

GEOMETALURGIA E RASTREABILIDADE DE OURO: ESTUDO DE CASO DA MINERAÇÃO ARICÁ, CUIABÁ, MT.

**GEOMETALLURGY AND GOLD
TRACEABILITY: A CASE STUDY OF
ARICÁ MINING, CUIABÁ, MT.**

Ingrid Eva Oliveira Ribeiro

Dissertação de Mestrado Nº

Orientadora: Prof. Dr. Maria Emilia Schutesky

Brasília, 06/09/2024



GEOMETALURGIA E RASTREABILIDADE DE OURO: ESTUDO DE CASO DA MINERAÇÃO ARICÁ, CUIABÁ, MT.

Geometalurgy and gold rastreability: A case study of Aricá mining, Cuiabá, MT.

INGRID EVA OLIVEIRA RIBEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia – Instituto de Geociências – IG da Universidade de Brasília – UnB como requisito parcial obrigatório para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de concentração:
Prospecção e Geologia Econômica

Orientadora: Prof. Dr. Maria Emilia Schutesky

Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Maria Emília Schutesky (IG/UnB);
Prof. Dr. Carlos Humberto Da Silva (UFMT);
Prof. Dr. Claudinei Gouveia De Oliveira (IG/UnB);
Prof. Dr. Valmir Da Silva Souza (Suplente IG/UnB).

Incluir nesta página a ficha catalográfica emitida na BCE:

<https://bce.unb.br/elaboracao-de-fichas-catalograficas/>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por suas bênçãos em minha vida.

Dedico este trabalho com todo o carinho ao meu filho, Davi Ribeiro Monteiro, minha maior fonte de força e inspiração. Sua presença me motiva a sempre buscar o melhor. Agradeço, também, à minha família pelo apoio incondicional ao longo desta jornada.

Agradeço especialmente à equipe do Programa Ouro Alvo e do Projeto Gold Rush que esteve ao meu lado, composta por Angel Werbel, Caio Joko, Erich Adam, Fernanda Ronchi, Guilherme Gonçalves, Karen Lima, Letícia Mizuno, Manoel Frazão, Maria Emilia Schutesky, Ricardo Moraes, Wendell Silva, Wilson Yamamoto e Vladimir Almeida, pelo empenho, profissionalismo e apoio dedicados. Um agradecimento especial aos geólogos Fernanda Ronchi, Manoel Frazão e Wendell Silva pelas valiosas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho.

Sou imensamente grata à minha orientadora, Prof.^a Dra. Maria Emilia Schutesky, pela orientação, pelo apoio, pelas conversas enriquecedoras e pela parceria ao longo de todo o processo. Seu conhecimento e dedicação foram fundamentais para que este trabalho pudesse ser concluído com sucesso.

Expresso minha profunda gratidão aos meus colegas de trabalho do DGPM/MME, cujo apoio constante, troca de conhecimentos e colaboração foram indispensáveis para a concretização deste objetivo. Um agradecimento especial ao nosso chefe, José Luiz Ubaldino, por seu incentivo, confiança e sabedoria, que foram essenciais ao longo dessa jornada. A amizade e o profissionalismo de todos tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

Agradeço ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e ao Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal pela disponibilização de sua estrutura e recursos, essenciais para a realização deste trabalho e a Mineradora Aricá pela disponibilização de amostras e auxílio em campo. Agradeço especialmente aos geólogos da CPRM, Joseneusa Brilhante, Kotaro Uchigasaki e Stella Bijos, pela valiosa contribuição e pelos ensinamentos compartilhados.

Ingrid Eva Oliveira Ribeiro

RESUMO

Devido aos impactos socioambientais causados pela mineração ilegal de ouro, é essencial entender e documentar completamente a cadeia produtiva nacional de ouro, desde a extração até a venda do produto final. Isso destaca a importância da rastreabilidade do ouro, que visa mitigar os crimes e danos socioambientais associados à mineração ilegal. A geometalurgia, que constitui em essência na junção da geologia com a metalurgia, fornece subsídios para compreender o comportamento dos minerais ao longo de seu processamento, fornecendo insights sobre como os processos metalúrgicos afetam toda a cadeia de produção do ouro. Ao aplicar técnicas analíticas junto com a geometalurgia, podemos caracterizar as mudanças físicas e químicas que o ouro sofre durante o processamento, apoiando assim os esforços de rastreabilidade. Controlar a cadeia de produção de ouro é fundamental à luz das consequências socioambientais da mineração ilegal. Para enfrentar esses desafios, estabelecer a rastreabilidade do ouro desde a extração até a comercialização é vital. O Programa Ouro Alvo, lançado pela Polícia Federal Brasileira em colaboração com outras instituições nacionais, visa implementar políticas públicas para regular essa atividade, a partir do desenvolvimento de ferramentas analíticas para rastreabilidade de ouro. Neste estudo, foram realizadas análises geoquímicas, mineralógicas e morfológicas, a fim de auxiliar a rastreabilidade de ouro, do ponto de vista geometalúrgico. A localidade de estudo se encontra na Província Aurífera Poconé-Baixada Cuiabana, localizada ao longo da estrada Coxipó do Ouro, em que a mineralização aurífera está associada aos metassedimentos do Grupo Cuiabá na Baixada Cuiabana, onde o ouro ocorre em veios de quartzo mineralizados.

Palavras-chave: ouro; rastreabilidade do ouro; geometalurgia; Baixada Cuiabana

ABSTRACT

Due to the socio-environmental impacts caused by illegal gold mining, it is essential to fully understand and document the national gold production chain, from extraction to the sale of the final product. This highlights the importance of gold traceability, which aims to mitigate the crimes and socio-environmental damage associated with illegal mining. Geometallurgy, which essentially represents the junction of geology and metallurgy, provides support for understanding the behavior of minerals throughout their processing, providing insights into how metallurgical processes affect the entire gold production chain. By applying analytical techniques together with geometallurgy, we can characterize the physical and chemical changes that gold undergoes during processing, thus supporting traceability efforts. Controlling the gold production chain is essential in light of the socio-environmental consequences of illegal mining. To address these challenges, establishing gold traceability from extraction to commercialization is vital. The Target Gold Program, launched by the Brazilian Federal Police in collaboration with other national institutions, aims to implement public policies to regulate this activity, based on the development of analytical tools for gold traceability. In this study, geochemical, mineralogical and morphological analyses were performed in order to assist in gold traceability from a geometallurgical point of view. The study site is located in the Poconé-Baixada Cuiabana Gold Province, located along the Coxipó do Ouro road, where gold mineralization is associated with the metasediments of the Cuiabá Group in Baixada Cuiabana, where gold occurs in mineralized quartz veins.

Keywords: geometallurgy; gold; gold traceability; metallurgy; baixada cuiabana

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Gráfico da evolução do preço do Ouro	03
Figura 1.2.	Fluxograma da cadeia produtiva de ouro no Brasil.	06
Figura 1.3.	Gráfico da Produção bruta total (ROM) de Ouro 2019-2023	07
Figura 1.4.	Mapa de localização da Mineração Aricá em Cuiabá no Mato Grosso.	11
Figura 1.5.	Frente de cava na área de estudo, evidenciando as estruturas geológicas.	12
Figura 2.1	Mapa geológico da Baixada Cuiabana.	16
Figura 2.2	Mapa do contexto geológico da Mineração Aricá na Baixada Cuiabana	20
Figura 2.3	Frente de cava na área de estudo evidenciando foliação na rocha encaixante.	23
Figura 2.4	Veio Tipo 3 alterado, conhecido como “filão”.	24
Figura 3.1	A. Valores médios de % em peso de Ag para populações de partículas de ouro orogênico, hidrotermais magmáticos e sistemas hidrotermais clorídricos oxidados. B. % em peso médio de Ag para estilos de fonte mais refinados de orogênicos e mineralização magmática hidrotermal.	32
Figura 3.2	Gráficos de caixa de elementos múltiplos da composição de elementos traços com base em dados LA-ICP-MS de depósitos epitermais, orogênicos e VMS.	33
Figura 4.1	Exemplo de matriz geometalúrgica.	37
Figura 4.2	Etapas do estudo geometalúrgico.	38
Figura 4.3	Fluxograma do procedimento de beneficiamento no local de estudo.	40
Figura 5.1	Localização dos pontos de coleta de amostra em fotografia aérea com Drone na localidade de estudo.	44
Figura 5.2	Pesagem de amostra friável em balança de precisão.	46
Figura 5.3	Fluxograma do procedimento de beneficiamento das amostras analisadas no local de estudo.	47
Figura 5.4	Quarteamento e homogeneinização de amostra friável.	48
Figura 5.5	Separação granulométrica de amostra friável.	48
Figura 5.6	Materiais e procedimento para a realização de microbateamento de amostras.	49

Figura 5.7	Amostras em placa de petri:. A) Sem microbateamento. B) Após microbateamento e úmida. C) Após microbateamento e seca.	49
Figura 5.8	Procedimento para montagem de stubs e mounts para análise no MEV.	51
Figura 5.9	Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 6 em stub, imageados por MEV.	52
Figura 5.10	Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 7 em stub, imageados por MEV.	53
Figura 5.11	Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 9 em stub, imageados por MEV.	53
Figura 5.12	Amostras de rocha coletadas em frentes de lavra da localidade de estudo, utilizadas para a confecção de lâminas petrográficas.	54
Figura 6.1	Imagens em microscópio petrográfico de luz refletida A) Fotomicrografia em polarizador paralelo e cruzado da lâmina petrográfica da amostra 1, com destaque para o spotted slate. B) Fotomicrografias, em polarizador paralelo e cruzado, da lâmina petrográfica da amostra 2, destacando a presença de deformação e contraste dentro da amostra.	59
Figura 6.2	A) Imagem em BKS-MEV de seção da lâmina petrográfica da amostra 4, destacando a feição spotted slate em contraste com veio discordante. B) Montagem dos mapas em EDS, dos elementos principais presentes em seção na lâmina petrográfica da amostra 4, destacada na figura A. C) Fotomicrografia com polarizador paralelo, em luz refletida, da lâmina petrográfica da amostra destacando a presença de sulfetos (Py) em fraturas	60
Figura 6.3	A) Imagem em BKS-MEV de seção da lâmina petrográfica da amostra 1, destacando a feição spotted slate. B) Mapas em EDS, dos elementos principais em seção na lâmina petrográfica da amostra 1, destacada na figura A. C) Fotomicrografia em polarizador paralelo, luz transmitida, da lâmina petrográfica da amostra 1, destacando a feição spotted slate.	61
Figura 6.4	A) Fotomicrografia em nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 1, em que porfiroblastos de pseudomorfos imersos em matriz, com destaque para a feição spotted slate, marcada por porfiroblasto de cordierita alterado. B) Fotomicrografia de detalhe da figura A, em nicol cruzado de lâmina petrográfica da amostra 1, com destaque para a feição spotted slate, marcada por porfiroblasto de cordierita alterado, com geminação em setor características. C) Fotomicrografia em nicol cruzado de lâmina petrográfica da amostra 4, destacando a mineralogia composta por quartzo, albita e muscovita de veio albitítico. D)	62

Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 4, de veio albitítico, com presença de clorita e siderita. E) Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 2, destacando a presença de turmalina na rocha mineralizada. F) Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 2, destacando vênula albitítica dobrada.

- Figura 6.5** Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 2 (Amostra de Frente de Lavra) imageados em MEV-BKS. **63**
- Figura 6.6** A) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 6 (Produto do moinho de bola) imageados em MEV-BKS. B) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 7 (Produto do moinho de martelo) imageados em MEV-BKS. **64**
- Figura 6.7** A) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 9 (Concentrado do moinho de martelo) imageados em MEV-BKS. B) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 12 (Concentrado de bateia) imageados em MEV-BKS. **65**
- Figura 6.8** Montagem com escala de porção amostrada de pérola de ouro da amostra 11 (Ouro pérola), em detalhe nas partes A e B, imageados em MEV-BKS. **66**
- Figura 6.9** Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-42) da amostra 6. **67**
- Figura 6.10** Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-21) da amostra 6. **68**
- Figura 6.11** Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-64) da amostra 7. **69**
- Figura 6.12** Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro da amostra 12. **70**
- Figura 6.13** Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag e Bi, com escala, de fragmento do ouro pérola da amostra 11. **70**
- Figura 6.14** Gráficos de dispersão de Au, Ag, Cu, Fe, Bi, Te, Se, S e Hg, analisados nas amostras com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) em Microssonda Eletrônica (WDS). **73**
- Figura 6.16** A) Diagramas ternários das amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS: A) Diagrama ternário (Au % – Ag % x 10 – Cu % x 100); B) Diagrama ternário (Au % – Ag % x 10 – Bi % x 10). **75**

Figura 6.17	A) Gráfico em barra comparativo de Gold Fineness nas amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS. B) Gráfico da razão Bi/Gold Fineness das amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS.	76
Figura 6.18	Gráfico de razão Ag/Au com a quantidade de análises realizadas, a partir dos dados de WDS, nas amostras com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento.	77
Figura 7.1	Gráfico comparativo de Desvio Padrão das Amostras e do Depósito, por elemento.	81
Figura 8.1	A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 2. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 2.	98
Figura 8.2	A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 6. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 6.	99
Figura 8.3	C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 6. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 6.	100
Figura 8.4	A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 7. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 7.	101
Figura 8.5	C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 7. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 7.	102
Figura 8.6	A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 9. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 9.	103
Figura 8.7	C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 9. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 9.	104
Figura 8.8	A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 12. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 12.	105

- Figura 8.9** C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 12. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 12. **106**
- Figura 8.10** A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 11. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 11. C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 11. **107**
- Figura 8.11** Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 5,00) das Amostras e do Depósito, por elemento. **115**
- Figura 8.12** Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 1,00) das Amostras e do Depósito, por elemento. **116**
- Figura 8.13** Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 0,50) das Amostras e do Depósito, por elemento. **117**

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Enquadramento geológico de rochas hospedeiras e veios de quartzo no Grupo Cuiabá, na Mineração Aricá (Casa de Pedra).	24
Tabela 3.1	Tipos e modos de ocorrência de minérios auríferos.	28
Tabela 3.2	Assinaturas geoquímicas associadas a depósitos de ouro.	31
Tabela 4.1	Relação entre fatores geológicos e metalúrgicos.	38
Tabela 5.1	Localização da coleta e descrição de amostras no local estudado.	45
Tabela 6.1	Dados representativos de microssonda eletrônica (WDS) em wt. % das amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12.	71
Tabela 8.1	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 2.	108
Tabela 8.2	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 6.	108
Tabela 8.3	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 7.	110
Tabela 8.4	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 9.	111
Tabela 8.5	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te, Pd e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em fragmento de amálgama da amostra 10.	112
Tabela 8.6	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em fragmento de ouro pérola da amostra 11.	113
Tabela 8.7	Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 12.	114

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	2
1.1 <i>Contexto Geral.....</i>	2
1.2 <i>Cadeia Produtiva de Ouro no Brasil.....</i>	6
1.3 <i>Desafios econômicos e jurídicos.....</i>	7
1.4 <i>Área de estudo.....</i>	10
1.5 <i>Objetivo.....</i>	12
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	14
2.1 <i>Faixa Paraguai.....</i>	14
2.1.1 Geologia da Baixada Cuiabana	15
2.2 <i>Geologia local.....</i>	19
3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E METALÚRGICAS DE MINÉRIOS AURÍFEROS.....	27
3.1 <i>Mineralogia do ouro.....</i>	27
3.1.1 Minérios Auríferos	28
3.1.2 Assinatura geoquímica de Depósitos Auríferos	30
4 GEOMETALURGIA DO OURO	35
4.1 <i>Geometalurgia.....</i>	35
4.2 Beneficiamento do Ouro	39
4.3 Principais processos metalúrgicos.....	41
4.4 <i>Geometalurgia aplicada a minérios auríferos.....</i>	42
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
5.1 <i>Coleta e preparação de amostras.....</i>	44
5.1.1 Concentração e separação de ouro	47
5.2 <i>Técnicas analíticas.....</i>	54
5.2.1 Caracterização morfológica	54
5.2.2 Caracterização mineralógica	55
5.2.3 Caracterização química	56

6	RESULTADOS	58
6.1	<i>Descrição das amostras.....</i>	58
6.2	<i>Análises morfológicas</i>	63
6.3	<i>Análises químicas.....</i>	68
7	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	80
7.1	<i>Discussões.....</i>	80
7.2	<i>Conclusões.....</i>	83
	REFERÊNCIAS	85
8	ANEXOS.....	99
9	ARTIGO (Em revisão)	118

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto Geral

Em virtude da crescente demanda mundial por ouro e de sua valorização no mercado, houve um aumento de atividades extractivas ilegais. Um exemplo é o crescimento de garimpos ilegais no Brasil, que, devido a forma de extração, geralmente acarreta danos ambientais e problemas sociais. Apesar da utilização de grandes maquinários atualmente, nestas atividades, a extração do minério é realizada, na maioria dos casos, de forma pedratória, em condições precárias. Além disso, inúmeras dessas extrações ilegais são realizadas em áreas de proteção ambiental e reservas indígenas, potencializando diversos crimes socioambientais.

Adicionalmente, atividades extractivas de ouro irregular geram danos fiscais à União, pois, por não possuírem registro legal para extração, como também licenças ambientais válidas, a produção de ouro gerada não é registrada, nem contabilizada, possibilitando a utilização do ouro de origem ilegal, de forma criminosa em diversos âmbitos. Sabendo-se que toda substância mineral do subsolo brasileiro, é pertencente a União (Art. 20, inc IX da Constituição Federal Brasileira), e a pesquisa, lavra, extração ou exploração dos recursos minerais, sem a autorização, permissão, concessão ou licença do órgão competente, configura crime contra o patrimônio, na modalidade de usurpação, de acordo com o Art. 2º, da Lei nº 8.176/1991 e o Art. 55, da Lei 9.605/1998, há a necessidade de operações policiais, bem como dos órgãos competentes, e de desenvolvimento de metodologias para coibir e evitar a mineração ilegal e irregular.

O regime da Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) foi instituído pela Lei nº 7.805/1989 e define como “o aproveitamento imediato de jazimento mineral que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de prévios trabalhos de pesquisa, segundo critérios fixados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (Lê-se DNPM como Agência Nacional da Mineração - ANM). Portanto, o ato administrativo autorizador da atividade garimpeira é a PLG, sem prejuízo das licenças ambientais exigidas, visto o artigo 5º do Decreto nº 98.812/1990: “Considera-se

garimpagem a atividade de aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis, executada em áreas estabelecidas para este fim, sob o regime de Permissão de Lavra Garimpeira". Contudo, esse regime abre espaço para irregularidades, principalmente pela inexistência da obrigatoriedade de trabalhos prévios de pesquisa mineral, visando quantificar e dimensionar uma jazida, o que dificulta o dimensionamento e acompanhamento pelos órgãos competentes de quanto minério já foi extraído de uma jazida, sendo essa informação apenas declaratória pelo Titular da PLG.

Nesse cenário, o fato da crescente valorização do preço do ouro no mercado mundial, Figura 1.1, tornou a extração de ouro um negócio muito lucrativo, incentivando, assim, a extração do minério muitas vezes de forma predatória, por minerações de pequena escala e garimpos, levando ao contrabando e ao esquentamento do ouro, facilitados pelo regime de PLG. Esse entendimento é reforçado por outros autores, como Calvimontes *et al.* (2021), em que é possível afirmar que com o aumento do valor do ouro, houve também o crescimento de garimpos ilegais, ainda nesse contexto, os autores indicam ainda o aumento dos pedidos de aprovações de Permissões de Lavra Garimpeira por cooperativas, principalmente na Amazônia Legal.

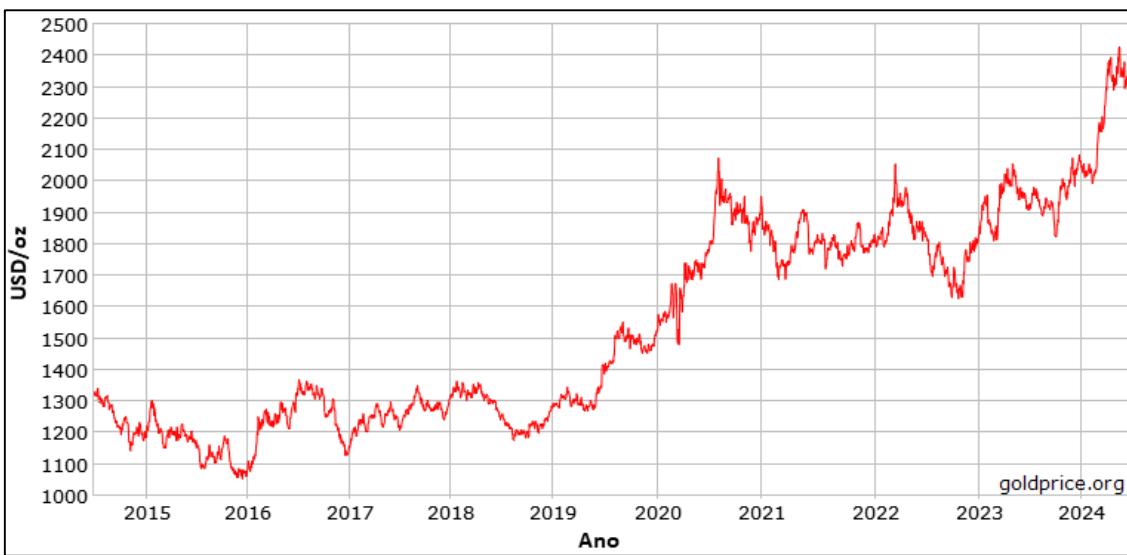


Figura 1.1. Gráfico da evolução do preço do Ouro em USD/oz de 2015 a 2024. Fonte: GoldPrice (Disponível em: <https://goldprice.org/gold-price-history.html>, acesso em: 26/06/2024).

Além do mais, em minerações artesanais de pequena escala (MAPE) e em garimpos, o principal método empregado para a recuperação de ouro é a

amalgamação, em que o principal componente químico utilizado é o mercúrio (Hg), metal altamente tóxico, que ocasiona inúmeros problemas de contaminação ambiental e saúde pública. Com a convenção de Minamata, aprovada em 2017, da qual o Brasil faz parte, o país se comprometeu a trabalhar na diminuição das emissões de Hg para a atmosfera (SILVA *et al.*, 2017), o controle do uso desta substância é estabelecido pela Portaria nº 240 de 12 março de 2019 do Ministério da Justiça e Segurança Pública que estabelece procedimentos para o controle e a fiscalização de produtos químicos e define os produtos químicos sujeitos ao controle pela Polícia Federal. Porém, ainda é de difícil mensuração o uso e as perdas de Hg para o ambiente, destacando a falta de políticas públicas visando normas para o uso seguro de mercúrio, visto também o baixo nível de qualificação de trabalhadores em garimpos somado ao grande número de áreas de garimpo de ouro ilegal.

A exploração irregular de ouro, frequentemente relacionada a condições de trabalho semelhante à escravidão, emerge como uma das causas do agravamento da degradação socioambiental na Amazônia Legal brasileira, superando desde 2017 o desmatamento causado pela mineração legalizada (Siqueira Gay e Sanchez, 2021).

Nesse cenário, faz-se necessário o conhecimento e o registro de toda cadeia produtiva de ouro nacional, desde os processos de extração até a venda do produto final no mercado. Dessa forma, sendo necessária a **rastreabilidade do ouro**, que visa também a minimização dos crimes e dos impactos socioambientais ocasionados por sua exploração ilegal.

Visto isso, é necessária a criação de políticas públicas para o controle da exploração e comercialização do ouro. Uma iniciativa no combate a exploração de ouro ilegal é o Programa Ouro Alvo (doravante POA), prioritário do Ministério da Justiça e conduzido pela Polícia Federal em parceria com instituições brasileiras. Este visa a criação de ferramentas e metodologias para a rastreabilidade do ouro, com a utilização de ferramentas de análises isotópicas, geoquímicas e morfológicas para a caracterização do ouro de diferentes regiões produtoras do Brasil.

O presente estudo compõe o projeto de pesquisa *Gold Rush – Aplicação de ferramentas geoquímicas e isotópicas no combate ao crime organizado e*

contrabando de ouro na região norte do Brasil (Edital nº 16/2020 PROCAD Segurança Pública e Ciências Forenses), braço acadêmico-científico do POA.

Ao introduzir esse contexto, para melhor compreensão, é de suma importância diferenciar os conceitos de proveniência e rastreabilidade; **proveniência** (em inglês, *provenance*) se refere a origem, já o conceito de **rastreabilidade** (em inglês *traceability*) é referente ao mecanismo para certificação da origem. Outro ponto importante, é a diferenciação do conceito de **conformidade**, fundamental nos laudos e perícias realizadas pela Polícia Federal, visto que a conformidade se refere à adequação a parâmetros e normas, e não à certificação de origem. Portanto, a rastreabilidade é o meio para certificar a proveniência.

Dentre os aspectos a serem observados nos estudos da rastreabilidade do ouro, a Geometalurgia tem papel fundamental. Geometalurgia é, em suma, o campo de estudo entre a geologia e a metalurgia que tem como objetivo melhor caracterizar o minério, culminando na otimização do beneficiamento mineral (Gonçalves, 2017). A heterogeneidade associada aos distintos tipos de minério de ouro, devido a variações na mineralogia, teor, resistência da rocha, dentre outros, demonstra a necessidade da caracterização geometalúrgica do ouro a fim de definir a origem, bem como as transformações advindas do beneficiamento mineral. Assim, por meio da geometalurgia, é possibilitada a previsão sobre o comportamento de um minério, ao longo de seu beneficiamento, permitindo, portanto, conhecer os efeitos dos processos metalúrgicos e caracterizar alterações físicas e químicas no ouro nas etapas de extração do minério até o seu refino.

Em vista da geometalurgia, a definição da origem do ouro e a caracterização de suas variações físicas e químicas durante seu processamento é permitida a partir da descrição e caracterização morfológica do ouro e da utilização de técnicas analíticas, como Microssonda, Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e ICP-MS, que permitem definir uma assinatura geoquímica e auxiliar na caracterização de aspectos físicos do ouro durante os processos de beneficiamento.

1.2 Cadeia Produtiva de Ouro no Brasil

É primordial compreender e conhecer a cadeia produtiva de ouro no Brasil para realizar a rastreabilidade do ouro. A visualização e identificação das etapas estratégicas na cadeia, em que se possa implementar estratégias de controle e análise do ouro, permite auxiliar no processo da criação de um modelo de rastreabilidade e critérios para a identificação de ouro de origem ilegal.

Visto isso, foi elaborado um fluxograma com as etapas essenciais e estratégicas da cadeia produtiva do ouro, desde a extração até a comercialização do ouro, indicando em essência os procedimentos aplicáveis para auxiliar a rastreabilidade do ouro (Figura 1.2).

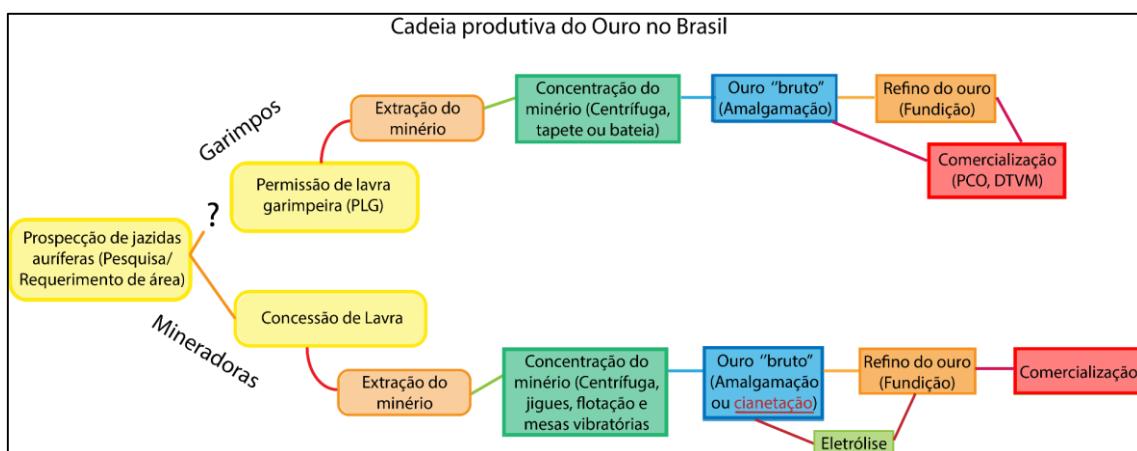


Figura 1.2. Fluxograma da cadeia produtiva de ouro no Brasil.

No fluxograma é possível observar a dinâmica da cadeia produtiva de ouro no Brasil em Mineradoras e Garimpos, onde se destacam os diferentes tipos de regime minerário.

De acordo com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (AMB) de 2020 (ano base 2019), produzido pela Agência Nacional de Mineração - ANM, a produção bruta total (Quantidade em ROM ("run-of-mine")) de ouro foi de 209 milhões de toneladas, sendo dessas, 39,36 milhões produzidas em regime de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) específicas para ouro, demonstrando uma produção significativa por parte de Garimpos.

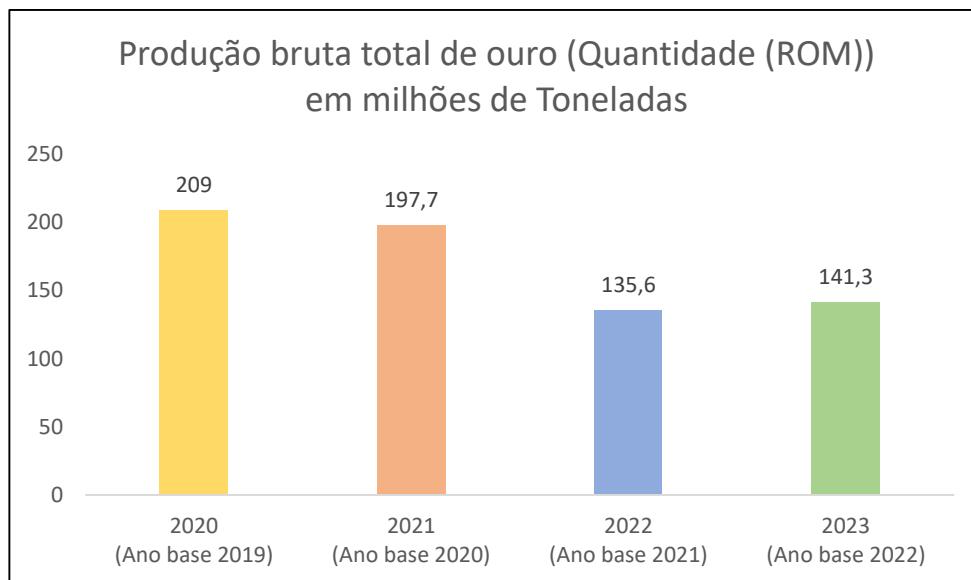


Figura 1.3. Gráfico da Produção bruta total (ROM) de ouro no Brasil 2019-2023. Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (AMB) – Agência Nacional de Mineração (ANM).

Em 2021, os dados do AMB interativo da ANM indicaram uma produção bruta (ROM) de ouro de 197,7 milhões de toneladas, já em 2022, a produção bruta (ROM) de ouro foi de 135,6 milhões de toneladas e em 2023, os dados do AMB, indicam uma produção bruta (ROM) de ouro de aproximadamente 141,3 milhões de toneladas, indicando uma redução significativa em relação a produção bruta de 2020.

1.3 Desafios econômicos e jurídicos

Como o ouro é uma *commodity* que pode ser comercializada como ativo financeiro ou como mercadoria (Wanderley, 2015), quando extraído de áreas com o regime de lavra garimpeira deve, por lei, ser vendido na condição de ativo financeiro, a um Posto de Compra de Ouro (PCO) vinculado a uma Distribuidora de Títulos e Valores Mobiliários (DTVM), instituição financeira autorizada pelo Banco Central do Brasil (BCB) (Manzolli *et al.*, 2021), e deve estar vinculado a uma lavra vigente e ao seu título minerário.

Manzolli *et al* (2021) relata que há poucas análises que busquem entender o fluxo de compra e venda de ouro, porém, compreendem que este é o ponto de partida para desenvolver um sistema que consiga dificultar a entrada do ouro ilegal no mercado.

Contudo, ocorre a venda do ouro originado de garimpos a outros estabelecimentos comerciais, que na prática o torna ilegal. Entretanto, devido a política da presunção da boa-fé, descrita no artigo 39, §4º da Lei nº 12.844/2013 (**Atualmente revogada pelo STF**), era possibilitado a esse ouro de origem ilegal circular como ouro legal, realizando a prática denominada de “esquentamento do ouro”, sendo declarada uma origem fictícia do ouro, que é de certa forma, assegurada pela política de boa-fé. Com a presunção da boa-fé descrita em Lei, houve uma simplificação do processo de compra de ouro, o qual permitiu a expansão do comércio ilegal de modo que o resultado foi o fortalecimento das atividades de garimpo ilegal, o que, consequentemente gerou o aumento de todos os impactos negativos trazidos pela exploração ilegal de minérios. Portanto, é extremamente necessário o mapeamento dos processos e áreas produtivas de ouro, além da realização de metodologias geoforenses para identificação de ouro de origem ilegal.

Ainda neste cenário, da comercialização de ouro e da presunção da boa-fé, Manzolli *et al* (2021) discorre:

“Existem dois principais mecanismos de “esquentamento” do ouro que são utilizados para a introdução do metal com origem ilícita no mercado legal. Numa primeira situação, em que o vendedor se apresenta com o ouro desrido de qualquer lastro em processo minerário com título de lavra vigente, a própria instituição financeira ou estabelecimento responsável pela compra pode utilizar-se de títulos minerários já legalizados para cadastrar a transação, sem checar a sua real origem. Para isso, a instituição indica um título de lavra vigente ao registrar o pagamento da Contribuição Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Outra hipótese é o próprio garimpeiro, sem conhecimento do comprador, declarar durante o pagamento da CFEM uma origem fictícia, isto é, declarar ter extraído o ouro com base em um título minerário vigente em um dado local, sem que o ouro seja efetivamente dali proveniente, tratando-se, portanto, de ouro advindo de uma extração ilegal. Nos dois casos, como a boa-fé do comprador é presumida, não se exigiria deste sequer que confira se o título minerário

citado pelo vendedor encontra-se válido ou refere-se, efetivamente, a ouro. Dessa forma, existe uma dificuldade em quantificar o ouro ilegal que circula livremente no mercado legal."

Segundo Gilmar Mendes, relator das Ações Diretas de Inconstitucionalidade que revogaram o §4º, do art. 39 da Lei 12.844/2013, ao trazer legalidade para o ouro adquirido com boa-fé, compromete a efetividade do controle de uma atividade naturalmente poluidora e incentiva a comercialização de ouro proveniente de garimpo ilegal. Em suas palavras:

"As presunções, trazidas no diploma legislativo impugnado, relativas à legalidade do ouro adquirido e à boa-fé do adquirente simplesmente sabotam a efetividade do controle de uma atividade inherentemente poluidora (e nessa medida chocam com o corolário do princípio da precaução, que possui assento constitucional), uma vez que não apenas facilitam, como servem de incentivo à comercialização de ouro originário de garimpo ilegal. Exatamente por isso, revelam-se uma opção normativa deficiente quanto à proteção do meio ambiente"

Com o intuito de coibir a prática ilegal de extração e venda de ouro, atualmente, estão em tramitação vários Projetos de Lei (PL) que tratam da rastreabilidade de ouro, em que se destacam dois PL's com tramitação já avançada, o Projeto de Lei nº 836/2021 o qual "altera a Lei nº 7.766, de 11 de maio de 1989, e a Lei nº 9.613, de 03 de março de 1998, com o objetivo de estabelecer parâmetros sobre a comercialização do ouro, e revoga artigos da Lei nº 12.844, de 19 de julho de 2013", e o Projeto de Lei nº 3025/2023 que "dispõe sobre normas de controle de origem, compra, venda e transporte de ouro no território nacional e altera a Lei nº 7.766, de 11 de maio de 1989". Em síntese, verifica-se a existência de inúmeros Projetos de Leis que tratam, sobre o todo ou em parte, da cadeia de produção, comercialização e rastreabilidade do ouro, em tramitação no Congresso Nacional Brasileiro.

1.4 Área de estudo

Oficialmente, o ouro foi descoberto no Brasil em 1693 e marca também a primeira corrida do ouro da Era Moderna. As primeiras descobertas de ouro na Baixada Cuiabana ocorreram no século XVIII, quando os bandeirantes encontraram ouro às margens do rio Coxipó em 1718, dando-lhe posteriormente o nome de "Coxipó do Ouro". Posteriormente, em 1722, foi descoberta areias ricas ouro em Cuiabá, sendo um fator chave para o início da febre do ouro na província (Costa e Rios, 2022) (Noya Pinto, 1979), e em 1777, foi descoberto ouro no Município de Poconé.

As regiões auríferas do Mato Grosso, com exceção da região de Alta Floresta-Juruena, foram descobertas durante o século XVIII, porém foram gradualmente abandonadas devido a fatores como a diminuição do teor de ouro dos aluvões explorados. A mineração no estado foi retomada em meados de 1905, com a dragagem aluvial em rios próximos a Cuiabá, porém não foi bem-sucedida. Contudo, em 1960 iniciou as corridas de garimpo artesanal em quatro regiões de Mato Grosso: Baixada Cuiabana, Cinturão Aguapeí e Cinturão Jauru; Regiões de Alta Floresta, Aripuanã e Peixoto de Azevedo; e em Nova Xavantina (Costa e Rios, 2022).

A região de estudo está situada na Baixada Cuiabana, a qual engloba os seguintes municípios do estado do Mato Grosso: Acorizal, Barão do Melgaço, Cuiabá, Jangada, Nobres, Nossa Senhora do Livramento, Nova Brasilândia, Planalto, Poconé, Rosário Oeste, Santo Antônio do Leverger e Várzea Grande.

A área estudada localiza-se na Mineração Aricá (Processo ANM nº 866.005/1983), no Distrito conhecido como “Coxipó do Ouro”, Figura 1.4, próximo à rodovia MT-402. Essa importante jazida de ouro está relacionada às rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá na região da Baixada Cuiabana, em que o minério de ouro ocorre em veios de quartzo, sulfetados ou oxidados, encaixados em filitos (Colombo *et al.*, 2017).

