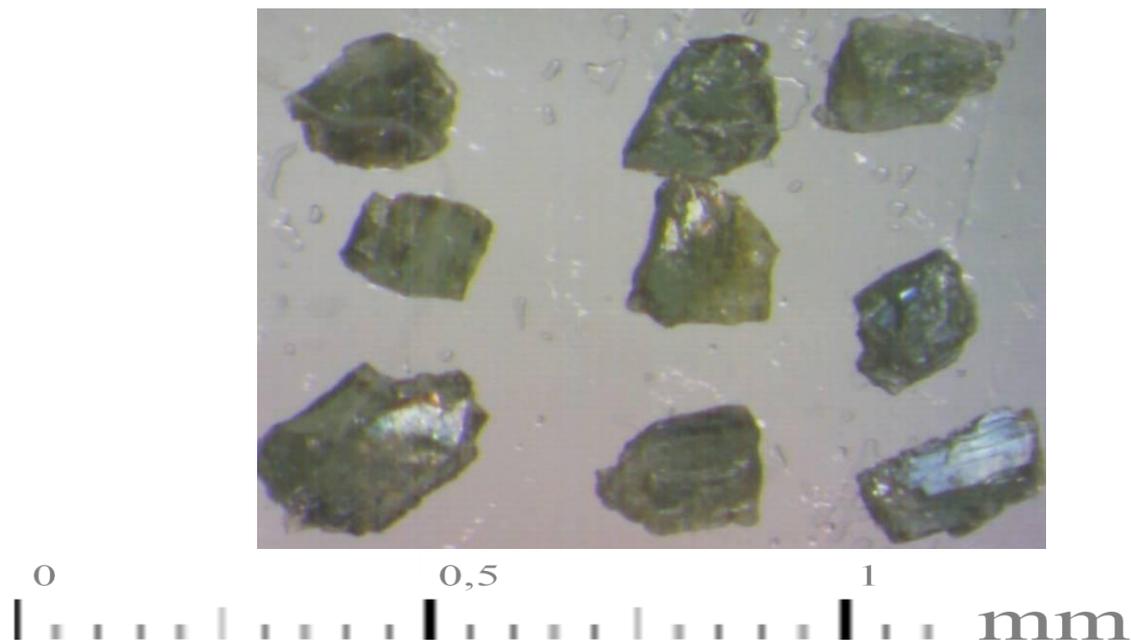


Figura 4.30: Grupo de cristais de tremolita-actinolita encontrado no concentrado de minerais pesados do ribeirão Maynart.

Grupo da Turmalina $NaFe^{2+}_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ - é mineral comum em pegmatitos graníticos gerados a partir de soluções hidrotermais. Ocorrem comumente, na coloração preta e verde, que correspondem à schorlita e elbaíta, respectivamente. As turmalinas pertencem ao sistema cristalográfico trigonal, e apresentam hábito prismático, fratura subconchoidal, brilho vítreo, densidade relativa 3,05 e dureza 7,5. São relativamente comuns nas amostras dos concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart (Figura 4.31).

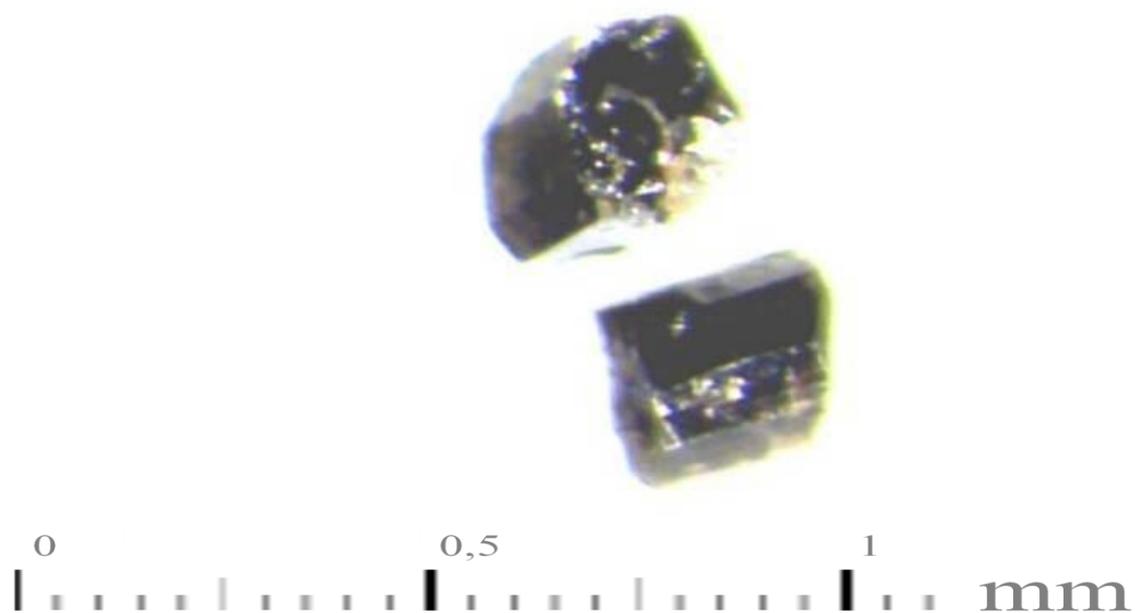


Figura 4.31: Cristais de turmalina variedade *schorl* encontrados nas amostras dos concentrados de minerais pesados.

Topázio [$Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$] - existente na região de Ouro Preto, é conhecido mundialmente pelo nome de “Imperial”, por causa de sua coloração típica alaranjada a avermelhada. O topázio cristaliza-se no sistema ortorrômbico. Possui hábito cristalino prismático, dureza 8, densidade relativa variando de 3,4 a 3,6, clivagem perfeita e fratura irregular a conchoidal (Figura 4.32).

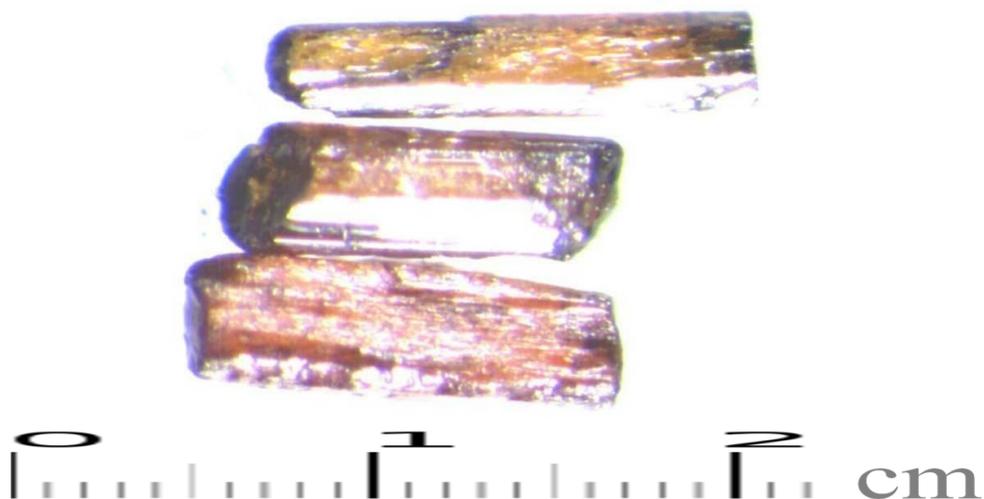


Figura 4.32: Cristais de topázio imperial encontrados em amostras de concentrados de minerais pesados coletados nos aluviões do ribeirão Maynart, Ouro Preto.

Euclásio [$BeAl(SiO_4)OH$] - é extremamente raro, associado a algumas ocorrências de topázio em Ouro Preto, MG. Possui clivagem perfeita, pertencente ao sistema monoclinico, cristaliza-se sob a forma prismática. Sua densidade relativa varia entre 2,99 a 3,1 e sua dureza é 7,5. Geralmente, apresenta coloração verde-azulado, apresenta brilho vítreo (Figura 4.33).

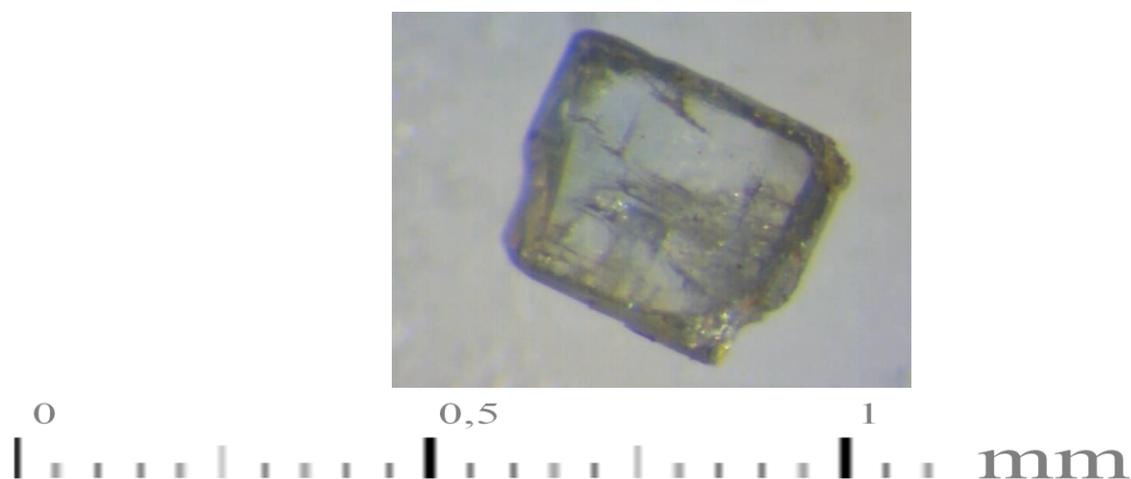


Figura 4.33: Cristal de euclásio encontrado nas amostras dos concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Berilo $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ - variedade pertencente ao grupo do berilo, geralmente associado a veios pegmatíticos. Apresenta coloração azul-esverdeado, dureza variando de 7,5 a 8, densidade relativa 2,68 a 2,74, apresenta clivagem indistinta, fratura conchoidal, cristaliza-se no sistema hexagonal sob a forma de prismas hexagonais. Mineral raro nas amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard (figura 4.34).

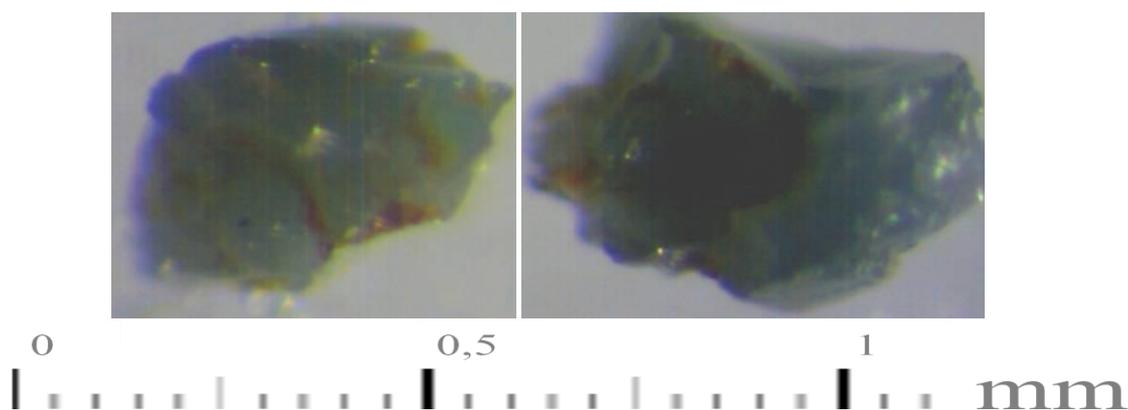


Figura 4.34: Cristais de berilo encontrados nas amostras dos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

CAPÍTULO 5

QUÍMICA MINERAL DE MINERAIS INDICADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS

Nesse capítulo serão analisadas três classes de minerais, identificados nas amostras de concentrado de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, usados como indicadores de depósitos minerais.