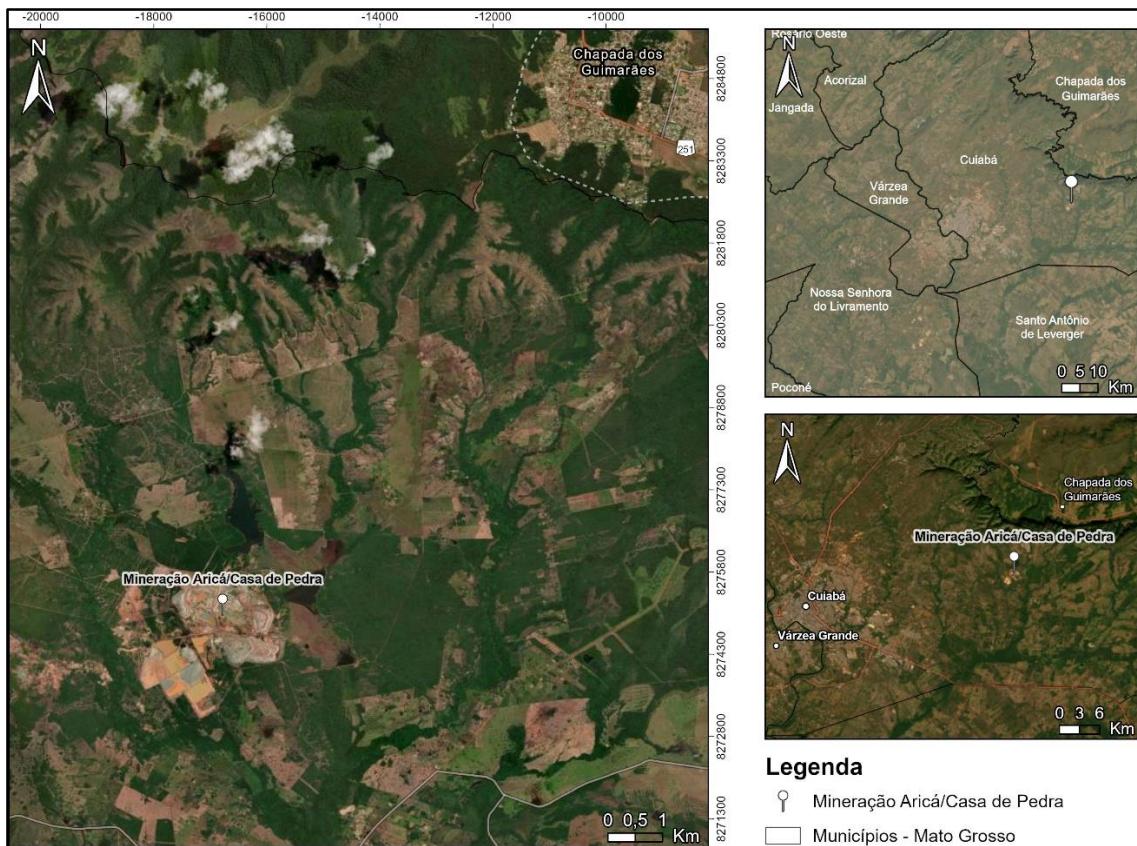


Figura 1.4. Mapa de localização da Mineração Aricá em Cuiabá no estado do Mato Grosso.

A área apresenta mergulho alto para NW, originando estruturas associadas à sua deformação (Silva *et al.*, 2002), em que se destacada a foliação Sn, a qual é plano axial de dobra. A mineralização de ouro está relacionada aos veios Tipo 3, denominados de “filão”, que são subperpendiculares a perpendiculares à foliação Sn.



Figura 1.5. Frente de cava na localidade de estudo, evidenciando as estruturas geológicas.

1.5 Objetivo

O presente trabalho visa elucidar a contribuição da geometalurgia como uma ferramenta auxiliar à rastreabilidade de ouro, demonstrando como suas implicações podem auxiliar nesse processo. Portanto, é crucial compreender e apontar a relação entre minério de ouro e processos geometalúrgicos, em consonância com o entendimento de como a geometalurgia influencia na cadeia produtiva de ouro, desde a extração até o beneficiamento do minério.

Sendo assim, é demandada a aplicação de técnicas analíticas para caracterizar os efeitos exercidos sobre o ouro durante o beneficiamento dele, a partir da análise morfológica de grãos de ouro, bem como da aplicação de técnicas analíticas como microscopia eletrônica de varredura (EDS-MEV) e Microssonda eletrônica, para a caracterização química e textural. Com isso, pretende-se investigar os efeitos físicos e químicos exercidos sobre o ouro durante o seu beneficiamento, ao longo de sua cadeia de produção, contribuindo para a rastreabilidade do ouro.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Faixa Paraguai

A Faixa Paraguai está localizada no centro da América do Sul, na borda sudeste do Cráton Amazônico. Consiste de uma sequência de rochas metassedimentares depositadas em ambiente de margem passiva durante o Neoproterozóico, associadas aos estágios colisional e pós-colisional da Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (Almeida, 1984; Figueiredo *et al.*, 2008; Manoel *et al.*, 2020). Vasconcelos, 2018, caracteriza a Faixa Paraguai como um orógeno colisional que evidencia a convergência entre o Cráton Amazônico, o Bloco Paranapanema e o Arco Magmático de Goiás, durante a etapa final da formação do Supercontinente Gondwana. Há duas interpretações para essa aproximação; uma propõe associação com o fechamento do oceano Goiás-Farúsiano no Criogeniano (Cordani *et al.*, 2009), enquanto a outra a atribui ao fechamento do oceano Clymene no Cambriano (Trindade *et al.*, 2003; 2006).

Esta faixa, originalmente descrita por Almeida (1965), como Faixa Paraguai-Araguaia, consiste em um cinturão de dobramentos destacado na região central do continente sul-americano, bordejando a porção leste-sudeste do Cráton Amazônico e leste do Bloco Paranapanema. Suas principais características incluem uma intensa deformação linear polifásica, a presença de extensas falhas inversas e de empurrão, a ocorrência de plútuns graníticos na porção mais interna e a ausência de produtos vulcânicos expostos (Almeida, 1984).

Alvarenga (1990, 1993) descreve a Faixa Paraguai como um cinturão de dobramentos polifásicos afetado pelo Ciclo Brasiliano e constituído por rochas metassedimentares dobradas e metamorfizadas, na sua porção interna, que em direção ao Cráton Amazônico passam progressivamente às coberturas sedimentares em parte contemporâneas, estruturalmente onduladas, falhadas, porém não metamorfizadas. Alvarenga e Trompette (1993) dividiram a Faixa Paraguai em três zonas estruturais, sendo elas: Cobertura sedimentar de plataforma; Zona Estrutural Interna e Zona Estrutural Externa. Barboza *et al.*, (2018) descreve a evolução tectônica da Faixa Paraguai em quatro etapas: Extensional (sedimentação); Inversão (compressão); Colisional (metamorfismo

e magmatismo) com duplicação crustal (metamorfismo e deformação). A Zona Estrutural Interna da Faixa Paraguai é composta na maior parte pelas rochas do Grupo Cuiabá, que constitui as rochas mais antigas da sequência sedimentar presente, as quais se encontram metamorfizadas em baixo grau, com presença de rochas vulcânicas e plútôns graníticos associados localmente (Beal., 2013; Santos, 2016; Alvarenga e Trompette, 1993; *Luz et al.*, 1980).

Já a Zona Estrutural Externa é caracterizada pelas rochas das Formações Bauxi, Puga, Guia, Nobres, Serra Azul, Sepotuba, Raizama e Diamantino, as quais foram afetadas pela Orogênese Brasiliana, resultando em um intenso dobramento com falhas inversas e/ou de empurrão, apresentando ausência ou baixo grau de metamorfismo (Alvarenga e Trompette, 1993; Olivatti Ribeiro e Figueiredo, 1974; *Luz et al.*, 1980; Schobbenhaus *et al.* 1981, 1984; Barros *et al.*, 1982; Del'Arco *et al.*, 1982; Almeida, 1984).

Atualmente, as rochas da Faixa Paraguai encontram-se encobertas em grande parte pelos sedimentos quaternários da Bacia do Pantanal.

2.1.1 Geologia da Baixada Cuiabana

A região conhecida como Baixada Cuiabana pertence ao contexto geológico da Faixa Paraguai, restrita a Zona interna da Faixa Paraguai. Na Baixada Cuiabana, afloram rochas dos Grupos Cuiabá, Paraná, Parecis e Alto Paraguai, das Formações Marília e Pantanal, de Suítes Intrusivas e de Depósitos aluvionares, Figura 2.1.

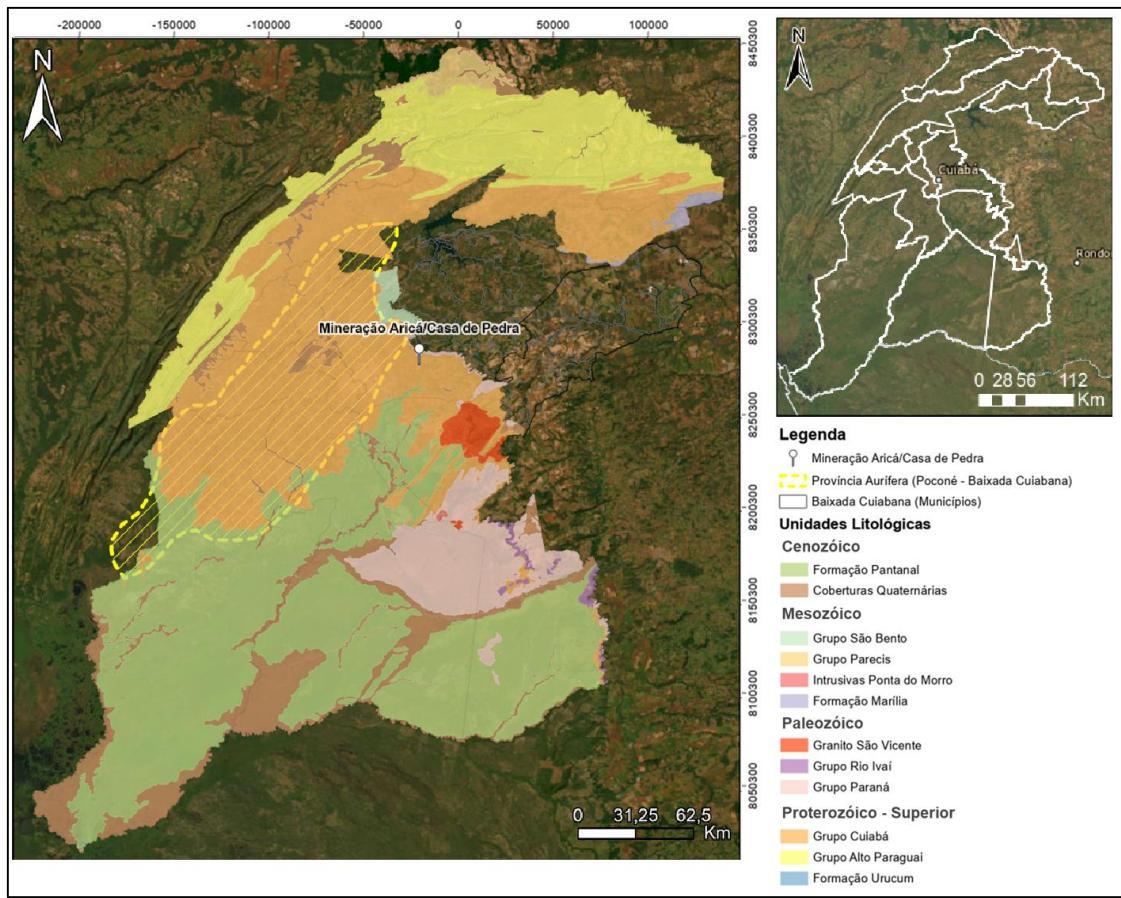


Figura 2.1. Mapa geológico da Baixada Cuiabana, elaborado a partir dos dados de Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT), 2001.

O Grupo Cuiabá é definido como uma sequência metassedimentar dobrada pertencente a Faixa Paraguai. Na Baixada Cuiabana, o Grupo foi subdividido por Luz *et al.* (1980) em nove subunidades lito-estratigráficas, nomeadas como Subunidades 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e uma Subunidade indivisa, descritas a seguir.

- Subunidade 1: consiste em filitos sericíticos intercalados com filitos e metarenitos grafitosos;
- Subunidade 2: é caracterizada por metarenitos arcoseanos, metarcóseos e filitos grafitosos, com lentes de mármores calcíferos;
- Subunidade 3: é composta por filitos, filitos conglomeráticos, metaconglomerados, metarcóseos, metarenitos, quartzitos, mármores calcíferos e níveis de hematita;
- Subunidade 4: inclui metaparaconglomerados petromíticos com clastos de quartzo, feldspato, quartzito, rochas graníticas e maficas, além de raras intercalações de filitos e metarenitos;
- Subunidade 5: filitos e filitos sericíticos, intercalados e lentes de metaconglomerados, metarenitos finos a conglomeráticos e metarcóseos;

- Subunidade 6: caracterizada por filitos conglomeráticos, metaparaconglomerados (metadiamictitos) com clastos de quartzo, filitos e quartzitos, e intercalações subordinadas de metarenitos;
- Subunidade 7: composta por metaparaconglomerados petromíticos com matriz areno-argilosa, clastos de quartzo, quartzito, calcário, rochas maficas e graníticas, e raras intercalações de filitos;
- Subunidade 8: abrange mármore calcíticos e dolomíticos, margas e filitos sericíticos;
- Subunidade indivisa: composta por quartzitos, metarenitos, filitos e filitos conglomeráticos.

Tokashiki e Saes (2008) propuseram uma subdivisão do Grupo Cuiabá em três formações distintas, visto as importantes discordâncias que separam essas unidades dentro do conjunto sedimentar. As três formações são:

- Formação Campina de Pedras: composta por filitos, filitos grafitos, intercalações de metarenitos com ciclos de Bouma incompletos, mármore calcíticos e metagrauvacas feldspáticas;
- Formação Acorizal: caracterizada por depósitos rítmicos com intercalações subordinadas de metarrítmitos com seixos caídos, quartzitos e metadiamictitos maciços;
- Formação Coxipó: composta por filitos conglomeráticos, metarenitos, quartzitos, mármore e metadiamictitos petromíticos.

O Grupo Alto Paraguai é uma sequência sedimentar situada na porção setentrional da Faixa Paraguai, recobrindo os litotipos do Grupo Cuiabá em discordância. Este grupo forma um cinturão móvel com transporte tectônico em direção ao Cráton Amazônico, e é subdividido por Barros e Simões (1980) nas Formações Bauxi, Puga, Araras, Raizama, Sepotuba e Diamantino, da base para o topo. Almeida (1964) descreveu o Arenito Raizama, o Folhelho Sepotuba e o Arcósio Diamantino como formações de um único grupo de rochas silurianas, com mais de 3.000 metros de espessura.

A Suíte Intrusiva São Vicente é constituída por corpos batolíticos, tardíos pós-tectônico, intrudido em rochas do Grupo Cuiabá com direção para NNE-SSW na parte sul, que inflete para ENE-WSW (Manzano *et al.*, 2008). Lacerda Filho *et al.* (2004, 2006), no contexto do magmatismo da Faixa Paraguai, descreve a Suíte São Vicente sendo constituída pelos granitos Taboco, Rio Negro, Coxim e Sonora, ao sul e o Granito São Vicente, ao norte. No contexto

da Baixada Cuiabana, próximo a Cuiabá, é destacada a ocorrência do Granito São Vicente, em que Godoy *et al.* (2007) o descreve como um batólito constituído por biotita granitos e muscovita-biotita granitos, isotrópicos, inequigranulares, porfiríticos.

O Grupo Rio Ivaí foi descrito por Assine (1996) como sendo constituído, da base para o topo, pelas Formações Alto Garças, Iapó e Vila Maria, que foram depositadas durante transgressão marinha no Paleozóico. Em suma, é composto por uma sequência de unidades areníticas representada pela Fm. Alto Garças, que estão recobertas por diamictitos da Formação Iapó e por arenitos e folhelhos da Formação Vila Maria, esses litotipos formam uma escarpa imediatamente acima do Grupo Cuiabá neste contexto (CPRM, 2004).

O Grupo Paraná é constituído pela Formação Ponta Grossa (Membro Superior) e a Formação Furnas (Membro Inferior), sendo o resultado de um ciclo transgressivo-regressivo, em que a Fm. Ponta Grossa é associada à superfície de inundação máxima do Devoniano, e a Fm. Furnas é resultada da deposição em ambiente fluvial e transicional (CPRM, 2004).

O Grupo São Bento é constituído pela Formação Botucatu (unidade inferior) e pela Formação Serra Geral (unidade superior), este grupo é essencialmente composto por arenitos eólicos depositados em ambiente desértico e derrames basálticos.

O Grupo Parecis no contexto da Baixada Cuiabana é representado pela Formação Salto das Nuvens e pela Formação Utíariti. Este grupo caracteriza a sequência sedimentar clástica de idade Cretácea, representando a porção aflorante da Bacia dos Parecis. Barros *et al.* (1982) subdividiu o grupo nas Formações Salto das Nuvens, unidade inferior do grupo, caracterizada pelas intercalações de níveis conglomeráticos a arenitos conglomeráticos, e a Formação Utíariti, unidade superior, caracterizada por sedimentos arenosos depositados em bancos maciços e espessos.

O Complexo Alcalino Ponta do Morro (Intrusivas Pontas do Morro) é descrito por Sousa (1997) e Sousa *et al.* (2005) como uma associação de rochas graníticas e sieníticas, levemente supersaturadas, correspondendo a granitos peralcalinos. A maior parte do complexo se encontra alojada nos

quartzitos/metarenitos do Grupo Cuiabá, sendo a única ocorrência conhecida de rochas félscicas do Cretáceo no estado do Mato Grosso (Batata, 2022).

A Formação Marília, que corresponde ao Grupo Bauru, corresponde a cobertura sedimentar em inconformidade sobre os basaltos da Fm. Serra Geral (CPRM, 2004). O Grupo Bauru é associado a sedimentação arenítica, sendo caracterizado como um pacote de sedimentos evoluídos a partir de bacias do tipo rifte, Weska *et al.* (1993), constituído por arenitos, muito finos a finos, por vezes calcífero, com presença de níveis conglomeráticos e estruturas sedimentares são pouco preservadas.

A Formação Pantanal apresenta uma vasta ocorrência na Baixada Cuiabana, corresponde a sedimentos inconsolidados ou pouco consolidados datados do Cenozóico, que formam terraços aluvionares (Lima *et al.*, 2022). Almeida (1964) a definiu como sendo formada por leques aluviais de talude e lateritos ferruginosos, compostos por sedimentos predominantemente arenosos e argilosos, com pouca presença de cascalho. Essa formação é caracterizada por três fácies distintas de acordo com (CPRM, 2004): Fácies Depósitos Coluvionares; Fácies Terraços Aluvionares; e Fácies Depósitos Aluvionares.

As Coberturas (Quartenárias) Detritico-lateríticas estão relacionadas a crostas ferruginosas intemperizadas e solos argilo-arenosos pouco profundos a rasos. Essas coberturas ocorrem no topo da Chapada dos Guimarães sobre a Formação Ponta Grossa, como também na Baixada Cuiabana sobre as rochas do Grupo Cuiabá, formando superfícies aplainadas (CPRM, 2004).

2.2 Geologia local

A área estudada está localizada no município de Cuiabá dentro do contexto geológico da Baixada Cuiabana, onde ocorre em sua circunscrição principalmente as rochas do Grupo Cuiabá, Figura 2.2, é descrito a seguir.

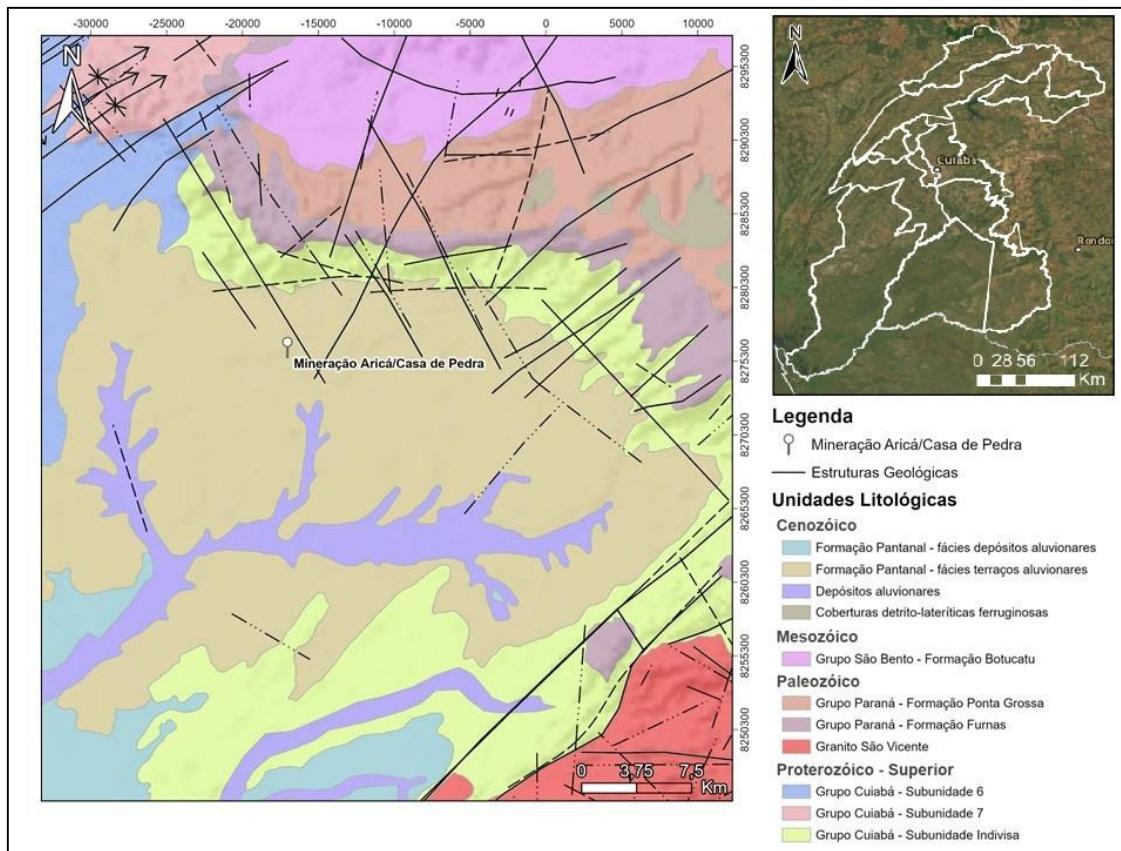


Figura 2.2. Mapa geológico do contexto geológico local da Mineração Aricá (Antiga Mina Casa de Pedra) na Baixada Cuiabana. Fonte: Elaborado a partir dos dados de (CPRM, 2004).

A partir dos estudos do alinhamento Cangas-Poconé, descrito por (Paes de Barros, 1998) como o trecho compreendido entre Poconé e Cangas, orientado a N40°E o qual hospeda um grande número de mineralizações auríferas da Província Aurífera da Baixada Cuiabana, Tokashiki e Saes (2008) definiram uma nova coluna estratigráfica para o Grupo Cuiabá, a qual Beal (2013) relaciona à coluna proposta por Luz *et al.* (1980), da seguinte forma:

- A Formação Coxipó é equivalente às subunidades 6, 7, 8 e Indivisa do Grupo Cuiabá propostas por Luz *et al.* (1980);
- A Formação Acorizal é associada às sub-unidades 3, 4 e 5 do Grupo Cuiabá propostas por Luz *et al.* (1980);
- A Formação Campina de Pedras corresponde às subunidades 1 e 2 do Grupo Cuiabá propostas por Luz *et al.* (1980).

A Formação Campina de Pedras foi adotada englobando as subunidades 1 e 2 de Luz *et al.* (1980) e correspondendo à Unidade Inferior de Alvarenga

(1988). Sua denominação foi estabelecida em referência ao vilarejo situado no núcleo e flanco NW da Antiforme do Bento Gomes no município de Poconé e é constituída da base para o topo por espessa (> 2.000m) sequência deposicional granocrescente de filitos, filitos grafitosos, intercalações de metarenitos com ciclos de Bouma incompletos, mármore calcíticos e metagrauvacas feldspáticas (Tokashiki e Saes., 2008).

Almeida (1964) nomeou a formação correspondente às sub-unidades 3, 4 e 5 de Luz *et al.* (1980) e à Fácies Intermediária da Unidade Média Turbidítica Glácia-marinha de Alvarenga (1988) de Formação Acorizal. Essa formação é composta por uma associação de meta-ritmitos, diamictitos, e ritmitos grossos e finos, intercalados por diamictitos maciços, evidenciando sedimentação glacial (Tokashiki e Saes., 2008).

A Formação Coxipó foi definida por Guimarães e Almeida (1972) e é composta predominantemente por filitos conglomeráticos, metarenitos, quartzitos, mármore e metadiamictitos petromíticos, em que apresenta significativa variação litológica (Tokashiki e Saes., 2008). Esta formação corresponde em parte à Formação Marzagão de Almeida (1964) e inclui as sub-unidades 6, 7 e 8 de Luz *et al.* (1980).

Na região, a Formação Ponta Grossa é caracterizada na base pela sequência de siltitos e folhelhos com coloração variando de cinza a cinza esverdeado gradando para o topo com intercalações de arenitos finos a muito finos, micáceos e feldspáticos, de coloração branca a esverdeada, com finas estratificações. A Formação Furnas é caracterizada pela presença de camadas de arenito médios a grosso com estratificação cruzada, e arenitos finos com laminação e estratificação cruzada (CPRM, 2004).

Localmente, estão presentes as rochas da Formação Botucatu, do Grupo São Bento. Essa unidade ocorre próximo a área de estudo, no município de Chapada dos Guimarães, caracterizada pela presença de arenito fino a grosso de coloração avermelhada, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em estratificações cruzadas de grande porte.

A Formação Pantanal é subdividida em três fácies distintas, sendo elas: Fácies Depósitos Coluvionares; Fácies Terraços Aluvionares; e Fácies

Depósitos Aluvionares. Na área de estudo ocorrem duas fácies, a Fácie Terraços Aluvionares e a Fácie Depósitos Aluvionares.

A Fácie Terraços Aluvionares representa a porção intermediária, compreendendo terraços aluvionares elevados que caracterizam uma planície aluvial antiga, contendo sedimentos arenosoargilosos, parcialmente inconsolidados e laterizados. Já a Fácie Depósitos Aluvionares, compreende a porção superior, caracterizada por sedimentos sub-recentes argilo-síltico-arenosos.

O Granito São Vicente é inequigranular, porfirítico, e é composto principalmente por biotita-granito e muscovita-biotita-granito, exibindo textura isotrópica. Constitui corpos batolíticos tardíos a pós-tectônicos, que intrudem nas rochas metamórficas mais antigas do Grupo Cuiabá, contribuindo para a evolução magmática da Faixa Paraguai, esses corpos batolíticos são orientados em uma direção NNE-SSW na região sul, transitando para uma direção ENE-WSW (Manzano et al., 2008).

São descritas quatro fases de deformação por Silva (1999) na Baixada Cuiabana, caracterizadas a partir do estudo de estruturas de rochas do Grupo Cuiabá. Dentre essas estruturas, se destaca a foliação (S_n), presente em todos os litotipos, como clivagem ardosiana com direção NE e mergulhos de alto ângulo para SE e NW (Silva et al., 2002). É destacada também a estrutura denominada de (S_0) que constitui o acamamento sedimentar, a qual se encontra dobrada pela fase D_n . Localmente, são observadas as fases D_{n+1} e D_{n+2} , que afetam a clivagem S_n , comumente representadas por crenulações coaxias às dobras D_n . A última fase, descrita como D_{n+3} , se caracteriza por dobras suaves com planos axiais que apresentam mergulhos altos para NE ou SW, que são paralelos a planos de intenso fraturamento (Silva et al., 2002).

A foliação S_n , Figura 2.3, a qual é plano axial de dobra, apresenta geometria em leques com mergulhos altos no flanco normal e mergulhos médio no flanco invertido. Na região da Mineradora, a foliação S_n possui orientação em N70E/15NW. O acamamento sedimentar (S_0) possui espessura centimétrica a decimétrica, com dobras (D_n) apertadas, invertidas e envoltórias com orientação N70E/ 70NW (Silva et al., 2002).



Figura 2.3. Frente de cava na localidade de estudo, evidenciando a foliação Sn na rocha encaixante (filito).

Neste contexto, são descritos três tipos de veios, classificados de acordo com sua relação geométrica com S0 e Sn. Os veios do Tipo 1 são subparalelos a paralelos ao acamamento (S0), já os veios do Tipo 2 são paralelos a foliação Sn e os veios do Tipo 3 são subperpendiculares a perpendiculares a foliação Sn, Figura 2.4. São nomeados de filão os veios do tipo 3, enquanto os veios tipo 1 e tipo 2 são denominados de ‘travessões’ (Silva *et al.*, 2002). Na região estudada, são mais frequentes os veios do tipo 2, em geral não são mineralizados, os veios do tipo 3 que ocorrem em feixes, são em geral delgados, com largura média de 2 centímetros, porém com comprimento superior a 3 metros, estando associados a intensa alteração nas rochas encaixantes e, mineralizados.



Figura 2.4. Veio Tipo 3 alterado, conhecido como “filão”.

Alvarenga (1990) em seu estudo de inclusões fluídas em veios na região do Destrítio Aurífero de Cuiabá, que possui a Mineração Aricá (antiga Mineração Casa de Pedra) como um dos locais estudados, demonstra que as inclusões fluídas ricas em CO₂ são um importante indicador para a ocorrência de ouro nas áreas de mais alto grau metamórfico, Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Enquadramento geológico de rochas hospedeiras e veios de quartzo no Grupo Cuiabá, na Mineração Aricá (Casa de Pedra). Fonte: Modificado de Alvarenga (1990).

Tipos de veios	Idade da Rocha hospedeira	Rocha hospedeira	Metamorfismo da Rocha hospedeira	Composição química das fases voláteis analisadas e dados microtermométricos das inclusões					
				CO ₂	N ₂	Tm CO ₂ °C	Th CO ₂ °C	Tm C °C	TH °C
Veio 1 (tipo 1)	Proterozóico superior	Rochas metassedimentares de baixo grau	Deformação e metamorfismo regional	90	10	-57,5	20,5 V	9,5	
				89	11	-56,9		7,5	
Veio 2 (tipo 2)		Veios de quartzo Sin-deformacionais (Paralelos às estruturas regionais, D1)		76	24			9,1	350 L
				90	10	-59,1	17,7 L	8,5	
Veio 3 (tipo 3)		Veios de quartzo tardios (<i>Cross cutting</i> , perpendiculares aos veios tipo 1 e 2)		96	4	-59	18,6 V	9,5	266 L
				93	7	-58,3	22 V	8,5	
				88	12	-58,6	13,1 V	4,5	385 V
Microfraturamento tardio, estágio de deformação clástica									

A circulação de fluídos e a formação das inclusões fluídas são associadas a última fase de deformação, essa fase é crucial para a mineralização aurífera. Na Mineração Aricá (antiga Mineração Casa de Pedra,), os veios de quartzo auríferos estão associados com as últimas fases de deformação, em particular os veios tipo 3 associados com a última fase de deformação rúptil (D4) (Alvarenga, 1990), que equivale a fase Dn+3 descrita por (Silva *et al.*, 2002).

Na localidade de estudo, é destacada a ocorrência de dois tipos de veios de quartzo, sendo eles: Veios do tipo 1, paralelos a foliação Sn, e Veios do tipo 3, perpendiculares a foliação Sn. As principais estruturas observadas na localidade de estudo são: Acamamento (S0), marcado pela interface entre níveis pelíticos e psamíticos, destacado nos filitos; Dobras apertadas a fechadas e foliação (Sn) que estão associadas à primeira fase de deformação (Dn); Clivagem de crenulação, associada a fase de deformação Dn+1;

A principal estrutura presente é a foliação Sn, que ocorre como clivagem ardósiana nos filitos. São observadas também na localidade falhas e dobras abertas.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E METALÚRGICAS DE MINÉRIOS AURÍFERO

3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E METALÚRGICAS DE MINÉRIOS AURÍFEROS

3.1 Mineralogia do ouro

As características geológicas e metalúrgicas de minérios auríferos incluem a classificação mineral do ouro, a composição mineral e a forma de ocorrência do ouro (Liu *et al.*, 2021).

Por ser altamente inerte, o ouro possui poucos compostos de ocorrência natural. A concentração média de ouro na crosta terrestre é de 0,005 g/t, muito menor do que a maioria da concentração dos outros metais, como a da prata que é 0,07 g/t e do cobre de 50 g/t. A baixa concentração de ouro em rochas primárias é devido a necessidade de aumento do fator de concentração de 3.000 a 4.000 durante os processos de formação de minérios para alcançar concentrações viáveis comercialmente (Marsden e House, 2009). Essa concentração é possibilitada por processos naturais de concentração gravitacional ou pela lixiviação do ouro com fluidos provenientes de rocha hospedeira, como exemplo, a lixiviação por soluções altamente oxidantes, ácidas e complexantes e posterior precipitação com maior concentração.

Devido às suas propriedades siderófilas, o ouro tem tendência a se concentrar em fluidos hidrotermais residuais e em fases metálicas ou sulfídicas subsequentes, formadas em estágios iniciais de resfriamento do magma. As rochas ricas em argilas e pobres em carbonatos são as melhores fontes para ouro, visto que a precipitação ocorre quando as soluções hidrotermais encontram um ambiente redutor, como alto teor de carbonatos ou sulfetos redutores (Chryssoulis e McMullen, 2005; Marsden e House, 2009; Phillips, 2022).

O ouro ocorre predominantemente como metal, frequentemente ligado à prata, quando o teor de prata é maior que 20%, a liga é chamada de *electrum*. Há minerais que estão characteristicamente associados ao ouro, como a pirita, galena, esfarelita, calcopirita, arsenopirita, estibnita, pirrotita e teluretos (Chryssoulis e McMullen, 2005).

Outras ligas de ouro são raras e geralmente estão restritas a depósitos específicos, como as de ouro e cobre, que são encontradas em depósitos de

cobre tipo pôrfiro com alto teor de ouro. As ligas de ouro ligado a elementos do grupo da platina (PGE), são encontradas em depósitos de PGE, já as ligas de ouro e bismuto, como a maldonita (Au_2Bi), são mais comuns em depósitos de ouro mesotermal de alta temperatura (Chryssoulis e McMullen, 2005; Marsden e House, 2009).

3.1.1 Minérios Auríferos

De acordo com (ZHOU *et al.*, 2004), os minérios de ouro se classificam com base na metalurgia em: moagem livre (“free-milling”) e minérios refratários. Minérios de ouro definidos como de moagem livre são aqueles em que mais de 90% do ouro pode ser recuperado por lixiviação em cianetação. Já os minérios refratários de ouro são aqueles em que ocorre baixa recuperação de ouro, ou recuperação aceitável condicionada à utilização de mais reagentes ou processos mais complexos de pré-tratamento do minério.

Os minérios auríferos classificam-se em 11 tipos, de acordo com as características mineralógicas e técnicas de processamento mineral necessárias (ZHOU *et al.*, 2004), como mostra a tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1. Tipos e modos de ocorrência de minérios auríferos (Zhou *et al.*, 2004).

Tipo de minério	Modo de ocorrência
Sedimentar do tipo <i>Placers</i>	O ouro é facilmente liberado (ou já liberado no pré-processamento) e normalmente varia de 50 a 100 µm de tamanho.
Minérios em veio de quartzo	Ocorre principalmente como ouro nativo em veios de quartzo ou <i>stockworks</i> , associado geralmente a teluretos e, ocasionalmente, aurostibita e maldonita. Comumente, ocorre como partículas de ouro liberado (“visible gold - VG”), mas ouro disseminado pode também estar presente.
Minérios oxidados	O ouro geralmente ocorre liberado ou associado aos produtos de alteração de sulfetos, e o grau de liberação geralmente aumenta progressivamente com o grau de oxidação.
Minérios ricos em prata	O ouro geralmente ocorre como electrum, embora a kustelita possa estar presente em alguns minérios. Prata nativa pode estar presente.
Minérios de cobre sulfetado	O ouro ocorre como partículas de granulação grossa liberadas e partículas finas, retidas em cristais de pirita e sulfetos de cobre.

Minérios de sulfetos de ferro	O ouro ocorre como partículas liberadas, associadas ou inclusas em sulfetos (comumente em pirita, e menos comumente em marcassita e pirrotita), e como ouro submicroscópico em sulfeto (ouro invisível).
Minérios de arsênio sulfetado	O ouro ocorre como partículas liberadas, inclusões nos sulfetos, e ouro submicroscópico em arsenopirita e produtos oxidados.
Minérios de antimônio sulfetado	O ouro ocorre principalmente como ouro nativo, com pequena a moderada quantidade de aurostibita, liberada ou bloqueada em sulfetos.
Minérios de bismuto sulfetado	O ouro ocorre principalmente como ouro nativo, com pequenas a moderadas quantidades de maldonita. Ouro submicroscópico também pode estar presente em sulfetos.
Minérios de telureto	O ouro ocorre como ouro nativo e teluretos de ouro, liberados ou bloqueados em sulfetos. Ouro submicroscópico pode estar presente.
Minérios carbonosos sulfídicos	O ouro ocorre principalmente como partículas de ouro de grão fino, ouro submicroscópico em sulfetos, e ouro superficial absorvido na superfície da matéria carbonácea e óxidos de ferro.

ZHOU *et al.*, (2004) classifica o ouro de acordo com o modo de ocorrência em três categorias: ouro microscópico, ouro submicroscópico e ouro ligado à superfície. Com base em Zhou *et al.*, (2004), os minerais de ouro são caracterizados como os minerais nos quais o ouro está presente como constituinte principal (por exemplo, ouro nativo e *electrum*), já os transportadores de ouro (*Gold carriers*) são definidos como o mineral no qual ou sobre o qual o ouro ocorre apenas como traço (como a pirita e arsenopirita) e o mineral de ouro.

Ouro nativo (Au) e *electrum* (Au, Ag), encontrados em vários tipos de depósitos de ouro, são os dois mais comum e mais importante minerais de ouro. Ouro microscópico em minérios primários ocorre como grãos puros de tamanhos variados e forma em fraturas e microfraturas, ou como anexos e inclusões em outros minerais. A Figura 3.1 apresenta alguns exemplos comuns de ocorrências de ouro observados em minério e produtos de moagem.

O ouro microscópico, conhecido também como ouro visível, compreende ligas de ouro, teluretos de ouro (*gold tellurides*), sulfetos de ouro (*gold sulfides*), selenetos de ouro (*gold selenides*), sulfoteluretos de ouro (*gold sulfotellurides*) e sulfoselenetos de ouro (*gold sulfoselenides*), dentre outros. Os minerais de ouro mais comuns e importantes, são o ouro nativo (Au) e o *electrum* (Au, Ag), os quais são encontrados em vários tipos de depósitos de ouro. Nos minérios

primários, o ouro microscópico ocorre como grãos puros de tamanho e forma variados, em fraturas e microfraturas, ou como inclusões em outros minerais (Zhou *et al.*, 2004).

O ouro submicroscópico é o ouro visível ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), as duas principais formas de ouro submicroscópico são o ouro em solução sólida e o ouro coloidal. Ocorre geralmente como partículas menores que 0,1 µm de diâmetro, incluso em minerais sulfetados, a exemplo da pirita e arsenopirita. Esse tipo de ouro é a forma principal de ocorrência em depósitos auríferos tipo Carlin e em alguns depósitos auríferos tipo Epitermal (Zhou *et al.*, 2004).

O ouro em superfície é descrito como o ouro adsorvido na superfície de outros minerais, durante a mineralização e posterior oxidação ou processamento metalúrgico, sendo invisível no microscópio eletrônico de varredura. Os principais transportadores de ouro em superfície em minérios são os óxidos de ferro, quartzo “manchado” (*stained quartz*), matéria carbonosa e minerais argilosos (Zhou *et al.*, 2004)

3.1.2 Assinatura geoquímica de Depósitos Auríferos

O ouro ocorre em uma ampla variedade de tipos e configurações de depósito, que se distinguem na geometria, natureza das rochas hospedeiras, assinatura dos fluidos, estilo de mineralização e na associação mineral. Os depósitos de ouro de origem magmática-hidrotermal são classificados em depósitos do tipo pórfiro, epitermal, skarn, IOCG e *Intrusion related*. Já os depósitos de origem hidrotermal são os do tipo orogênico, vulcanogênicos de sulfeto maciço (VMS) e do tipo Carlin, e os depósitos de origem sedimentar são denominados do tipo *placer* (Nguiamsia *et al.*, 2017; Robb, 2005).

O período geológico de maior formação de depósitos de ouro, foi o Mesoarqueano. Outros períodos de formação significativa de depósitos auríferos ocorreram no Neoarqueano, no Paleoproterozóico e no Paleozóico, havendo alguns depósitos também pertencentes ao Cenozóico. (Nguiamsia *et al.*, 2017).

O ouro nativo é um mineral indicador significativo para depósitos auríferos, e sua composição química em diferentes configurações geológicas resulta da composição do fluido sob várias condições físico-químicas e

mineralogia associada (Liu *et al.*, 2019). A tabela 3.2 a seguir, apresenta padrões de assinaturas geoquímicas para diferentes tipos de depósitos auríferos.

Tabela 3.2. Assinaturas geoquímicas associadas a depósitos de ouro. *Fonte: Adaptado de Reflex geochemistry e Liu & Beaudoin, 2021.*

Tipo de depósito	Assinatura Geoquímica dominante
Ouro Orogênico	S, As, CO ₂ , K+/-Sb, Te, Mo, W, Cu, Pb, Zn, Hg
Epitermal – Alta Sulfetação	Ag, Cu, Te, Mo, Bi, Sn
Epitermal – Baixa Sulfetação	Zn, Hg, Se, K, As, Sb, Ag/Au
Carlin	As, Sb, Hg, Ti
Pórfiro Cu-Au	Cu, Pb, Zn, Ag
Skarns - Au	Bi, Te, As, Co
<i>Intrusive Related - Au</i>	Bi, W, As, Sb, Mo, Te, Fe
VHMS	Cu, Pb, Zn, Ag, Ba, K, Mg +/- CO ₂
IOCG	F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag, Ba, U, LREE
Supergênico	“High Fineness Au +/- any of the above”

A exemplo dos sistemas de depósitos orogênicos e magmáticos-hidrotermais, os sistemas hidrotermais clorídricos oxidados podem ser diferenciados e identificados por valores de Ag <5% do peso, com presença mensurável de Pd (Chapman *et al.*, 2019). Estes dois sistemas podem ainda ser diferenciados pelos teores de prata, com base no estilo de mineralização, como mostra a figura 3.1. Em depósitos auríferos de ouro em veio de sistemas pórfiro-epitermal alcalinos, são observados valores de até 4% em peso de paládio, e em sistemas hidrotermais clorídricos oxidados, valores em torno de 12% em peso de Pd (Chapman *et al.* 2009; Chapman *et al.* 2017; Leake *et al.* 1991).

Dentro ainda dos sistemas orogênicos, pode-se diferenciar os depósitos pré-cambrianos dos fanerozóicos, devido a teores mais baixos de Ag nos depósitos pré-cambrianos, além do mais raramente o cobre é um componente importante em ligas de ouro nos depósitos fanerozóicos (Chapman, 2021). O ouro de sistemas pórfiro apresenta baixas concentrações de cobre, sendo <1%

em peso. Em alguns depósitos de sistemas orogênicos, ocorrem concentrações elevadas de mercúrio, com valores de Hg próximos de 12% do peso no ouro (Chapman *et al.* 2000, 2010a; Chapman e Mortensen, 2016)

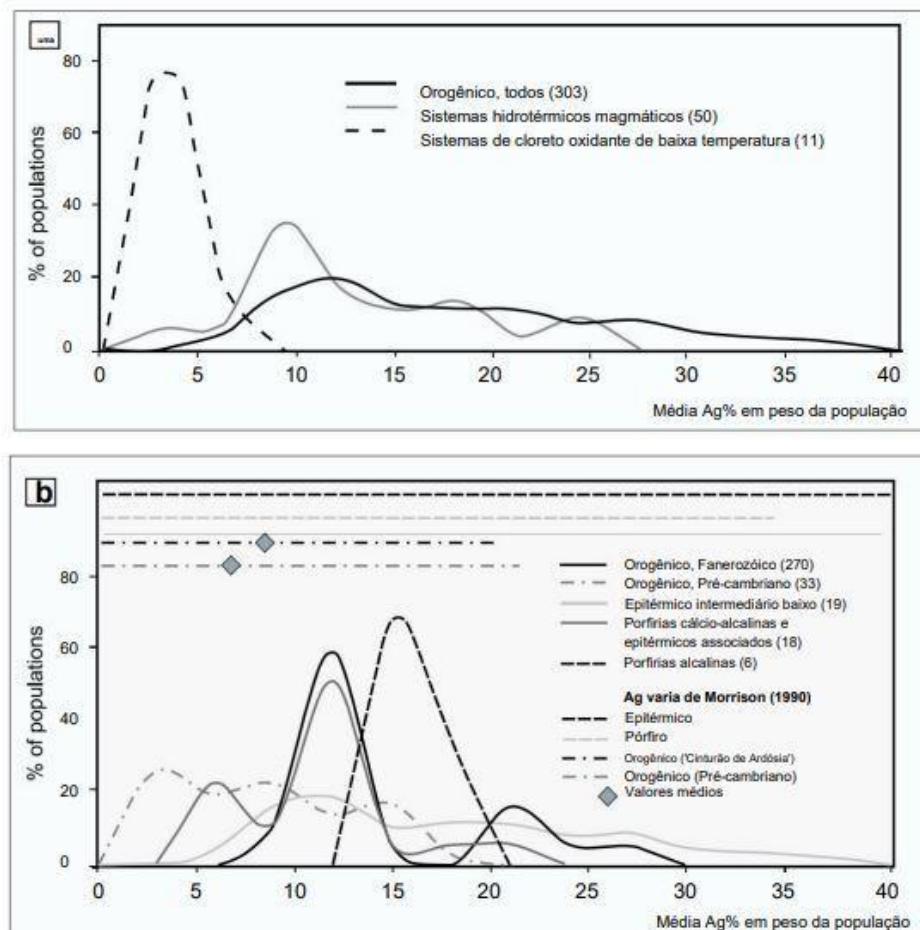


Figura 3.1. A. Valores médios de % em peso de Ag para populações de partículas de ouro orogênico, hidrotermais magmáticos e sistemas hidrotermais clorídricos oxidados. B. % em peso médio de Ag para estilos de fonte mais refinados de orogênicos e mineralização magmática-hidrotermal. Adaptado de (Chapman *et al.*, 2021).

O ouro de depósitos epitermais é caracterizado por teores relativamente altos de Te, Se, As, Pb, Zn e Fe, porém com baixos teores de Cd e Cu. Já no ouro de depósitos de ouro orogênico há concentrações relativamente altas de Sb e Cu, enquanto as concentrações de Cr, Ni e Fe são baixas. O ouro dos depósitos VMS pode ser distinguido por concentrações relativamente altas de Cu e S, com baixas concentrações de Zn, Te, Se, Sb, Sn, Pb e Fe. Geralmente, o ouro de depósitos epitermais apresenta maiores variações de Te, Se, Bi, As, Pb e Zn em relação ao ouro de depósitos de ouro orogênico. Entretanto, o ouro de

depósitos de VMS é caracterizado por maiores variações em Pd, Bi, Sb, Pb e Cu do que os de ouro de depósitos de ouro orogênico (Liu *et al*, 2019). Em geral, a variação significativa das concentrações e composições de Te, Bi, Sb, As, Pb e Cu dos grãos de ouro é discriminante para depósitos de ouro VMS, epitermais e orogênicos, Figura 3.2 (Liu *et al*, 2019).

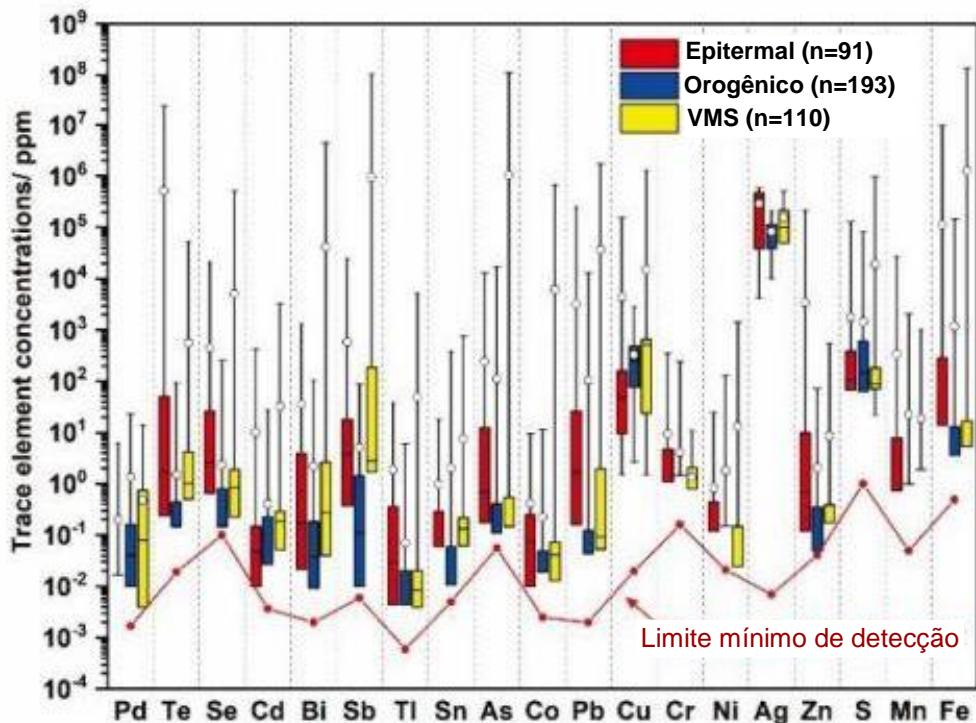


Figura 3.2. Gráficos de caixa de elementos múltiplos da composição de elementos traços com base em dados LA-ICP-MS de depósitos epitermicos, orogênicos e VMS. A linha vermelha indica os limites mínimos de detecção para análise LA-ICP-MS. Fonte: (Liu *et al*, 2019).

CAPÍTULO 4

GEOMETALURGIA DO OURO

4 GEOMETALURGIA DO OURO

4.1 Geometalurgia

A geometalurgia é um campo de estudo interdisciplinar que se preocupa com o planejamento, o monitoramento e com a otimização da extração e beneficiamento de recursos minerais, a partir da compreensão das características dos recursos primários, como a composição mineralógica e textura, a distribuição espacial e a variabilidade dessas características, e como eles interagem com os processos de mineração e beneficiamento (Frenzel *et al.* 2023).

O processo de formação de depósitos minerais é afetado por muitos fatores complexos, como estruturas, rochas magmáticas e rochas encaixantes. Portanto, as características dos depósitos minerais são amplamente diversas espacialmente, variando os tipos de rochas, tipos de minério e combinações minerais, como também mudanças verticais e laterais, que explicitam a heterogeneidade de uma jazida, como ocorre frequentemente em jazidas auríferas, podendo causar problemas no processamento mineral. Para reduzir esse risco, surgiu a geometalurgia, como um assunto interdisciplinar entre geologia e metalurgia, a geometalurgia, ligando as características geológicas, geoquímicas e mineralógicas dos corpos de minério com propriedades metalúrgicas (Liu *et al.*, 2021).

Entende-se como geometalurgia o campo de estudo entre a geologia e a metalurgia extractiva, no entanto, na prática, é a interação entre geologia, geoestatística, engenharia de minas e metalurgia extractiva. Em vista da geologia, a principal contribuição, é a documentação da variabilidade de um corpo mineralizado, incluindo mineralogia, textura e estrutura, visando incluir todos os tipos de minério significativos no programa de amostragem metalúrgica (Hunt, 2019). As áreas de estudo mais presentes em uma pesquisa geometalúrgica são a geologia, caracterização tecnológica mineral, planetajamento de lavra, metalurgia e a geoestatística (Costa, 2022).

Gonçalves (2017) e Arroyo Ortiz (2014), destacam a importância do estudo e conhecimento da composição mineralógica de amostras oriundas de mina ou de depósito analisados, que aliados aos dados de composição química,

viabilizam uma previsão do comportamento metalúrgico, o qual pode variar por diversos fatores, como exemplo, minerais de mesma composição com hábitos diferentes, podem se comportar de maneira distinta no processamento. Essas variáveis, advindas principalmente de análises químicas, mineralógicas e metalúrgicas, quando relacionadas, fornecem a caracterização geometalúrgica de um minério.

A geometalurgia abarca um conjunto de informações geológicas e de processos, as quais são incorporadas a um modelo tridimensional do depósito, tornando o planejamento de lavra e de produção mais acurado em relação à capacidade de produção, propiciando a redução de riscos associados à lavra e à sua tomada de decisão (Costa, 2022).

O objetivo principal da geometalurgia é otimizar o uso racional dos recursos minerais, por meio de práticas mais eficientes e sustentáveis de aproveitamento e redução de impactos ocasionados pela mineração, permitindo também aprimorar e auxiliar planos de produção e a identificação e avaliação de oportunidades de negócios (Costa, 2022).

A junção de particularidades geológicas e mineralógicas viabiliza a formulação de uma identificação preliminar de tipos geológicos de minério. Além da variação de teores de minérios em depósitos minerais, há outros parâmetros inerentes à geometalurgia que afetam diretamente na recuperação e no êxito da extração mineral, tais como dureza do material, mineralogia, porosidade e grau de liberação (Magalhães et Al, 2019). Portanto, a amostragem representativa é primordial para garantir que os resultados de um estudo geometalúrgico reflitam o desempenho futuro do minério estudado, através da caracterização mineralógica e de testes metalúrgicos (Figura 3.2).

O conceito de matriz geometalúrgica foi introduzido por Williams e Richardson (2004) que a define como um gráfico de três eixos, com dois eixos representando fatores geológicos e o terceiro eixo representando parâmetros críticos, Figura 4.1, que melhoram ou dificultam o processamento.

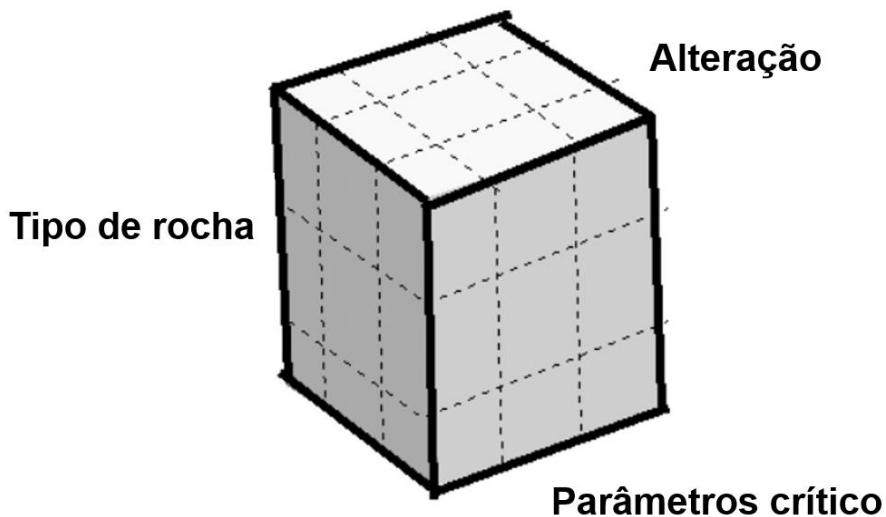


Figura 4.1. Exemplo de matriz geometalúrgica. Fonte: Modificado de Williams e Richardson (2004).

A matriz geometalúrgica de um depósito engloba a correlação desses dados associados aos tipos de rochas com parâmetros críticos, que podem impactar positiva ou negativamente o processo de beneficiamento (ALRUIZ *et al.*, 2009; HOAL, 2008). Estando a matriz geometalúrgica definida, posteriormente avaliam-se as variáveis de interesse dentro de cada cruzamento na matriz, visando compreender e quantificar a variabilidade de um depósito associada aos fatores geológicos. Com esse objetivo, são coletadas amostras representativas em campo que a depender das respostas que se deseja obter, podem ser submetidas a testes químicos, mineralógicos, físicos, geotécnicos ou metalúrgicos (Costa, 2022).

Portanto, a matriz geometalúrgica é uma forma estruturada de documentar e estimar a variabilidade geológica de depósitos, auxiliando na amostragem representativa para estudos metalúrgicos (Costa, 2022).

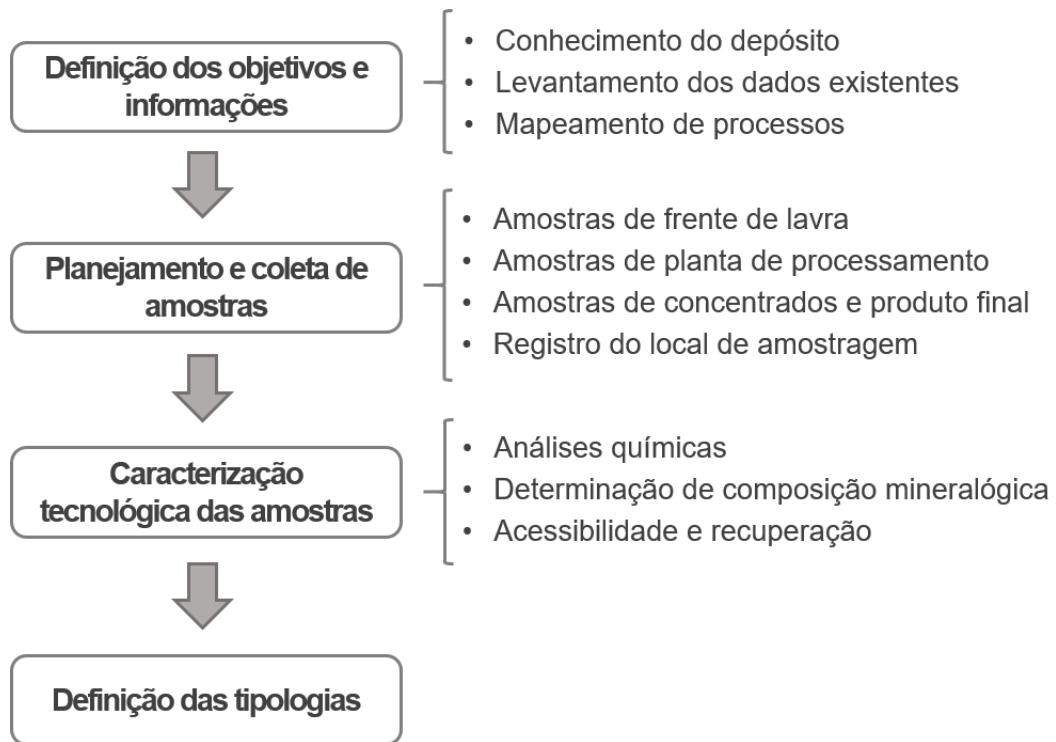


Figura 4.2. Etapas do estudo geometalúrgico. Modificado de Lamberg (2011) e Costa (2022).

Tabela 4.1 Relação entre fatores geológicos e metalúrgicos. Fonte: extraído de Costa, 2022 (modificado de Williams & Richardson (2004)).

Fatores geológicos	Parâmetros críticos	Unidades operacionais de maior influência
Litotipos e distribuição espacial e no depósito	Variações nos conteúdos de S e As (para minério sulfetado de ouro) Composição mineralógica Dureza, granulometria, competência Porosidade, reatividade	Moagem, flotação
Associações minerais e processos de mineralização	Associação mineralógica do ouro (pirita e arsenopirita) Distribuição e zoneamento mineral Texturas minerais (associações, intercrescimentos, etc.)	Flotação, moagem, lixiviação
Tipo de alteração	Variações na dureza (cloritização, sericitização, ferrificação) Modificações na composição dos minerais Mudanças na solubilidade/reatividade Texturas alteradas (coberturas superficiais, substituição)	Moagem, flotação, lixiviação, purificação, separação sólido/líquido
Parâmetros estruturais	Redução da granulometria e formação de argilas nas falhas Canais abertos de percolação de fluidos e oxidação Mudanças na dureza Zoneamento local	Moagem, flotação, separação sólido/líquido

A matriz geometalúrgica fornece uma base objetiva que orienta atividades de amostragem para propriedades físicas e testes metalúrgicos. A depender do projeto, uma série de técnicas de testes podem ser utilizadas para caracterizar o minério e assim alimentar dados no modelo geometalúrgico (Williams & Richardson, 2004). Um modelo geometalúrgico relaciona a Geologia e o Processamento Mineral para criar um modelo tridimensional do corpo mineralizado baseando-se no planejamento e no gerenciamento da mina (Lund e Lamberg, 2014), o que permite uma otimização econômica da exploração da mina.

Houve uma evolução rápida no âmbito da geometalurgia a partir dos anos 2000, com a contribuição do avanço da mineralogia quantitativa, como os métodos de análise automatizada de imagens por feixe de elétrons (Costa, 2022; LUND *et al.*, 2015; LUND, 2013; GOTTLIEB *et al.*, 2000).

4.2 Beneficiamento do Ouro

O beneficiamento do ouro consiste no tratamento das rochas extraídas na mineração para transformação em matérias-primas com maior valor econômico agregado. As operações de preparação devem preservar as partículas de ouro livre e o beneficiamento como um todo deve priorizar a recuperação do ouro contido, ficando o teor de ouro no concentrado.

A designação do processo tecnológico para o tratamento de minérios que objetiva extrair ouro inclui fatores econômicos e técnicos, dentre estes, as características mineralógicas da matriz e propriedades físicas e químicas do metal, como o elevado peso específico do ouro, que se relaciona aos métodos gravimétricos de concentração, a formação de compostos intermetálicos com o mercúrio, propiciando a utilização da amalgamação como forma de recuperação das partículas grosseiras de ouro; a hidrofobicidade e respostas positivas a coletores de flotação; a solubilidade em soluções aquosas de cianetos de metais alcalinos, formando compostos relativamente estáveis (Granato, 1986).

A preparação do ouro é a primeira etapa do beneficiamento, que é composta pela britagem, peneiramento, moagem e a classificação. A britagem é a etapa que objetiva reduzir o tamanho do minério, para as frações granulométricas necessárias as demais etapas do beneficiamento. O

peneiramento é realizado por peneiras vibratórias convencionais onde há a separação nas frações granulométricas desejadas. A etapa de classificação objetiva separar em *underflow*, partículas mais densas, e *overflow*, partículas mais finas. A moagem consiste na cominuição de partículas de minérios, com o objetivo de liberar o minério, e facilitar o processo de refinamento.

A etapa seguinte é a de concentração do ouro, em que se utiliza métodos gravíticos ou flotação, a depender do tipo de minério, e posteriormente segue para a etapa de refinamento do ouro. Os pré-concentrados de minérios, seguem para etapa de refino metalúrgico, para realizar o processo de lixiviação, cianetação e eletrólise, ou segue para a amalgamação.

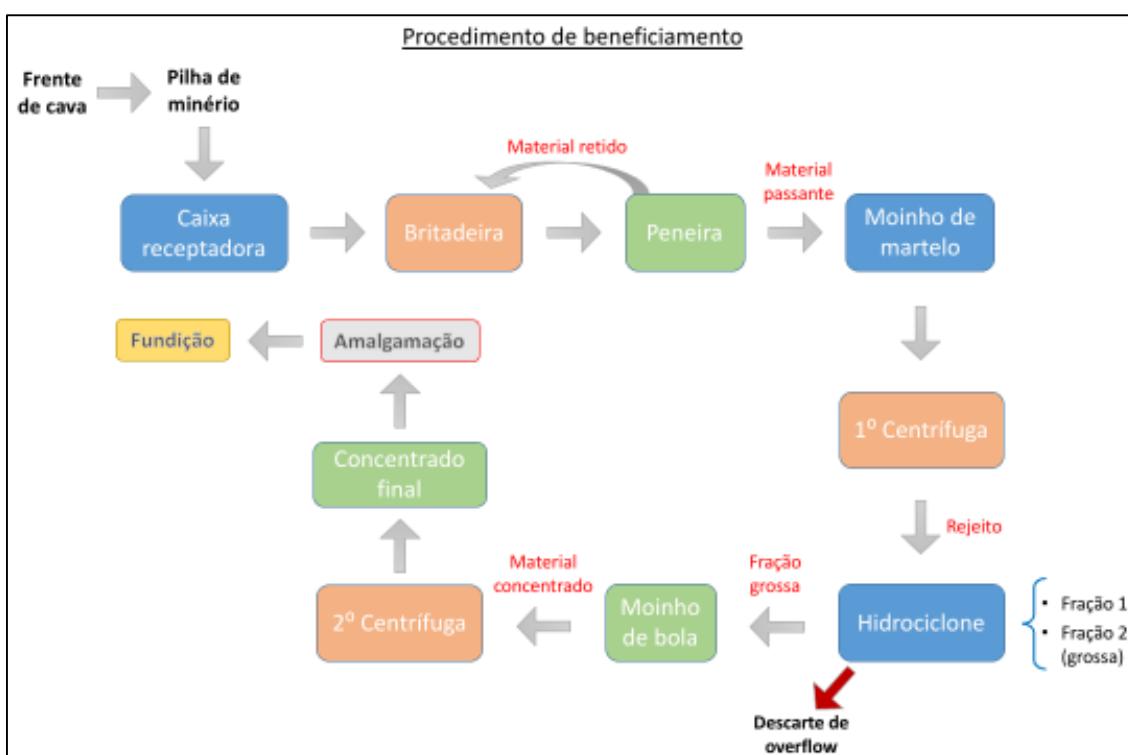


Figura 4.3. Fluxograma do procedimento de beneficiamento no local de estudo.

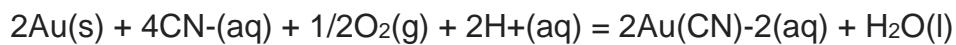
Na figura 4.3, é apresentado de forma esquematizada o processo de beneficiamento no local de estudo, em que se inicia com o desmonte explosivo de frente de lavra, para a retirada do minério, seguido de sua disposição em pilhas. O minério empilhado é dispensado em uma caixa receptadora na planta passando depois por um britador, para a cominuição inicial, posteriormente o minério segue para um moinho de martelo, passando pelo moinho de bola, por

centrífugas e concentração, para o material concentrado ser misturado com mercúrio, produzindo amálgama, que posteriormente será fundida.

4.3 Principais processos metalúrgicos

A metalurgia extractiva do ouro se divide em três principais sistemas metalúrgicos Hidrometalurgia, Pirometalurgia e Eletrometalurgia. A pirometalurgia envolvem o emprego de altas temperaturas, já a hidrometalurgia envolve a utilização de soluções aquosas e a eletrometarlugia corresponde a eletrólise. Do ponto de vista metalúrgico, o ouro chamado “livre”, pode ser recuperável por gravidade, flotação ou cianetação. Já o ouro associado a sulfetos, são recuperáveis por flotação com ou sem cianetação ou por lixiviação sem cianeto (Zhou, 2016).

Dentro da hidrometalurgia, a cianetação é o processo de maior importância e utilização, que se baseia na capacidade do cianeto formar complexos com o ouro. A utilização do cianeto é em forma de sais, como o cianeto de sódio, NaCN, de potássio, KCN, e de cálcio, Ca(CN)2, e a reação de cianetação em ouro é dada pela seguinte equação:



Após a realização da cianetação, ocorre o processo de recuperação do ouro dissolvido, que pode ser realizada por adsorção em carvão ativado, precipitação com alumínio, ou precipitação com pó de zinco (Granato, 1986).

A amalgamação consiste em um processo de concentração utilizada em minérios que contenham metais preciosos, a exemplo do ouro e da prata. O processo de amalgamação é caracterizado pela aderência preferencial de metais como o ouro com o mercúrio, quando em contato com água, ar e outros minerais, formando consequentemente um composto intermetálico, que é conhecido como amálgama (Braga, 2007). A formação da amálgama em processos minerais contém de 30 a 50% de ouro e ponto de fusão superior a 360°C (Lins *et al.*, 1992). Embora o mercúrio metálico evapore a 257°C, o amálgama de ouro só se decompõe completamente em muito temperatura mais alta (Hruschka, 2016). Esse método é usado geralmente em concentrados

gravíticos provenientes de aluviões ou de minérios primários nos quais o ouro se encontra livre.

4.4 Geometalurgia aplicada a minérios auríferos

O objetivo de um programa geometalúrgico de ouro é caracterizar e entender a variabilidade metalúrgica do corpo mineralizado, como parâmetros de cominuição, gravidade, flotação e cianetação e recuperação de ouro. A amostragem representativa é primordial para garantir que os resultados de um estudo geometalúrgico reflitam o desempenho futuro do minério estudado, através da caracterização mineralógica e dos testes metalúrgicos. Os minérios de ouro são frequentemente tratados no sistema industrial utilizando vários processos combinados, incluindo processos unitários, como separação por gravidade, flotação e cianetação.

Para minérios de ouro refratários, nos quais o ouro ocorre principalmente como ouro submicroscópico em minerais de sulfeto e está associado a matéria carbonácea em alguns depósitos, é necessário pré-tratamento antes da lixiviação, tornando o processamento do minério de ouro mais desafiador e a caracterização do minério mais importante (Zhou, 2016).

Para compreender o contexto geometalúrgico do ouro, após as etapas de preparação e classificação, é importante realizar a Análise de Liberação Mineral, que pode ser realizada por meio de QESCAM (Zhou, 2016), bem como, caracterizar a morfologia e a química do minério aurífero ou do ouro primário, trazendo importantes informações a respeito do comportamento do minério, bem como, da assinatura química do minério em questão.

A heterogeneidade associada aos distintos tipos de minério de ouro, devido a variações na mineralogia, teor, resistência da rocha, dentre outros, demonstra a necessidade da caracterização geometalúrgica do ouro a fim de definir a origem, bem como as transformações advindas do beneficiamento mineral. Do ponto de vista da geometalurgia, o modo de ocorrência do ouro e a caracterização de suas variações físicas e químicas durante seu processamento, é possibilitada a partir da descrição e caracterização morfológica e química do ouro, em cada etapa de processamento, com a utilização de técnicas analíticas

como Microssonda (EMPA), MEV-EDS e ICP-MS, que possibilitam identificar variações físicas e químicas no ouro, decorrente dos processos de beneficiamento.

Assim, por meio da geometalurgia, é possibilitada a previsão sobre o comportamento de um minério aurífero, ao longo de seu beneficiamento, permitindo, portanto, conhecer os efeitos dos processos metalúrgicos e caracterizar alterações físicas e químicas no ouro nas etapas de extração do minério até seu refino.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Coleta e preparação de amostras

A fim de garantir uma representação abrangente das condições em toda a operação da mina, foram coletadas amostras em diversas etapas do processo, **Figura 5.1**, desde as frentes de lavra até a planta de beneficiamento, como também concentrados do minério, incluindo os processos de amalgamação e fusão. Estas amostras foram selecionadas estratégicamente para obter as variações potenciais ao longo do processo de extração e beneficiamento, principalmente do ponto de vista da geometalurgia.

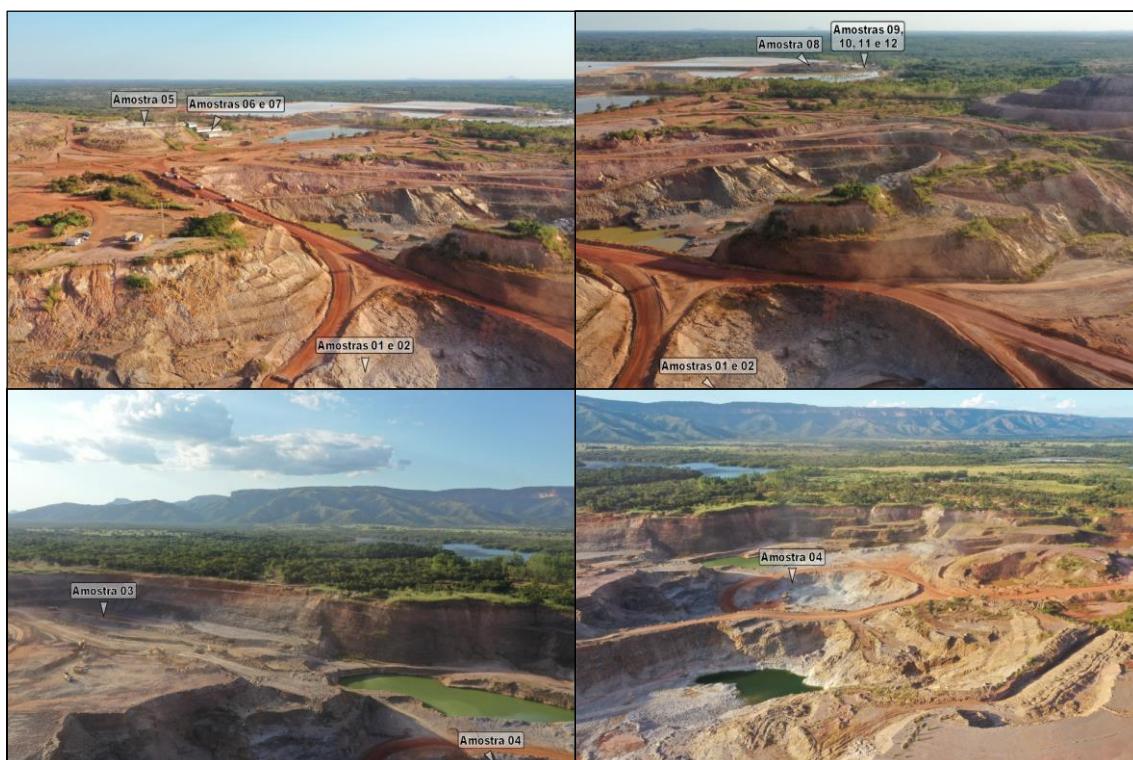


Figura 5.1. Localização dos pontos de coleta de amostra em fotografia aérea com Drone na localidade de estudo.

No total, foram coletadas 12 amostras no local de estudo. As informações detalhadas sobre cada uma dessas amostras serão apresentadas na **Tabela 5.1** a seguir, fornecendo uma visão mais clara e detalhada das características dessas em diferentes estágios da operação da mina.

Tabela 5.1. Localização e descrição da coleta de amostras no local estudado - Cuiabá - MT.

Identificação	Tipo	Longitude	Latitude	Local de amostragem
Amostra 1	Rocha (encaixante)	55°48'47,53"	15°33'03,11"	Frente da cava X
Amostra 2	Rocha (minério veio)	55°48'47,53"	15°33'03,11"	Frente da cava X
Amostra 3	Rocha minério friável	55°48'47,05"	15°32'46,33"	Frente da cava Y
Amostra 4	Rocha (minério sulfetado)	55°48'36,80"	15°32'53,64"	Frente da Cava Z
Amostra 5	Rocha (minério sulfetado)	55°48'48,04"	15°33'20,95"	Pilha da Cava Z (Pré-britagem)
Amostra 6	Sedimento	55°48'49,82"	15°33'22,77"	Produto moinho de bola (Planta 2) - Cava Z
Amostra 7	Sedimento	55°48'49,82"	15°33'22,77"	Produto moinho de martelo (Planta 2) - Cava Z
Amostra 8	Rocha/Rocha friável	55°49'24,87"	15°33'28,12"	Blend das Cavas X e Y
Amostra 9	Concentrado	55°49'26,29"	15°33'25,83"	Concentrado do martelo (Planta 1) – Blend das Cavas X e Y
Amostra 10	Amálgama	55°49'24,33"	15°33'26,54"	Amálgama (Planta 2) - Cava Z
Amostra 11	Ouro fundido	55°49'24,33"	15°33'26,54"	Ouro esponja (material fundido da amostra 10)
Amostra 12	Concentrado de bateia	55°49'24,33"	15°33'26,54"	Produto do Concentrado final – Cavas Z, X e Y

Realizada a coleta das amostras em campo, iniciou-se as análises em laboratório de acordo com os parâmetros e procedimentos de Cadeia de Custódia. Inicialmente, as amostras foram fotografias, abertas e pesadas (**Figura 5.2**) para determinar sua massa líquida, em seguida, foram fotografadas novamente para documentar visualmente suas características e aparência.



Figura 5.2. Pesagem de amostra friável em balança de precisão.

As preparações das amostras são realizadas de acordo com o tipo de amostra e a metodologia analítica a ser utilizada, as amostras coletadas são de diferentes tipos, **Figura 5.3**, refletindo diferentes estágios e origens no processo de extração e beneficiamento. Estas incluem amostras da frente de lavra, que consistem na rocha fresca extraída diretamente do local de mineração, bem como amostras provenientes de pilha de pré-britagem, de concentrados dos moinhos, de rocha alterada e de concentrado de bateia. Entretanto, em algumas amostras não foi possível encontrar ouro.

Para as amostras da frente de lavra, em que a massa líquida é de aproximadamente um kilo (1kg), onde a concentração de ouro é proporcionalmente baixa e as partículas são finas, foi necessário um processo especial de preparação. Inicialmente, essas amostras foram submetidas à moagem fina para a liberação do ouro, e em seguida, são peneiradas para concentrar o ouro nas frações mais propensas a conter ele.

Por outro lado, as amostras de rocha alterada exigem um procedimento diferente. Após a secagem na estufa para remover qualquer umidade residual, as amostras são moídas, quando necessário, e peneiradas por frações, permitindo uma análise mais detalhada das características da rocha.

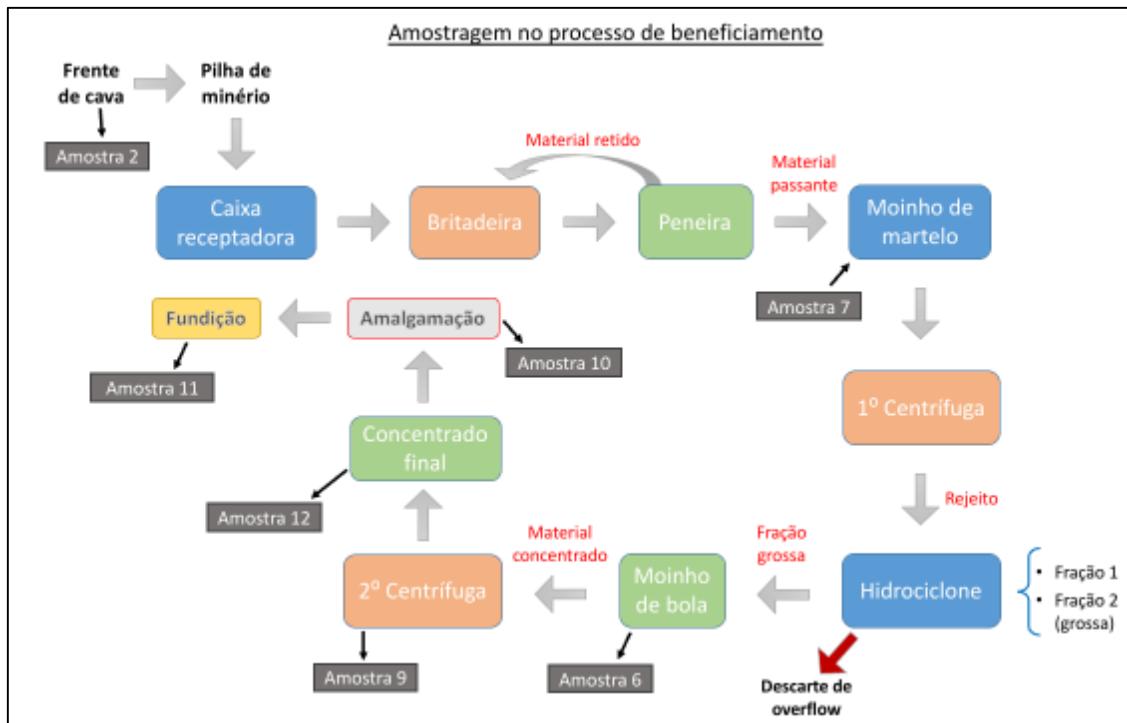


Figura 5.3. Fluxograma do procedimento de beneficiamento das amostras analisadas no local de estudo.