Os minerais separados para a química mineral foram analisados primeiramente no laboratório de microanálise do Degeo/UFOP, utilizando para tanto um MEV-EDS. As amostras que apresentam uma química mineral semiquantitativa mais representativa foram analisadas na microsonda eletrônica da UFMG.

A seguir, serão apresentados tanto os dados de química mineral encontrados no MEV-EDS do Degeo-UFOP, quanto os dados da microsonda da UFMG. Os padrões utilizados nas análises químicas dos grãos são os de rotina da microsonda eletrônica da UFMG e do MEV-EDS do Degeo-UFOP.

5.1 – Diopsídio $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

Os resultados da tabela 5.01 contém a química encontrada utilizando a microsonda da UFMG. Foram analisados 09 pontos em 03 grãos de diopsídio provenientes das amostras coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 55.46 | 55.90 | 57.61 | 56.54 | 55.90 | 56.18 | 55.66 | 56.66 | 55.44 |
| MgO | 17.97 | 18.22 | 19.21 | 18.56 | 19.46 | 19.31 | 19.26 | 20.03 | 18.94 |
| CaO | 11.73 | 11.41 | 11.97 | 10.86 | 12.24 | 12.16 | 12.30 | 12.65 | 12.13 |
| FeO | 9.45 | 9.15 | 8.60 | 10.34 | 6.94 | 7.47 | 7.33 | 6.42 | 7.07 |
| Al ₂ O ₃ | 3.22 | 3.01 | 1.24 | 2.49 | 2.59 | 2.99 | 2.93 | 2.29 | 2.90 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.39 | 0.29 | 0.37 | 0.26 | 0.53 | 0.66 | 0.44 | 0.43 | 0.50 |
| TOTAL | 98.22 | 97.98 | 98.99 | 99.05 | 97.66 | 98.78 | 97.92 | 98.48 | 96.99 |

Tabela 5.01: Composição química quantitativa de grãos de diopsídio.

Após a análise realizada na microsonda eletrônica da UFMG, foram separados mais 20 grãos de diopsídio e realizadas 49 análises nesses grãos no MEV-EDS no laboratório de microanálise do Degeo-UFOP (Tabela 5.2).

| Amostra | CaO | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MnO | Total |
|---------|-------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|--------|
| EDS01 | 12,44 | 0,73 | 19,18 | 2,47 | 55,63 | 0,00 | 9,26 | 0,28 | 99,99 |
| EDS02 | 9,00 | 0,76 | 17,56 | 2,00 | 54,88 | 0,38 | 15,42 | | 100,00 |
| EDS03 | 12,61 | 0,64 | 19,04 | 2,23 | 55,90 | 0,28 | 9,30 | | 100,00 |
| EDS04 | 12,50 | 0,66 | 21,36 | 2,86 | 56,67 | 0,06 | 5,89 | | 100,00 |
| EDS05 | 13,30 | 0,44 | 20,09 | 1,27 | 57,45 | 0,11 | 7,34 | | 100,00 |
| EDS06 | 11,97 | 0,64 | 18,03 | 3,26 | 54,85 | 0,45 | 10,79 | 0,28 | 100,27 |
| EDS07 | 12,62 | 0,65 | 19,39 | 2,52 | 56,35 | 0,35 | 8,12 | | 100,00 |
| EDS08 | 12,55 | 0,56 | 19,57 | 2,08 | 56,71 | 0,53 | 8,01 | | 100,01 |
| EDS09 | 12,52 | 0,51 | 19,18 | 1,60 | 56,90 | 0,58 | 8,71 | | 100,00 |
| EDS10 | 12,63 | 0,62 | 18,76 | 2,45 | 55,96 | 0,65 | 8,91 | | 99,98 |
| EDS11 | 12,17 | 0,60 | 18,14 | 2,73 | 55,66 | 0,22 | 10,48 | | 100,00 |
| EDS12 | 12,47 | 0,40 | 18,96 | 1,42 | 56,82 | 0,11 | 9,87 | | 100,05 |
| EDS13 | 12,77 | 0,62 | 19,80 | 2,06 | 56,42 | 0,87 | 7,45 | | 99,99 |
| EDS14 | 12,54 | 0,36 | 19,87 | 1,30 | 57,58 | 0,24 | 8,10 | | 99,99 |
| EDS15 | 12,31 | 0,64 | 18,91 | 2,27 | 56,01 | 0,49 | 9,37 | | 100,00 |
| EDS16 | 12,09 | 0,65 | 19,37 | 3,09 | 56,65 | 0,27 | 7,88 | | 100,00 |
| EDS17 | 11,96 | 0,54 | 18,85 | 2,78 | 56,05 | 0,37 | 9,45 | | 100,00 |
| EDS21 | 13,10 | 0,22 | 19,54 | 1,55 | 56,96 | 0,21 | 8,20 | 0,23 | 100,01 |
| EDS22 | 12,67 | 0,34 | 19,77 | 2,47 | 56,43 | 0,16 | 7,82 | 0,20 | 99,86 |
| EDS23 | 13,35 | 0,00 | 20,53 | 0,32 | 58,48 | 0,00 | 7,12 | 0,20 | 100,00 |
| EDS24 | 12,93 | 0,25 | 19,67 | 1,67 | 57,47 | 0,22 | 7,78 | 0,00 | 99,99 |
| EDS25 | 12,80 | 0,28 | 19,32 | 1,99 | 56,92 | 0,22 | 8,20 | 0,27 | 100,00 |
| EDS26 | 12,56 | 0,41 | 18,64 | 2,95 | 55,93 | 0,34 | 8,73 | 0,27 | 99,83 |
| EDS27 | 13,11 | 0,32 | 19,50 | 2,34 | 56,77 | 0,35 | 7,26 | 0,35 | 100,00 |
| EDS28 | 12,22 | 0,31 | 19,57 | 1,71 | 57,11 | 0,39 | 8,23 | 0,46 | 100,00 |
| EDS29 | 12,70 | 0,43 | 19,27 | 3,11 | 55,96 | 0,57 | 7,64 | 0,33 | 100,01 |
| EDS30 | 13,07 | 0,25 | 19,87 | 1,91 | 57,15 | 0,53 | 6,95 | 0,26 | 99,99 |
| EDS31 | 12,85 | 0,33 | 20,85 | 2,45 | 57,36 | 0,18 | 5,77 | 0,21 | 100,00 |
| EDS32 | 12,43 | 0,29 | 21,76 | 2,72 | 57,54 | 0,21 | 5,05 | 0,00 | 100,00 |
| EDS33 | 12,78 | 0,45 | 19,21 | 3,19 | 56,29 | 0,46 | 7,30 | 0,31 | 99,99 |
| EDS34 | 13,41 | 0,15 | 20,53 | 1,19 | 58,20 | 0,00 | 6,27 | 0,26 | 100,01 |
| EDS35 | 12,77 | 0,42 | 19,32 | 2,71 | 55,96 | 0,54 | 8,11 | 0,18 | 100,01 |
| EDS36 | 12,31 | 0,53 | 18,22 | 3,26 | 55,32 | 0,55 | 9,49 | 0,32 | 100,00 |
| EDS37 | 12,23 | 0,78 | 16,83 | 4,99 | 53,64 | 0,26 | 10,84 | 0,24 | 99,81 |
| EDS38 | 12,96 | 0,39 | 18,46 | 2,56 | 56,05 | 0,13 | 9,23 | 0,23 | 100,01 |
| EDS39 | 13,06 | 0,16 | 19,33 | 1,39 | 57,50 | 0,17 | 8,17 | 0,22 | 100,00 |
| EDS40 | 13,07 | 0,00 | 19,14 | 1,33 | 57,56 | 0,00 | 8,67 | 0,24 | 100,01 |
| EDS41 | 12,63 | 0,24 | 19,32 | 1,60 | 57,31 | 0,32 | 8,36 | 0,22 | 100,00 |
| EDS42 | 12,94 | 0,25 | 19,47 | 1,48 | 57,40 | 0,39 | 7,86 | 0,20 | 99,99 |
| EDS43 | 11,60 | 0,37 | 19,86 | 4,35 | 56,39 | 0,35 | 6,88 | 0,19 | 99,99 |
| EDS44 | 12,85 | 0,31 | 19,05 | 2,59 | 56,67 | 0,42 | 7,85 | 0,27 | 100,01 |
| EDS45 | 12,76 | 0,39 | 19,64 | 2,63 | 56,88 | 0,37 | 7,02 | 0,33 | 100,02 |
| EDS46 | 12,71 | 0,25 | 20,38 | 1,84 | 57,67 | 0,29 | 6,59 | 0,26 | 99,99 |
| EDS47 | 13,08 | 0,00 | 20,94 | 0,17 | 58,88 | 0,00 | 6,61 | 0,32 | 100,00 |
| EDS48 | 12,04 | 0,47 | 18,48 | 2,64 | 56,14 | 0,43 | 9,45 | 0,35 | 100,00 |
| EDS49 | 13,08 | 0,31 | 20,08 | 2,23 | 57,15 | 0,51 | 6,38 | 0,25 | 99,99 |
| EDS50 | 12,16 | 0,31 | 21,29 | 2,52 | 57,50 | 0,52 | 5,53 | 0,18 | 100,01 |
| EDS51 | 13,01 | 0,16 | 20,42 | 0,92 | 58,26 | 0,00 | 6,96 | 0,26 | 99,99 |
| EDS52 | 12,75 | 0,26 | 19,75 | 2,11 | 57,19 | 0,14 | 7,47 | 0,33 | 100,00 |

Tabela 5.02: Composição química semiquantitativa de grãos de diopsídio da amostra DRM-SG-005.

Quirt (2004) apresenta o diagrama Wollastonita ($\text{Ca}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$) vs Ferrossilita ($\text{Fe}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$) vs Enstatita ($\text{Mg}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$) (Figura 5.01) no qual são inseridos os dados de química mineral de clinopiroxênios encontrados nos kimberlitos do Canadá. Nota-se que apesar das amostras de diopsídio

dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard encontrarem-se no campo dos minerais indicadores de diamante, esses se concentram fora do campo dos "diamante clinopiroxênio eclogítico" e dos "diamante peridotítico".