Já as amostras de concentrados, tanto do moinho, quanto de bateia, também passam pelo processo de secagem na estufa antes de serem peneiradas para garantir uma preparação adequada para a realização de análises das características físicas e químicas do ouro.

Após essas etapas iniciais, todas as amostras passam pelo estágio final de preparação, sendo separadas por granulometria, garantindo consistência nos procedimentos e preparando-as para análises posteriores.

5.1.1 Concentração e separação de ouro

As amostras previamente selecionadas para realização de descrição morfológica, são inicialmente pesadas e posteriormente secas em estufa, quando úmidas, para serem quarteadas (Figura 5.4) e peneiradas (Figura 5.5) de acordo com o tipo de amostra.



Figura 5.4. Quarteamento e homogeneização de amostra friável.

As frações granulométricas utilizadas no peneiramento foram de 40 Mesh, 100 Mesh, 200 Mesh e 635 Mesh, as quais possibilitaram uma boa separação granulométrica do material, como também na identificação da granulometria principal que se obtém ouro.



Figura 5.5. Separação granulométrica de amostra friável utilizando peneiras de 40 Mesh, 100 Mesh, 200 Mesh e 635 Mesh.

O ouro contido nas amostras friáveis é identificado principalmente na fração de 200 Mesh. Para obtenção de grãos de ouro, realiza-se inicialmente a

separação magnética de minerais magnéticos e pesados, com a utilização de imã de Neodímio, devido a grande quantidade de minerais pesados nas amostras, e posteriormente, o microbateamento (Figura 5.6) em placa de Petri com a utilização de álcool isopropílico, para acúmulo do ouro nas extremidades da amostra bateada (Figura 5.7), otimizando a obtenção dos grãos. Os minerais pesados, bem como os magnéticos, foram separados e acondicionados em recipiente adequado possibilitando que seja utilizado posteriormente em outros estudos.

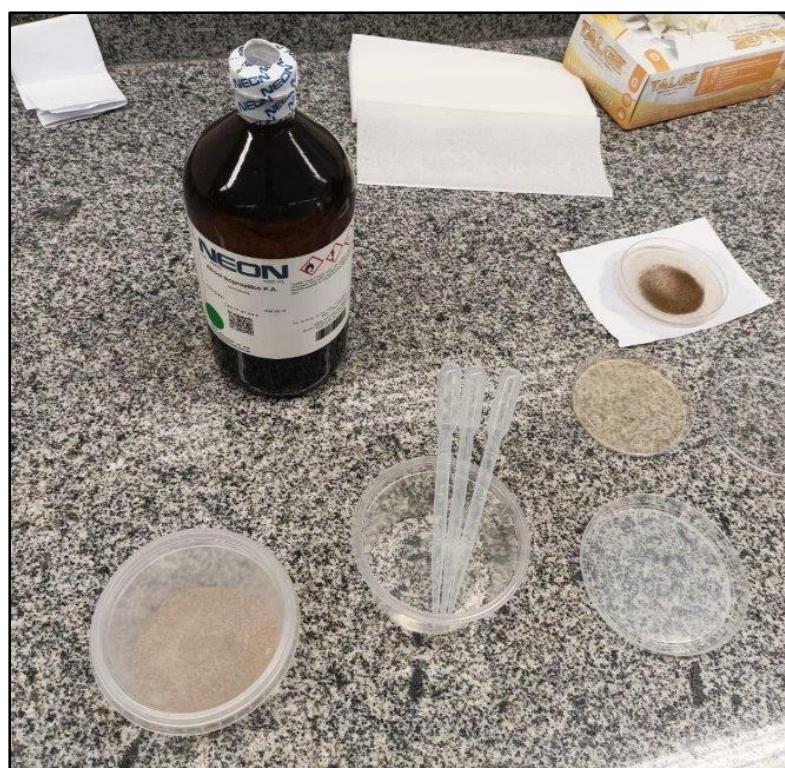


Figura 5.6. Materiais e procedimento para a realização de microbateamento de amostras em placa de petri.

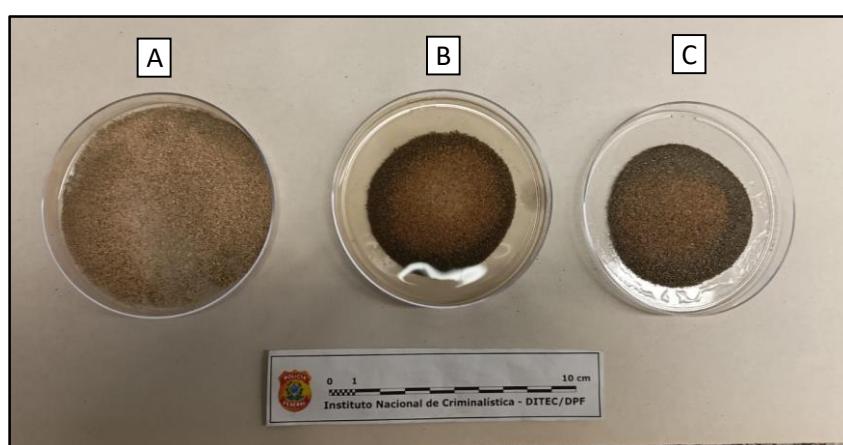


Figura 5.7. Amostras em placa de petri: a) Sem microbateamento. B) Após microbateamento e úmida. C) Após microbateamento e seca.

Para a realização de análise morfológica em lupa, como também, em MEV, os grãos obtidos são montados em *stubs* de fita de carbono, Figura 5.8. Feito o preparo das amostras de grãos de ouro, estas foram analisadas utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), com as técnicas de Backscatter (elétrons retroespalhados) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), permitindo obter dados da morfologia e composição dos grãos em detalhes.

Após o preparo de todas as amostras, foram encontrados grãos de ouro nas amostras, exceto em 4 amostras, como a amostra de filito.

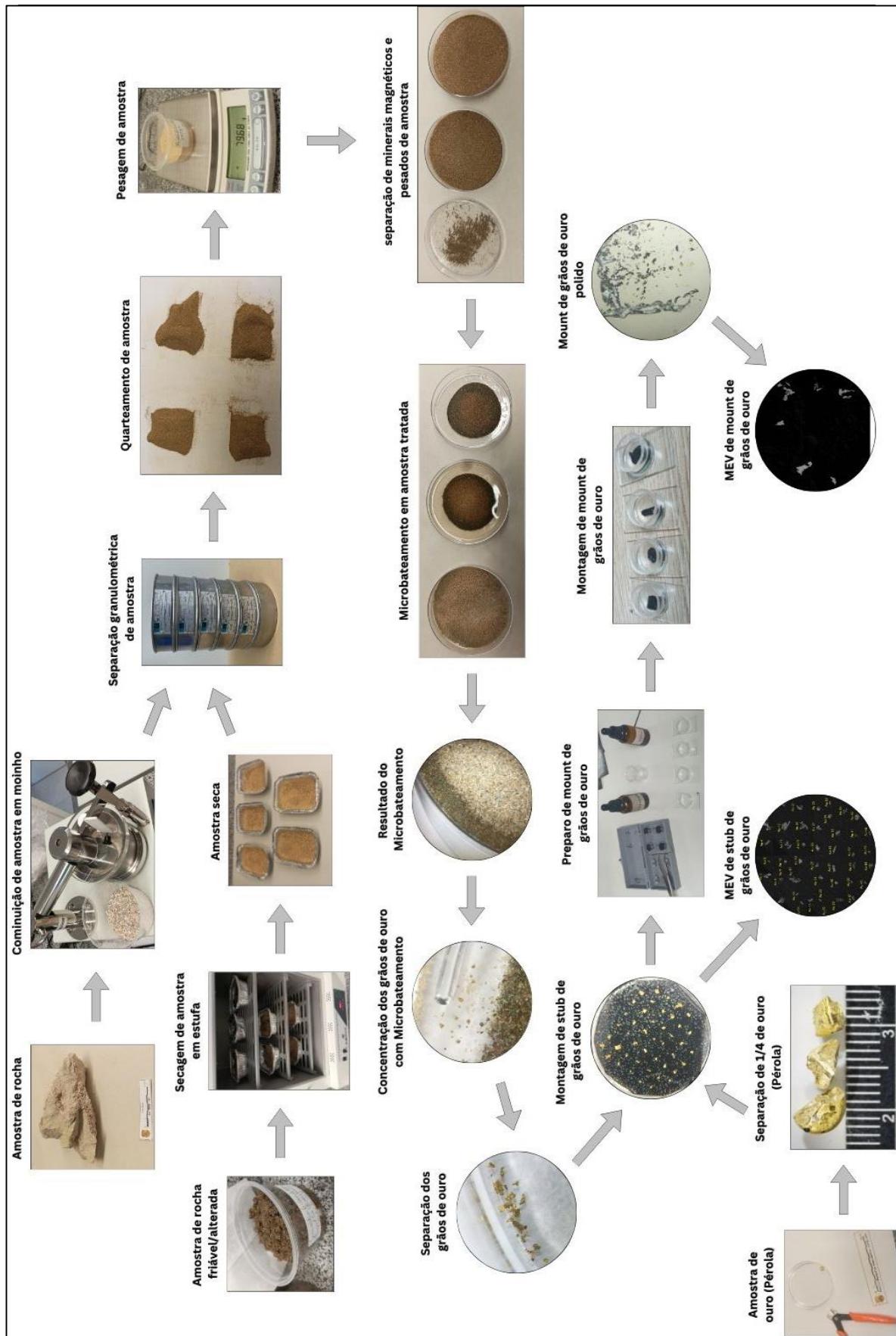


Figura 5.8. Procedimento para a montagem dos stubs e mounts para análise em MEV.

Após o imageamento dos grãos em MEV, realizou-se a montagem da disposição dos grãos no *stub*, com o objetivo de otimizar a organização e a análise dos grãos, atribuindo a cada um deles uma numeração. Visando analisar detalhadamente as morfologias dos grãos e relacioná-las a química do ouro, foi realizado o imageamento em Backscatter no MEV, em escala de detalhe, para as amostras 2, 6, 7, 9, 11 e 12, como exemplo das Figuras 5.9, 5.10 e 5.11. Nas figuras a seguir, já citadas, efetuou-se uma montagem dos grãos com escala, para melhor visualização e comparação desses.

Posteriormente, é confeccionado *mount* a partir dos grãos de ouro dispostos no *stub*, com a utilização de resina e secador, para em seguida, após o endurecimento da resina, realização de polimento dos grãos de ouro em *mount*, e por fim, metalização, para a análise em Microssonda (WDS).

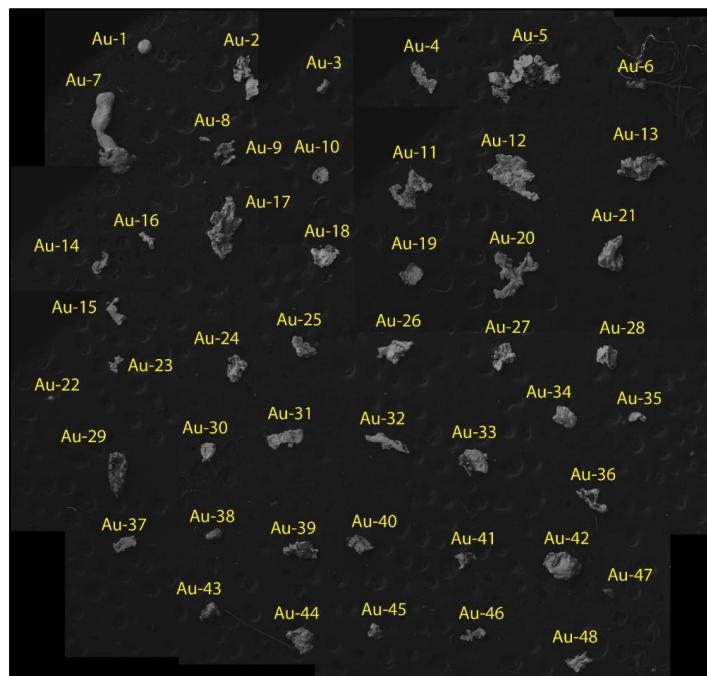


Figura 5.9. Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 6 em stub, imageados por MEV - BKS.

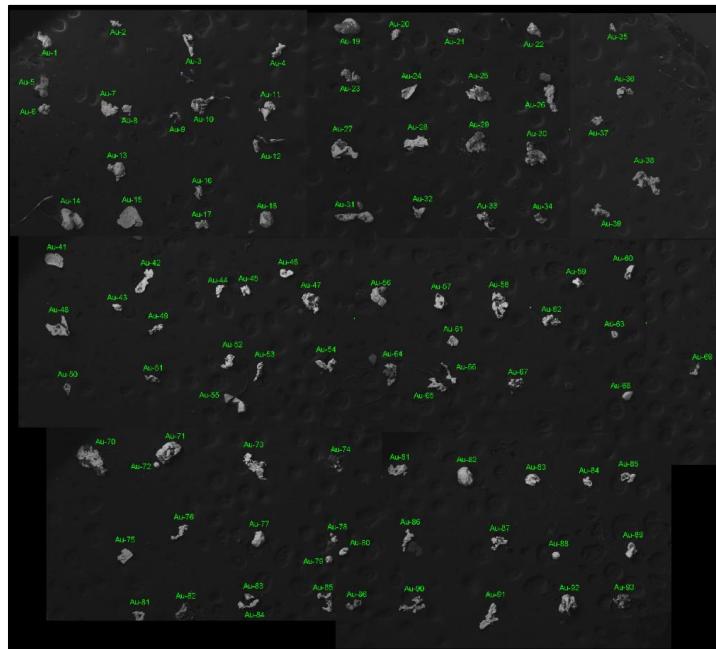


Figura 5.10. Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 7 em stub, imageados por MEV - BKS.

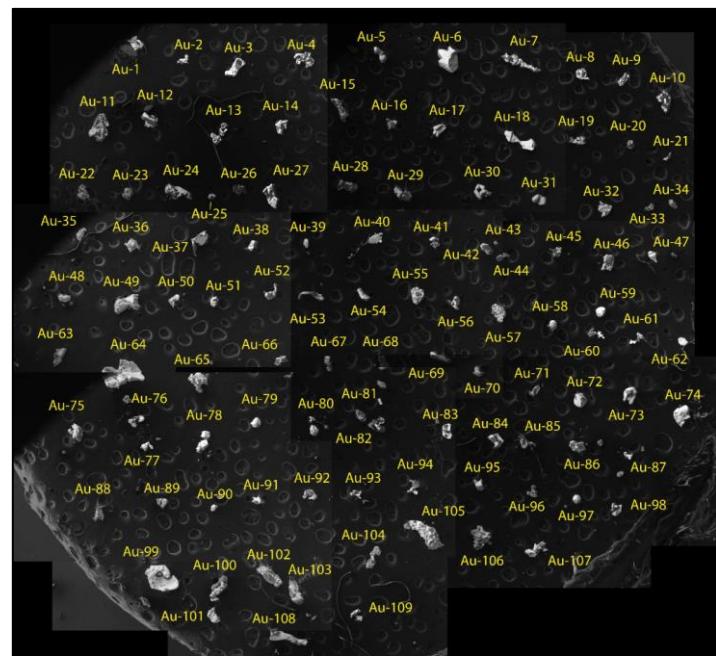


Figura 5.11. Distribuição dos Grãos de Ouro da Amostra 9 em stub, imageados por MEV - BKS.

As amostras de rocha coletadas nas frentes de cava foram destinadas para a confecção de lâminas delgadas, **Figura 5.12**, para a análise petrográfica dessas, com o objetivo de compreender a relação entre minério e rocha, como também a relação rocha mineralizada e rocha encaixante.

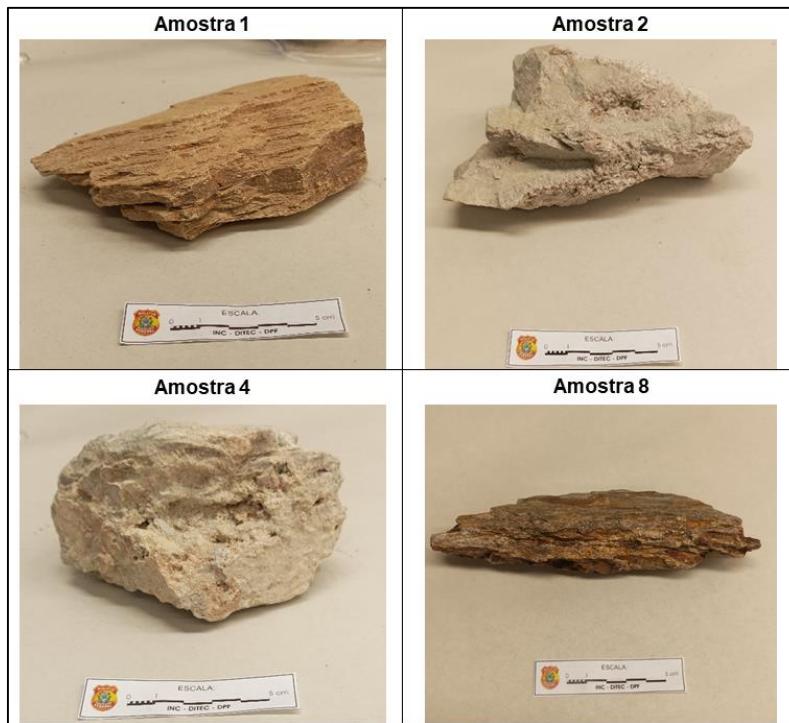


Figura 5.12. Amostras de rocha coletadas em frentes de lavra da localidade de estudo, utilizadas para a confecção de lâminas petrográficas.

5.2 Técnicas analíticas

5.2.1 Caracterização morfológica

A caracterização morfológica das amostras estudadas foi realizada a partir dos grãos de ouro obtidos em alíquotas de materiais previamente selecionados e concentrados. Para a realização da descrição morfológica, utilizou-se lupa binocular (Estetoscópio ampliador da marca Zeiss modelo Stemi 508 com câmera Canon acoplada) e Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, marca Zeiss, fornecidas pelos laboratórios do Instituto Nacional de Criminalística – INC da Polícia Federal.

A obtenção de imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de alta qualidade demanda amostras com boa condutividade elétrica, estabilidade térmica e alto rendimento elétrico secundário (*"high secondary electrical yield"*) (Liu, 2000).

A técnica de difração de elétrons retroespelhados (EBSD ou BKS) é uma técnica analítica amplamente utilizada para análises texturais quantitativas em estudos geológicos, sendo aplicada a vários minerais. Essa técnica permite

investigar e adquirir informações sobre a amostra analisada, incluindo a identificação de fases minerais, orientação cristalográfica, mapa de orientação cristalográfica, geometria de bordas de grãos, dentre outras (Mariani *et al.*, 2008; Randle, 2008). A utilização de imagens BKS de alta magnificação, aumenta significativamente a resolução das características de superfície e morfologia dos grãos de ouro (Néron *et al.*, 2018), portanto este método foi o escolhido para ser utilizado na descrição morfológica.

Para a obtenção das imagens por elétrons retroespalhados (BKS ou Backscattered), foram utilizadas as seguintes configurações no MEV: Energia de aceleração (EHT) de 20 keV e Distância de trabalho (WD) entre 8.00 e 9.00 mm. A morfologia dos grãos de ouro foi analisada de acordo com os padrões morfológicos apresentados por Freyssinet *et al.* (1989) e Horbe *et al.* (2019): Arredondado, elongado, irregular, dendrítico e poligonal. A caracterização morfológica detalhada foi realizada nas amostras com maior concentração de ouro.

5.2.2 Caracterização mineralógica

A descrição mineralógica das amostras foi realizada com base em três abordagens distintas: descrição macroscópica das amostras em rocha, identificação em lupa binocular dos minerais em amostras friáveis e descrição petrográfica dos minerais observando em lâmina delgada confeccionada para amostras íntegras, com o objetivo identificar também possíveis associações da assembléia mineral com o ouro. Essa caracterização mais abrangente da mineralogia das amostras contendo ouro, permite uma compreensão mais completa da composição e contexto geológico das rochas mineralizadas do presente local de estudo.

A identificação em lupa dos minerais presentes nas amostras foi realizada utilizando um estetoscópio ampliador Zeiss modelo Stemi 508, em laboratório do Instituto Nacional de Criminalística (INC/Polícia Federal), a partir da descrição de características mineralógicas como cor, hábito e brilho.

Para a descrição petrográfica utilizou-se microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida, descrevendo e identificando as fases minerais com base em características como cor de interferência, relevo, alterações, clivagem, dentre

outros, como também estruturas e identificando possíveis associações da assembléia mineral com ouro e relações com estruturas presentes.

5.2.3 Caracterização química

Para a caracterização química do ouro contido nas amostras, utilizou-se MEV-EDS e Microssonda Eletrônica (EMPA). Esses métodos foram utilizados para a detecção de elementos maiores, menores e traços, em análise semi-quantitativa e semi-qualitativa, com o intuito de investigar a correlação entre eles e ampliar a compreensão da análise química por meio de abordagens complementares.

A metodologia MEV-EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Dispersão de Energia) foi utilizada com ênfase nos aspectos morfológicos e contrastes químicos observados nos grãos de ouro. As imagens foram obtidas utilizando o equipamento, operando com energia de aceleração (EHT) de 20 keV e Distância de trabalho (WD) de 8,5 mm.

As análises em microssonda foram realizadas utilizando o equipamento JEOL-JXA-8230 no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, equipado com cinco espectrômetros, sendo quatro para espectroscopia dispersiva de comprimento de onda (WDS) e um espectrômetro dispersivo de energia (EDS) para análises pontuais qualitativas, calibrado utilizando o padrão sulfeto, com destaque para os seguintes elementos: Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Pd, Pt, S, Sb, Se, Sn, Ta, Te, W, Zn. Essa análise teve o objetivo de caracterizar a química mineral dos grãos de ouro, bem como, identificar variações significativas na concentração de Ag, Cu, Fe, Bi, As, Te e Hg, e quantificação da concentração e variação de elementos traços.

Essas análises foram empregadas para análise de ouro presente nas amostras, visando a identificação e quantificação de ouro nas amostras em diferentes contextos dentro da cadeia produtiva da mina, como também a distribuição e concentração do ouro nelas.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6 RESULTADOS

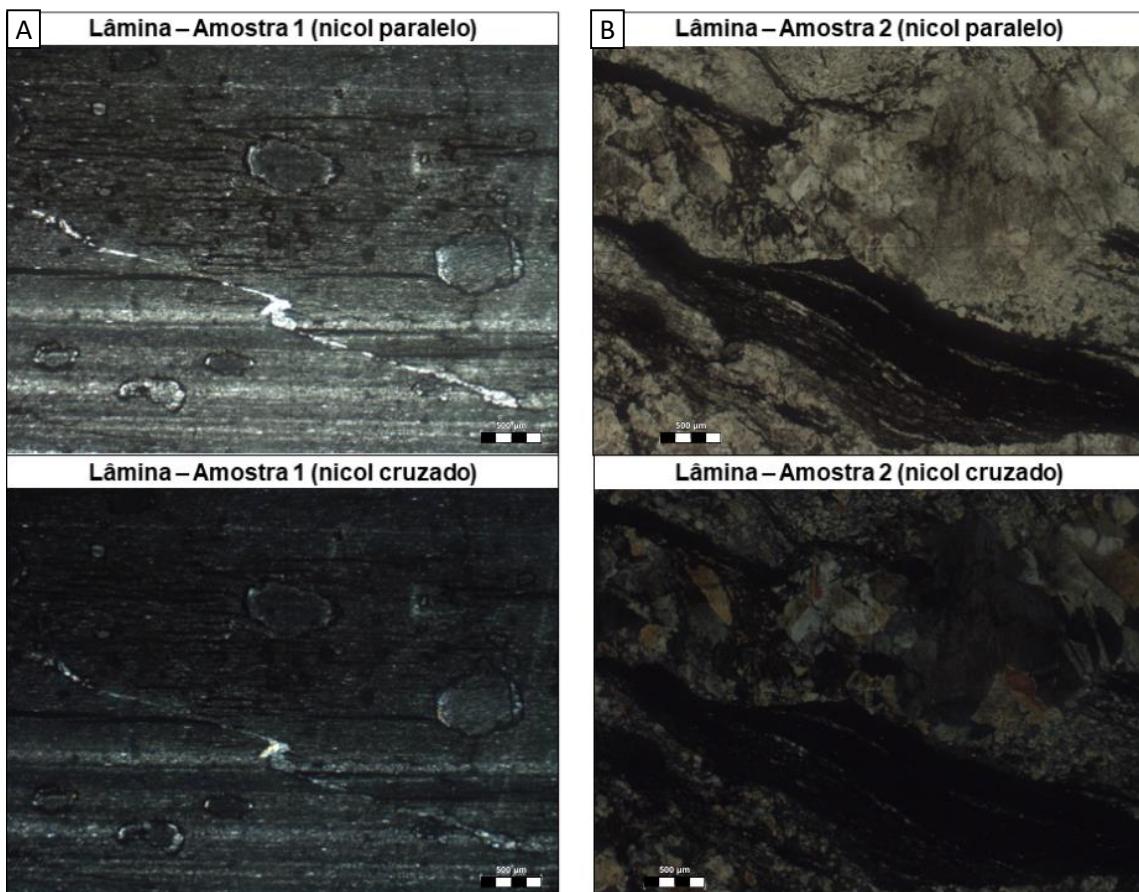
6.1 Descrição das amostras

Nas frentes de lavra foram coletadas amostras representativas de distintos litotipos, nos quais o minério ocorre em veios de quartzo encaixados em filito.

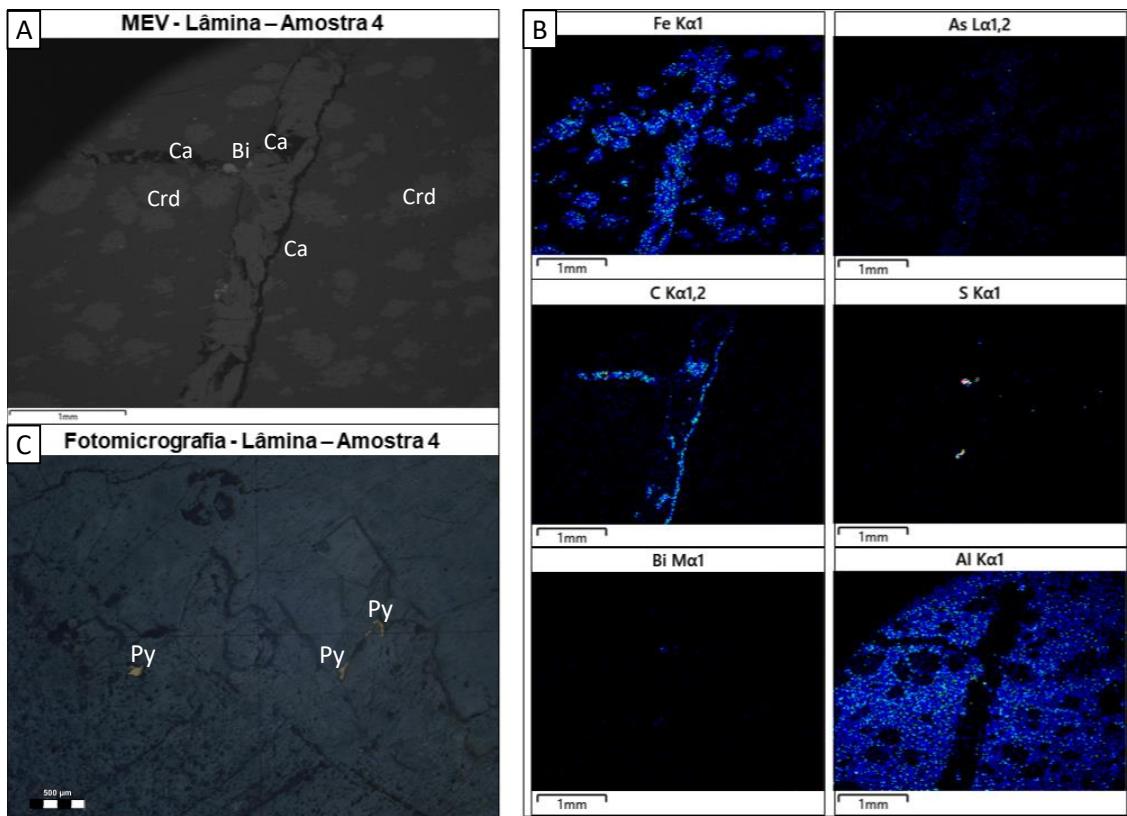
Em Lupa binocular, a mineralogia identificada nas amostras moídas de veio é caracterizada pela presença de quartzo, feldspato, pirita, clorita, ouro, galena, limonita, turmalina, magnetita, siderita, bismuto e zircão.

A petrografia da rocha encaixante, caracterizada como filito, é descrita como uma rocha composta por quartzo, sericita, por vezes plagioclásio, os quais estão orientados e recristalizados, constituindo a matriz, cortada por vênulas de quartzo e/ou carbonato discordantes, Figura 6.1.A, e cristais de cordierita, Figura 6.3, resultando em uma característica mosqueada (“*spotted slate*”), textura típica de *hornfels*.

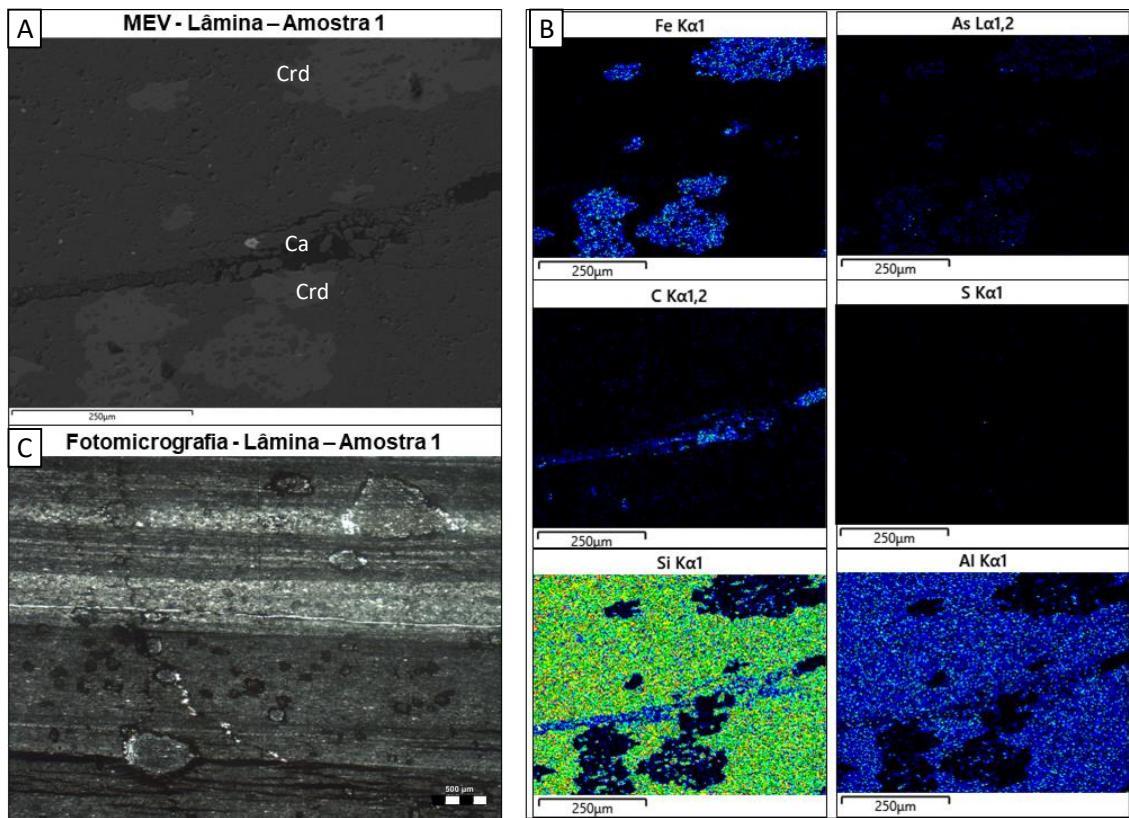
Já a mineralogia observada nos veios mineralizados, em lâmina, é composta principalmente por quartzo, feldspato, pirita, calcopirita, galena, siderita, turmalina, bismutinita, clorita, hematita, magnetita, limonita e zircão. Destaca, a Figura 6.2.A e B, a interface da rocha encaixante com o veio sulfetado, em que se observa a presença de borda de carbonato no veio, provavelmente siderita, demonstrando a ocorrência de processos de alteração hidrotermal, evidenciando também a existência de metamorfismo de contato.



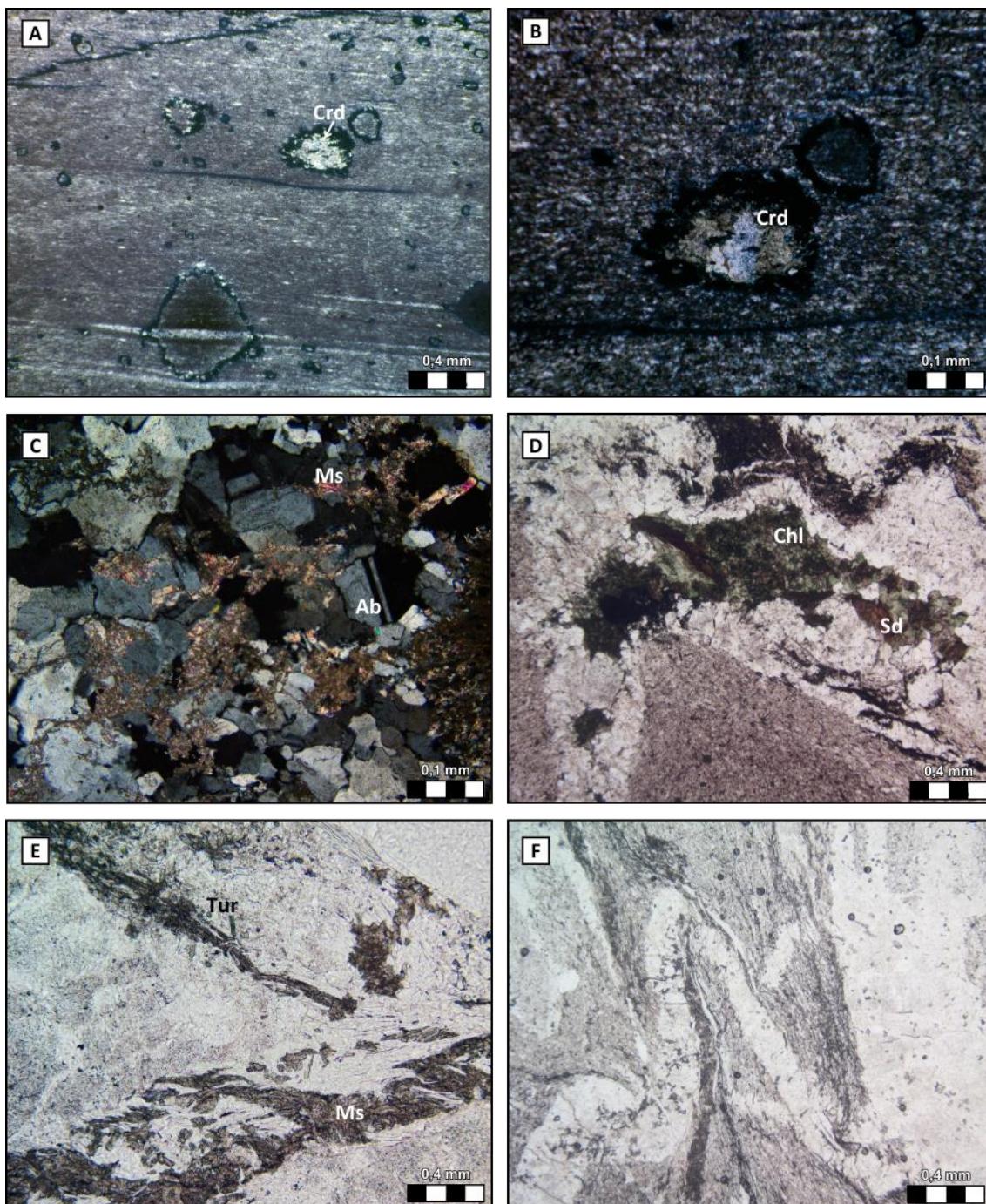
Figuras 6.1. Imagens em microscópio petrográfico com luz refletida A) Fotomicrografia em nicos paralelo e cruzado da lâmina petrográfica da amostra 1, com destaque para o *spotted slate*. B) Fotomicrografias, em polarizador paralelo e cruzado, da lâmina petrográfica da amostra 2, destacando a presença de deformação e contraste dentro da amostra.



Figuras 6.2. A) Imagem em BKS-MEV de seção da lâmina petrográfica da amostra 4, destacando a feição *spotted slate* em contraste com veio discordante. B) Montagem dos mapas em EDS, dos elementos principais presentes em seção na lâmina petrográfica da amostra 4, destacada na figura A. C) Fotomicrografia com polarizador paralelo, em luz refletida, da lâmina petrográfica da amostra 4, destaco/destacando a presença de sulfetos (Py) em fraturas.



Figuras 6.3. A) Imagem em BKS-MEV de seção da lâmina petrográfica da amostra 1, destacando a feição *spotted slate*. B) Montagem dos mapas em EDS, dos elementos principais presentes em seção na lâmina petrográfica da amostra 1, destacada na figura A. C) Fotomicrografia em Nicol paralelo, luz transmitida, da lâmina petrográfica da amostra 1, destacando a feição *spotted slate*.



Figuras 6.4. A) Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 1, em que porfiroblastos de pseudomorfos imersos em matriz, com destaque para a feição spotted slate, marcada por porfiroblasto de cordierita alterado. B) Fotomicrografia de detalhe da figura A, em Nicol cruzado de lâmina petrográfica da amostra 1, com destaque para a feição spotted slate, marcada por porfiroblasto de cordierita alterado, com geminação em setor características. C) Fotomicrografia em Nicol cruzado de lâmina petrográfica da amostra 4, destacando a mineralogia composta por quartzo, albita e muscovita de veio albitítico. D) Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 4, de veio albitítico, com presença de clorita e siderita. E) Fotomicrografia em Nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 2, destacando a presença

de turmalina na rocha mineralizada. F) Fotomicrografia em nicol paralelo de lâmina petrográfica da amostra 2, destacando vênula albitítica dobrada.

6.2 Análises morfológicas

Os grãos analisados apresentam tamanhos variando de 0,1 mm a 0,5 mm, **Figura 6.5**, com as seguintes formas, de acordo com os padrões morfológicos apresentados por Freyssinet *et al.* (1989): Arredondado, elongado, irregular, dendrítico e poligonal. Os grãos apresentam superfícies rugosas, suavizadas ou lisas, apresentando também comumente com incrustações e inclusões de quartzo, pirita ou da rocha em que ocorre.

Em geral, os grãos de ouro observados nas amostras apresentam tamanhos similares, sendo grãos finos com tamanho entre 100 µm e 500 µm, entretanto apresentam variações significativas na forma, na textura e nas bordas, mas com características que refletem sua origem a partir de veios mineralizados, sem envolver transporte aluvionar.

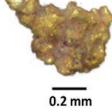
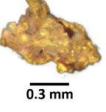
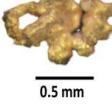
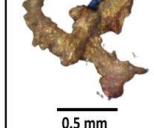
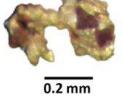
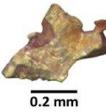
Forma do grão	Origem da amostra		
	Moinho de martelo	Moinho de bola	Concentrado do moinho de martelo
Arredondado/Subarredondado	 0.2 mm	 0.3 mm	 0.2 mm
Elongado	 0.2 mm	 0.5 mm	 0.3 mm
Irregular	 0.2 mm	 0.5 mm	 0.3 mm
Dendrítico	 0.5 mm	 0.5 mm	 0.2 mm
Poligonal	 0.2 mm	 0.2 mm	 0.3 mm

Figura 6.5. Tabela dos diferentes tipos morfológicos de grão de ouro em escala, nas amostras oriundas do moinho de bola, moinho de martelo e concentrado do moinho de martelo, da planta de beneficiamento, respectivamente, das amostras 6, 7 e 9, da Mineração Aricá, Cuiabá, MT, com base nos critérios utilizados por Freyssinet *et al.* 1989.

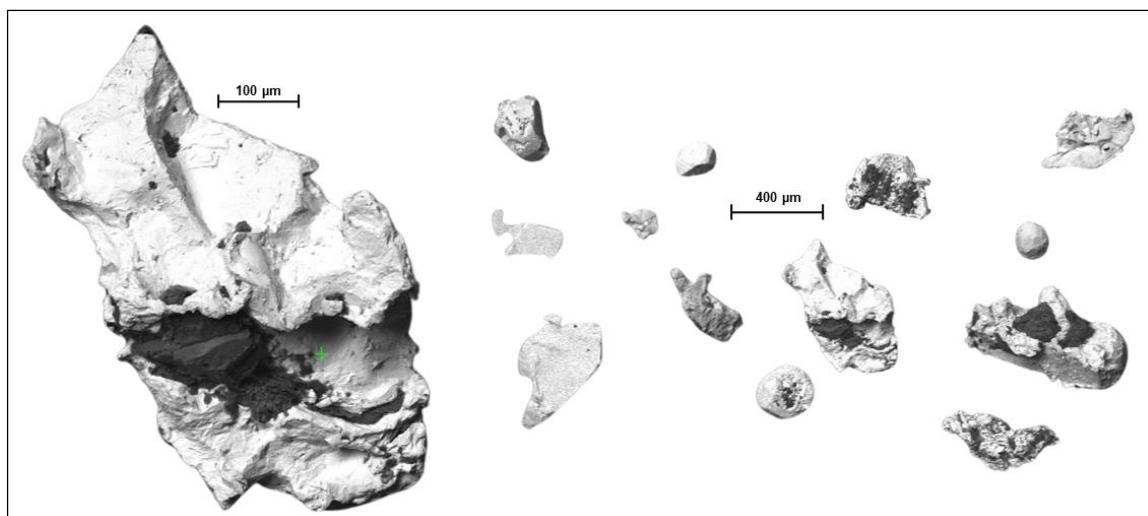


Figura 6.6. Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 2 (Amostra de Frente de Lavra) imageados em MEV-BKS.

Na figura 6.6, os grãos de ouro oriundos de Frente de lavra apresentam tamanho e forma variados, com duas populações: i) grãos arredondados com textura mais lisa, apresentando por vezes cavidades, preenchidas ou não e ii) grãos com formas mais irregulares e angulosas e textura irregular e rugosa, apresentando por vezes cavidades, preenchidas ou não. As características morfológicas desses grãos, refletem seu ambiente original de cristalização, sendo típicos de formação em rocha, ou seja, grãos primários.

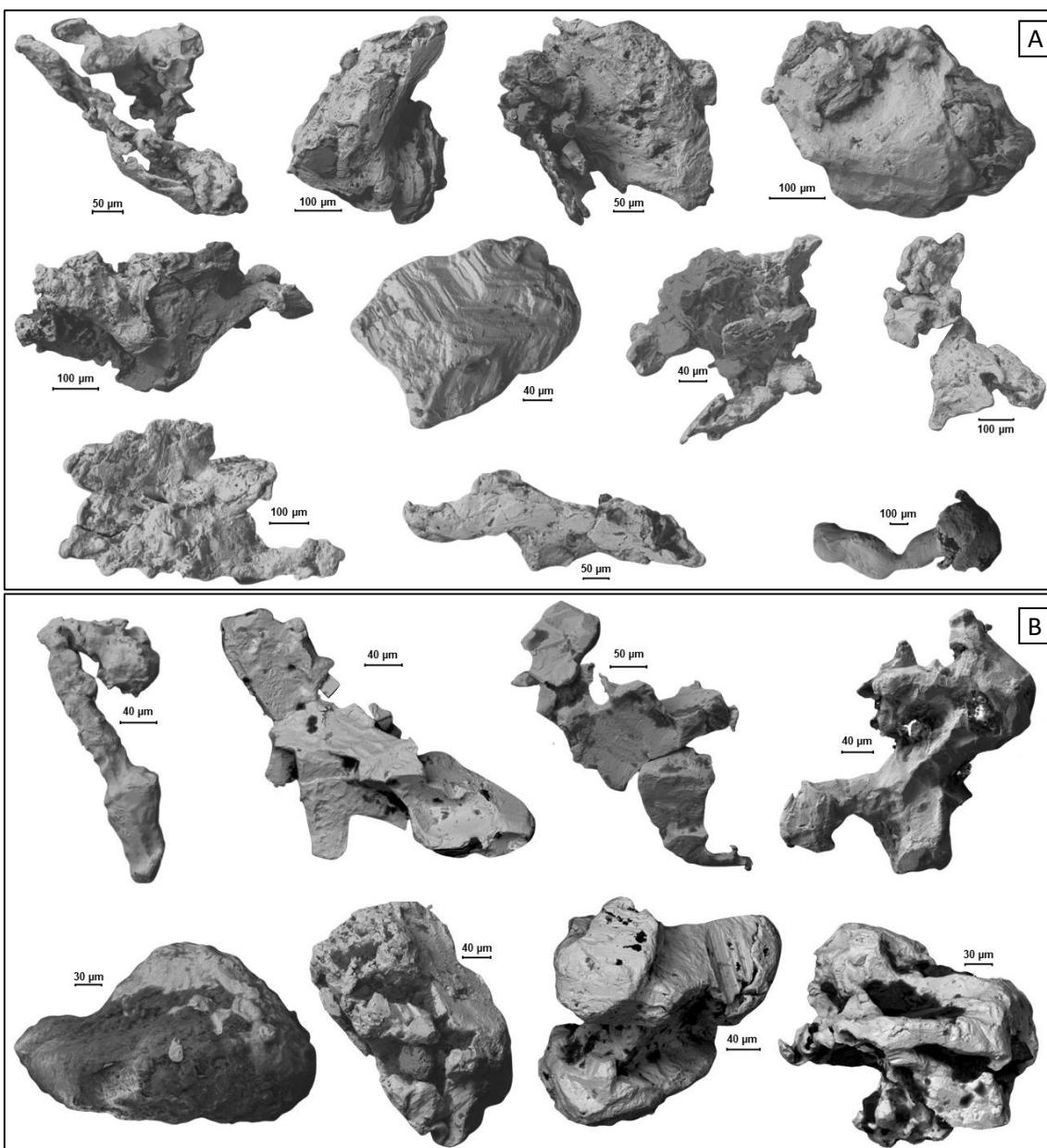


Figura 6.7. A) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 6 (Produto do moinho de bola) imageados em MEV-BKS. B) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 7 (Produto do moinho de martelo) imageados em MEV-BKS.

Na figura 6.7.A, são observados grãos de ouro oriundos do produto do moinho de bola (Amostra 6), em que a maioria dos grãos de ouro apresentam formas irregulares com bordas angulosas, os quais apresentam formas irregulares e angulosas, exibindo textura rugosa em alguns grãos e em outros textura suavemente ondulada/superfície mais plana, de maneira análoga ao material de frente de lavra. Em alguns grãos se observa bordas angulosas com superfície suavemente ondulada a plana. Esses grãos são relativamente

pequenos, vide a escala que varia entre 200 µm a 400 µm, apresentando pouca variação de tamanho.

Os grãos de ouro apresentados na Figura 6.7.B, oriundos do produto do moinho de martelo (Amostra 7), apresentam pouca variação de tamanho com duas formas e texturas bem definidas.

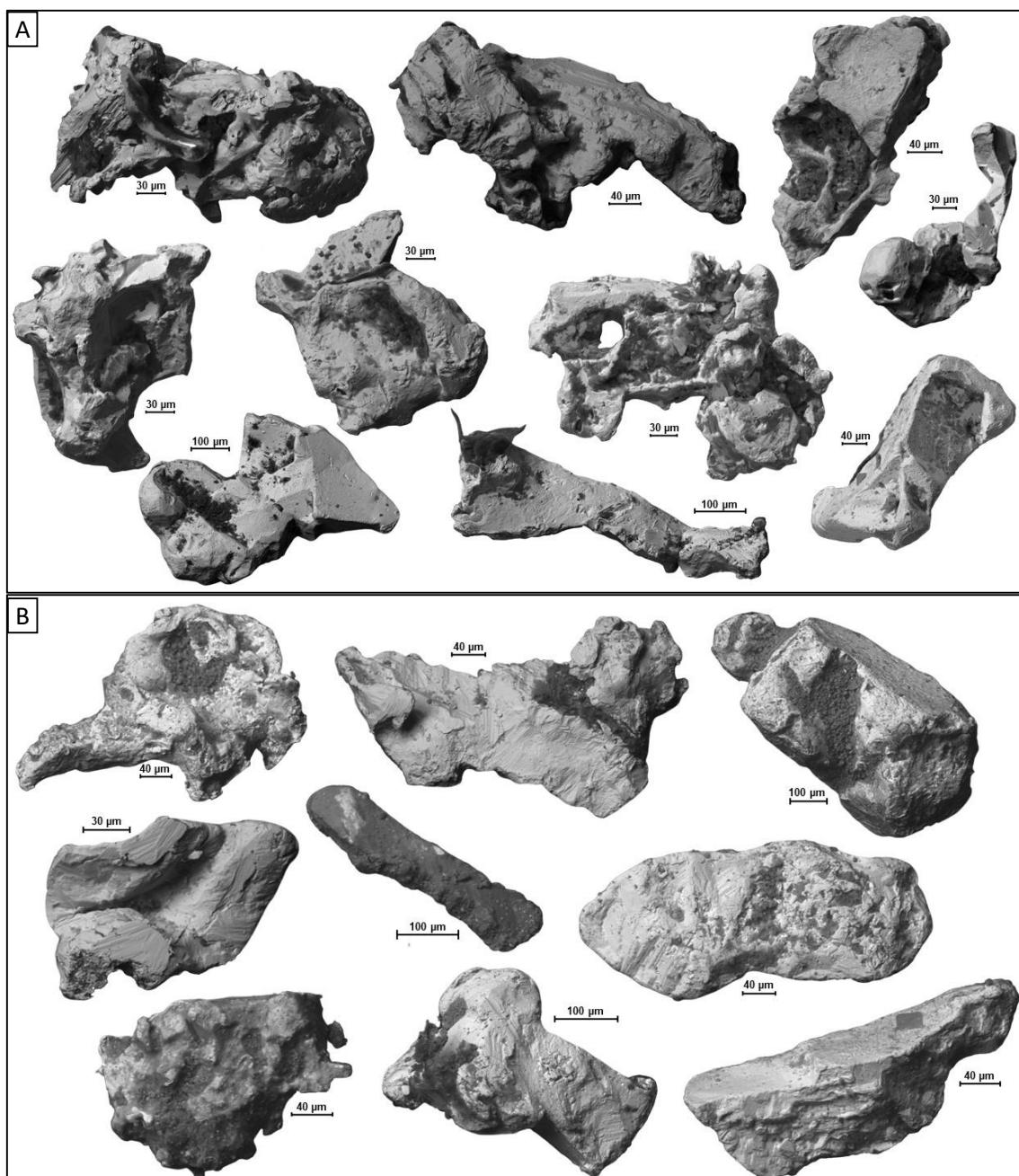


Figura 6.8. A) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 9 (Concentrado do moinho de martelo) imageados em MEV-BKS. B) Montagem com escala de grãos de ouro da amostra 12 (Concentrado de bateia) imageados em MEV-BKS.

A figura 6.8.A, apresenta grãos de ouro oriundos do produto do concentrado do moinho de martelo (Amostra 9), constituído por um *blend* de frentes de lavra diferentes, os quais apresentam pouca variação de tamanho, medindo entre 200 µm a 400 µm porém grande variação de morfologia, desde grãos com textura mais rugosa e bordas irregulares a textura mais lisa e bordas arredondadas, apresentando cavidades em sua maioria.

Os grãos de ouro da figura 6.8.B, obtidos a partir do produto do concentrado de bateia ao final do beneficiamento na planta (Amostra 12), são constituídos por um *blend* de frentes de lavra diferentes. São observadas características como formas alongadas e irregulares, textura rugosa, presença de estrias em alguns grãos, em geral com bordas arredondadas e cavidades preenchidas por outros minerais. Nota-se ainda a presença de grãos com forma regular e bordas angulosas.

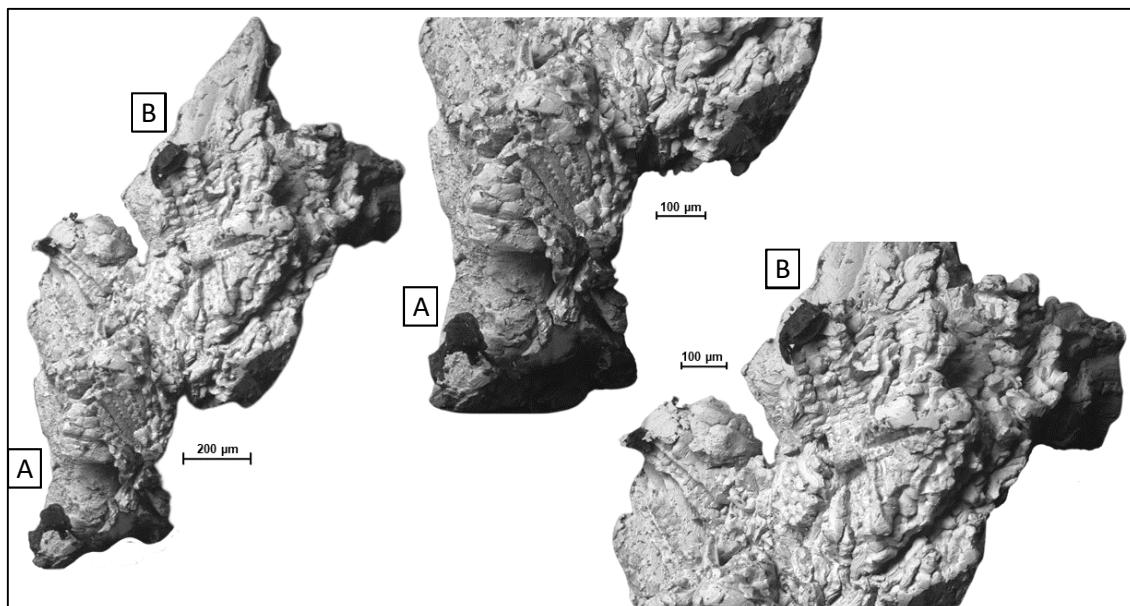


Figura 6.9. Montagem com escala de porção amostrada de pérola de ouro da amostra 11 (Ouro pérola), em detalhe nas partes A e B, imageados em MEV-BKS.

A Figura 6.9 apresenta fragmento de ouro pérola (amostra 11), em que se observam partes com textura rugosa e estrias, remanescentes dos grãos originais, que foram parcialmente modificadas durante o processo de fusão após a amalgamação. Também são observadas inclusões de outros minerais e cavidades.

As populações identificadas de grãos de ouro, de mesma região, ocorrem nos dois tipos de moinho, bem como, no concentrado de moinho de martelo e no concentrado de bateia. Entretanto, se observa uma redução da presença de grãos de formas regulares e bordas angulosas ao longo do processamento, o que vem a ser um indicativo do comportamento do ouro ao longo da planta de beneficiamento. Há pouca alteração dos hábitos dos grãos ao longo do processamento até a etapa de amalgamação. Entretanto, após a fundição, as características morfológicas são em maioria, inexistentes.

6.3 Análises químicas

Observa-se que a mineralogia descrita na petrografia das amostras é compatível com o que se observa nos grãos de ouro, evidenciado pela presença em superfície de outros minerais em grãos de ouro, presentes também na petrografia, visto os dados de MEV-EDS apresentados, conforme figuras 6.10, 6.11 e 6.12. A exemplo da Figura 6.9, em que se verifica a diferença de textura e coloração, que se relacionam com as maiores concentrações de bismuto, ferro e enxofre, indicativos da presença de minerais como a Bismutinita, que foi descrito em lâmina e visto também em lupa.

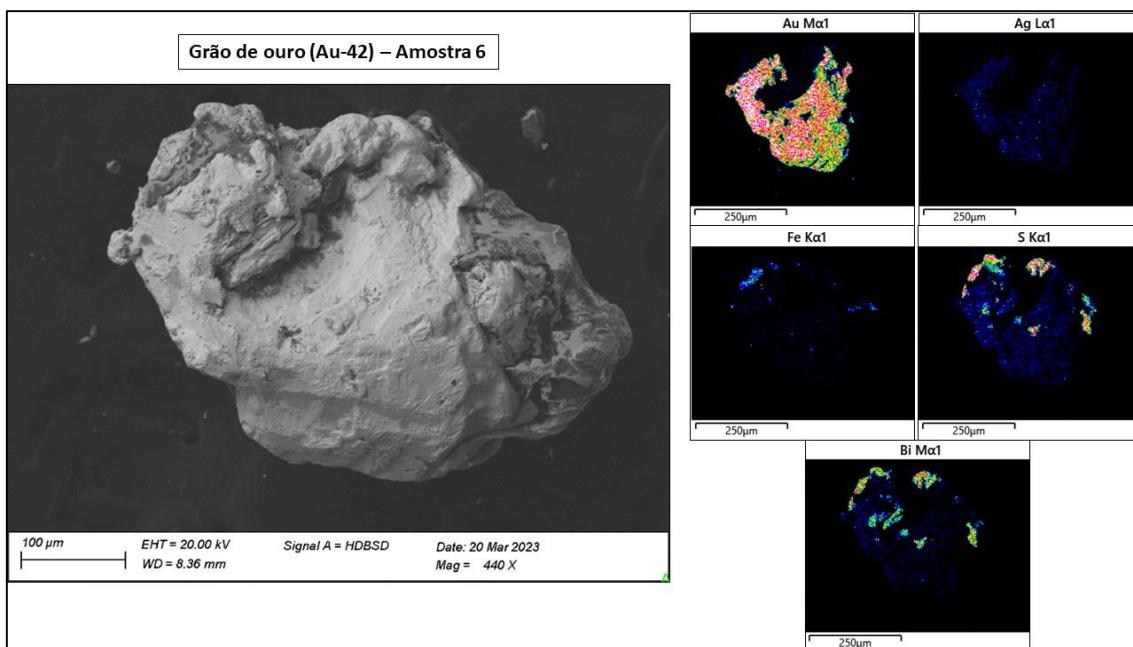


Figura 6.10. Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-42) da amostra 6.

A figura 6.11 mostra um grão com morfologia de forma mais alongada, em que também apresenta diferença de textura e coloração nas porções com maior concentração de enxofre, ferro e bismuto (em menor destaque), que pode ser interpretada como a presença de pirita na superfície, o que é compatível com o observado na petrografia dessas amostras, bem como com as descrições mineralógicas dos veios auríferos na geologia local, em que é destacada a ampla presença de pirita.

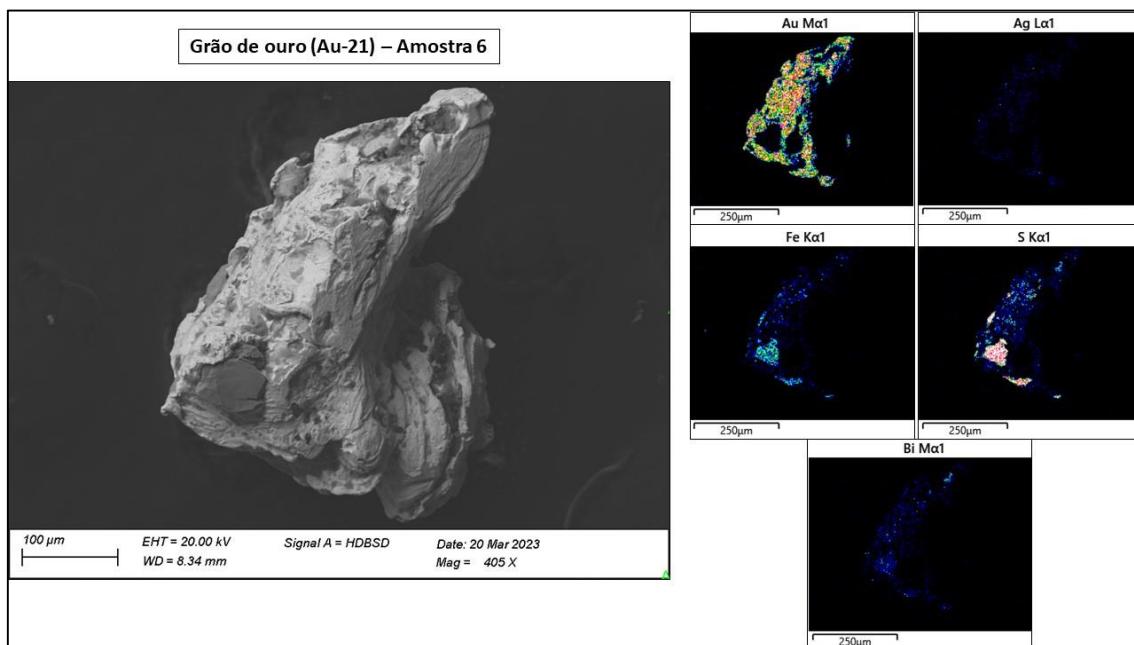


Figura 6.11. Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-21) da amostra 6.

Na figura 6.12, o grão de ouro observado apresenta forma irregular, com textura rugosa e formação de cavidades, em que é destacada pela mudança de cor na superfície a incrustação de outro mineral, evidenciada pela concentração de ferro em mapa EDS, podendo ser atribuída a presença de óxidos de ferro em superfície, compatível com a mineralogia rica em Fe analisada nas amostras, e a presença de limonita nas amostras, já observada em campo.

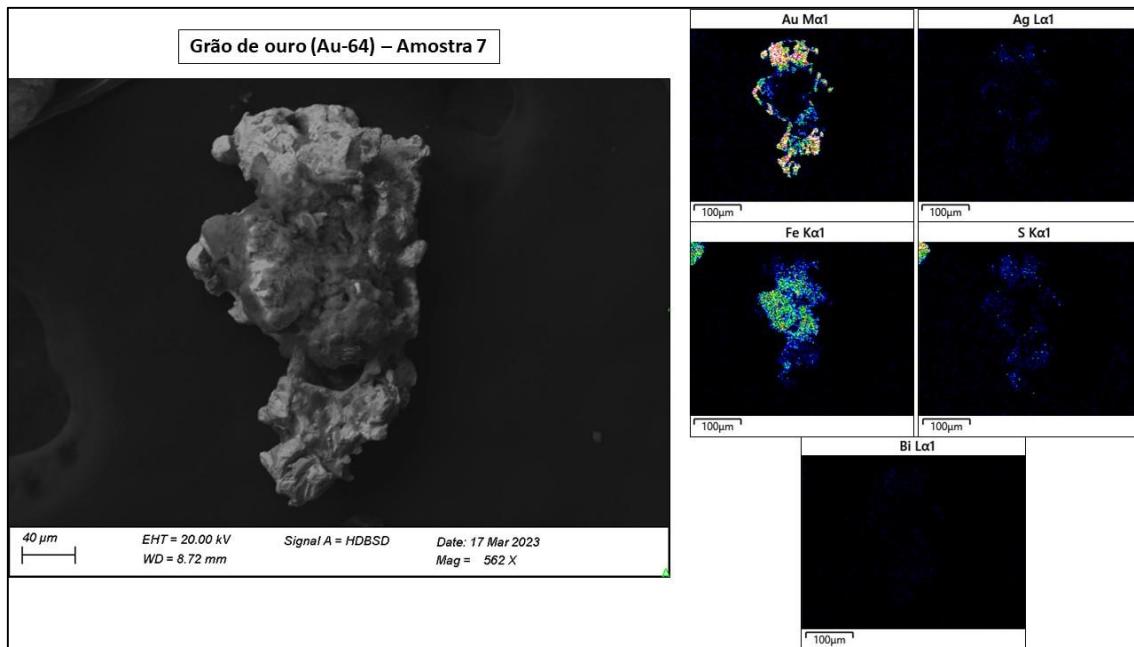


Figura 6.12. Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro (Au-64) da amostra 7.

O grão de ouro mostrado na figura 6.13, é caracterizado pela concentração também de Fe, S e Bi em superfície, ao observar as características morfológicas desse grão, que apresenta forma regular, nota-se que as alterações e incrustações em superfície estão relacionadas à concentração de ferro, podendo ser ocasionado pela presença de óxidos de ferro, bem como de titanita. As concentrações de enxofre e bismuto estão presentes no restante do grão sem evidências de divergências em superfície que possam justificar a presença desses.

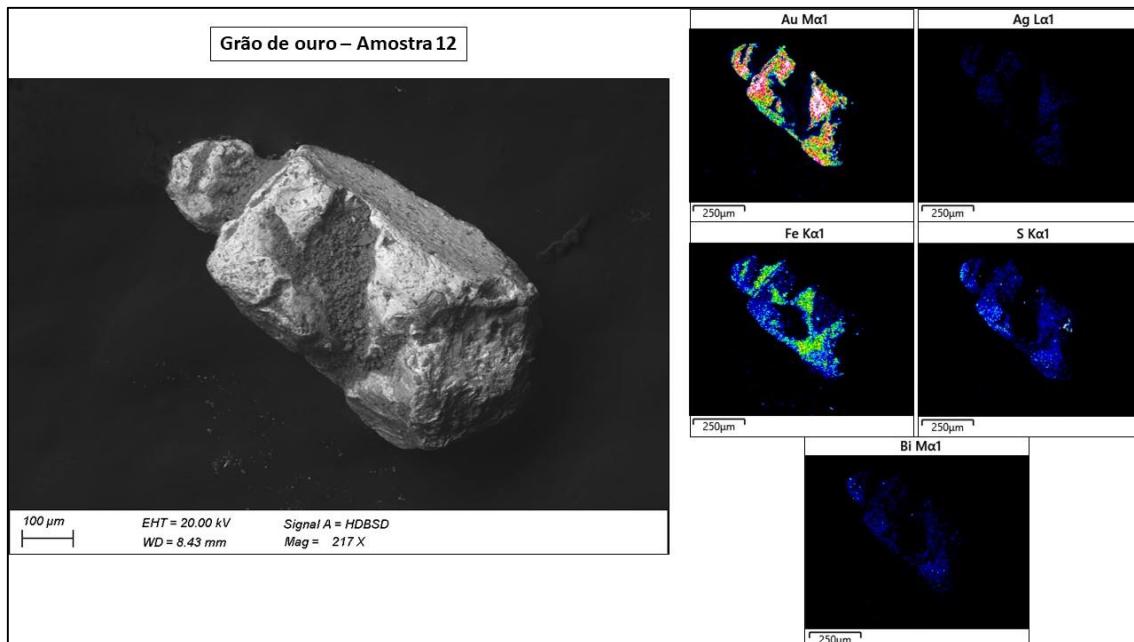


Figura 6.13. Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag, Fe, S e Bi, com escala, de grão de ouro da amostra 12.

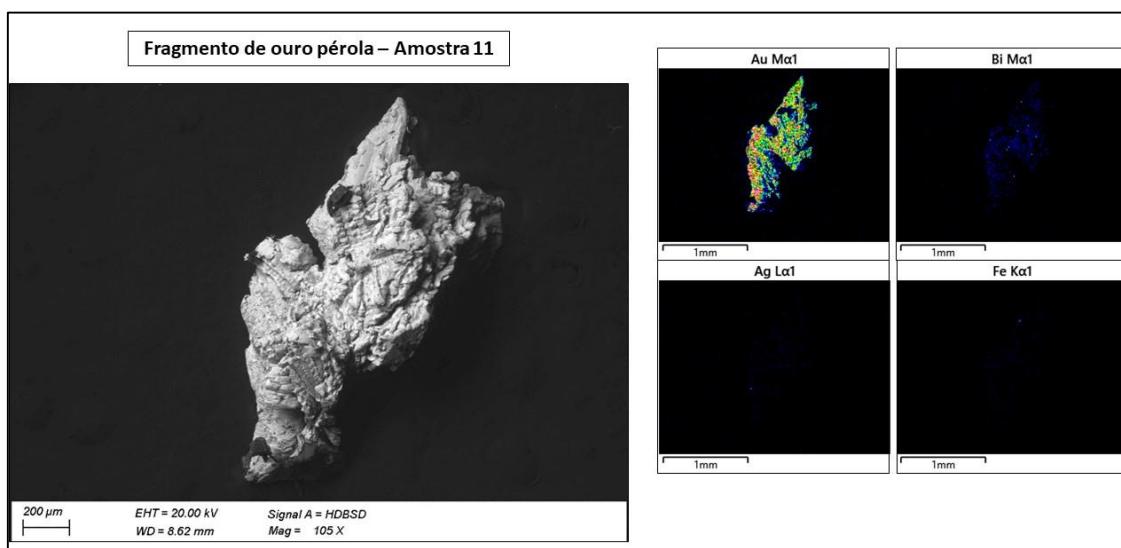


Figura 6.14. Imagem comparativa de (MEV-BKS) com mapa EDS de Au, Ag e Bi, com escala, de fragmento do ouro pérola da amostra 11.

A figura 6.14 evidencia a concentração de bismuto no ouro mesmo após os processos de amalgamação e fusão, nas análises em EDS, não apresentando concentração de ferro em superfície como nas figuras apresentadas anteriormente.

Tabela 6.1. Dados representativos de microssonda eletrônica (WDS) em wt. % das amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12.

Amostras analisadas	wt %													
	Pd %	Pt %	As %	Se %	S %	Bi %	Sb %	Cu %	Te %	Fe %	Hg %	Ag %	Au %	Total
Amostra 2 (Frente de lavra)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,069	0,000	0,013	0,094	1,056	94,809	97,078
Amostra 6 (Moinho de bola)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,228	0,000	0,097	0,000	0,014	0,059	2,706	95,059	99,163
Amostra 7 (Moinho de martelo)	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000	0,723	0,000	0,090	0,000	0,010	0,147	1,929	95,381	98,339
Amostra 9 (Concentrado do moinho de martelo)	0,000	0,000	0,045	0,023	0,000	0,827	0,033	0,092	0,142	0,000	0,000	0,564	92,525	94,330
Amostra 10 (Amálgama)	0,166	0,076	0,000	0,001	0,000	0,000	0,016	0,069	0,000	0,000	52,596	2,534	44,697	100,155
Amostra 11 (Ouro pérola)	0,000	0,000	0,000	0,204	0,017	0,652	0,000	0,155	0,000	0,181	0,180	1,522	94,775	97,688
Amostra 12 (Concentrado de bateia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	1,029	0,009	0,135	0,000	0,008	0,131	0,966	98,103	100,471
Minimum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,231	44,487	80,738
Maximum	0,176	0,076	0,074	0,324	0,802	2,851	0,079	0,360	0,112	8,656	52,596	11,316	99,385	103,407
Average	0,011	0,001	0,008	0,050	0,024	0,563	0,010	0,122	0,009	0,138	4,128	2,347	90,085	97,511
Sigma	0,035	0,007	0,016	0,072	0,081	0,644	0,017	0,065	0,021	0,711	12,126	1,942	13,695	4,417

Em relação ao Au, foi observada uma concentração similar em todas as amostras, exceto na amostra de amálgama. Outra observação importante foi a relação inversa entre as concentrações de Ag e Au, indicando que quanto maior a concentração de Prata, menor a concentração de Ouro, Tabela 6.1 e Figura 6.15, esta hipótese, entretanto, não foi observada na relação entre Cobre e Ouro.

A concentração de Fe, Figura 6.15, foi mantida em níveis baixos, em geral, em todas as amostras, embora tenha sido observado um aumento na amostra de ouro pérola (amostra 11). Há nas outras amostras, pontos de maior concentração de Fe, os quais podem ser inclusões de minerais de ferro.

É observado no gráfico da Figura 6.15, como também na Tabela 6.1, uma baixa concentração de S nas amostras no início da cadeia de beneficiamento, aumentando sua concentração ao final, após o beneficiamento, portanto, para a melhor compreensão dessa análise, é necessário a realização de análises químicas mais sensíveis, como LA-ICP-MS.

Destaca-se que todas as amostras analisadas, exceto a amostra de amálgama, apresentaram concentrações significativas de Bi, cerca de 1,00 %, indicando sua presença substancial no ouro do local de estudo. O gráfico da Figura 6.19, mostra que o bismuto diminui pouco sua concentração ao longo da cadeia de beneficiamento de ouro da mineradora, tendo-se a se manter na

mesma média de concentração. Nas análises de Sb e o As foram encontrados em concentrações baixas em todas as amostras, sendo que na Amostra 7 foi observado um ponto com concentração maior de Arsênio, possivelmente indicando uma inclusão rica neste elemento.

Em relação ao As, Se e Te, embora a presença desses elementos tenha sido observada em todas as amostras (Em anexo Tabelas 8.1 a 8.7) sua distribuição não foi consistente e as concentrações ocorreram próximas ao limite de detecção da Microssonda Eletrônica, revelando uma limitação analítica do método.

Os valores de concentração de Cu se mantêm baixo, em geral, nas amostras, apresentando alguns pontos com concentração de Cu relativamente mais elevado, acima de 0,25 %, nas amostras de moinho de bola e concentrado de bateia, **figura 6.15**, podendo ser inclusões minerais ricas em cobre.

Observa-se em todas as amostras, exceto na amostra de amálgama, a presença de Mercúrio (Hg) geológico em baixas concentrações, menores que 0,25%, já na amostra de amálgama as concentrações de Hg variam da ordem de 5% a 40%, chegando a mais de 40% em alguns pontos, **Figura 6.15**. Após a amalgamação e posterior fundição, o qual é o produto obtido na amostra 11, o mercúrio volta a apresentar as mesmas concentrações de antes da amalgamação, apresentando apenas alguns pontos com concentração relativamente mais elevada. Destaca-se a concentração elevada de mercúrio na amostra 10, visto que é uma amalgama.

As **figuras 6.15 e 6.16.A.**, expõe a relação entre as concentrações de Au, Ag e Cu, bem como, a variação da concentração desses elementos no ouro analisado contido nessas amostras, exibindo padrões gráficos de acordo com as concentrações, como clusters, de diferentes tipos de amostra. A Figura 6.16.B apresenta a relação das concentrações de Au, Ag e Cu nas amostras, também formando padrões gráficos de acordo com as concentrações dos tipos de amostra, entretanto com menor dispersão, em relação a comparação do gráfico com a concentração de Cu.



Figura 6.15. Gráficos de dispersão de Au, Ag, Cu, Fe, Bi, Te, Se, S e Hg, analisados nas amostras com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) em Microssonda Eletrônica (WDS).

Os valores de Ag apresentaram variações significativas nas amostras, exceto na amostra de ouro pérola (amostra 11), evidenciado no diagrama ternário da Figura 6.16.A e B, visto que é uma amostra produto de fundição,

sendo, portanto, um ouro de maior refino em comparação aos das demais amostras analisadas. As concentrações de Ag observadas nas amostras 2 e 9 foram mais baixas, porém pode-se relacionar essa menor concentração nessas amostras pois a amostra 2 é oriunda de uma cava distinta das amostras 6 e 7, enquanto a amostra 9 é um blend de três cavas, portanto, apesar de ser um concentrado do moinho de martelo, suas concentrações são diferentes da amostra 7 (moinho de martelo), pois é um blend. A amostra 12 também é um blend. As amostras 6 e 7, apresentam concentrações bem parecidas, e ambas são da mesma cava.

É apresentado na **Figura 6.17.A**, a variação de *Gold Fineness* nas amostras analisadas, que representa a “pureza” do ouro na amostra, quanto maior a variação, menos homogênea é a concentração de ouro em uma amostra, e quanto menor for a variação, a exemplo da linha de variação da amostra 11, mais homogêa é a sua concentração, considerando a quantidade de pontos analisados nas amostras. A Figura 6.17.B apresenta a relação entre as concentrações de Au, Ag e Bi, que formam padrões ou clusters que se relacionam com cada amostra representada.

O gráfico da Figura 6.17.B que exibe a comparação dos valores de Bi% e de *Gold Fineness*% nas amostras, evidênciaria uma relação entre eles, os maiores valores de *Gold Fineness* estão relacionados a valores em média de 0,00 a 1,00%, enquanto que os menores valores de *Gold Fineness* apresentam relação com os maiores valores de Bi%.

Portanto, a pouca variação da concentração de Au, Ag, Cu e Bi, na amostra 11, corrobora com o fato dessa amostra ser de ouro perola, produto de fundição, o que culmina em homogeneizar a amostra.

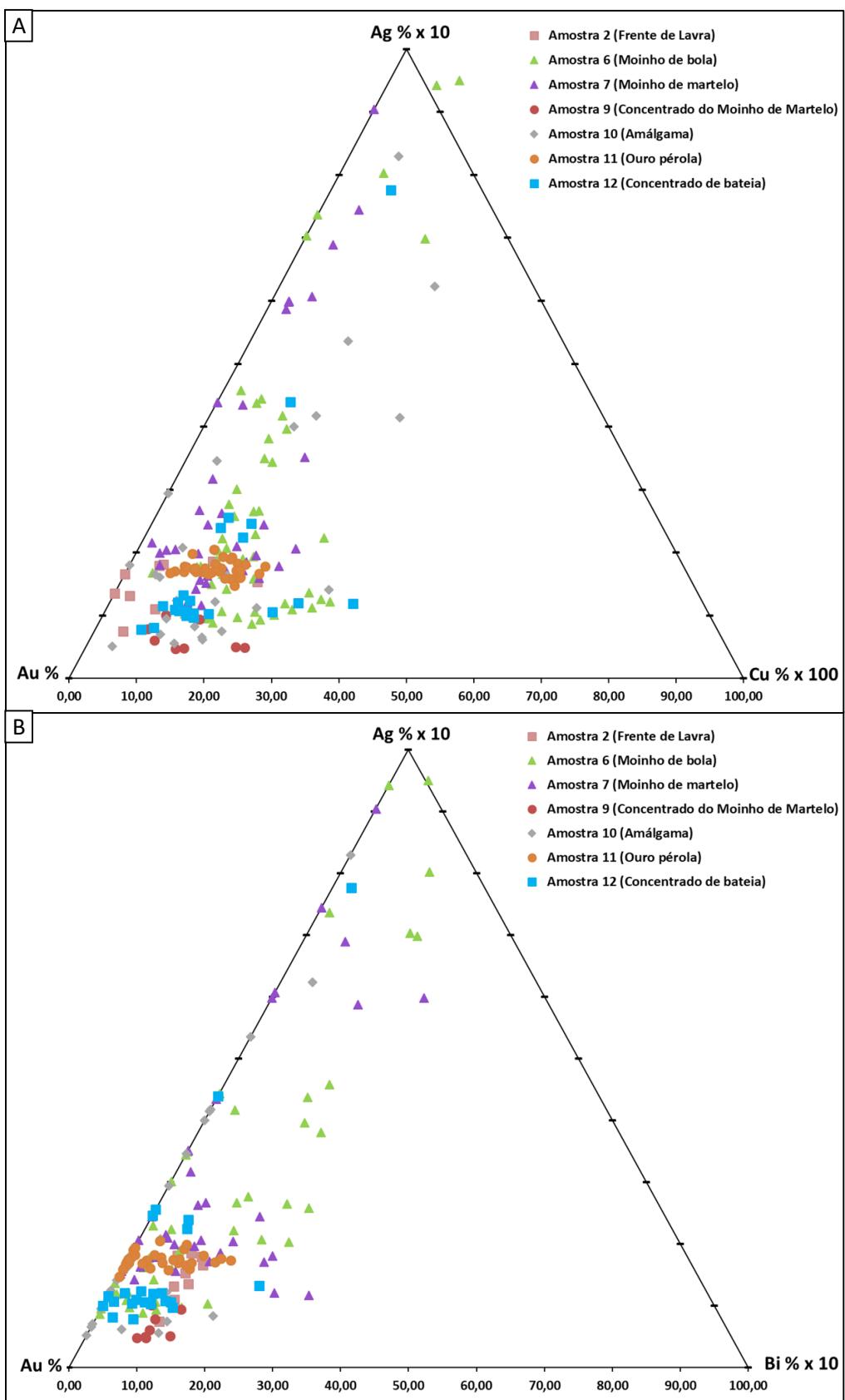


Figura 6.16.A) Diagramas ternário das amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS: A) Diagrama ternário (Au % – Ag % x 10 – Cu % x 100); B) Diagrama ternário (Au % – Ag % x 10 – Bi % x 10).