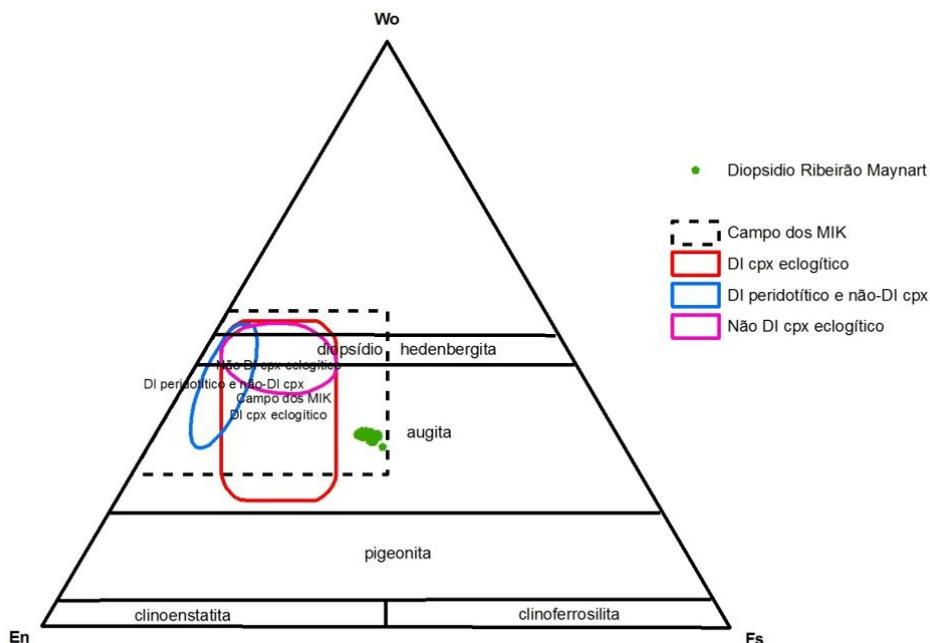


Figura 5.01: Diagrama ternário ($\text{Ca}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$ vs $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$ vs $\text{Mg}_2\text{O}_2\text{SiO}_6$) aplicado aos cristais de diopsídio encontrados nas amostras de concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, modificado de Quirt (2004).

Analisando os teores de Cr_2O_3 vs CaO proposto por Fipke *et al.* (1989) para distinguir clinopiroxênios provenientes de kimberlitos, conclui-se que apesar das análises da amostra de diopsídio do ribeirão Maynard ter um *trend* de correlação positiva de cristalização próximo à cristalização encontrada nos kimberlitos (Figura 5.02), os teores de CaO e Cr_2O_3 encontrados são consideravelmente menores que os teores de CaO e Cr_2O_3 de diopsídio proveniente de kimberlitos.

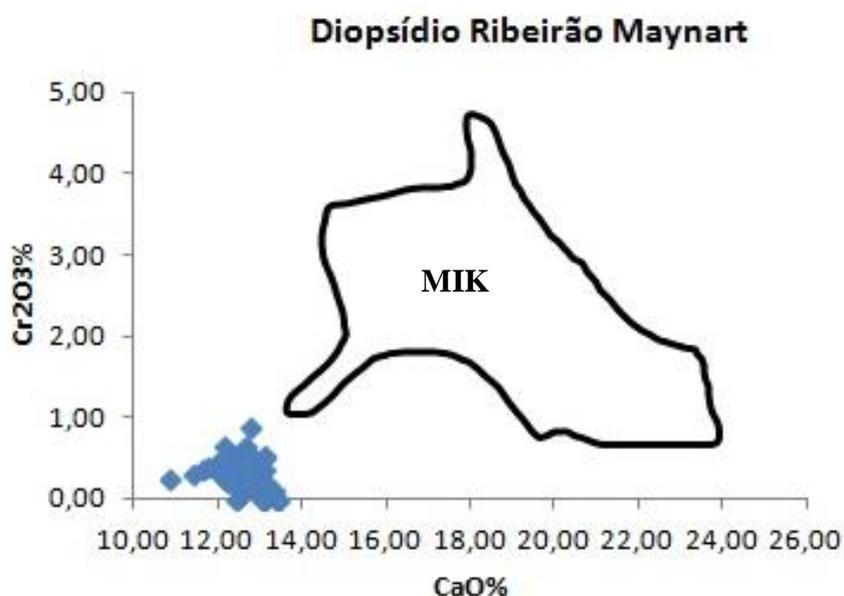


Figura 5.02: Diagrama químico de CaO vs Cr₂O₃ de cristais de diopsídio encontrados em concentrado de bateia coletadas no ribeirão Maynard. Campo MIK (Minerais Indicadores de Kimberlitos) definido por Fipke *et al.* (1989).

Analisando os teores de Cr₂O₃ vs Al₂O₃ segundo definição de Ramsay (1995) (Figura 5.03) conclui-se que os cristais de diopsídio analisados provenientes dos concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard cristalizaram-se em um ambiente de transição entre um manto eclogítico e um manto granada-peridotítico. Refinando esse resultado, segundo proposta do mesmo autor (Ramsay 1995), analisam-se os teores de Al₂O₃ vs MgO (Figura 5.04) e observa-se que as análises caem no campo essencialmente do “granada-peridotito”, porém, com a coincidência dos valores sobre o “campo de cristalização do diamante”.

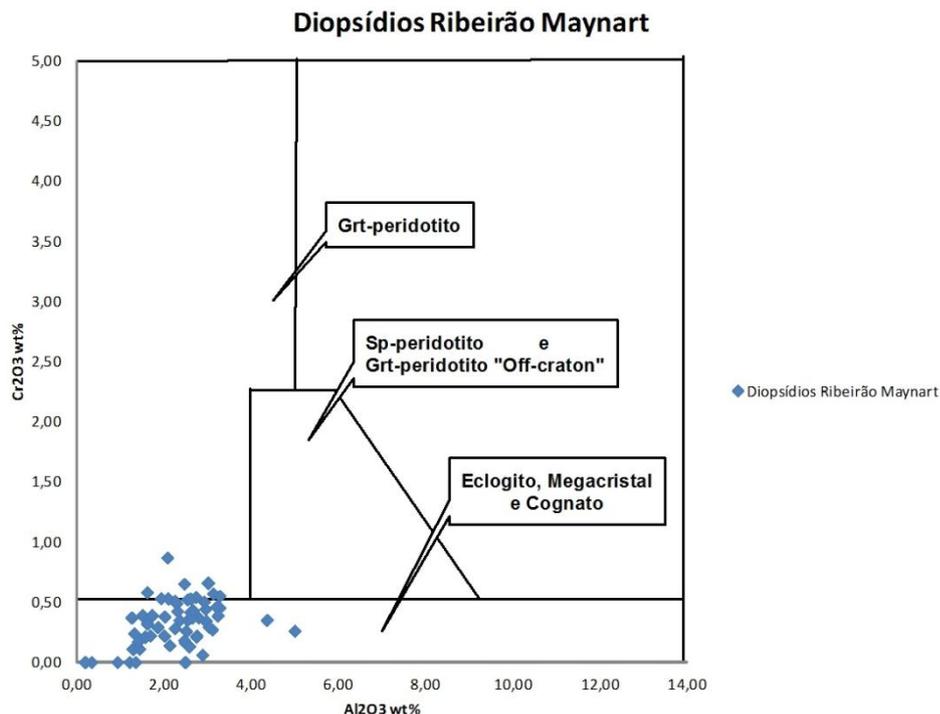


Figura 5.03: Relação Cr_2O_3 vs Al_2O_3 em diopsídio encontrados nos concentrados de bateia coletadas no ribeirão Maynard, aplicado ao diagrama de Ramsay (1995).

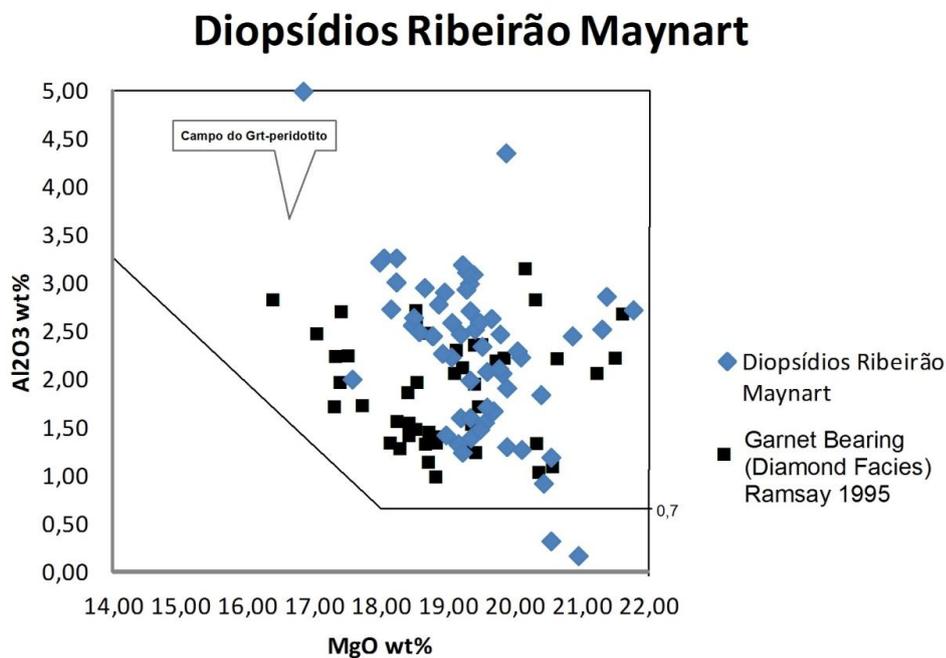


Figura 5.04: Relação Al_2O_3 vs MgO em diopsídio encontrados nos concentrados de bateia coletadas no ribeirão Maynard, modificado de Ramsay (1995).

5.2 – Gahnita $ZnAl_2O_4$

A gahnita pertence ao Grupo do Espinélio e é rica em zinco. A gahnita é usada como indicador de depósitos de sulfetos maciços metamorfizados de Pb-Zn-Ag do tipo Broken Hill (Chew 1977) e depósitos de elementos raros associados a pegmatitos (Cerny 1991; Morris *et al.* 1997). A gahnita analisada nas amostras de concentrados de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart (Tabela 5.03) apresenta alto teor de Al_2O_3 (55,92%), médio teor de ZnO (40,41%) e baixo teor de FeO (4,41%). Os valores de MgO nas análises foram muito baixos. Analisando os diagramas propostos por Batchelor & Kinnaird (1984) e Morris *et al.* (1997), sugere-se que as amostras de gahnita provenientes dos concentrados de bateia das amostras do ribeirão Maynart podem ter se formado em quatro ambientes distintos:

1. depósitos metamorfizados de sulfetos maciços encaixados em rochas metavulcânicas e metassedimentares alteradas hidrotermalmente à Fe-Al;
2. metabauxitas;
3. pegmatitos;
4. rochas metavulcânicas e metassedimentares não alteradas não alteradas hidrotermalmente e alteradas ricas em Fe-Al.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Al_2O_3 | 56,06 | 55,90 | 55,84 | 55,85 | 56,24 | 56,46 | 55,51 | 56,48 | 55,98 | 55,05 | 55,72 | 55,91 |
| ZnO | 39,28 | 39,84 | 39,07 | 39,49 | 40,13 | 40,54 | 40,69 | 42,40 | 41,25 | 40,90 | 41,08 | 40,22 |
| FeO | 5,23 | 4,84 | 5,00 | 5,13 | 5,27 | 5,07 | 2,86 | 2,95 | 3,24 | 4,65 | 4,71 | 3,98 |
| SiO_2 | 0,05 | 0,16 | 0,12 | 0,00 | 0,10 | 0,04 | 0,38 | 0,11 | 0,14 | 0,07 | 0,02 | 0,09 |
| TiO_2 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MnO | 0,05 | 0,01 | 0,06 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,04 |
| CaO | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| TOTAL | 100,72 | 100,79 | 100,12 | 100,50 | 101,89 | 102,12 | 99,52 | 101,98 | 100,66 | 100,69 | 101,62 | 100,29 |

Tabela 5.03: Análise química quantitativa dos grãos de gahnita recuperados na amostragem de concentrados de bateia.

Após a análise dos grãos de gahnita na microsonda eletrônica da UFMG, foram analisados 20 pontos em 10 grãos de gahnita dos concentrados de bateia do ribeirão Maynart. Os resultados são apresentados na tabela 5.04.

| Amostra | MgO | Al ₂ O ₃ | FeO | ZnO | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | MnO | WO ₃ | Total |
|---------|------|--------------------------------|-------|-------|------------------|--------------------------------|------|-----------------|--------|
| EDS54 | 0,48 | 54,17 | 4,55 | 40,46 | | | | 0,34 | 100,00 |
| EDS55 | 0,48 | 54,12 | 4,87 | 39,99 | | | 0,13 | 0,41 | 100,00 |
| EDS56 | 0,25 | 54,81 | 4,52 | 40,07 | | | | 0,35 | 100,00 |
| EDS57 | 0,31 | 54,42 | 4,46 | 40,82 | | | | | 100,01 |
| EDS58 | 0 | 54,83 | 4,37 | 40,79 | | | | | 99,99 |
| EDS59 | 0 | 54,12 | 4,58 | 41,3 | | | | | 100,00 |
| EDS60 | 0,37 | 55,07 | 4,17 | 40,39 | | | | | 100,00 |
| EDS61 | 0,46 | 53,9 | 4,48 | 40,8 | | | | 0,38 | 100,02 |
| EDS62 | 0,41 | 54,39 | 4,62 | 40,24 | | | | 0,35 | 100,01 |
| EDS63 | 0,4 | 53,67 | 4,65 | 41,29 | | | | | 100,01 |
| EDS3 | 0,18 | 48,34 | 4,5 | 46,69 | | 0,29 | | | 100,00 |
| EDS1 | 0,3 | 52,6 | 4,67 | 41,97 | | 0,47 | | | 100,01 |
| EDS2 | 0,25 | 40,41 | 30,03 | 26 | 2,96 | 0,34 | | | 99,99 |
| EDS4 | 0,31 | 53,55 | 4,51 | 41,64 | | 0,00 | | | 100,01 |
| EDS5 | 0,76 | 51,59 | 5,22 | 39,65 | | 2,78 | | | 100,00 |
| EDS6 | 0,7 | 52,1 | 5,34 | 39,22 | | 2,64 | | | 100,00 |
| EDS7 | 0,44 | 53,32 | 5,67 | 39,48 | | 1,08 | | | 99,99 |
| EDS8 | 0,45 | 53,16 | 5,81 | 39,43 | | 1,16 | | | 100,01 |
| EDS9 | 0,27 | 53,95 | 3,93 | 41,34 | | 0,51 | | | 100,00 |
| EDS10 | 0,23 | 53,95 | 3,84 | 41,73 | | 0,26 | | | 100,01 |

Tabela 5.04: Análise química semiquantitativa dos grãos de gahnita recuperados na amostragem de concentrados de bateia do ribeirão Maynard.

A figura 5.05 mostra a relação entre ZnO vs MgO vs FeO para os grãos de gahnita encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, onde sugere-se que esses espécimens derivaram de pelos menos um de quatros ambientes distintos propostos por Heimann *et al.* (2005): 3 - sulfetos massivos de zinco metamorfizados e encaixados em rochas metassedimentares ricas em Fe-Al e ou metavulcânicas; 4 - metabauxitas; 5 - pegmatitos; 6 - rochas metavulcânicas e metassedimentares ricas em Fe-Al, alteradas e não alteradas hidrotermalmente.

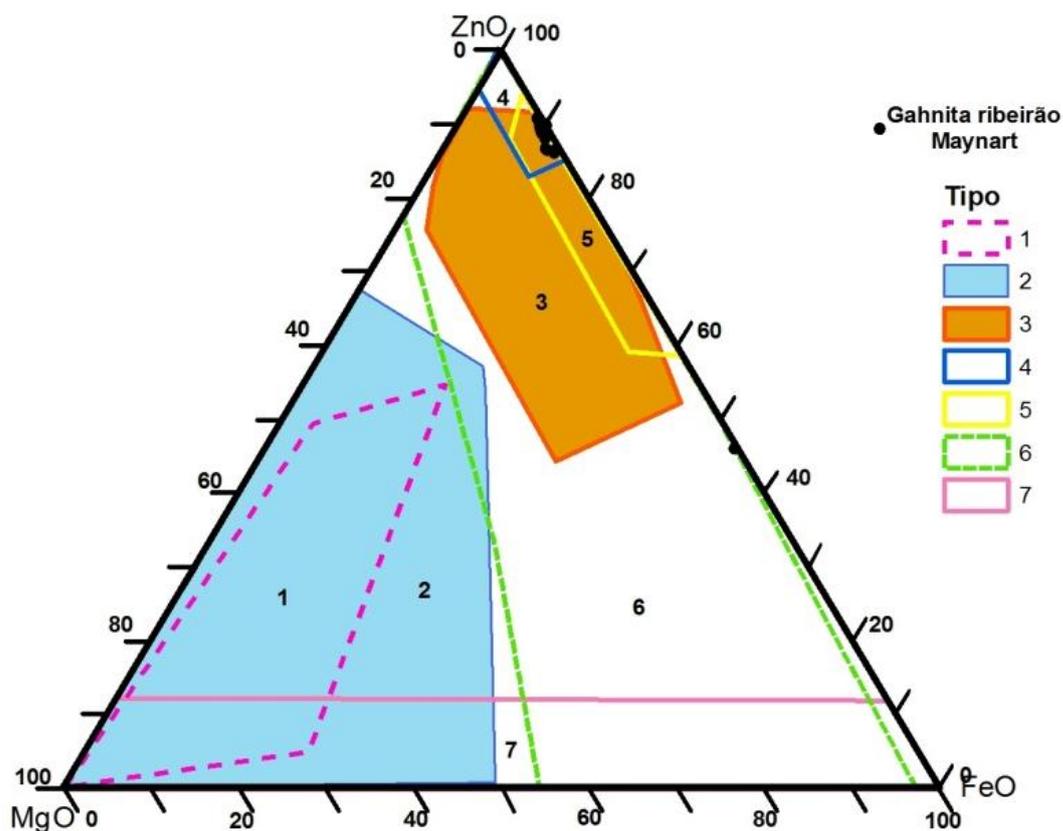


Figura 5.05: Diagrama ternário Spnl-Gah-Herc modificado de Spry & Scott (1986) e Heimann *et al.* (2005) com a composição química das amostras de gahnita coletadas nos concentrados de bateia do ribeirão Maynard que coincidem com os quatro campos do diagrama: 3; 4; 5 e 6. Sendo que os campos são assim interpretados: 1) margas; 2) depósitos metamorfizados de sulfetos maciços e rochas pobres em "S" em zonas de alteração hidrotermal à Mg-Ca-Al; 3) depósitos metamorfizados de sulfetos maciços em rochas metavulcânicas e metassedimentares alteradas à Al-Fe; 4) Metabauxitas; 5) Pegmatitos; 6) Rochas metavulcânicas e metassedimentares não alteradas hidrotermalmente e alteradas ricas em Fe-Al.

Analisando os teores de ZnO vs FeO vs Al₂O₃ observa-se que existe uma correlação entre os valores de zinco e alumínio e somente uma amostra apresentou um teor anômalo em ferro, sugerindo que esses grãos possam estar associados a rochas aluminosas (Figura 5.06).

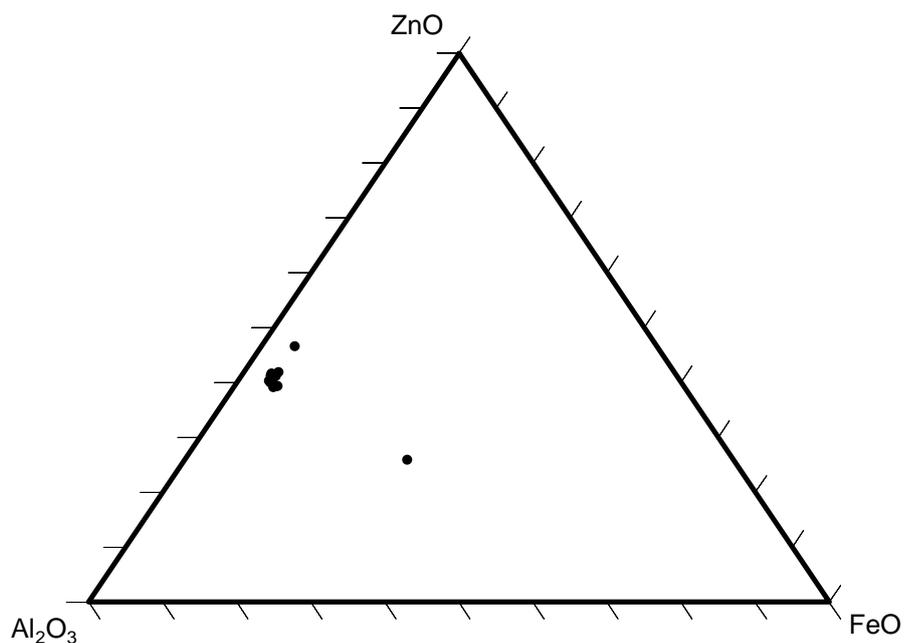


Figura 5.06: Análise ZnO vs FeO vs Al₂O₃ para a gahnita proveniente dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard.

Analisando o gráfico Al₂O₃ vs FeO observa-se que há um enriquecimento de alumínio nas amostras, enquanto os teores de ferro tendem a se manterem estáveis (Figura 5.07).

Gahnita - Ribeirão Maynard

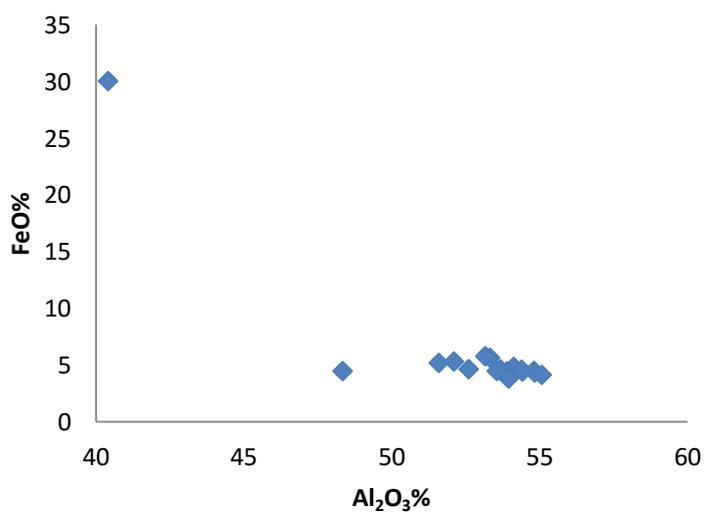


Figura 5.07: Dispersão dos valores de Al₂O₃ vs ZnO.