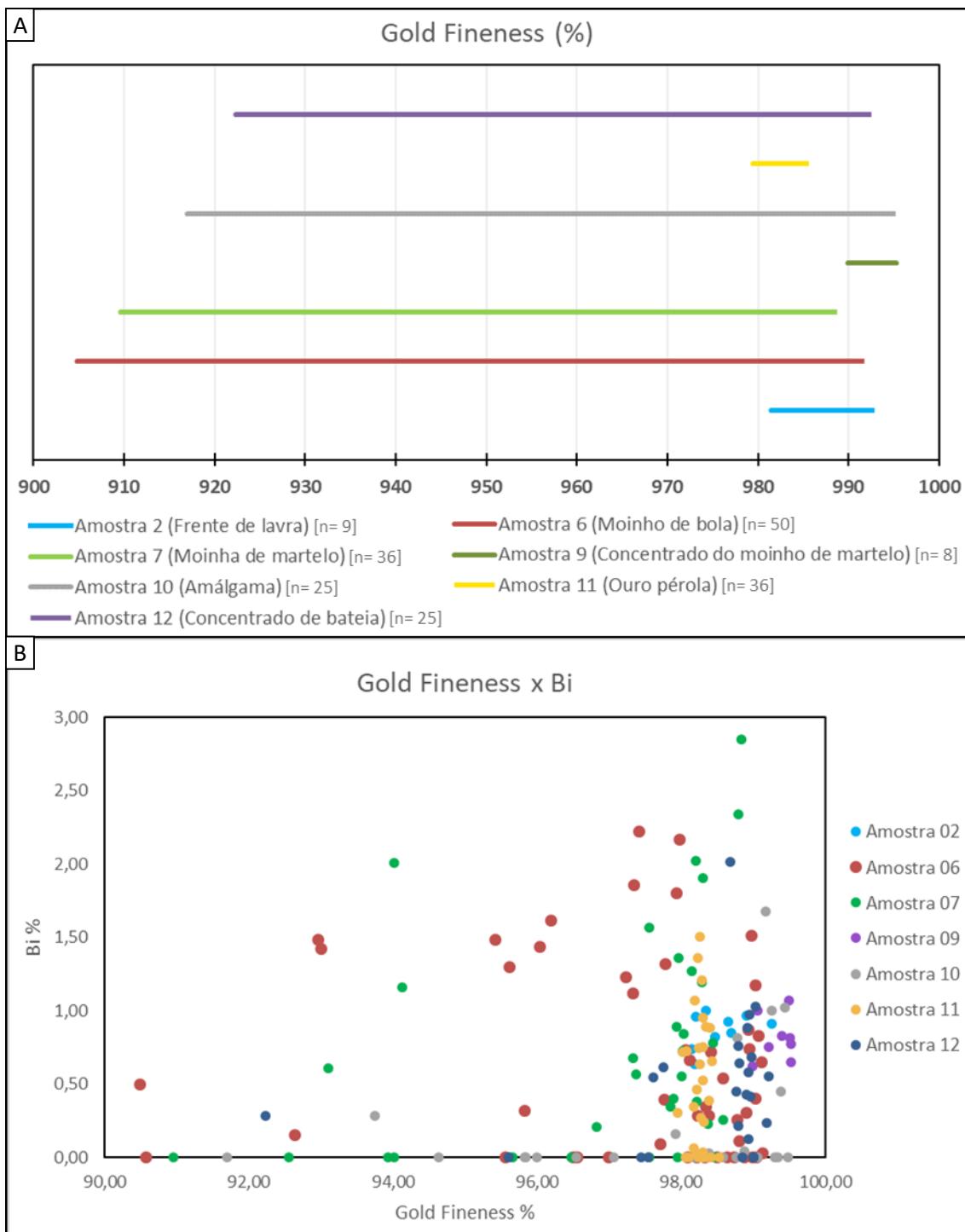


Figura 6.17. A) Gráfico em barra comparativo de *Gold Fineness* nas amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS. B) Gráfico da razão Bismuto/*Gold Fineness* das amostras analisadas com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento, a partir dos dados de WDS.

O gráfico de razão Ag/Au exibido na Figura 6.18 exibe a variação de prata nas amostras, como também em amostra, mostrando que os valores de prata

são homogêneos nas amostras 11 e 12, apresentando pouca variação nas amostras 2 e 9, e pouco homogêneos nas amostras 6, 7 e 10, evidenciando a homogeneidade na amostra de ouro fundido (amostra 11), após processo de beneficiamento, e a heterogeneidade nas amostras de produto de moinho (amostra 6 e 7) e de amálgama (amostra 10).

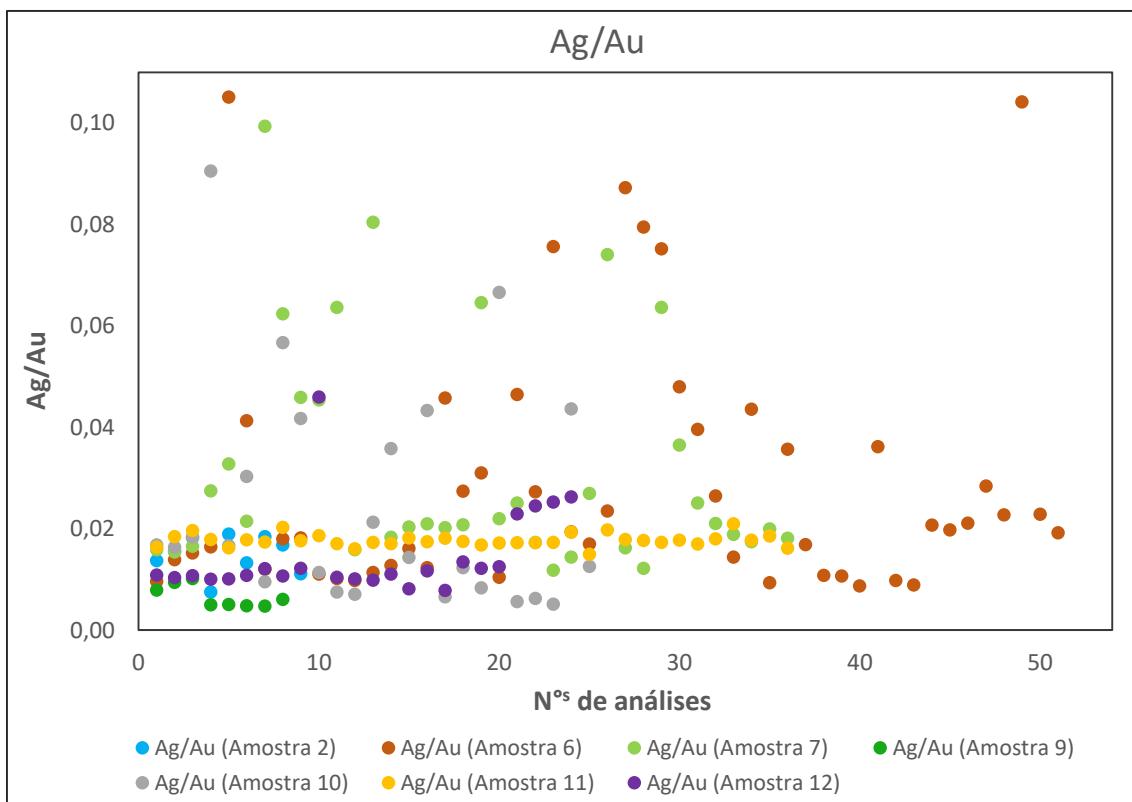


Figura 6.18. Gráfico de razão Ag/Au com a quantidade de análises realizadas, a partir dos dados de WDS, nas amostras com ouro contido (Amostras 2, 6, 7, 9, 10, 11 e 12) de diferentes etapas do beneficiamento.

CAPÍTULO 7

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

7 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

7.1 Discussões

Em lupa binocular, a mineralogia identificada nas amostras moídas é caracterizada pela presença de quartzo, feldspato, pirita, clorita, ouro, galena, limonita, turmalina, magnetita, siderita, bismuto e zircão.

A assembleia mineralógica analisada nas amostras, é indicativa de baixo grau metamórfico regional e evidencia a existência de um metamorfismo de contato, observado nas **Figura 6.17 a) e b)** em que destacam a presença de carbonato, por vezes como siderita alterada, na borda de veio (vênula), indicativo de metamorfismo de contato. Além disso, há a presença de feições do tipo *spotted slate*, como observado nas **Figuras 6.1, 6.2 e 6.3**, destacada pela alteração em cordierita, que é um mineral-índice de contaminação por rochas encaixantes ricas em Al, como o filito presente na geologia local.

Esse metamorfismo é compatível com a geologia regional descrita em outros trabalhos e com o tipo de mineralização observada, que corrobora com as características gerais, em consonância com as análises químicas e petrográficas, como também com os dados de inclusões fluídias existentes na localidade, em um depósito tipo *sediment-hosted intrusion related*.

As amostras de rochas analisadas apresentam feições indicativas, bem como mineralogia, compatível com *Hornfels*, corroborando com descrições regionais dessas rochas, nas proximidades da área de estudo, na literatura, como descreve Almeida, 1984, em que é identificado metamorfismo de contato originando *hornfels* nas bordas dos granitos intrusivos, particularmente na auréola de contato do Granito São Vicente com rochas do Grupo Cuiabá.

Os grãos analisados apresentam tamanhos variando de 0,2 mm a 0,9 mm (Figura 6.7), com as seguintes formas, de acordo com os padrões morfológicos apresentados por Freyssinet *et al.* (1989): Arredondado, elongado, irregular, dendrítico e poligonal. Os grãos apresentam superfícies rugosas, suavizadas e lisas, apresentando também comumente incrustação e inclusões de quartzo, pirita, galena ou da rocha mineralizada. Na maior parte dos grãos de ouro de todas amostras que foram observados, apresentaram tamanhos similares, porém variações significativas na forma, na textura e nas bordas, mas com

características que refletem suas origens em veios mineralizados. Há pouca alteração dos hábitos dos grãos ao longo do beneficiamento, o que vem a ser um indicativo do comportamento do ouro ao longo da produtiva, havendo pouca alteração dos hábitos dos grãos ao longo do processamento, até a etapa de amalgamação, posteriormente, após a fundição, as características morfológicas são em maioria, perdidas, quase inexistentes.

As variadas populações de grãos de ouro, de mesma fonte, sendo oriundas de veios mineralizados, ocorrem nos dois tipos de moinho, bem como, no concentrado de moinho de martelo, o que vem a ser um indicativo do comportamento do ouro ao longo da planta de beneficiamento, pois os hábitos dos grãos, em sua maioria, se mantêm ao longo do processamento, anterior a amalgamação.

A depender do processo metalúrgico a ser utilizado para o refinamento do ouro, diferentes técnicas analíticas podem ser aplicadas. No processo que utiliza amalgamação, pode-se ser utilizada Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e EMPA, após o refino do ouro, para detectar os elementos presentes, a exemplo do mercúrio (Hg), que permanecesse mesmo que em ínfimas quantidades após o refino, bem como outros elementos, como o Bismuto (Bi), que permaneceu no ouro mesmo após o processo de amalgamação e fusão. A partir das análises observou-se que o bismuto (Bi) é um elemento que permanece no ouro ao longo de toda cadeia produtiva, com pouca alteração em sua concentração, exceto na amálgama. Nota-se que mesmo após o processo de amalgamação e fundição, o Bi permanece concentrado no ouro, destacando a Figura 6.14, em que se observa a presença de bismuto no ouro fundido (amostra 11).

É observado que além do ouro, o único elemento que permanece nos grãos e na pérola após o beneficiamento, é o bismuto e o mercúrio, em geral o bismuto está presente nas porções de maior concentração de ouro e também de ferro, e apresenta forte relação com selênio, arsênio e antimônio, apresentando comportamento similares na concentração. Há evidências de que a prata é menos concentrada nas porções em que o bismuto está em maior concentração, porém, foi observado que o bismuto e a prata ocorrem concentrados em algumas porções, as quais apresentam baixíssima concentração de ferro e de chumbo.

Destaca-se a permanência do mercúrio geológico mesmo após a amalgamação e a fundição, pois as concentrações se mantém similares, no produto final que é o ouro pérola (Amostra 11), mesmo após as transformações físicas e químicas do beneficiamento, visto que o mercúrio presente na amálgama (Amostra 10) apresenta uma assinatura distinta das demais, visto a presença de Pd e Pt em concentrações significativas, que estão completamente ausentes nas demais amostras. Na figura 6.19, a análise de Hg em WDS na amostra de ouro pérola, apresenta três pontos de concentração fora da média analisada para a amostra, ambos acima de 0,33 % de Hg do total, representando os pontos de análise Am_11_7, Am_11_15 e Am_11_16, em anexo, que coincidem também com uma menor concentração de Au em relação ao total.

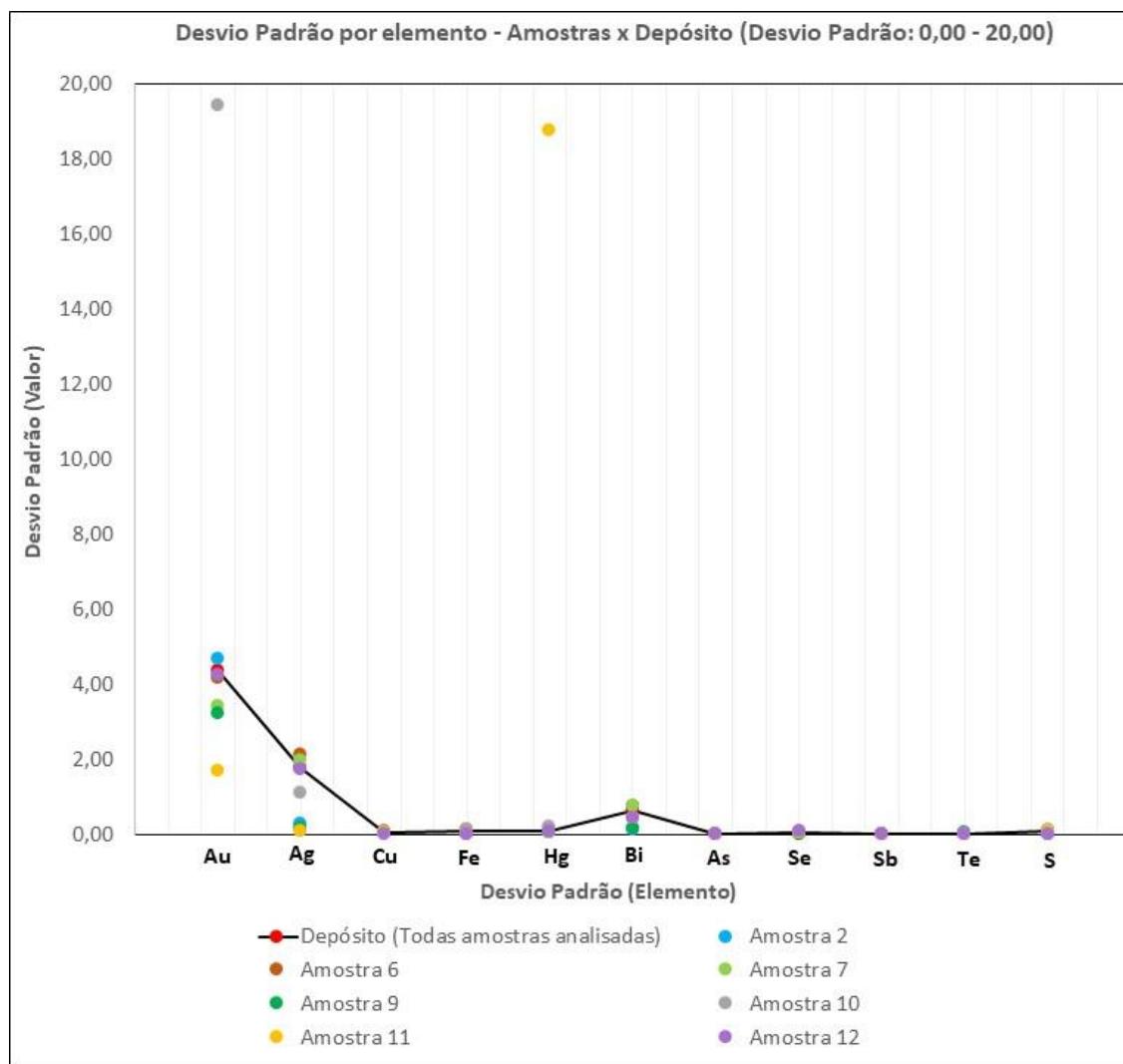


Figura 7.1. Gráfico comparativo de Desvio Padrão das Amostras e do Depósito, por elemento.

É possível inferir das análises de MEV-EDS e WDS nas amostras que há pouca variabilidade de concentração dos elementos analisados nos grãos de ouro de diferentes cavas, o que é evidenciado na Figura 7.21, em que se observa uma linha preta geral que consiste no desvio padrão por elemento do depósito, representado pela junção de todas as amostras analisadas, exceto a amostra 11 por se tratar de uma amálgama composta por metal (mercúrio) de possível origem externa ao local do estudo. A figura 7.1 mostra uma maior variedade do desvio padrão, ainda que seja um desvio padrão baixo, em Au, Ag e Bi, reforçando a importância do bismuto (Bi) na assinatura geoquímica do depósito do local de estudo.

Entretanto, nota-se sutis diferenças entre amostras de diferentes cavas, como a Amostra 2 (Cava X) e as Amostras 6 e 7 (Cava Y), ou amostras de blend de cavas amostras 9 (Cava X e Y) e 12 (Cava Z, X e Y), na concentração dos elementos analisados, Anexo 7.2. É destacado no gráfico da figura 7.1, que o maior desvio padrão em Au é da amostra 10, a qual é uma amálgama de ouro, e o maior desvio padrão em Hg é da amostra 11, que é um fragmento de ouro pérola, reforçando a aplicabilidade dessas técnicas analíticas para auxiliar a rastreabilidade de ouro.

Nota-se que os minerais de ferro e de enxofre presentes na superfície de alguns grãos de ouro evidenciados nas análises em EDS, como mostra a figura 6.12 e 6.12, não estão presentes ou se encontram em baixíssimas concentrações nos grãos de ouro analisados em WDS, em que ouro foi polido no *mount*, expondo o centro do grão, o que permite associar a relação da mineralogia acessória com a concentração desses elementos no ouro.

7.2 Conclusões

Devido ao tamanho dos grãos das amostras em estudo, a morfologia é pouco afetada nos processos de desmonte físico (Britagem e moagem), porém é evidenciado que em amostras que são cominuídas pelo moinho de bola, tem sua morfologia mais afetada, o que se observa nos grãos da amostra 6 em comparação com as demais amostras com a utilização de BKS-MEV.

A caracterização do minério desde a extração ao beneficiamento auxilia na compreensão do comportamento do ouro em associação com outros

minerais, ao longo de sua cadeia, como observado nas análises químicas do ouro do local de estudo, o qual destacou a relação entre ouro, bismuto e mercúrio após o beneficiamento.

A predominância do ouro na fração retida de 200 Mesh indica que, durante a moagem ou liberação natural do minério, grande parte do ouro tende a se concentrar em partículas dessa granulometria. Isso pode estar relacionado a natureza do depósito, ao tamanho inicial dos grãos de ouro e a eficiência dos processos de liberação, como moagem. Portanto, sabendo que a maior parte do ouro está concentrada nessa fração, o processo metalúrgico pode ser ajustado para priorizar métodos de concentração que funcionem bem para partículas dessa granulometria. A ausência de diferenças significativas na morfologia dos grãos entre diferentes frações, sugere que o ouro no depósito mantém características morfológicas consistentes, independentemente da granulometria, podendo indicar um processo de formação mais homogêneo dos grãos de ouro e uma textura uniforme do ouro em todo o depósito, com pouco impacto da moagem ou outros processos mecânicos que possam modificar a morfologia.

A associação de técnicas analíticas em conjunto com a compreensão dos processos geometalúrgicos, pode auxiliar a rastreabilidade do ouro, dentro da cadeia produtiva de ouro no Brasil, visto que resta caracterizado o ouro do local estudado, mesmo após o beneficiamento, como também sua associação com a geologia da região. Com base na geologia descrita, bem como nas análises mineralógicas e petrográficas, é possível observar uma relação da geologia local, do tipo de mineralização e depósito, da mineralogia do minério com a composição do ouro, visto que se observou pouca mudança na concentração dos elementos constituintes analisados do ouro após o processo de beneficiamento.

Portanto, a partir da caracterização e compreensão dos processos geometalúrgicos na cadeia produtiva de ouro do Brasil, é possibilitada a aplicação de técnicas analíticas dentro deste contexto para auxiliar a rastreabilidade do ouro.

Os métodos analíticos realizados no presente trabalho com o intuito de auxiliar a rastreabilidade do ouro, apresentam limitações quanto a quantidade de material, bem como a calibração dos equipamentos utilizados. Para a obtenção

de resultados mais robustos, se faz necessário a análise de uma maior quantidade de amostras de ouro, para que estatisticamente, as variações sejam compreendidas e conhecidas.

Compreende-se que as assinaturas de Hg são importantes para determinar o tipo de beneficiamento utilizado, bem como interpretar possíveis locais de origem pelos tipos de mineralização e mapeamento de províncias auríferas. Visto os dados apresentados, têm-se que a região aurífera estudada apresenta uma assinatura típica de baixa concentração de Hg% no ouro.

A presença em geral de mais de 1% de bismuto nas amostras, permite que ele seja identificado em FRX, sendo uma informação crucial em perícia para a rastreabilidade de ouro, conjuntamente com informações de relação Ag/Au, Au/Ag/Cu, Au/Ag/Bi e concentração de Hg% para auxiliar na assinatura de rastreabilidade do ouro da localidade estudada.

REFERÊNCIAS

- Adams, M. D., 2005. Advances in gold ore processing, developments in mineral processing, Mutis liber Pty Ltd, Guildford, Western Australia, Elsevier.
- A Pochon, AM Desaulty, L Bailly, P Lach., 2021. Challenging the traceability of natural gold by combining geochemical methods: French Guiana example. Applied Geochemistry 129, 104952, 2021.
- Alruiz, O.M., Morrell, S., Suazo, C.J. and Naranjo, A., 2009, A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuasi grinding circuit: Minerals Engineering, v. 22, p. 1060-1067
- Almeida F.F.M. de 1945. Geologia do sudoeste mato-grossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM, 116:1-118.
- Almeida, F.F.M. 1964. Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. Rio de Janeiro. DNPM/DGM. 13 p. (Boletim 215). Almeida, F.F.M. 1964b. Glaciação Eo-Cambriana em Mato Grosso. Rio de Janeiro, DNPM/NPE. 10 p. (Boletim 117).

Almeida, F. F. M. 1968. Evolução tectônica do Centro-Oeste brasileiro no proterozóico superior. Anais da Academia Brasileira de Ciências, n.40, p.285-293.

Almeida FFM. 1965. Geossinclíneo Paraguai. In: Semana de Debates Geológicos, 1, Porto Alegre, Centro Acad. Est. Geol. Univ. Fed. Rio Grande do Sul, atas, p. 87 101.

Almeida, F. F. M. Sistema Tectônico Marginal do Cráton do Guaporé. In.: Congresso Brasileiro de Geologia, 28.,1974, Porto Alegre. Anais ... Porto Alegre: SBG, 1974. v.4. p.11-12.

Almeida, F. F. M., Mantovani, M. S. M. 1975. Geologia e geocronologia do Granito de São Vicente, Mato Grosso. An. Acad. Bras. Ciênc., n.47, p.451-458.

Almeida F.F.M. 1984. Província Tocantins - setor sudoeste. In: Almeida F.F.M. e Hassui Y. (eds.) O Pré-Cambriano do Brasil. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, p. 265-281.

Alvarenga, C. J.S., 1984. Dobramentos da Faixa Paraguai na borda sudeste do Cráton Amazônico. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 7, p. 3258-3271.

Alvarenga, C J.S. e Trompette, R. 1988. Upper Proterozoic glacial environment ofthe border of Amazonian Craton and its evolution towards the adjacent Paraguay Belt (Mato Grosso, Brazil). In: Meeting Earth's Glacial Record - Proj. 260. Cuiabá 1988. Abstracts and Field Trip Cuiabá, IGCP-UNESCO/UFMT. p. 31-44.

Alvarenga C.J.S., 1990. Phénomènes sédimentaires, estructuraux et circulation de fluides développés à la transition chaîne-craton: exemple de la chaîne Paraguai d'age protérozoïque supérieur, Mato Grosso, Brésil. Tese Doutorado - Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme, Université d'Aix-Marseille II, Marseille.

Alvarenga, C.J.S., Dubessy, J., Cathelineau, M., 1990. Chronology and orientation of N₂-CH₄, CO₂-H₂O, and H₂O-rich fluid inclusion trails in

- intrametamorphic quartz veins from the Cuiabá gold district, Brazil. *Mineralogical Magazine* 54, 245-255.
- Alvarenga C.J.S.; Trompette R. 1992. Glacially influenced sedimentation in the later proterozoic of the Paraguay Belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaeogeografia, Palaeoclimatologia, Palaeoecologia*. v.92, p.85-105.
- Alvarenga C.J.S. & Saes G.S. 1992. Estratigrafiae sedimentologia do Proterozóico Médio e Superior da região sudeste do Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(4):493-499.
- Alvarenga C.J.S. & Trompette R. 1993. Brasiliano tectonic of the Paraguay Belt: the structural development of the Cuiabá region. *Revista Brasileira de Geociências*, 23:18-30.
- ARROYO ORTIZ, C. E. Caracterização geometalúrgica e modelagem geoestatística da Mina de Brucutu – Quadrilátero Ferrífero (MG). Ouro Preto: Tese de Doutorado – Universidade Federal de Ouro Preto, v. Contribuição às Ciências da Terra - Vol. 234, 2014.
- Assine, M. L. 1996. Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo. 207 p. (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- Babinski M., Boggiani P.C., Trindade R.I.F., Fanning C.M. 2013. Detrital zircon ages and geochronological constraints on the Neoproterozoic Puga diamictites and associated BIFs in the southern Paraguay Belt, Brazil. *Gondwana Research*, 23(3):988-997.
- Barboza E.S. 2008. Gênese e controle estrutural das mineralizações Auríferas do Grupo Cuiabá, na Província Cuiabá - Poconé, centro Sul do Estado de Mato Grosso – Brasil. Tese de Doutorado, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 148 p.
- Barboza, E.S., Santos, A.C., Pinho, C., F. E. Fernandes, C.J., Geraldes, M.C., 2018. Paraguay Belt lithostratigraphic and tectonic characterization:

implications in the evolution of the orogen (Mato Grosso-Brazil). *J. Sediment. Environ.* 3 (2), 54–73. Published by Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Barros, A.M.; Silva, R.M.; Cardoso, O.R.F.A.; Freire, F.A.; Souza, J J., Jr.; Rivetti. M., Luz, D.S.; Palmeira, R.C.B.; Tassinari, C.C.G. 1982. Folha SD21 Cuiabá, Geologia. In: RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, Radambrasil. p. 25- 192. (Volume 26).

BARROS, A.M. & SIMÕES, M.A. Levantamento geológico nas porções meio-oeste da folha SD.21-Z-A e extremo noroeste da folha SD.21-Z-C, abrangendo áreas dos municípios de Raizama, Rosário Oeste, Nobres e Diamantino, operação 577/80. Goiânia, Projeto RADAMBRASIL, 1980 31p.

BATATA, Maria Elisa Fróes. Petrologia das Vulcânicas de Mimoso - Santo Antonio de Leverger (MT). 2022. Tese (Doutorado em Petrologia Ígnea e Metamórfica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/T.44.2022.tde-04072022-111754

Beal V. Estratigrafia de Sequência do Grupo Cuiabá, Criogeniano/Neoproterozoico III (850-650MA) Da Faixa Paraguai Norte, Mato Grosso. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 39 p.

BRAGA, P. F. A.; ARAÚJO, R. V. V. Ensaios de retortagem - destilação de mercúrio. In: Tratamento de minérios: práticas laboratoriais / Ed. João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 371-375.

BUTT C. R. M., HOUGH R.M., VERRALL M. Gold nuggets thein side story. Ore and Energy Resource Geology, ISSN: 2666-2612, Vol: 4. Australia, 2020.

Chapman, R.J., Leake, R.C., Moles, N.R., 2000a. The use of microchemical analysis of alluvial gold grains in mineral exploration: experiences in Britain and Ireland. *J. Geochem. Explor.* 71, 241–268.

- Chapman RJ, Leake RC, Bond DP, Stedra V, Fairgrieve B (2009) Chemical and mineralogical signatures of gold formed in oxidizing chloride hydrothermal systems and their significance within populations of placer gold grains collected during reconnaissance. *Econ Geol* 104:563–585
- Chapman RJ, Mortensen JK, Crawford EC, Lebarge WP (2010a) Microchemical studies of placer and lode gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 1. Evidence for a small, gold-rich, orogenic hydrothermal system in the bonanza and Eldorado Creek area. *Econ Geol* 105:1369–1392. <https://doi.org/10.2113/econgeo.105.8.1369>
- Chapman, R.J. and Mortensen, J.K. (2016) Characterization of gold mineralization in the northern Cariboo Gold District, British Columbia, Canada, through integration of compositional studies of lode and detrital gold with historical placer production: a template for evaluation of orogenic gold districts; *Economic Geology*, v. 111, no. 6, p. 1321–1345
- Chapman RJ, Mileham TJ, Allan MM, Mortensen JK (2017) A distinctive Pd-Hg signature in detrital gold derived from alkalic Cu-Au porphyry systems. *Ore Geol Rev* 83:84–102
- Chapman T., Clarke G.L., Piazolo S., Robbins V.A., Trimby, P.W., 2019. Grain-scale dependency of metamorphic reaction on crystal plastic strain. *J Metamorph Geol* 3:1021–1036
- Chapman, R. J., Banks, D. A., Styles, M. T., Walshaw, R. D., Piazolo, S., Morgan, D. J., & Borovinskaya, O., 2021. Chemical and physical heterogeneity within native gold: implications for the design of gold particle studies. *Mineralium Deposita*, 56(8), 1563-1588.
- CALVIMONTES, J.; MASSARO, L.; ARAUJO, C.H.X.; MORAES, R.R.; MELLO, J.; FERREIRA, L.C.; THEIJE, M. de. Small-scale gold mining and the COVID 19 pandemic: Conflict and cooperation in the Brazilian Amazon.
- Cordani U. G., Teixeira W., D'Agrella-Filho M. S., Trindade R. I., 2009. The position of the Amazonian Craton in supercontinentes. *Gondwana Research*, 15, 396–407.

Costa, M. A. D., & Rios, F. J. (2022). The gold mining industry in Brazil: A historical overview. *Ore Geology Reviews*, 148, 105005. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105005>.

Costa, F. R., 2016. Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro-Paracatu, MG (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Colombo, g.; Bonfim, e.r.c.; Nascimento, n.d.c. **Caracterização do minério da jazida casa de pedra, cuiabá (mt)**. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia extrativa, 27., 2017, belém. Anais do xxvii entmme. Belém, 2017.

CPRM. Geodiversidade do estado do Mato Grosso (Juliana Maceira Moraes Org.). Goiânia: CPRM, 2010.

Chryssoulis, S.L. and McMullen, J. (2005) Mineralogical Investigation of Gold Ores. In: Adams, M.D., Ed., Advances in Gold Ore Processing, Elsevier, The Netherlands, 21-71. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15002-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15002-9)

Del'Arco J.O, Silva R.H., Tapanoff I, Freire F.A., Pereira L.G.M., Souza S.L., Luz L.G., Palmeira R.C.B., Tassinari C.C.G. 1982. Folha Corumbá e parte da Folha SE. 20, Geologia. In RADAMBRASIL.

Evident Corporation (XRF / XRD). "Innovative Gold Exploration Using Portable XRF; Effective Use of Pathfinders & Litho-Geochemistry". AZoMining. 28 August 2022. <<https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1333>>.

Frenzel, Max & Baumgartner, Regina & Tolosana-Delgado, Raimon & Gutzmer, J. (2023). Geometallurgy: Present and Future. *Elements*. 19. 345-351.10.2138/gselements.19.6.345.

FREYSSINET, P.H., BUTT, C.R.M., 1988. Morphology and geochemistry of gold in a lateritic profile, Reedy mine, Western Australia. Restricted Report, MG59R, CSIRO Australia, Division of Exploration Geoscience, Perth, 14p.

Girard, R., Tremblay, J., Néron, A., Longuépée, H., & Makvandi, S. (2021). Automated Gold Grain Counting. Part 2: What a Gold Grain Size and Shape Can Tell! *Minerals*, 11(4), 379.

GODOY, A.M.; MANZANO, J.C.; RUIZ, A.S.; ARAUJO, L.M.B. Os Granitóides Brasilianos Pós-Tectônicos da Faixa de Dobramentos Paraguai MS e MT. Geologia USP, Série Científica, v. 7, p. 29-44, 2007.

Gonçalves, P. C. P., 2017. Geometalurgia: panorama de aplicação no setor minerometalúrgico.

GOTTLIEB, P. et. al. Using quantitative electron microscopy for process mineralogy applications. Jom, v. 52, n. 4, p. 24-25, 2000.

Guimarães G. & Almeida L.F.G. 1972. Projeto Cuiabá. Cuiabá, DNPM, Relatório do arquivo técnico da DGM, n. 1872.

Granato, M., 1986. Metalurgia extractiva do ouro. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

Hoal, K.O., 2008, Getting the geo into geomet: SEG Newsletter, Society of Economic Geologists, v.73, p. 11–15.

Horbe, Adriana & Martins-Ferreira, Marco & Lima, Rafael. (2019). Supergene gold characterization by geochemistry, grain morphology and Au-Ag-Cu-Te classification. Journal of South American Earth Sciences.

Hruschka, F., Melcher, F., Kain-Bückner, B. (2016): Analytical Tools to Constrain the Origin of Gold from Conflict-affected and High-risk areas: Scoping Study Based on the DR Congo. ISBN 978-3-943566-35-2, Contract study for the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR).

Figueiredo, A.J.A., Olivatti, O. 1974. Projeto Alto Guapore. GoiAnia, DNPM/CPRM, 173p. (Report).

Figueiredo, M. F.; Babinsky, M.; Alvarenga, C. J. and Pinho, F. E. C. 2008. Nova unidade litoestratigráfica registra glaciação ediacarana em Mato Grosso: formação Serra Azul, v.8, n.2.

Freitas E.S. 2003 – Estratigrafia e tectônica do Grupo Cuiabá no flanco NW da Antiforme do Bento Gomes, Poconé, MT. Monografia de Conclusão do Curso de Graduação em Geologia, UFMT, 78p

Freyssinet, Ph., Zeegers, H. and Tardy, Y. (1988) Morphology and Geochemistry of Gold Grains in Lateritic Profles of Gold Southern Mali. Journal of Geochemical Exploration, 32, 17-31.

Ketchaya, Y. B., Dong, G., Santosh, M., & Lemdjou, Y. B. (2022). Microchemical signatures of placer gold grains from the Gamba district, northern Cameroon: Implications for possible bedrock sources. Ore Geology Reviews, 141, 104640.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104640>

Lacerda Filho J.V., Abreu Filho W., Valente C.R., Oliveira C.C., Albuquerque M.C. 2004. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso. Programa Geologia do Brasil, CPRM/MME/SICME. Relatório final, 200p.

LACERDA FILHO, J. V. de (Org.) et al. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado de Mato Grosso. Cuiabá: CPRM, 2004. 235 p.

LACERDA FILHO, J.W.; BRIT0, R.S.C.; SILVA, M.G; OLIVEIRA, C.C. DE; MORETON, L.C.; MARTINS, E.G; LOPES, R.C.; LIMA, T.M.;

LAMBERG, P. Particles – the bridge between geology and metallurgy: Proc. Conference in mineral engineering, Luleå, Sweden, p. 1-16, 2011.

LARIZZATTI, J.H.; VALENTE, C.R. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME MS, MME, 121 p. 2006.

Leake, R.C., Bland, D.J., Styles, M.T., Cameron, D.G., 1991. Internal structure of Au–Pd–Pt grains from south Devon, England, in relation to low temperature transport and deposition. Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. B, Appl. Earth Sci.) 100, B159–B178.

- Leake, R.C., Bland, D.J., Cooper, C., 1992. Source characterization of placer gold from mineral inclusions and internal compositional variation. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. B, Appl. Earth Sci.)* 102, B65–B82.
- Lima, Rafael da Silva. Geoquímica de perfis lateríticos e morfologia do ouro de Alto Horizonte (GO) e Almas -Natividade (TO). 2017. 69 f., il. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- LIMA, Thales Ernildo de; LIMA, Cristiane da Silva; SOUZA, Celia Alves de. A importância das unidades geológicas para o abastecimento hídrico do pantanal de Cáceres, Mato Grosso, Brasil. *Revista Cerrados*, [s. l.], v. 20, n. 01, p. 44–71, 2022. DOI: 10.46551/rc24482692202203.
- Lins, F. F. et al. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992 (Série Tecnologia Mineral, no 55).
- Liu, Jingyue. (2000). High-Resolution and Low-Voltage FE-SEM Imaging and Microanalysis in Materials Characterization. *Materials Characterization - MATER CHARACT.* 44. 353-363. 10.1016/S1044-5803(99)00076-5.
- Liu, Haiming & Beaudoin, Georges. (2021). Geochemical signatures in native gold derived from Au-bearing ore deposits. *Ore Geology Reviews*. 132. 104066. 10.1016/j.oregeorev.2021.104066.
- Liu, H., Beaudoin, G., Makvandi, S., & Jackson, S. E., 2019, August. Geochemical signature of native gold from various Au-bearing deposits- implications for mineral exploration. In Proceedings of the 15th SGA Biennial Meeting, Glasgow, Scotland, UK (pp. 27-30).
- LUND, C. Mineralogical, Chemical and Textural Characterization of the Malmberget Iron Ore Deposit for a Geometallurgical Model, PhD Thesis, Luleå Technical University, 2013.
- Lund, Cecilia and Pertti Lamberg. "Geometallurgy: A tool for better resource efficiency." (2014).