5.3 – Oxalcioroméita $\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_6\text{O}$

A oxalcioroméita é um titano-antimoniato descrito por Hussak & Prior (1895) na mineralização de cinábrio localizada no Tripuí, Ouro Preto. A tabela 5.05 apresenta as análises químicas das amostras coletadas em concentrados de minerais pesados provenientes da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. Essas amostras pertencem a duas populações distintas de TiO_2 (6.99% e 0.11%). Analisando os baixos teores de Ti, pode-se afirmar que do ponto de vista químico essas amostras estão mais relacionadas à romeita. Segundo a Comissão de Novos Minerais, Nomenclatura e Classificação (CNMNC) a oxalcioroméita seria uma roméita rica em Ti (Burke 2006).

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Sb ₂ O ₅ | 71.48 | 71.76 | 72.76 | 72.24 | 72.08 | 72.09 | 71.36 | 76.64 | 76.97 | 73.94 | 72.66 | 73.11 | 71.99 | 71.56 | 73.60 | 72.62 | 77.94 |
| CaO | 17.39 | 17.33 | 17.10 | 17.19 | 16.81 | 17.21 | 17.44 | 16.08 | 15.96 | 16.38 | 17.23 | 16.63 | 16.57 | 16.72 | 17.68 | 16.36 | 14.85 |
| TiO ₂ | 7.14 | 7.21 | 7.32 | 8.00 | 8.24 | 7.73 | 6.82 | 0.03 | 0.28 | 6.08 | 7.76 | 5.97 | 8.44 | 8.33 | 2.83 | 5.99 | 0.03 |
| FeO | 4.30 | 4.43 | 4.56 | 4.26 | 4.28 | 4.13 | 4.31 | 2.28 | 1.62 | 4.46 | 4.27 | 4.65 | 4.38 | 4.27 | 5.47 | 4.73 | 1.06 |
| Na ₂ O | 0.37 | 0.35 | 0.33 | 0.40 | 0.26 | 0.32 | 0.39 | 4.23 | 4.73 | 0.58 | 0.74 | 0.63 | 0.19 | 0.25 | 0.66 | 0.73 | 5.25 |
| TOTAL | 100.68 | 101.07 | 102.06 | 102.09 | 101.67 | 101.48 | 100.33 | 99.27 | 99.56 | 101.43 | 102.66 | 100.99 | 101.56 | 101.13 | 100.24 | 100.42 | 99.12 |

Tabela 5.05: Resultado das análises químicas dos cristais de oxalcioroméita encontrados em concentrados de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Considerando os teores de Sb_2O_5 vs TiO_2 vs CaO plotados na figura 5.08 observa-se claramente as duas populações químicas encontradas nas amostras de minerais pesados analisadas. Os valores de titânio dessa população de minerais está diretamente relacionada ao teor de Sb_2O_5 (72,37% e 77,18%), respectivamente (Figura 5.09). O teor de antimônio nas amostras coletadas no ribeirão Maynard é consideravelmente mais elevado em relação às amostras descritas por Hussak & Prior (1895) que fica em torno de 66,82% de Sb_2O_5 .

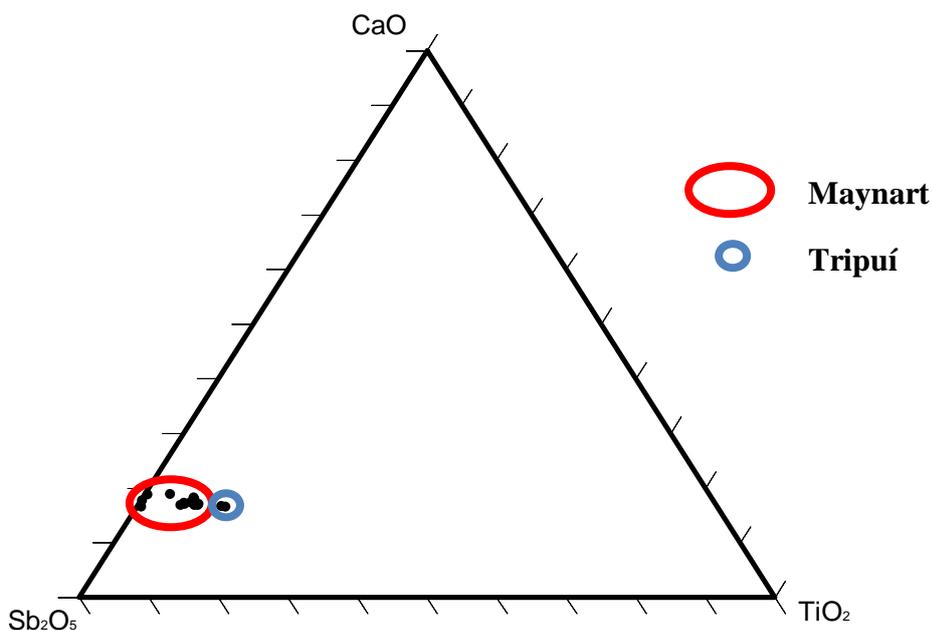


Figura 5.08: Diagrama Sb_2O_5 vs TiO_2 vs CaO com as duas populações de oxicalcioroméita encontradas nas amostras de minerais pesados coletados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

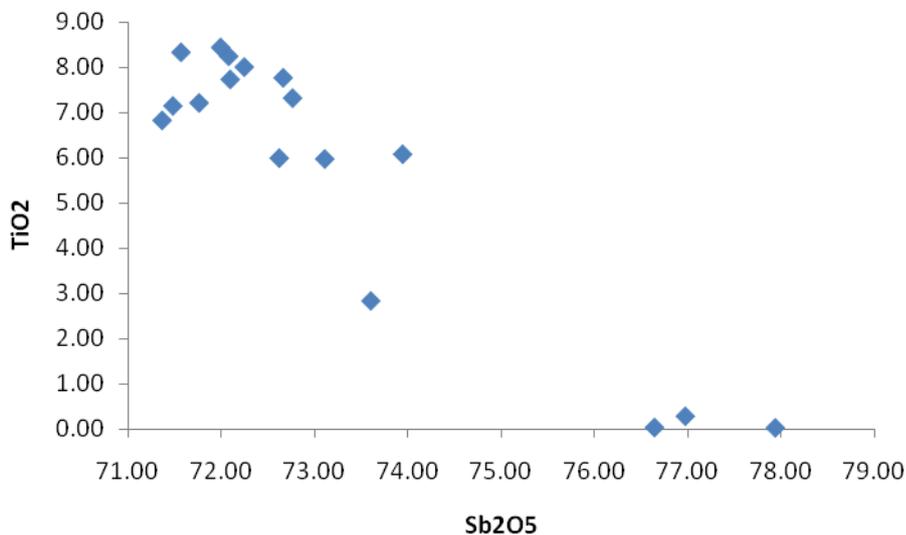


Figura 5.09: Relação Sb_2O_5 vs TiO_2 das amostras de oxicalcioroméita dos concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Considerando os teores de TiO_2 vs Na_2O observa-se que há uma correlação negativa entre esses elementos (Figura 5.10), caracterizando muito bem as duas populações químicas existentes nas amostras analisadas.

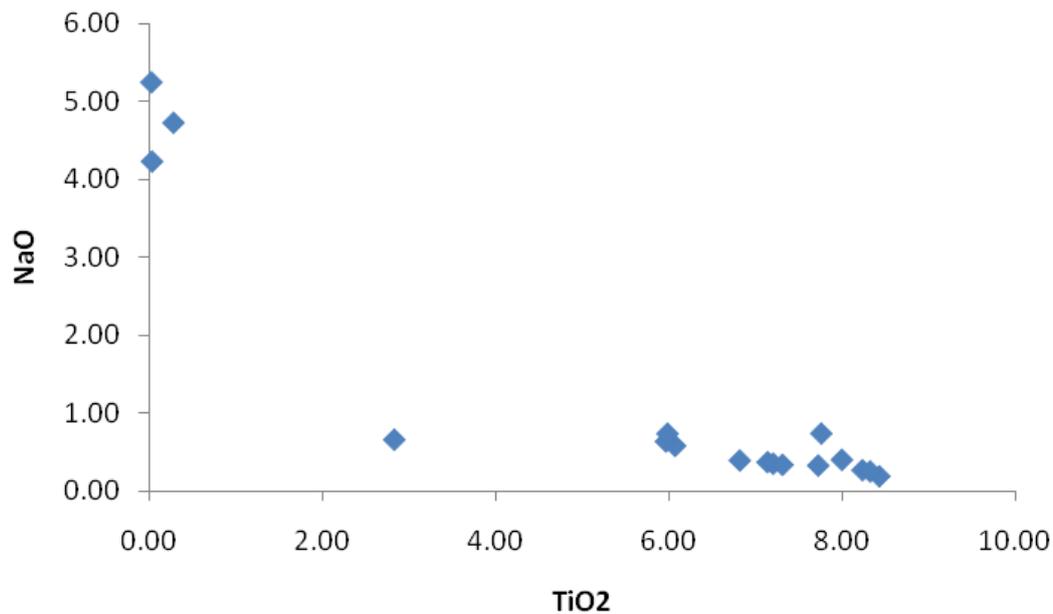


Figura 5.10: Correlação negativa entre TiO_2 vs Na_2O observada nas amostras de oxicalcioroméita.

Aparentemente, analisando os teores FeO vs Na_2O observa-se que o padrão de correlação negativa para esses elementos se mantém, porém há um fracionamento químico que se relaciona ao ambiente de cristalização, provavelmente, hidrotermal dos grãos analisados (Figura 5.11).

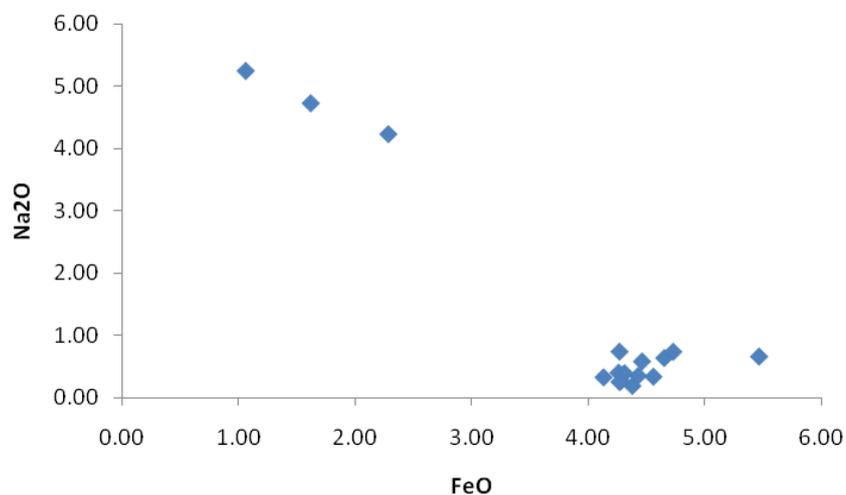


Figura 5.11: Diagrama FeO vs Na_2O com a variação composicional das amostras de oxicalcioroméita analisadas dos concentrados de bateia do ribeirão Maynard.

6.1 - Ocorrência de diamante em Ouro Preto

A ocorrência de diamante em Ouro Preto é um assunto que vem sendo investigado desde o final do século XVIII. Porém, ainda no período colonial brasileiro, havia apenas suspeita que cristais de diamante fossem explorados na região de Ouro Preto. Com o passar do tempo, e com a evolução do conhecimento técnico-científico, alguns trabalhos foram realizados no intuito de se solucionar o problema da ocorrência de diamante em Ouro Preto. Entre os trabalhos realizados, vale citar o período de 05 anos despendido pelo DNPM, nos primórdios de sua criação, tentando sanar qualquer dúvida que houvesse a respeito da ocorrência de diamante nessa região. Apesar de ter atestado a ocorrência, o trabalho realizado pelo DNPM foi inconclusivo em relação à fonte desses minerais. Outras ocorrências foram citadas, sempre localizadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart. Entretanto, apesar de relatos de garimpeiros a respeito de recuperações de diamante de até 14 ct, um único exemplar desse mineral pode ser observado no Setor de Mineralogia I do Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP. Trata-se de um cristal octaédrico de 1,6 ct, incolor e que possui estruturas de absorção magmática como *trígonos* e *steps*. Outra feição interessante desse exemplar é o fato dele ter uma das faces fraturada, onde conclui-se que esse grão sofreu um transporte até ter sido recuperado nas margens do ribeirão Maynart na localidade de Santo Antônio do Salto, Ouro Preto, no ano de 1994.

6.2 - Amostragem e identificação de minerais pesados usados como indicadores de fontes primárias diamantíferas e de metais base

Uma das formas de se verificar a possibilidade da existência de uma rocha portadora de diamante são a amostragem, identificação e caracterização de minerais pesados em ambientes aluvionares. Apesar de serem uma técnica trabalhosa, os resultados obtidos, geralmente são muito bons. Nesse trabalho puderam-se ser identificadas 34 fases minerais distintas, formadoras de rochas. Dentre as espécimes identificadas destacam-se os minerais usados como guias de depósitos primários de diamante: piropo, cromita, ilmenita e diopsídio. Desses, somente o diopsídio foi analisado do ponto de vista químico quantitativo. Escolheu-se essa espécime em função de sua abrangência na área e também por se tratar de um mineral que se altera facilmente em ambiente de intemperismo químico acentuado como ocorre nas drenagens da região do Quadrilátero Ferrífero. Portanto, a recuperação de grãos de diopsídio relaciona-se à proximidade da fonte desses grãos.

Vale destacar, que além de minerais indicadores de fontes primárias diamantíferas, foram recuperados, identificados e analisados minerais que se associam a depósitos minerais de metais, como ouro, platina, sulfetos, gahnita e oxicalcioroméita.

Portanto, a amostragem de minerais pesados, sua identificação e caracterização é um método eficaz como critério de exploração mineral para a descoberta de novos depósitos.

6.3 - Diopsídio

Na região da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard ocorrem, além do diopsídio, pirolo, minerais do Grupo do Espinélio e ilmenita, que podem estar associados às fontes primárias diamantíferas. Esses minerais vêm sendo estudados ao longo dos últimos 40 anos, em depósitos primários diamantíferos em praticamente todos os continentes da Terra. No caso específico da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, escolheu-se estudar o diopsídio em razão de sua relativa abrangência na área e, também, por se tratar de um mineral com uma característica química bem definida para depósitos primários diamantíferos.

Considerando a classificação dos clinopiroxênios proposta por Stephens & Dawson (1977), observa-se que os grãos de diopsídio analisados provenientes dos concentrados de bateia coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard (Figura 6.01) se enquadram na categoria C1: diopsídio sub-cálcico.

Segundo Harggety (1986) os cristais de diamante de origem peridotítica se formam em ambientes de manto depletado, caracterizado pelos altos teores de MgO e Cr₂O₃ e baixo nível de CaO, que é observado na química dos grãos de diopsídio encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, porém com a ressalva dos teores de Cr₂O₃ que são mais baixos do que os teores de Cr₂O₃ em diopsídios de origem kimberlítica. Entretanto, segundo Quirt (2004), piroxênio de origem eclogítica tem baixos valores de Cr (<0,50%), o que pode ser relacionado ao diopsídio analisado nas amostras de minerais pesados da bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. Mitchel & Bergman (1991) relata que diopsídio com alto teor de Al₂O₃ (2,63%) é encontrado em macro-cristais em amostras de xenólitos provenientes de lamproitos.

Considerando os diagramas propostos por Ramsay (1995), quando se analisa o teor de Al₂O₃ vs Cr₂O₃ para esses minerais, percebe-se que os mesmos cristalizaram em um ambiente mantélico, de composição peridotítica e/ou eclogítica. Aplicando o diagrama de Al₂O₃ vs MgO, sugerido por Ramsay (1995), para definir a química apropriada para os clinopiroxênios recuperados em concentrados de minerais pesados, favoráveis à mineralização de diamantes, pode-se concluir que os cristais de diopsídio encontrados no ribeirão Maynard, além de terem se cristalizados em uma região do manto peridotítico e/ou eclogítico, esses coincidem com o campo de cristalização dos diamantes.

Assim sendo, os diamantes encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard, muito provavelmente, associam-se a uma fonte de origem primária e correlacionam-se aos clinopiroxênios recuperados e analisados. Porém, avaliando o diagrama de Fipke *et. al* (1989), conclui-se que apesar da relação CaO vs MgO das amostras de diopsídio encontrado no concentrado de minerais pesados apresentarem uma correlação positiva, essa encontram-se fora do *trend* da composição química dos

diopsídios provenientes de kimberlitos. Portanto, apesar de terem se cristalizados em ambientes propícios à cristalização de diamante (Ramsay 1995) os grãos de diopsídio analisados encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard não provem de kimberlitos, segundo modelo proposto por Fipke *et al.* (1989). Conclui-se então, que os clinopiroxênios analisados nas amostras do ribeirão Maynard podem se classificar como diopsídios sub-cálcicos, derivados de um manto eclogítico e/ou peridotítico, que podem ser encontrados como xenocristais em lamproítos (Mitchell & Bergman, 1991).

Como o diopsídio se altera muito facilmente em ambientes de intemperismo químico acentuado (Pereira 2001), sua recuperação em amostras de concentrados de bateia, indica que essa fase mineral encontra-se muito próximo à fonte e, conseqüentemente, essa rocha ainda encontra-se preservada.

Como sugestão, os trabalhos de verificação da rocha fonte de diamante encontrado na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard deverão ser precedidos de um adensamento amostral que possibilite a individualização mais precisa da localização da rocha que está sendo erodida e, conseqüentemente, é responsável pela deposição destes minerais nos ambientes de concentração das drenagens e um *follow-up* (mapeamento geológico ao longo da drenagem anômala para esses minerais), que possibilite o mapeamento e a amostragem dessa rocha.

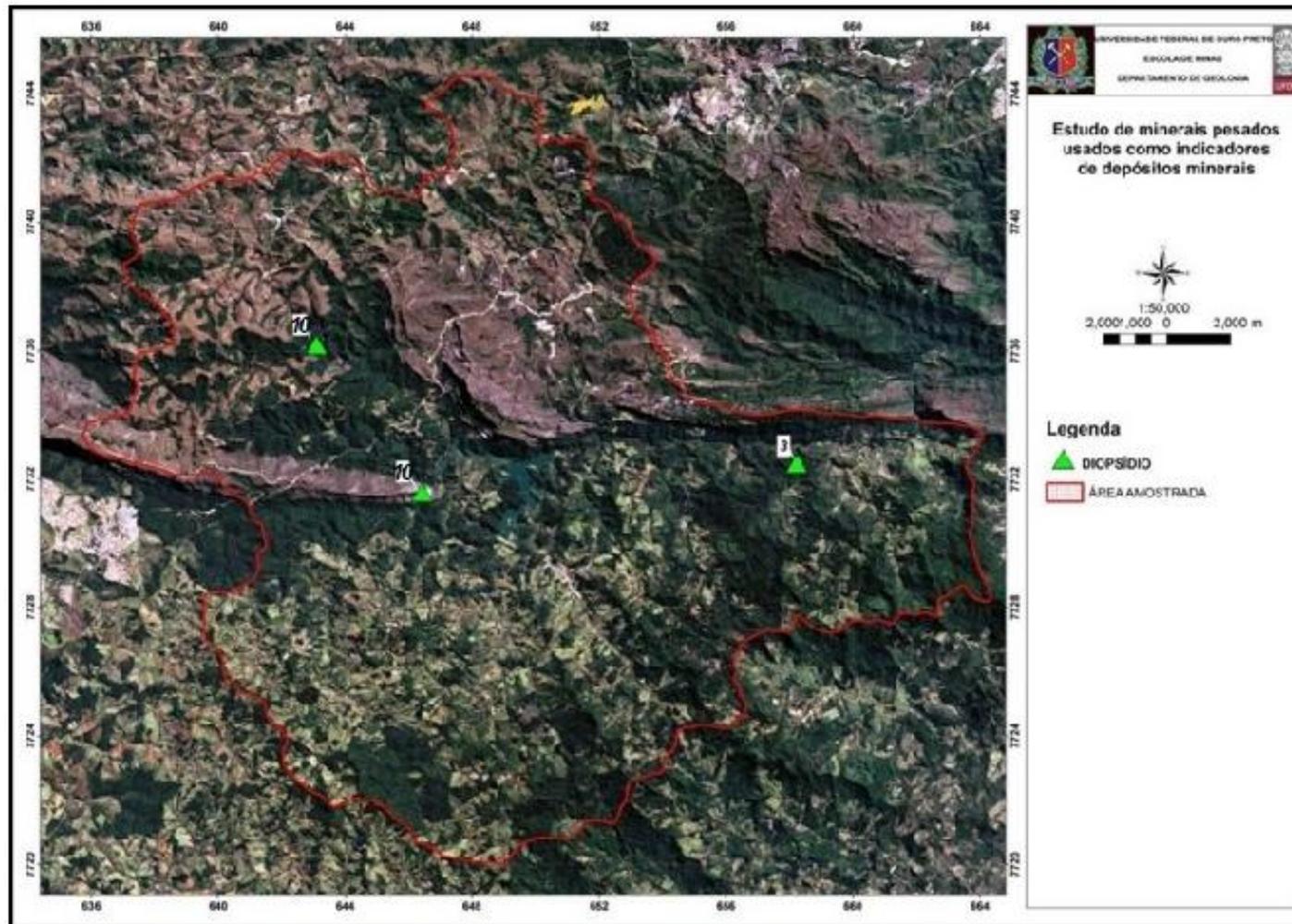


Figura 6.01: Ocorrência de diopsídio sub-cálcico na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart

6.4 - Gahnita

A gahnita é um dos mineirais do Grupo do Espinélio e é zincífero. Ocorre como acessório em granitos e pegmatitos, em rochas metamórficas de médio para alto grau, em depósitos de sulfetos maciços metamorfizados e em *placers* como minerais pesados.