- LUND, C.; LAMBERG, P.; LINDBERG, T. Development of a geometallurgical framewok to quantify mineral textures for process prediction. *Miner. Eng.* v. 82, p. 61– 77, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.04.004>
- Luz J.S.; Oliveira A.M.; Souza J.O.; Motta J.F.M.; Tanno L.C.; Carmo L.S.; Souza N.B., 1980. Projeto Coxipó. Relatório Final. Goiânia, DNPM/CPRM, 1, 136.
- Magalhães, M., Lemos, M., Moreira, V., Pereira, M., Souza, T., & Vieira, M. 2019. Aplicação da geometalurgia para aumento da recuperação de Ouro–Santa Bárbara, MG. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - Belo Horizonte-MG, 8p.
- Manoel, T.N., Leite, J.A.D., 2018. On the origin of the Neoproterozoic Peresopolis grafite deposit, Paraguay Belt, Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 84, 104–112.
- Manoel, T.N., Selby, D., Galvez, M.E., Leite, J.A.D., Figueiredo, L.N., 2020. A pre-Sturtian depositional age of the lower Paraguay Belt, western Brazil, and its relationship to western Gondwana magmatism. *Gondwana Res.* 89, 238–246.
- Manzano J.C., Godoy A.M., Araújo L.M.B., 2008. Contexto tectônico dos granitoides neoproterozoicos da Faixa de Dobramentos Paraguai, MS e MT. UNESP, Geociências, 27, 493-507.
- Manzolli, F. B., Rajão, R., 2021. Legalidade da Produção de Ouro no Brasil, IGC/UFMG, Belo Horizonte.
- MARIANI, E., PRIOR, D.J., MCNAMARA, D., PEARCE, M.A., SEATON, N., SEWARD, G.G.E., TATHAM, D.J., WHEELER, J. Electron back-scattered diffraction 125 (EBSD) in the SEM: applications to microstructures in minerals and rocks and recent technological advancements. In: Subias, I., Bauluz, B. (Orgs.), *Instrumental Techniques Applied to Mineralogy and Geochemistry, Seminarios SEM* 5, 7-19, 2008.

MARSDEN, J. O.; HOUSE, C. L. The Chemistry of Gold Extraction. 2. ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2009.

Melo-Gómez, J. D. (2023). Geochemistry of gold from Ontario gold deposits. Master's Thesis, Laurentian University, Sudbury, Ontario, Canada.

Mike Adams, 2005. ADVANCES IN GOLD ORE PROCESSING. MUTIS LIBER PTY LTD., GUILDFORD, WESTERN AUSTRALIA

Nguimatsia, F. W. D., Bolarinwa, A. T., Yongue, R. F., de Dieu Ndikumana, J., Olajide-Kayode, J. O., Olisa, O. G., ... & Djou, E. S., 2017. Diversity of gold deposits, geodynamics and conditions of formation: a perspective view. Open Journal of Geology, 7(11), 1690.

NEUMANN, REINER; CLÁUDIO LUIZ SCHENEIDER, ARNALDO ALCOVER NETO. Caracterização Tecnológica de Minérios. In: CETEM Tratamento de Minérios. 4^a ed. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. Cap. 3, p. 55 a 109.

Néron, A., Girard, R., Tremblay, J., Bédard, L. P., & Bouchard, K. (2018). Reducing the Learning Population Size for Morphological Classification of Natural Materials: Example of Gold Grains from Backscattered Electron Images. Microscopy and Microanalysis, 24(S1), 522-523. <https://doi.org/10.1017/S1431927618003100>

Noya Pinto, V., 1979. O ouro brasileiro e o comercio anglo-portugues: (Uma contribuição aos estudos de economia atlantica no seculo XVIII). Rio de Janeiro. Companhia Editora Nacional 369.

Ofori-Sarpong, G., Okwaisie, T., & Amankwah, R. K., 2019. Geometallurgical Studies on Gold Ore for Enhanced Comminution and Leaching. Ghana Mining Journal, 19(1), 59-65.

RANDLE, V. MICROTEXTURE DETERMINATION and its applications. 2o ed. London: Institute of Materials, Minerals and Mining, 2008.

Ribeiro-Filho, W., Figueiredo, A.J.A., 1974. Reconhecimento geológico da região oeste de Mato Grosso. Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Porto Alegre. Anais. SBG 4, 27–35.

- Robb, L. (2005). Introduction to ore-forming processes
- Robert, M. (2007). Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types.
- Rowe, R. R., & Zhou, X., 2007. Models and exploration methods for major gold deposit types. In Proceedings of exploration (Vol. 7, pp. 691-711).
- Paes de Barros A.J., Costa J.L.G., Resende W.M. 1998. Tipologia das mineralizações auríferas da Fazenda Salinas, Poconé, MT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Bol. de Resumos, p. 235.
- Phillips, Geoffrey & Pohl, Walter. (2022). Formation of gold deposits.
- PROJETO CENTRO-OESTE DE MATO GROSSO. Goiânia: CPRM,. v.3 (Relatório Final), Folha Cuiabá NE-SD.21-X. Convênio: DNPM/CPRM. 1974.
- PROJETO COXIPÓ. Goiânia: CPRM,. (Relatório Final - Fase I), 136p. Convênio: DNPM/CPRM. 2v. 1980.
- SANTOS, Iara Maria dos. Estratigrafia e tectônica da Faixa Paraguai: implicações evolutivas neoproterozóicas no Sudeste do Cráton Amazônico. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2016. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.
- Schobbenhaus-Filho, C., Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E., 1981. Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceanica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais - Escala 1/2.500.000. Brasília, DNPM.
- Schobbenhaus-Filho, C., Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E., 1984. Geologia do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceanica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais. Brasília, DNPM. 501 p.
- SEPLAN-MT. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação. Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Mato Grosso, 2002.

Silva C.H. 1999. Caracterização Estrutural de Mineralizações Auriferas do Grupo Cuiabá, Baixada Cuiabana (MT). Dissertação de Mestrado, UNESP, Rio Claro, 134 p.

Silva C.H., Simões L.S.A., Ruiz A.S. 2002. Caracterização Estrutural dos Veios Auríferos da Região de Cuiabá, MT. Revista Brasileira de Geociências, 32(04):407-418.

Silva, R. R. da ., Branco, J. C., Thomaz, S. M. T., & Cesar, A.. (2017). Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução em longo prazo. Saúde Em Debate, 41(spe2), 50–62. <https://doi.org/10.1590/0103-11042017S205>.

Siqueira-Gay, J., Sánchez, L.E. The outbreak of illegal gold mining in the Brazilian Amazon boosts deforestation. Reg Environ Change 21, 28 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01761-7>.

Sousa, M.Z.A., 1997. Petrologia e geoquímica do complexo alcalino Ponta do Morro - MT. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 168 p.

Souza, J.O., Frasca, A.A.S., Oliveira, C.C., 2005. Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral de Alta Floresta. Relatório Integrado. Brasília, Serviço Geológico Brasileiro, CPRM, 164p.

Souza et al. 2011.: Estado do Mato Grosso. 33f. CPRM, Cuiabá.

Tokashiki C. C. & Saes G. S., 2008. Revisão estratigráfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, baixada Cuiabana, Mato Grosso. Revista Brasileira de Geociências, 38, 661-675.

Trindade R. I. F., D'Agrella-Filho M. S., Epof I., and Brito Neves B. B., 2006. Paleomagnetism of Early Cambrian Itabaiana mafic dikes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana. Earth and Planetary Science Letters, 244, 361–377.

Trindade R. I. F., Font E., D'Agrella-Filho M. S., Nogueira A. C. R., and Riccomini C., 2003. Low latitude and multiple geomagnetic reversals in

the Neoproterozoic Puga cap carbonate, Amazon Craton. Terra Nova, 15, 441–446.

Trompette R., 1994. Geology of Western Gondwana, Pan-African (2000-500 Ma) -Pan-African Brasiliano aggregation of South America and Africa: Rotterdam, A. A. Balkema, 350.

Trompette R., Alvarenga C.J.S., Walde D.H.-G., 1998. Geological evolution of the Neoproterozoic Corumbá graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group. Journal of South American Earth Science, 11, 587-597.

VASCONCELOS, João. Proveniência sedimentar do Grupo Cuiabá na Faixa Paraguai Meridional. 2018. 173 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

WESKA, R.K. et al. Contribuição à estratigrafia do Grupo Bauru na região da Chapada dos Guimarães-MT. In.: XXXV Congr. Brasil. Geol., 1988, Belém. Anais... Belém: SBG. v. 2, p.905-916.

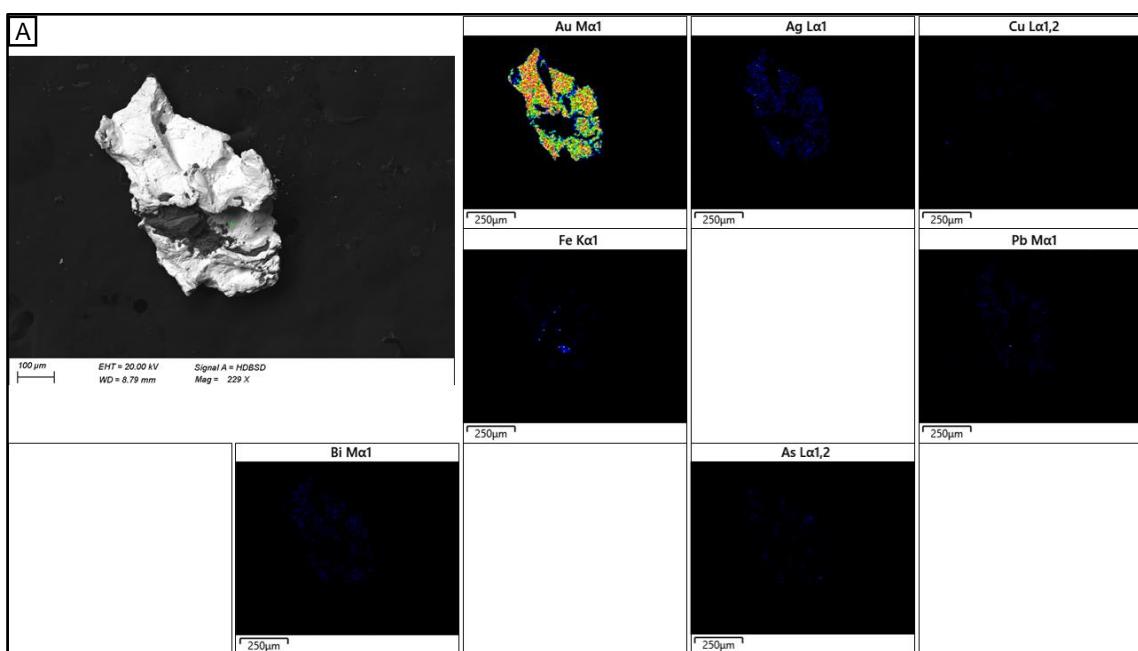
Wanderley, Luiz., 2015. Ouro como moeda, ouro como commodity. Revista de Economia Política e História Econômica, nº 34, agosto de 2015.

Williams, Steven R, and Jean M Richardson. 2004. "Geometallurgical Mapping: A New Approach That Reduces Technical Risk Geometallurgical mapping.

Zhou, J.; Jago, B.; Martin, C., 2004. Establishing the process mineralogy of gold ores. SGS Minerals- Technical Bulletin, 2004.

Zhou, J., & Gu, Y., 2016. Geometallurgical characterization and automated mineralogy of gold ores. In Gold ore processing (pp. 95-111). Elsevier.

8 ANEXOS



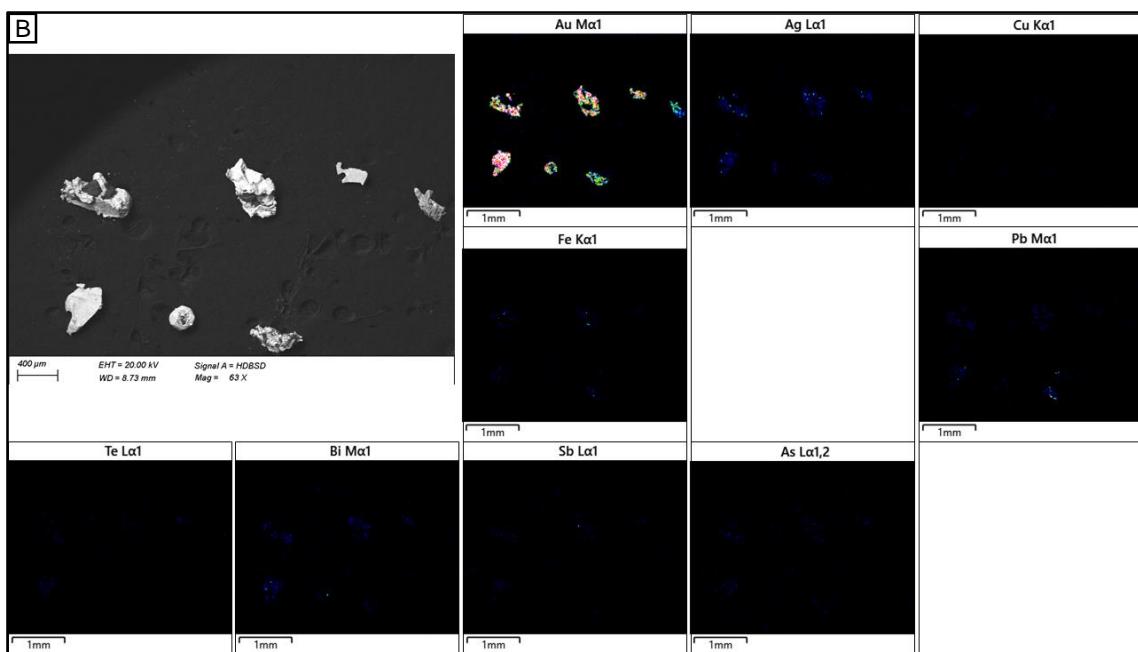
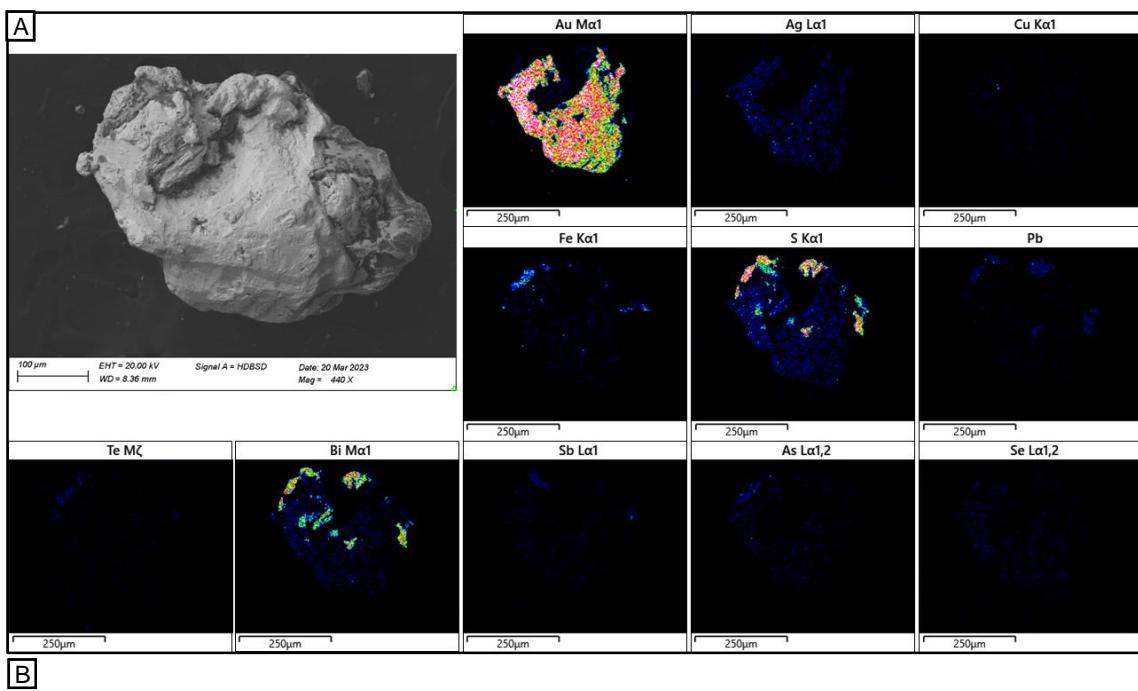


Figura 8.1. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 2. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 2.



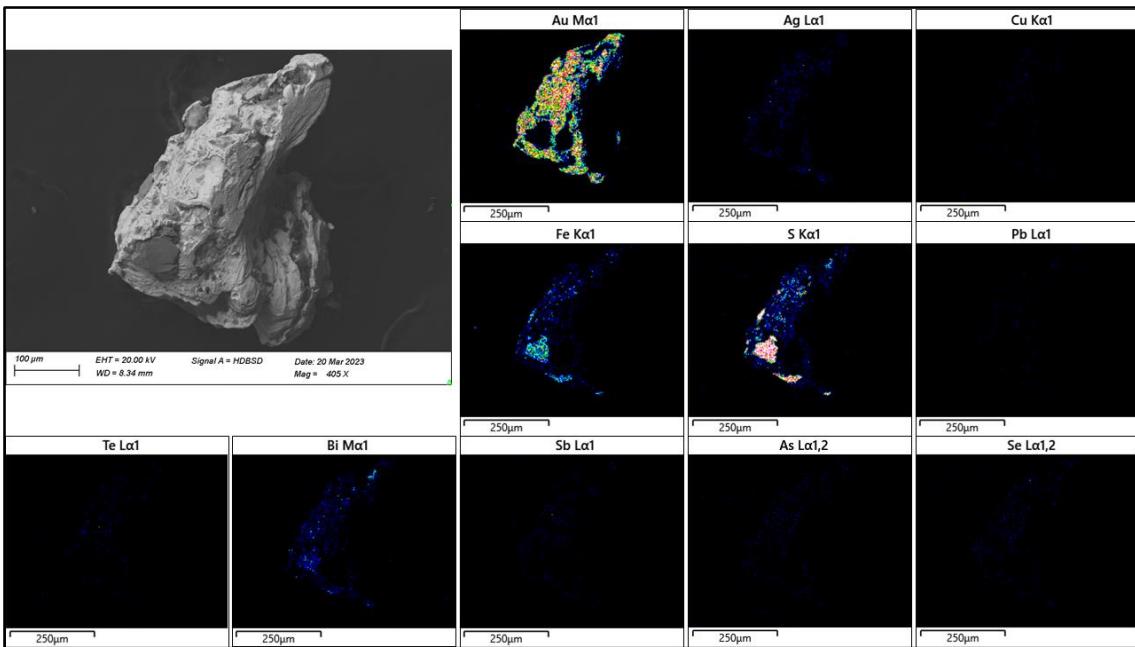
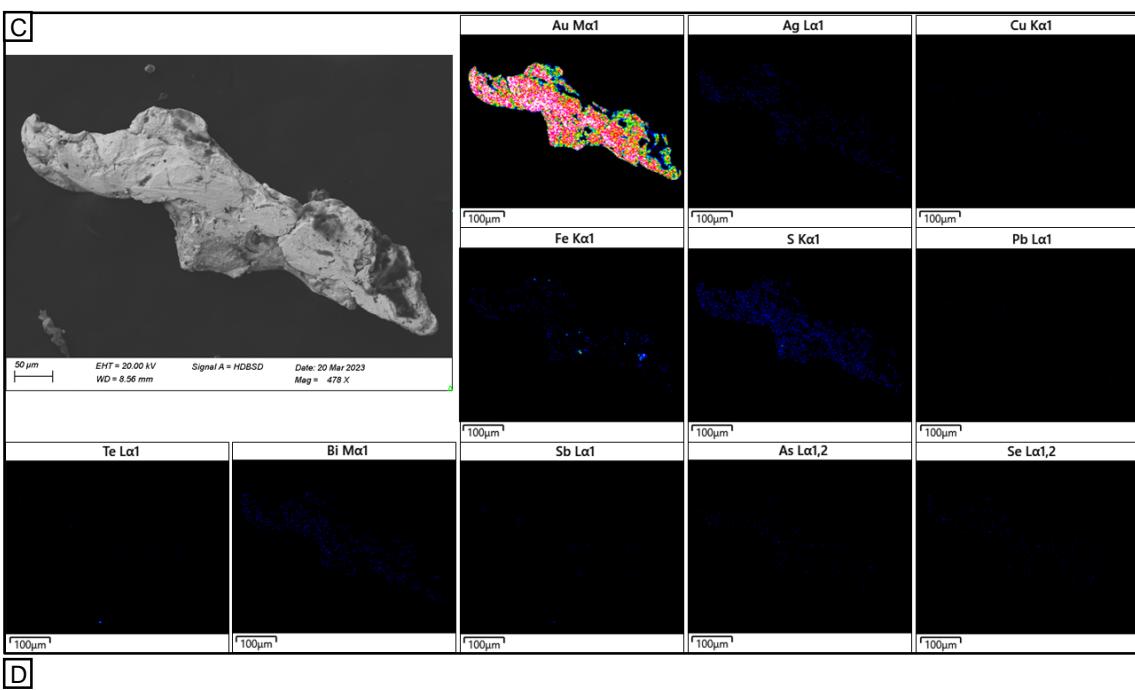


Figura 8.2. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 6. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 6.



D

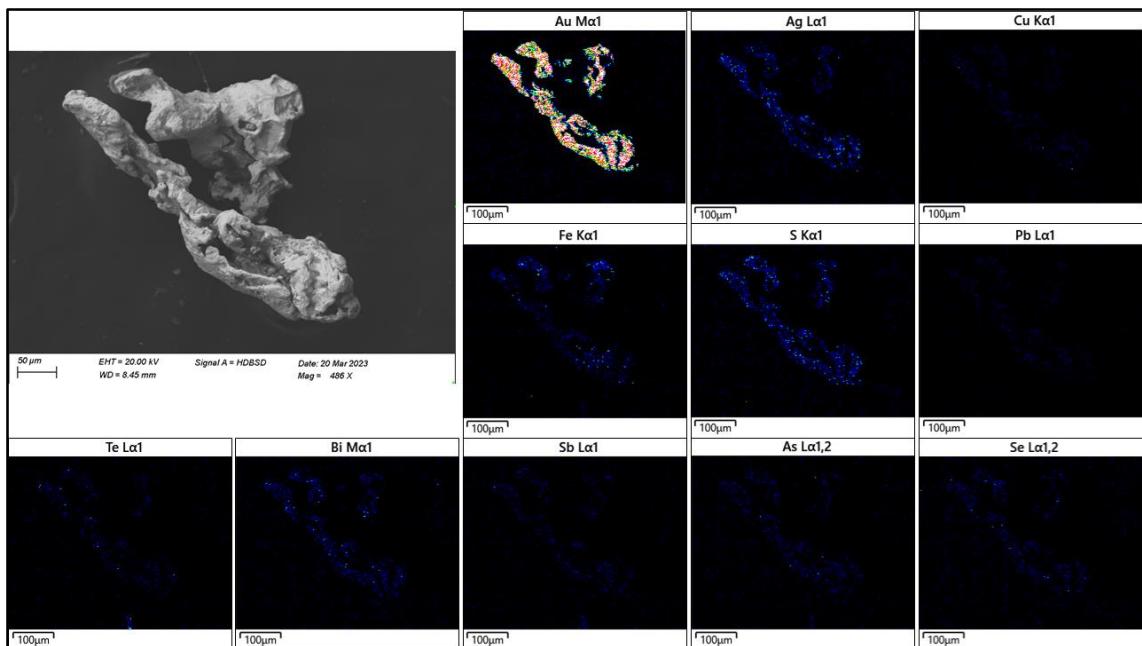
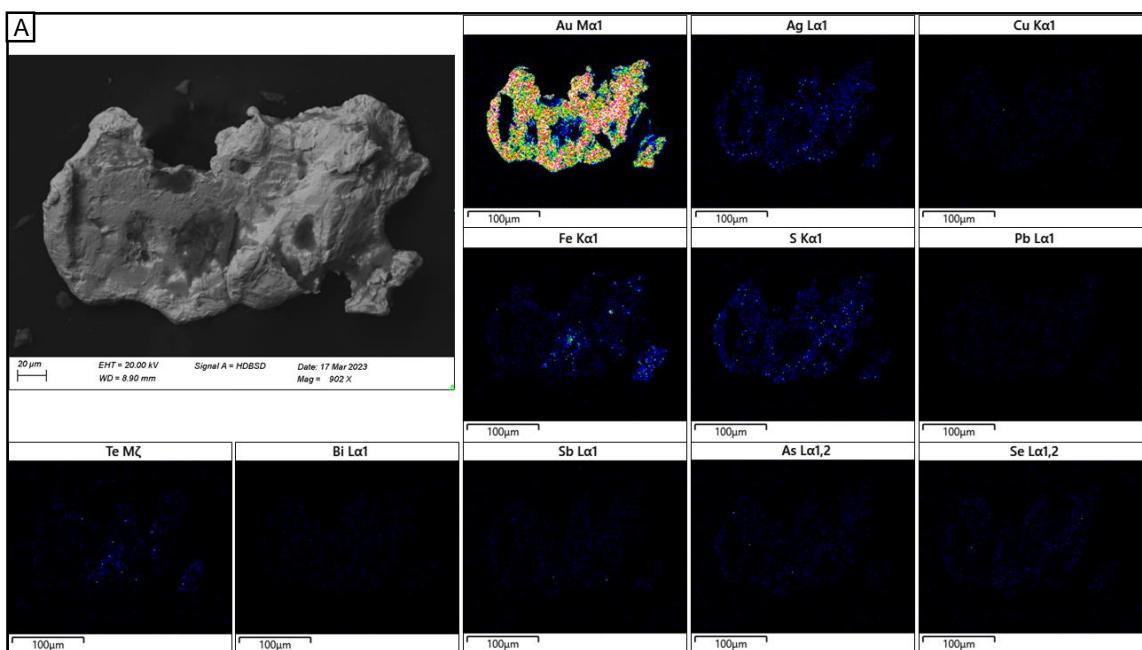


Figura 8.3 C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 6. **D)** Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 6.



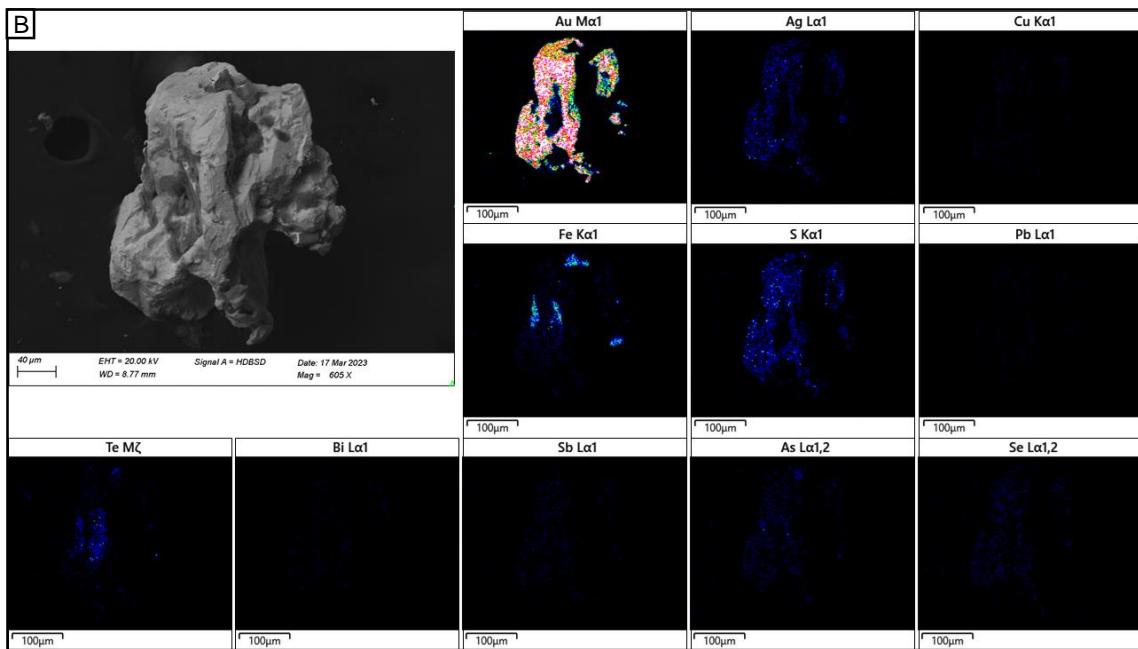
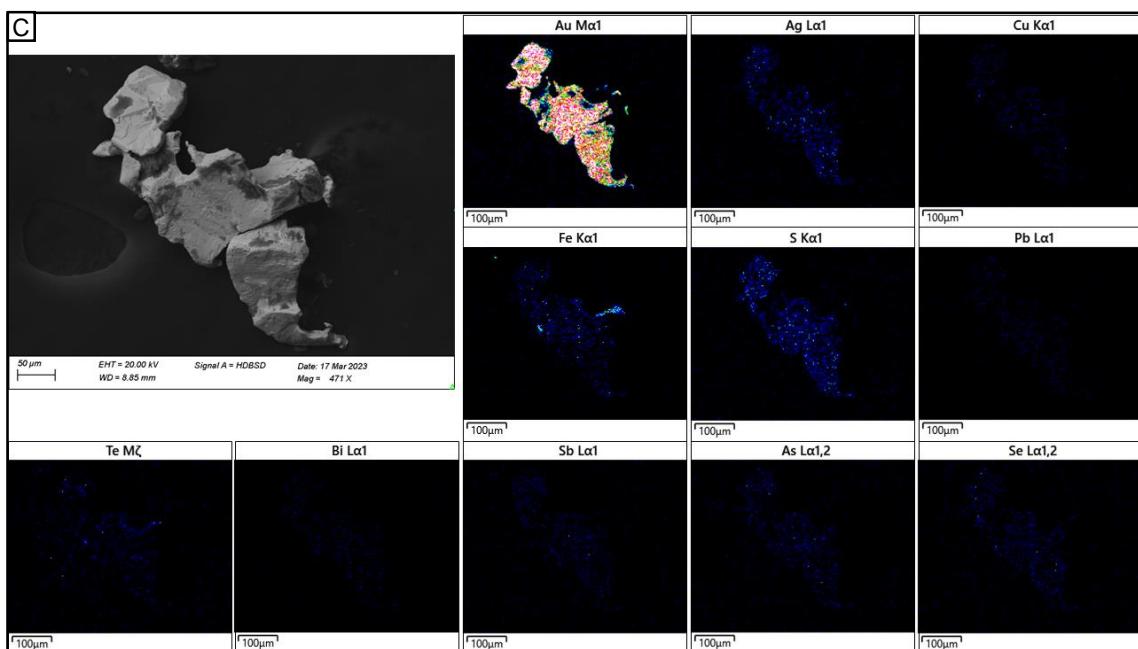


Figura 8.4. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 7. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 7.



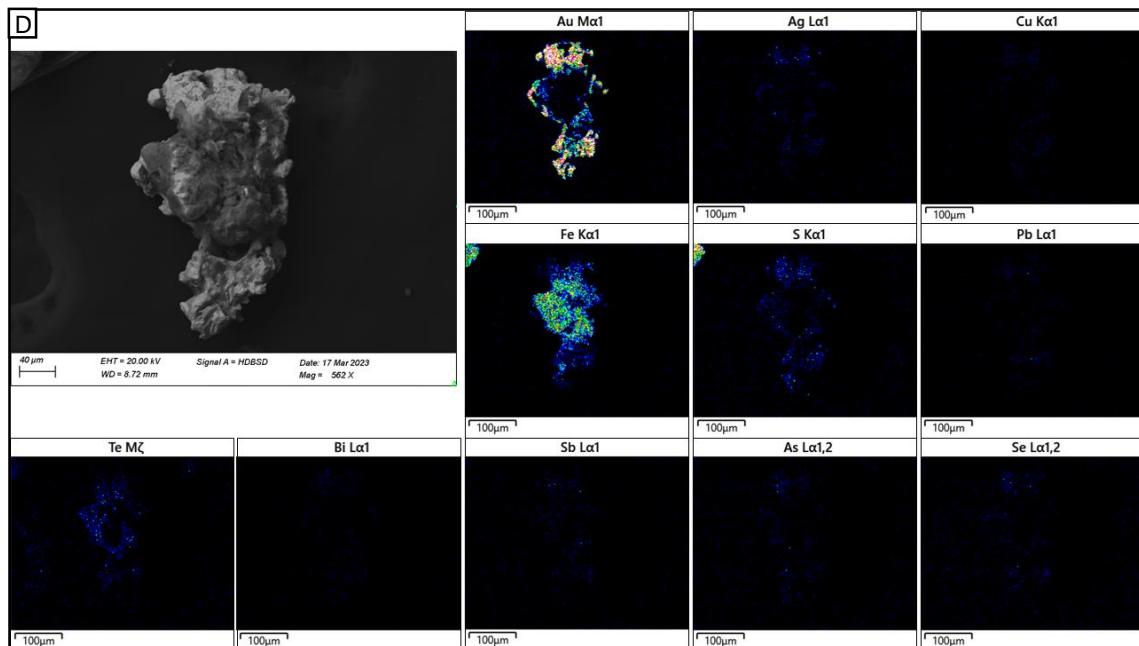
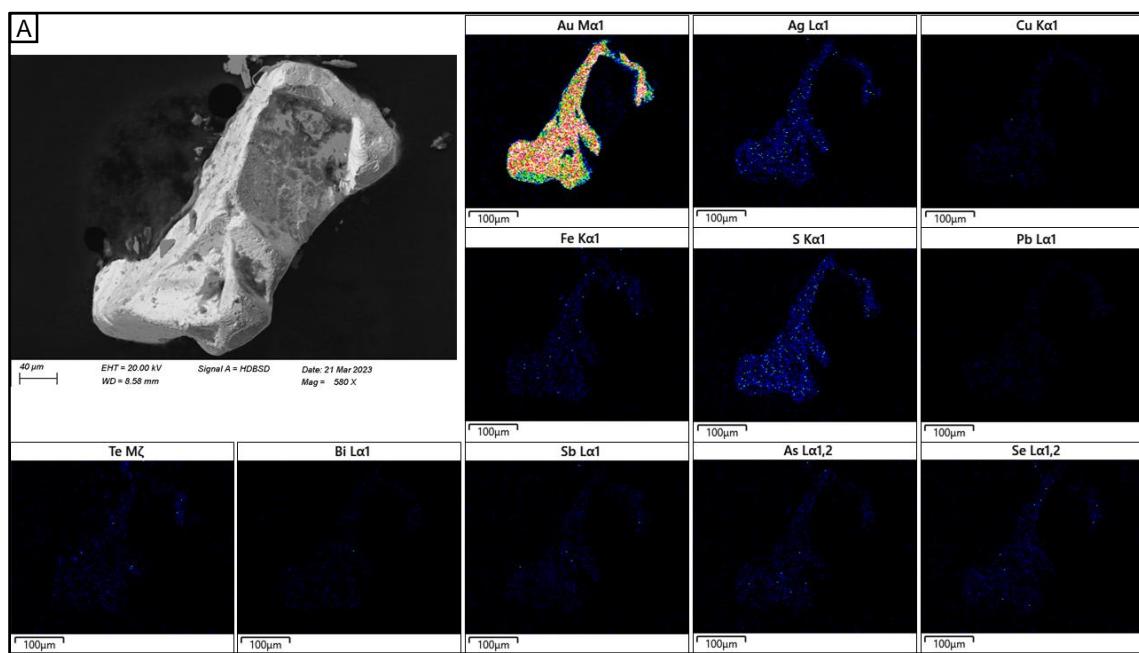


Figura 8.5. C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 7. **D)** Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 7.



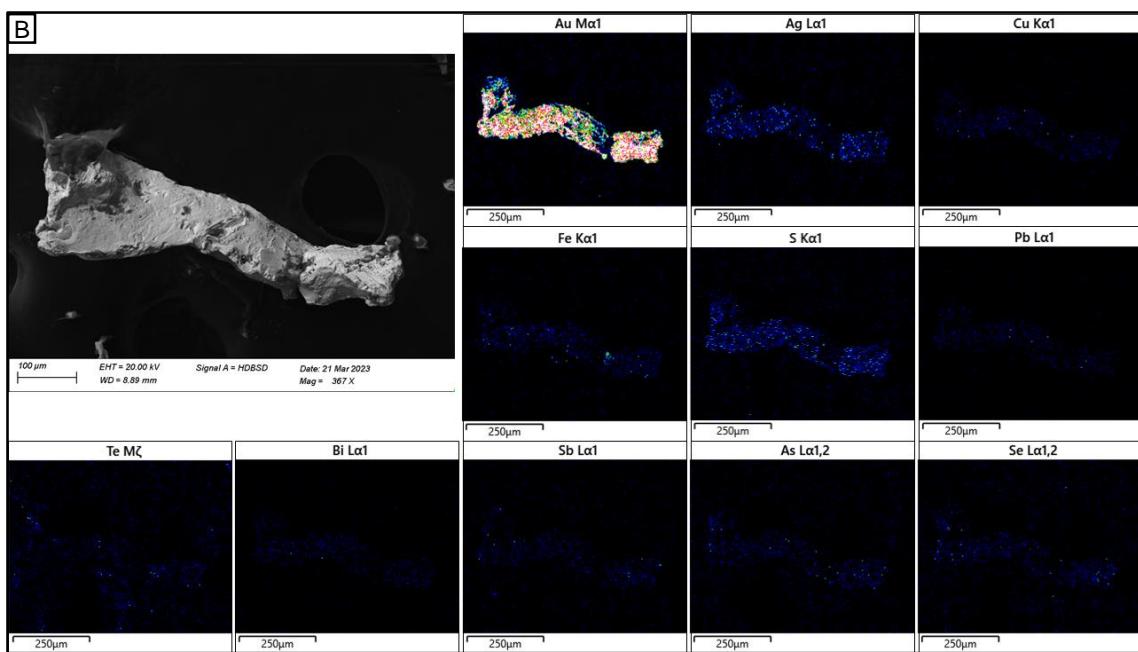


Figura 8.6. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 9. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 9.