A composição química dos cristais de gahnita encontrados nas amostras de minerais pesados coletadas na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard sugere que eles foram formadas em pelo menos quatro ambientes distintos de formação, segundo classificação proposta por Morris *et al.* (1997):

1. Depósitos metamorfizados de sulfetos maciços encaixados em rochas metavulcânicas e metassedimentares alteradas hidrotermalmente à Fe-Al;
2. Metabauxitas;
3. Pegmatitos;
4. Rochas metavulcânicas e metassedimentares não alteradas hidrotermalmente e alteradas ricas em Fe-Al.

Considerando o contexto geológico no qual os cristais de gahnita foram encontrados, representados por metassedimentos ricos em Al e Fe das rochas que compõem o Supergrupo Minas, presume-se que esses grãos estão associados ou a depósitos metamorfizados de sulfetos maciços de zinco ou a rochas metassedimentares ricas em Fe-Al.

A figura 6.02 ilustra a localização dos cristais de gahnita encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

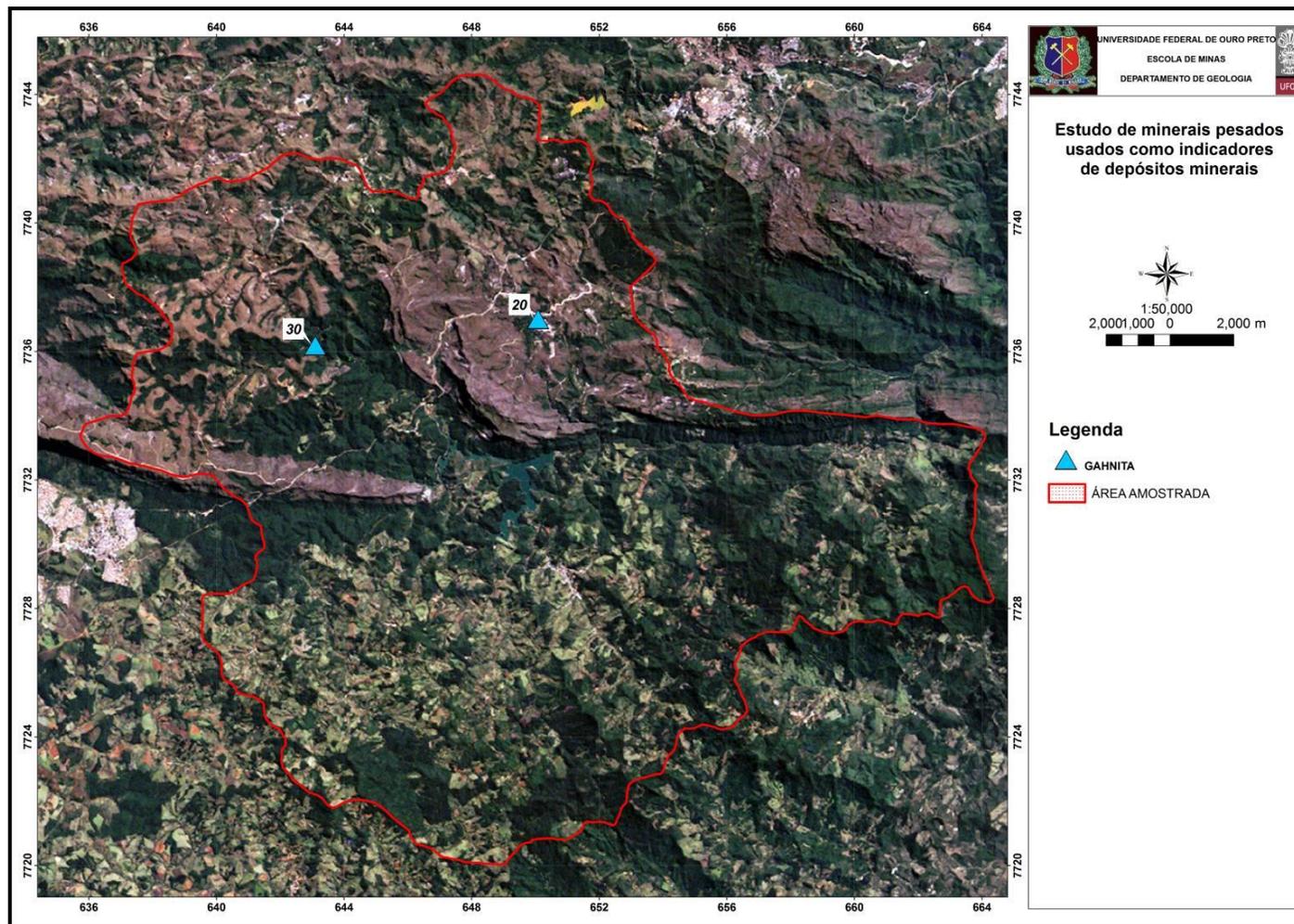


Figura 6.02: Ocorrência de gahnita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard

6.5 - Oxalcioroméita

A oxalcioroméita é um titano-antimoniato extremamente raro, porém encontrado em três diferentes locais nas proximidades de Ouro Preto: Tripuí, São Bartolomeu e Bico de Pedra. No córrego do Tripuí a oxalcioroméita, descrita por Hussak & Prior (1895), associa-se ao depósito de cinábrio. Uma hipótese para a formação da oxalcioroméita encontrada na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard é associar à ocorrência de depósitos hidrotermais polimetálicos como o descrito por Guimarães (1944) associado a Au-Cu-Sb localizado em Bico de Pedra, pertencente à bacia hidrográfica do ribeirão Maynard. Porém, na amostra de concentrados de minerais pesados coletados na drenagem que erode esse depósito não foi possível identificar cristais de oxalcioroméita. Do ponto de vista metalogenético, a associação Sb-Hg é encontrada em minerais acessórios dos depósitos do tipo Sulfetos Maciços Vulcanogênicos (VMS) de zinco (Steeves *et al.* 2016). Vale destacar que a ocorrência de oxalcioroméita está associada à ocorrência de gahnita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

A figura 6.03 ilustra o ponto aonde foram encontrados os grãos de oxalcioroméita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard.

Do ponto de vista exploratório, sugere-se o adensamento amostral que possibilite a individualização mais precisa da localização da rocha que está sendo erodida e, conseqüentemente, é responsável pela deposição destes minerais nos ambientes de concentração das drenagens e um *follow-up* (mapeamento geológico ao longo da drenagem anômala para esses minerais), que possibilite o mapeamento e a amostragem da rocha e/ou zona de alteração hidrotermal responsável pela mineralização de oxalcioroméita.

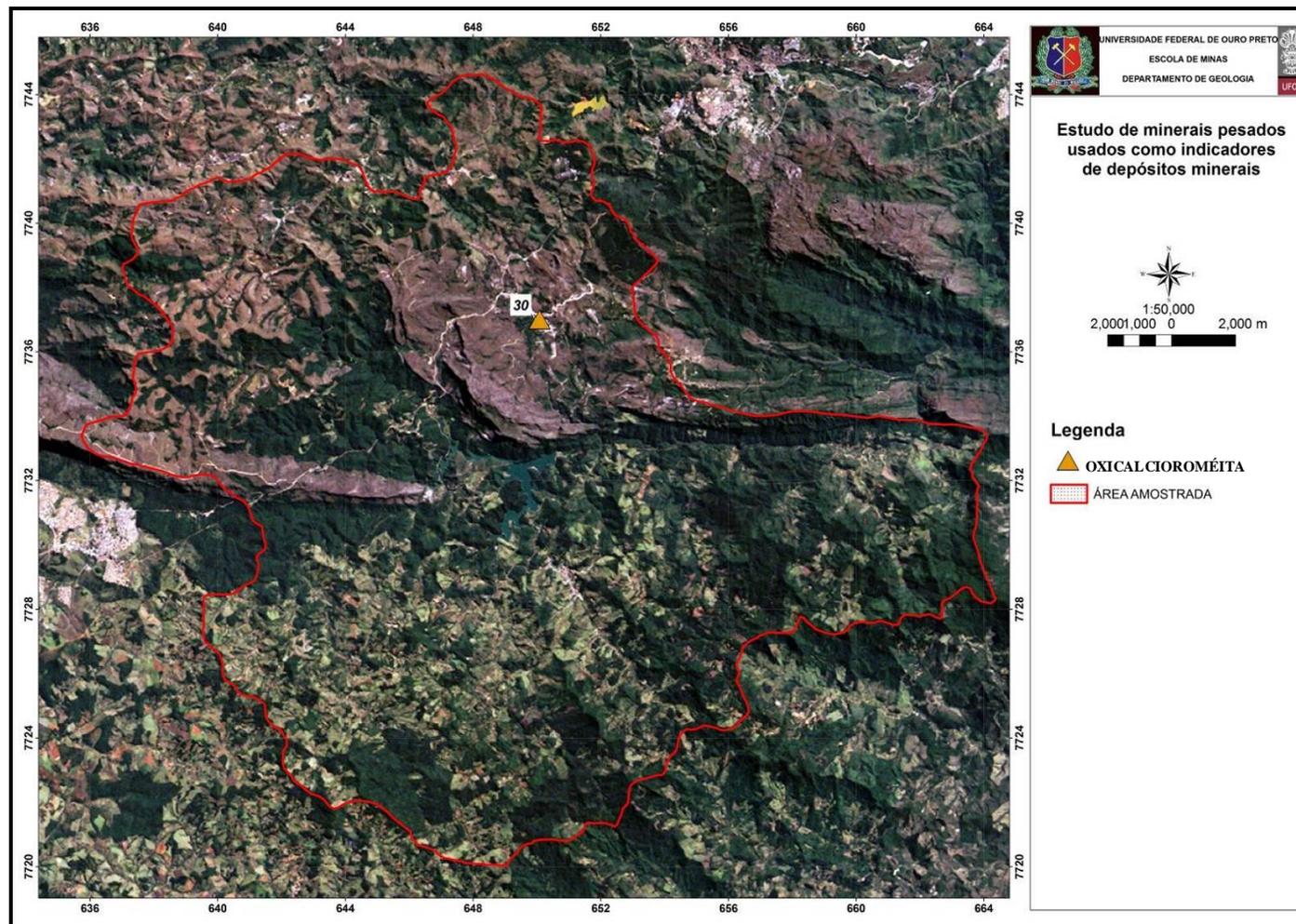


Figura 6.03: Ocorrência de oxalciroméita na bacia hidrográfica do ribeirão Maynard

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFIA

- Alkmim F. F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C. D. R. & BRITO NEVES B. B. (Org). Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, Editora Beca/SP, 17-35.
- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais Brazil: Evidence for a Paleoproterozoic collision and collapse in Quadrilátero Ferrífero. *Precamb. Res.*, 90:29- 58, 1998.
- Almeida F. F. M. de 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4):349-364.
- AHMI - Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência. 1789. 1º Ofício. Códice 270. Auto 5249.
- Atencio D., Andrade M. B., Christy A. G., Gieré R., Kartashov P. M. 2010. The pyrochlore supergroup of minerals nomenclature. *Canadian Mineralogist*, 48: 673-698.
- Atkinson W. J. 1989. Diamond exploration philosophy, practice and promises: a review. *Kimberlites and Related Rocks*, Vol. 2, Geological Society of Australia Special Publication, 14, 1075-1107.
- Atkinson W. J., Smith C. B., Boxer G. L. 1984. The discovery and geology of the Argyle diamond deposits, Kimberley, Western Australia. *Proc. Australas. Inst. Min. Metall. Ann. Conf.*, Darwin, Aug. 1984, 141-149.
- Averill S. A. 2001. The application of heavy indicator minerals in mineral exploration. In: McClenaghan M. B., Borrowsky P. T., Hall G. E. M., Cook S. (eds.) *Drift Exploration in Glaciated Terrain*. Geological Society of London, Special Volume, 185: 69-82.
- Baltazar O. F., Pedreira, A. J. 1996. Associações de litofácies. In: CPRM. Projeto Rio das Velhas: Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000, Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 43-48.
- Baltazar O. F. & Zucchetti M. 2000. Rio das Velhas greenstone belt structural evolution, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, CD-ROM.

- Baltazar O. F. & Zucchetti M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brasil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 32: 471-499.
- Barbosa A. L. M. 1968. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 68 p.
- Batchelor R. A. & Kinnaird J. A. 1984. Gahnite composition compared. *Mineralogical Magazine*, 48, 425 – 429.
- Burke E. A. J. 2006. A mass discreditation of GQN minerals. *Canadian Mineralogist*, 44, 1557 – 1560.
- Carneiro M. A. 1992. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento continental do Arqueano. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 233 pp.
- Cerny P. 1991. Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: Is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies? *Precambrian Research*, 51, 429 – 468.
- Chew K. J. 1977. The origin of certain base metal sulphide deposits at Manitouwadge, Ontario. PhD. thesis, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, 254 pp.
- Clifford T.N. 1970. The structural framework of Africa. In: *African Magmatism and Tectonics*, T.N Clifford and I.G. Gass (eds). Oliver and Boyd, Edinburgh, p. 1-26.
- Coker W. B. 2010. Future research directions in exploration geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment Analysis*, 10, 75–80
- Dawson J. B. & Stephens W. E. 1975. Statistical classification of garnets from kimberlites and associated xenoliths. *Journal of Geology*, 83, 589 – 607.
- Dill H. G. 2010. The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews* 100, 1–420
- Dorr II J. V., Gair J. E., Pomerene J. B., Rynearson G. A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso, 81, 1 - 31.
- Dorr II J.V. 1969. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 614-A. 110 pp.
- Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippertt J. P., Cutts K., Alkmim F. F., Lana C. 2015. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*. 1 - 18.

- Fipke C. E., Gurney J. J., Moore R. O., Nassichuk W. W. 1989. The development of advanced technology to distinguish between productive diamondiferous and barren diatremes. Geological Survey of Canada, Open File 2124, 1, 1 – 621.
- Fipke C. E., Gurney J. J., Moore R. O. 1995. Diamond exploration techniques emphasizing indicator mineral geochemistry and Canadian examples. Geological Survey of Canada. Bulletin 423. 96 pp.
- Griffin W. L., O'Reilly S. Y., Ryan C. G. 1999. The composition and origin of sub-continental lithosphere mantle. In: Fei, Y., Bertka, M., Mysen, B. O. (Eds.), *Mantle Petrology: Field Observations and High-Pressure Experimentation. A Tribute to France R. (Joe) Boyd*. Spec. Publ. Geochemical Society, pp. 13-46. Houston, TX.
- Guimarães D. 1931. Contribuição a geologia do estado de Minas Gerais. Boletim 55. Serv. Geol. Min. Do Brasil. 36p.
- Guimarães D. 1944. Jazida de minério auro-cupro-antimonífero de Bico de Pedra, Rodrigo Silva, Município de Ouro Preto. DNPM/DPFM., Rio de Janeiro, 27 p., avulso 59.
- Gurney J. J. 1984. A correlation between garnets and diamonds in kimberlites. Kimberlite occurrence and origin: a base for conceptual models in exploration. In: J.E. Glover & P.G. Harris (eds.). *Geology Department and University Extension, University of Western Australia, Publication n°08*, p. 143-166.
- Gurney J. J. & Moore R. O. 1991. Geochemical correlation between kimberlitic indicator minerals and diamonds as applied to exploration. Extend Abstract. 5th International Kimberlite Conference, Brazil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Special Publication, 2/91, p. 125-126.
- Gurney J. J., Helmstaedt H. Moore R. O. 1993. A review of the use and application of mantle mineral geochemistry in diamond exploration. 65 (12): 2423-2442.
- Harggety S.E. 1986. Diamond genesis in a multiply constrained model. *Nature* 320: 34-38.
- Heimann A., Spry P. G., Teale G. S. 2005. Zincian spinel associated with metamorphosed proterozoic base-metal sulfide occurrences, Colorado: a re-evaluation of gahnite composition as a guide in exploration. *Canadian Mineralogist*, 43, 601 – 622.
- Heineck C. A, Silva L. C., Leite C. A., Vieira V. S., Silva M. A., Baars F. J., Perrotta M., Salvador E. D., Lopes R. C., Silva M. G. M., Valente C. R., Lacerda Filho J. V., Drumond J. B. V. 2003. COMIG – Mapa geológico de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000 CD ROM.
- Helmstaedt H. H. & Gurney J. J. 1995. Geotectonic controls of primary diamond deposits: implications for area selections. *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 125 – 144.

- Hussak E. & Prior G. T. 1895. Lewisite and Zirkelite, two new Brazilian minerals. *Mineral Magazine*, 11, 80 – 88.
- Ladeira E. A. 1980. Metalogenesis of gold at Morro Velho mine, and the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. PhD thesis, Department of Geology, University of Western Ontario. London, Canada, 272 pp.
- Lisboa M. 1967. *Manual de Mineralogia*. Oficinas Gráficas da Escola de Minas, 1, 1 - 319.
- Lobato L. M., Ribeiro-Rodrigues L. C., Vieira F. W. R. 2001. Brazil's premier gold province: Part II. Geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita* 36: 249-277.
- Lobato L. M. Baltazar O. F., Reis L. B., Achtschin A. B., Baars F. J., Timbó M. A., Berni G. V., Mendonça B. R. V. de, Ferreira D. V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM.
- McClenaghan M. B. 2005. Indicator Minerals methods in mineral exploration. *Geochemistry: Exploration, Environmental, Analysis*, 5, 233-245.
- McClenaghan M. B. 2011. Overview of common processing methods for recovery of indicator minerals from sediment and bedrock in mineral exploration. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 11, 265–278
- Mitchell R.H. & Bergman S.C. 1991. *Petrology of Lamproites*. Plenum Press, New York, N.Y.
- Moreira H., Lana C., Nalini Jr. H A. 2016. The detrital zircon record of an Archaean convergent basin in the Southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research* 275, 84–99
- Morris T. F., Breaks F. W., Averill S. A., Crabtree D. C., McDonald A. 1997. Gahnite composition: implications for base metal and rare-element exploration. *Exploration Mining Geology*, 6 (3), 253 – 260.
- Muggeridge M. T. 1995. Pathfinder sampling techniques for locating primary sources of diamond: Recovery of indicator minerals, diamonds and geochemical signatures. *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 183 – 204.
- Oliveira A. I. 1937. Relatório da Diretoria. *Boletim nº31*, 69. Rio de Janeiro.
- Oliveira A. I. & Barbosa O. 1938. Relatório da Diretoria. *Boletim nº41*. Rio de Janeiro.
- Pedrosa-Soares A. C. & Wiedemann C. M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. In: Cordani U. (Ed.); *Tectonic Evolution of South America*. 31st IGC, 265-285.

- Pereira R. M. & Soares E. F. 1999. Dispersão de minerais kimberlíticos: estudo de caso do kimberlito da Lagoa do Peru, Piumhi, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5., CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7., Porto Seguro. Anais. Porto Seguro: SBGq, p. 660-662.
- Pereira R. S. 2001. Técnicas exploratórias na prospecção de kimberlitos – Estudo de caso. Revista Brasileira de Geociências, 31(4):405-416.
- Pereira R. S. & Fuck, R. A. 2005. Archean nuclei and distribution of kimberlite and related rocks in the São Francisco Craton, Brazil. Revista Brasileira de Geociências, 35(3):93-104.
- Quirt D.H. 2004. Cr-diopside (clinopyroxene) as a kimberlite indicator mineral for diamond exploration in glaciated terrains. In: Summary of Investigations, Vol. 2, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, Misc. Rep. 2004-4.2, CD-ROM, Paper A-10, 14p.
- Ramsay R. R. 1995. Geochemistry of diamond indicator minerals. PhD. thesis, University Western Austrália, 246 pp.
- Raposo F. O. 1991. Estratigrafia, petrografia e petrologia. In: Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Brasília, DF, *Folha Rio Espera*. Parte II, capítulo 2, p.27-88. CPRM/DNPM.
- Renger F. S., Noce C. M., Romano A. W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonômos 2: 1-11.
- Schorscher H. D. 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do quadrilátero Ferrífero. Anais da Academia Brasileira de Ciências 51: 767-768.
- Schorscher H. D., Santana F. C., Polonia J. C., Moreira J. M. P. 1982. Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstone belt and proterozoic rocks. In: International Symposium on Archean and Early Proterozoic Evolution and Metallogenesis, 1. *Anais...* Salvador: SBG, v. 1, p. 43.
- Sobolev N. V. 1971. On mineralogy and criterions of diamond content of kimberlites. Geology and Geophysics, 3, 70 – 79.
- Spry P. G. & Scott S. D. 1986. The stability of zincian spinels in sulphide systems and their potential as exploration guides for metamorphosed massive sulfide deposits. Economic Geology. 81, 1446 – 1463.
- Steeves N.J., Hannington M.D., Gemmell J.B., Green D., McVeigh G. 2016. The Glacier Creek Cu-Zn VMS Deposit, Southeast Alaska: An Addition to the Alexander Triassic Metallogenic Belt. Economic Geology, 111, 151-178.

- Stephens W. E. & Dawson J. B. 1977. Statistical comparison between pyroxenes from kimberlites and their associated xenoliths. *Journal of Geology*. 85, 433 – 449.
- Teixeira W., Figueiredo H. M. C. 1991. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Craton, Brazil, a review. *Precambrian Research*., 53: 1-22.
- Zucchetti M. & Baltazar O. F. 2000. Rio das Velhas Greenstone Belt lithofacies associations, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, CD-ROM.
- Zucchetti M., Baltazar O. F., Raposo F. O. 1998. Estratigrafia. In: M. Zucchetti, O. F. Baltazar (Eds.), Projeto Rio das Velhas – Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2nd Ed. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, p. 13-42.
- White S.H., De Boorder H., Smith C.B. 1995. Structural controls on the emplacement of kimberlites and lamproites. *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 245-264.

webmineral.com/

www.mindat.org/

www.ufmg.br/