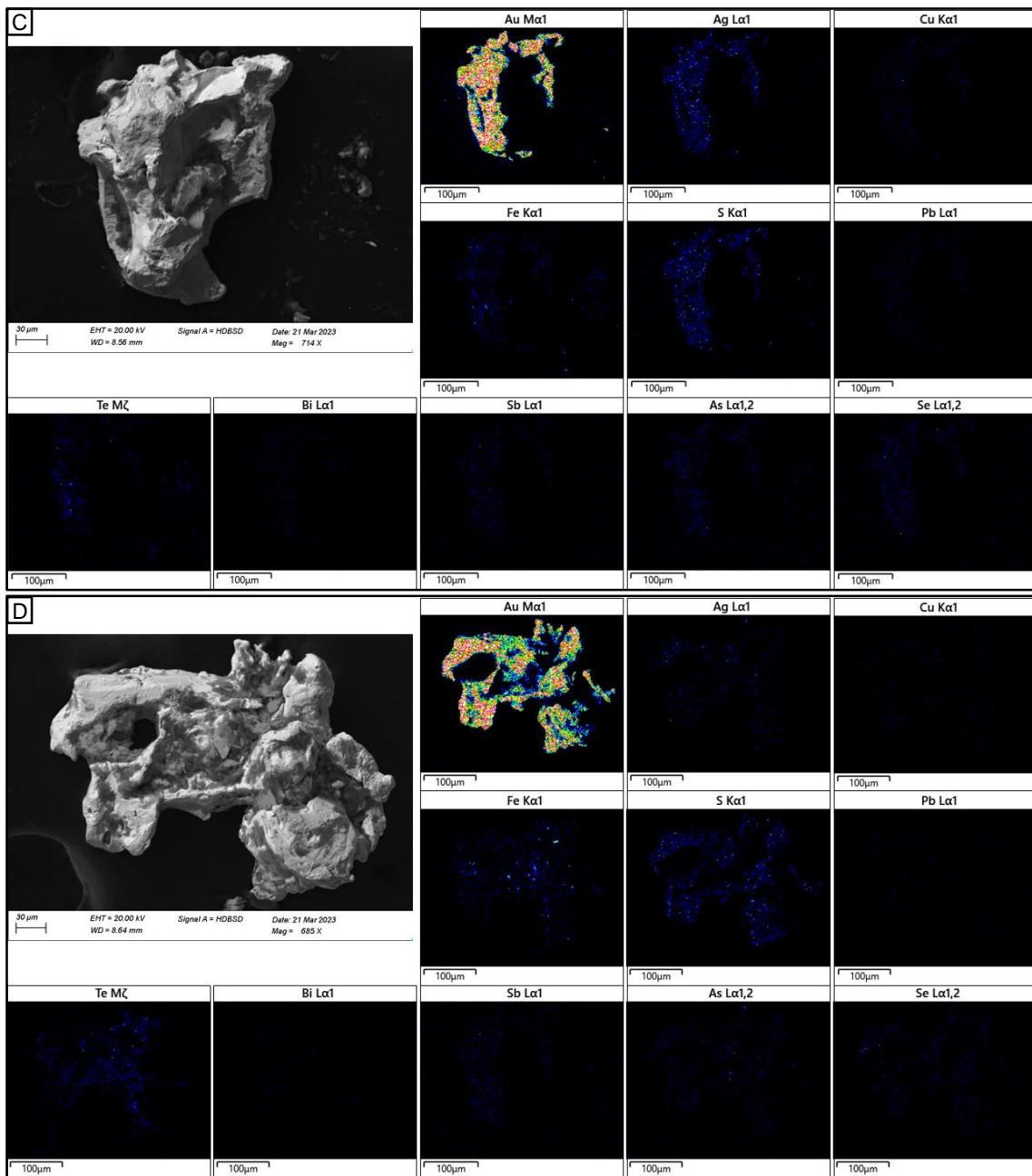


Figura 8.7. C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 9. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 9.

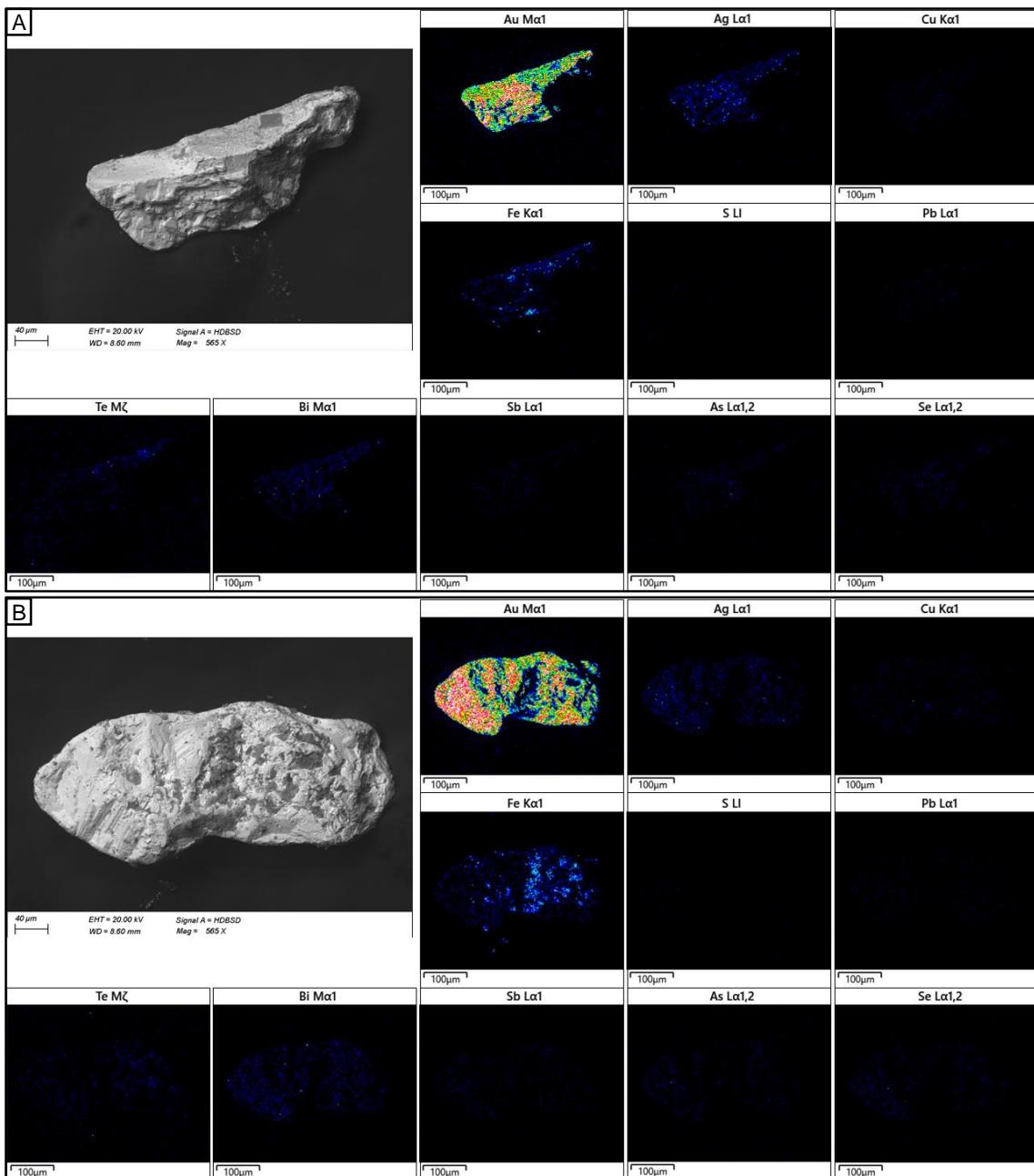


Figura 8.8. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 12. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 12.

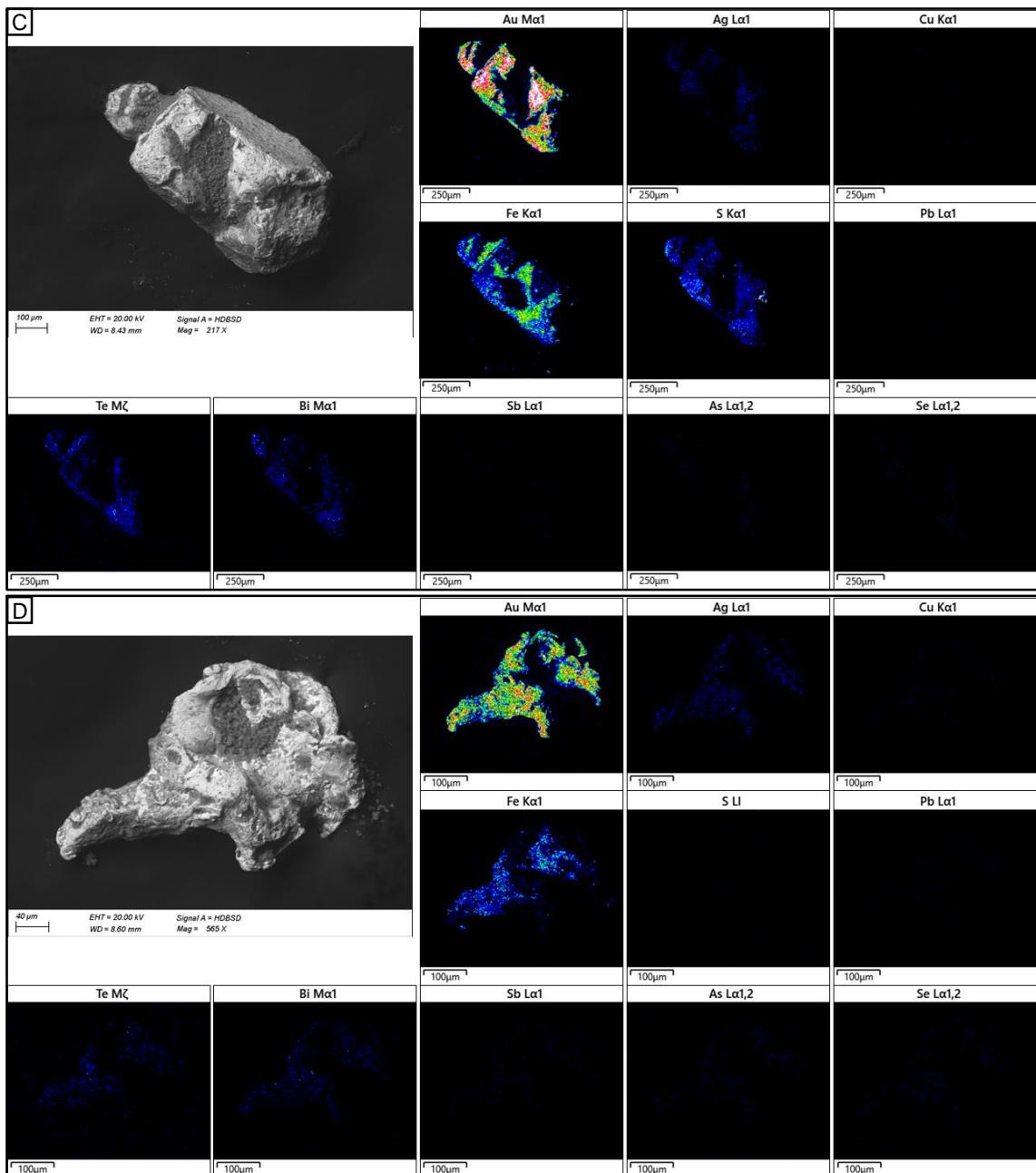


Figura 8.9. C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 12. D) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 12.

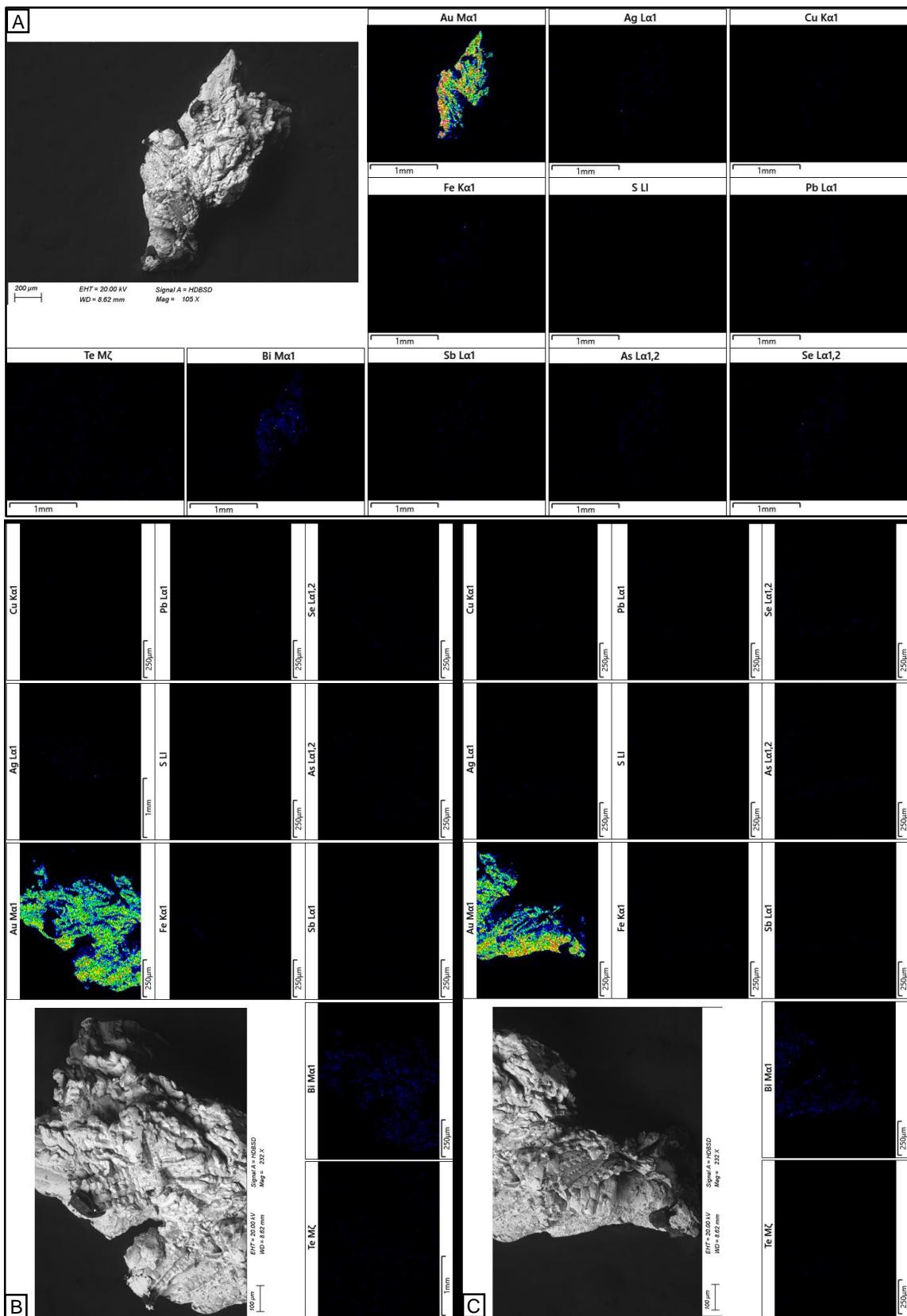


Figura 8.10. A) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grão de ouro da amostra 11. B) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 11. C) Montagem de mapas EDS dos principais elementos detectáveis em grãos de ouro da amostra 11.

Tabela 8.1. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 2.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Cu	Te	Fe	Hg	Ag	Au	Total
AM_02.1	0,000	0,020	0,003	0,922	0,040	0,000	0,000	0,022	0,096	1,156	84,305	85,461
AM_02.2	0,002	0,000	0,002	0,821	0,000	0,175	0,000	0,019	0,240	1,328	85,082	86,585
AM_02.3	0,000	0,000	0,002	0,957	0,035	0,040	0,178	0,016	0,155	1,624	88,936	90,600
AM_02.4	0,000	0,000	0,000	0,909	0,009	0,041	0,000	0,022	0,030	0,711	94,467	95,219
AM_02.5	0,005	0,000	0,000	0,740	0,000	0,102	0,000	0,000	0,000	1,576	83,175	84,853
AM_02.6	0,000	0,000	0,000	0,850	0,000	0,023	0,000	0,039	0,000	1,257	94,497	95,777
AM_02.7	0,017	0,000	0,000	0,634	0,026	0,045	0,000	0,026	0,015	1,661	89,892	91,598
AM_02.8	0,007	0,003	0,000	0,998	0,012	0,000	0,000	0,009	0,078	1,448	85,995	87,443
AM_02.9	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,069	0,000	0,013	0,094	1,056	94,809	95,934

Tabela 8.2. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 6.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Te	Hg	Ag	Cu	Au	Fe	Total
AM_06.1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,945	0,153	98,201	0,009	99,324
AM_06.2	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,356	0,285	97,645	0,013	99,305
AM_06.3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,499	0,136	98,337	0,030	100,002
AM_06.4	0,000	0,000	0,000	0,285	0,028	0,004	0,000	1,609	0,163	97,859	0,040	99,988
AM_06.5	0,010	0,250	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	8,807	0,096	83,756	0,049	93,59
AM_06.6	0,000	0,042	0,000	1,436	0,000	0,000	0,000	3,828	0,120	92,644	0,060	98,13
AM_06.7	0,050	0,132	0,000	0,107	0,038	0,000	0,000	1,166	0,256	96,833	0,001	98,583
AM_06.8	0,000	0,150	0,000	0,286	0,000	0,051	0,000	1,732	0,099	96,101	0,057	98,485
AM_06.9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,791	0,106	98,351	0,037	100,302
AM_06.10	0,000	0,000	0,000	0,303	0,000	0,000	0,000	1,089	0,276	98,496	0,025	100,189
AM_06.11	0,061	0,098	0,000	0,000	0,058	0,016	0,000	0,970	0,245	95,405	0,000	96,853
AM_06.12	0,000	0,014	0,000	0,401	0,000	0,000	0,000	0,967	0,158	98,396	0,000	99,982
AM_06.13	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	1,115	0,301	97,725	0,005	99,204
AM_06.14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	1,227	0,302	95,820	0,000	97,353
AM_06.15	0,000	0,000	0,000	0,716	0,013	0,000	0,000	1,564	0,192	96,959	0,148	99,639
AM_06.16	0,007	0,052	0,000	0,255	0,000	0,023	0,000	1,202	0,322	97,299	0,002	99,184
AM_06.17	0,000	0,034	0,000	1,296	0,004	0,000	0,003	4,259	0,058	93,027	0,008	98,738
AM_06.18	0,000	0,029	0,000	1,119	0,023	0,000	0,063	2,618	0,146	95,452	0,000	99,45
AM_06.19	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,062	0,041	2,909	0,095	93,715	0,000	96,862
AM_06.20	0,000	0,000	0,000	1,513	0,007	0,000	0,000	1,021	0,118	97,880	0,000	100,579
AM_06.21	0,000	0,128	0,000	0,000	0,025	0,000	0,113	4,339	0,062	93,395	0,162	98,224
AM_06.22	0,000	0,000	0,000	1,853	0,000	0,000	0,122	2,606	0,139	95,530	0,075	100,325
AM_06.23	0,032	0,000	0,000	1,486	0,000	0,000	0,000	6,963	0,000	92,011	0,000	100,492
AM_06.24	0,004	0,098	0,000	0,000	0,010	0,043	0,067	1,858	0,159	95,697	0,029	97,965
AM_06.25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	1,588	0,038	93,243	0,151	95,052	
AM_06.26	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000	0,000	0,009	2,264	0,160	96,407	0,565	99,499
AM_06.27	0,000	0,111	0,000	1,294	0,000	0,000	0,034	8,030	0,065	91,992	0,000	101,526
AM_06.28	0,028	0,025	0,000	0,149	0,031	0,062	0,010	7,200	0,000	90,552	0,000	98,057

AM_06.29	0,006	0,033	0,000	1,418	0,010	0,021	0,186	6,052	0,155	80,472	0,000	88,393
AM_06.30	0,000	0,000	0,000	1,486	0,019	0,016	0,000	4,394	0,025	91,570	0,076	97,586
AM_06.31	0,000	0,139	0,000	1,613	0,000	0,000	0,176	3,396	0,094	85,681	0,107	91,255
AM_06.32	0,000	0,047	0,000	2,224	0,011	0,000	0,000	2,559	0,115	96,569	0,009	101,571
AM_06.33	0,000	0,071	0,000	0,535	0,000	0,000	0,000	1,395	0,160	96,915	0,090	99,192
AM_06.34	0,000	0,000	0,000	0,316	0,025	0,062	0,000	3,700	0,096	84,931	0,422	89,552
AM_06.35	0,000	0,000	0,000	0,828	0,000	0,000	0,000	0,934	0,238	99,385	0,021	101,406
AM_06.36	0,000	0,111	0,000	0,000	0,063	0,000	0,000	3,329	0,125	93,294	0,006	96,928
AM_06.37	0,000	0,005	0,000	0,348	0,008	0,044	0,000	1,619	0,141	96,002	0,030	98,222
AM_06.38	0,000	0,000	0,000	0,870	0,007	0,000	0,000	1,014	0,164	93,643	0,006	95,704
AM_06.39	0,022	0,000	0,000	0,739	0,000	0,000	0,000	1,050	0,221	97,958	0,000	99,99
AM_06.40	0,046	0,000	0,000	0,025	0,015	0,000	0,000	0,860	0,226	98,324	0,006	99,502
AM_06.41	0,000	0,057	0,000	0,000	0,065	0,000	0,000	3,390	0,112	93,571	0,004	97,202
AM_06.42	0,032	0,015	0,000	1,176	0,000	0,000	0,000	0,975	0,201	99,054	0,023	101,476
AM_06.43	0,005	0,000	0,000	0,650	0,007	0,000	0,000	0,884	0,169	98,861	0,000	100,619
AM_06.44	0,000	0,051	0,000	2,165	0,005	0,000	0,026	1,974	0,117	95,342	0,000	99,68
AM_06.45	0,001	0,000	0,000	0,732	0,002	0,014	0,000	1,893	0,172	95,530	0,000	98,353
AM_06.46	0,005	0,086	0,000	1,802	0,021	0,000	0,000	2,057	0,130	97,451	0,000	101,552
AM_06.47	0,000	0,000	0,000	1,228	0,000	0,000	0,059	2,706	0,097	95,059	0,014	99,163
AM_06.48	0,000	0,025	0,000	1,318	0,000	0,012	0,000	2,219	0,116	97,651	0,049	101,39
AM_06.49	0,003	0,000	0,704	0,000	0,000	0,041	0,000	9,092	0,071	87,289	0,614	97,821
AM_06.50	0,000	0,072	0,000	0,395	0,000	0,000	0,000	2,238	0,267	97,815	0,000	100,787
AM_06.51	0,026	0,104	0,000	0,661	0,012	0,046	0,059	1,819	0,121	94,792	0,014	97,654

Tabela 8.3. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 7.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Te	Hg	Ag	Cu	Au	Fe	Total
AM_07.1	0,014	0,037	0,000	0,778	0,065	0,000	0,000	1,528	0,114	96,377	0,010	98,929
AM_07.2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	1,489	0,125	96,514	0,013	98,194
AM_07.3	0,019	0,172	0,000	0,230	0,000	0,000	0,000	1,593	0,121	96,116	0,003	98,254
AM_07.4	0,000	0,054	0,000	0,675	0,024	0,000	0,000	2,651	0,059	96,509	0,000	99,972
AM_07.5	0,000	0,000	0,000	0,207	0,000	0,056	0,000	3,098	0,053	94,528	0,000	97,942
AM_07.6	0,000	0,000	0,000	0,399	0,015	0,000	0,000	2,087	0,143	97,217	0,000	99,861
AM_07.7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	8,971	0,000	90,252	0,023	99,262
AM_07.8	0,006	0,000	0,000	1,159	0,000	0,000	0,000	5,158	0,025	82,697	0,344	89,389
AM_07.9	0,000	0,190	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	4,094	0,001	89,211	0,045	93,568
AM_07.10	0,000	0,087	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,340	0,040	95,516	0,000	100,028
AM_07.11	0,003	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,005	0,026	94,329	0,042	100,77
AM_07.12	0,000	0,101	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	1,548	0,115	97,510	0,000	99,356
AM_07.13	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,359	0,057	91,445	0,638	99,598
AM_07.14	0,000	0,145	0,000	2,022	0,000	0,092	0,000	1,739	0,043	94,815	0,000	98,856
AM_07.15	0,000	0,000	0,000	0,552	0,016	0,000	0,000	1,979	0,035	97,338	0,000	99,92
AM_07.16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,043	0,055	97,350	0,000	99,478

AM_07.17	0,000	0,059	0,000	0,723	0,000	0,000	0,147	1,929	0,090	95,381	0,010	98,339
AM_07.18	0,000	0,151	0,000	1,362	0,000	0,000	0,181	1,989	0,041	95,510	0,000	99,234
AM_07.19	0,051	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	5,766	0,054	89,227	0,351	95,498
AM_07.20	0,040	0,043	0,000	0,346	0,037	0,000	0,000	2,104	0,015	95,722	0,026	98,333
AM_07.21	0,000	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,456	0,084	97,910	0,016	100,659
AM_07.22	0,030	0,000	0,000	1,905	0,008	0,000	0,000	1,601	0,139	92,380	0,002	96,065
AM_07.23	0,000	0,191	0,000	2,851	0,000	0,000	0,000	1,125	0,133	95,293	0,010	99,603
AM_07.24	0,034	0,000	0,000	0,252	0,000	0,014	0,000	1,397	0,115	96,816	0,000	98,628
AM_07.25	0,000	0,000	0,000	0,565	0,000	0,000	0,011	2,529	0,092	93,732	0,003	96,932
AM_07.26	0,001	0,002	0,000	0,610	0,000	0,000	0,000	6,758	0,046	91,246	0,076	98,76
AM_07.27	0,000	0,106	0,000	0,000	0,000	0,076	0,000	1,541	0,195	94,876	0,020	96,815
AM_07.28	0,000	0,000	0,000	2,340	0,000	0,000	0,000	1,165	0,111	95,327	0,001	98,944
AM_07.29	0,000	0,079	0,000	2,010	0,016	0,000	0,095	5,387	0,024	84,587	0,030	92,239
AM_07.30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	3,441	0,170	94,312	0,006	97,995
AM_07.31	0,000	0,002	0,000	1,567	0,000	0,000	0,000	2,401	0,164	95,806	0,008	99,948
AM_07.32	0,000	0,038	0,000	0,891	0,000	0,060	0,000	1,994	0,226	94,803	0,000	98,012
AM_07.33	0,004	0,000	0,000	1,270	0,000	0,000	0,000	1,797	0,166	95,200	0,000	98,437
AM_07.34	0,000	0,000	0,000	1,190	0,000	0,049	0,000	1,681	0,169	96,302	0,000	99,394
AM_07.35	0,000	0,130	0,000	0,840	0,000	0,000	0,000	1,890	0,173	94,481	0,011	97,541
AM_07.36	0,000	0,000	0,000	0,382	0,000	0,000	0,000	1,761	0,220	96,959	0,005	99,327

Tabela 8.4. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 9.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Cu	Te	Fe	Hg	Ag	Au	Total
AM_09.1	0,007	0,000	0,001	0,753	0,004	0,067	0,000	0,000	0,234	0,68	85,679	87,439
AM_09.2	0,000	0,049	0,000	1,003	0,000	0,124	0,000	0,007	0,000	0,791	83,579	85,611
AM_09.3	0,000	0,000	0,000	0,622	0,000	0,082	0,000	0,012	0,000	0,883	86,847	88,543
AM_09.4	0,000	0,000	0,000	0,811	0,046	0,217	0,000	0,001	0,015	0,456	91,359	93,093
AM_09.5	0,000	0,000	0,000	1,069	0,000	0,192	0,021	0,009	0,166	0,437	85,895	87,795
AM_09.6	0,000	0,000	0,000	0,773	0,005	0,126	0,000	0,000	0,000	0,417	85,947	87,317
AM_09.7	0,034	0,000	0,020	0,645	0,000	0,113	0,000	0,036	0,013	0,403	84,164	85,689
AM_09.8	0,045	0,023	0,000	0,827	0,033	0,090	0,142	0,000	0,000	0,564	92,525	94,330

Tabela 8.5. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te, Pd e Hg) analisados em Microssonda (EMPA), presentes em fragmento de amálgama da amostra 10.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Te	Fe	Hg	Pd	Ag	Cu	Au	Total
AM_10.1	0,000	0,028	0,267	0,000	0,033	0,000	0,002	46,460	0,159	0,863	0,024	51,350	99,68
AM_10.2	0,014	0,052	0,124	0,026	0,009	0,083	0,000	44,301	0,057	0,905	0,030	55,191	100,861
AM_10.3	0,009	0,097	0,238	0,000	0,000	0,000	0,000	45,449	0,145	0,869	0,000	47,311	94,193
AM_10.4	0,000	0,000	0,179	0,000	0,000	0,000	0,020	42,519	0,101	4,817	0,043	53,192	100,928
AM_10.5	0,000	0,009	0,287	0,000	0,003	0,000	0,005	40,278	0,144	0,938	0,087	56,094	97,893
AM_10.6	0,000	0,048	0,221	0,000	0,000	0,033	0,000	30,075	0,023	2,077	0,000	68,503	101,007
AM_10.7	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	46,850	0,147	0,497	0,051	51,995	99,689

AM_10.8	0,000	0,001	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	52,596	0,166	2,534	0,069	44,697	100,155
AM_10.9	0,000	0,137	0,000	0,000	0,008	0,012	0,000	43,016	0,148	2,131	0,071	51,007	96,575
AM_10.10	0,074	0,319	0,000	0,038	0,000	0,014	0,012	8,042	0,000	1,012	0,199	88,653	98,371
AM_10.11	0,045	0,155	0,000	1,001	0,000	0,069	0,000	2,371	0,000	0,694	0,176	92,287	96,831
AM_10.12	0,007	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	43,948	0,103	0,363	0,052	51,269	95,928
AM_10.13	0,000	0,063	0,000	0,158	0,000	0,112	0,018	42,815	0,161	1,074	0,033	50,475	94,937
AM_10.14	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	44,047	0,124	1,871	0,025	52,216	98,397
AM_10.15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	41,944	0,122	0,735	0,164	51,282	94,263
AM_10.16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,013	39,378	0,105	2,286	0,156	52,717	94,717
AM_10.17	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,021	0,000	0,631	0,158	95,379	98,242
AM_10.18	0,007	0,000	0,000	0,811	0,000	0,000	0,000	2,236	0,000	1,192	0,152	96,516	100,914
AM_10.19	0,003	0,007	0,000	1,673	0,000	0,000	0,000	2,191	0,000	0,812	0,142	96,910	101,738
AM_10.20	0,000	0,008	0,000	0,280	0,000	0,000	0,038	39,311	0,083	3,684	0,136	55,287	98,827
AM_10.21	0,000	0,000	0,000	1,021	0,008	0,000	0,000	0,650	0,000	0,551	0,125	97,284	99,675
AM_10.22	0,000	0,000	0,000	0,446	0,016	0,021	0,000	1,778	0,000	0,587	0,158	93,940	96,946
AM_10.23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	42,503	0,098	0,285	0,021	55,106	98,073
AM_10.24	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	42,146	0,176	2,334	0,088	53,508	98,313
AM_10.25	0,011	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,010	43,853	0,088	0,675	0,053	53,683	98,394

Tabela 8.6. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em fragmento de ouro pérola da amostra 11.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Te	Fe	Hg	Ag	Cu	Au	Total
AM_11.1	0,000	0,154	0,019	0,388	0,059	0,041	0,155	0,000	1,604	0,173	97,837	100,478
AM_11.2	0,000	0,000	0,001	1,068	0,000	0,000	0,172	0,000	1,794	0,169	97,202	100,408
AM_11.3	0,000	0,074	0,000	0,723	0,000	0,000	0,116	0,000	1,910	0,144	97,127	100,148
AM_11.4	0,000	0,013	0,004	0,000	0,000	0,000	0,131	0,000	1,743	0,137	97,523	99,552
AM_11.5	0,000	0,000	0,000	0,882	0,000	0,005	0,138	0,180	1,438	0,156	88,379	91,179
AM_11.6	0,000	0,106	0,016	0,000	0,024	0,000	0,059	0,000	1,735	0,098	97,381	99,475
AM_11.7	0,000	0,016	0,070	1,207	0,000	0,000	0,112	0,403	1,593	0,067	91,637	95,107
AM_11.8	0,009	0,209	0,031	0,716	0,016	0,000	0,096	0,000	1,923	0,081	94,842	97,924
AM_11.9	0,000	0,000	0,007	0,270	0,000	0,018	0,109	0,000	1,693	0,096	96,038	98,240
AM_11.10	0,000	0,000	0,019	0,061	0,013	0,000	0,149	0,180	1,767	0,153	94,745	97,088
AM_11.11	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,021	0,160	0,042	1,671	0,066	97,964	99,961
AM_11.12	0,000	0,204	0,017	0,652	0,000	0,000	0,181	0,180	1,522	0,155	94,775	97,688
AM_11.13	0,000	0,143	0,030	0,755	0,020	0,000	0,120	0,000	1,695	0,136	97,823	100,724
AM_11.14	0,013	0,000	0,013	0,000	0,002	0,000	0,096	0,126	1,638	0,117	95,823	97,829
AM_11.15	0,000	0,000	0,066	0,465	0,000	0,000	0,099	0,370	1,792	0,202	98,333	101,335
AM_11.16	0,019	0,000	0,062	0,000	0,034	0,000	0,171	0,334	1,711	0,162	98,05	100,559
AM_11.17	0,000	0,040	0,115	0,028	0,000	0,000	0,108	0,139	1,758	0,081	96,842	99,113
AM_11.18	0,009	0,261	0,053	0,000	0,020	0,000	0,154	0,000	1,708	0,166	97,498	99,873
AM_11.19	0,031	0,000	0,009	0,892	0,037	0,000	0,064	0,000	1,643	0,123	97,612	100,413
AM_11.20	0,013	0,138	0,046	0,239	0,000	0,000	0,117	0,000	1,675	0,126	97,529	99,884
AM_11.21	0,052	0,173	0,038	0,037	0,000	0,091	0,154	0,000	1,673	0,111	96,863	99,220

AM_11.22	0,000	0,000	0,044	0,955	0,000	0,000	0,111	0,000	1,683	0,085	97,672	100,562
AM_11.23	0,000	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,102	0,000	1,678	0,115	96,868	98,784
AM_11.24	0,009	0,000	0,018	0,000	0,045	0,000	0,109	0,000	1,876	0,142	96,833	99,033
AM_11.25	0,032	0,018	0,048	0,000	0,014	0,000	0,211	0,000	1,472	0,171	98,186	100,153
AM_11.26	0,000	0,013	0,074	0,000	0,000	0,078	0,101	0,130	1,935	0,131	97,686	100,168
AM_11.27	0,000	0,000	0,050	0,742	0,000	0,000	0,093	0,000	1,750	0,113	97,872	100,668
AM_11.28	0,000	0,014	0,050	1,506	0,048	0,000	0,109	0,000	1,729	0,13	97,626	101,273
AM_11.29	0,000	0,000	0,052	0,523	0,007	0,000	0,064	0,000	1,695	0,103	97,864	100,315
AM_11.30	0,000	0,103	0,073	0,638	0,001	0,000	0,133	0,048	1,680	0,125	94,414	97,231
AM_11.31	0,017	0,071	0,049	0,000	0,035	0,041	0,134	0,000	1,675	0,199	98,428	100,660
AM_11.32	0,067	0,002	0,021	1,358	0,000	0,000	0,097	0,000	1,767	0,085	98,082	101,481
AM_11.33	0,000	0,081	0,037	0,303	0,036	0,000	0,102	0,148	1,964	0,107	93,639	96,424
AM_11.34	0,017	0,000	0,076	0,000	0,010	0,000	0,181	0,000	1,745	0,099	98,069	100,244
AM_11.35	0,000	0,016	0,011	0,348	0,000	0,000	0,125	0,000	1,818	0,125	97,799	100,244
AM_11.36	0,022	0,265	0,000	0,000	0,000	0,000	0,140	0,216	1,498	0,142	92,409	94,700

Tabela 8.7. Porcentagem das concentrações dos principais elementos maiores (Au, Ag, Cu, S e Fe) e traços (As, Se, Bi, Sb, Te e Hg), analisados em Microssonda (EMPA), presentes em grãos de ouro da amostra 12.

Comment	As	Se	S	Bi	Sb	Te	Fe	Hg	Ag	Cu	Au	Total
AM_12.1	0,005	0,000	0,084	0,884	0,000	0,000	0,005	0,000	1,081	0,114	99,022	101,22
AM_12.2	0,000	0,000	0,090	0,684	0,021	0,000	0,022	0,000	1,020	0,154	98,065	100,071
AM_12.3	0,000	0,076	0,047	0,578	0,000	0,000	0,000	0,000	1,054	0,121	98,218	100,094
AM_12.4	0,007	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,998	0,124	99,128	100,322
AM_12.5	0,000	0,022	0,000	0,000	0,005	0,000	0,008	0,000	0,993	0,130	97,837	98,995
AM_12.6	0,000	0,005	0,050	0,126	0,000	0,000	0,016	0,000	1,075	0,110	99,282	100,664
AM_12.7	0,000	0,087	0,802	0,000	0,063	0,000	8,656	1,072	6,465	0,147	77,746	95,065
AM_12.8	0,000	0,174	0,002	0,284	0,000	0,000	0,506	0,000	7,944	0,091	94,308	103,407
AM_12.9	0,020	0,000	0,057	0,639	0,000	0,000	0,076	0,000	1,189	0,360	98,052	100,425
AM_12.10	0,000	0,000	30,783	0,000	0,000	0,058	29,148	0,000	0,001	34,338	0,089	94,453
AM_12.11	0,000	0,041	32,418	0,000	0,012	0,010	30,839	0,000	0,000	34,467	0,078	98,259
AM_12.12	0,034	0,007	0,085	0,974	0,000	0,000	0,081	0,000	1,057	0,249	99,003	101,863
AM_12.13	0,000	0,033	0,059	0,760	0,000	0,000	0,038	0,000	1,197	0,278	98,103	100,469
AM_12.14	0,000	0,000	32,277	0,000	0,000	0,000	30,913	0,000	0,006	34,730	0,071	98,286
AM_12.15	0,000	0,000	32,099	0,000	0,039	0,000	30,290	0,000	0,000	34,731	0,147	97,675
AM_12.16	0,038	0,139	0,067	0,000	0,002	0,000	0,515	0,174	4,273	0,105	92,860	98,309
AM_12.17	0,000	0,022	0,095	0,413	0,000	0,000	0,000	0,133	1,035	0,133	98,899	100,748
AM_12.18	0,000	0,043	0,073	0,000	0,000	0,002	0,042	0,092	1,007	0,126	99,313	100,72
AM_12.19	0,000	0,000	0,090	1,029	0,009	0,000	0,008	0,131	0,966	0,135	98,103	100,471
AM_12.20	0,000	0,036	0,095	0,431	0,000	0,000	0,012	0,027	1,076	0,100	96,901	98,678
AM_12.21	0,001	0,000	0,004	0,234	0,000	0,005	0,062	0,000	0,803	0,084	98,342	99,537
AM_12.22	0,000	0,000	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,138	0,080	97,290	98,607
AM_12.23	0,000	0,000	0,026	0,549	0,000	0,000	0,019	0,000	0,773	0,067	98,041	99,499

AM_12.24	0,000	0,073	0,050	2,017	0,000	0,016	0,037	0,000	1,250	0,097	92,922	96,534
AM_12.25	0,028	0,261	0,078	0,215	0,000	0,000	0,000	0,026	1,203	0,101	98,538	100,461
AM_12.26	0,000	0,140	0,040	0,445	0,000	0,021	0,037	0,000	1,234	0,117	98,256	100,29
AM_12.27	0,000	0,000	0,015	0,614	0,000	0,000	0,000	0,000	2,207	0,143	96,097	99,076
AM_12.28	0,000	0,000	0,054	0,547	0,000	0,000	0,016	0,044	2,344	0,103	95,535	98,643
AM_12.29	0,000	0,000	0,037	0,000	0,047	0,041	0,061	0,000	2,469	0,147	97,652	100,454
AM_12.30	0,004	0,010	0,057	0,000	0,000	0,000	0,023	0,064	2,536	0,107	96,491	99,293

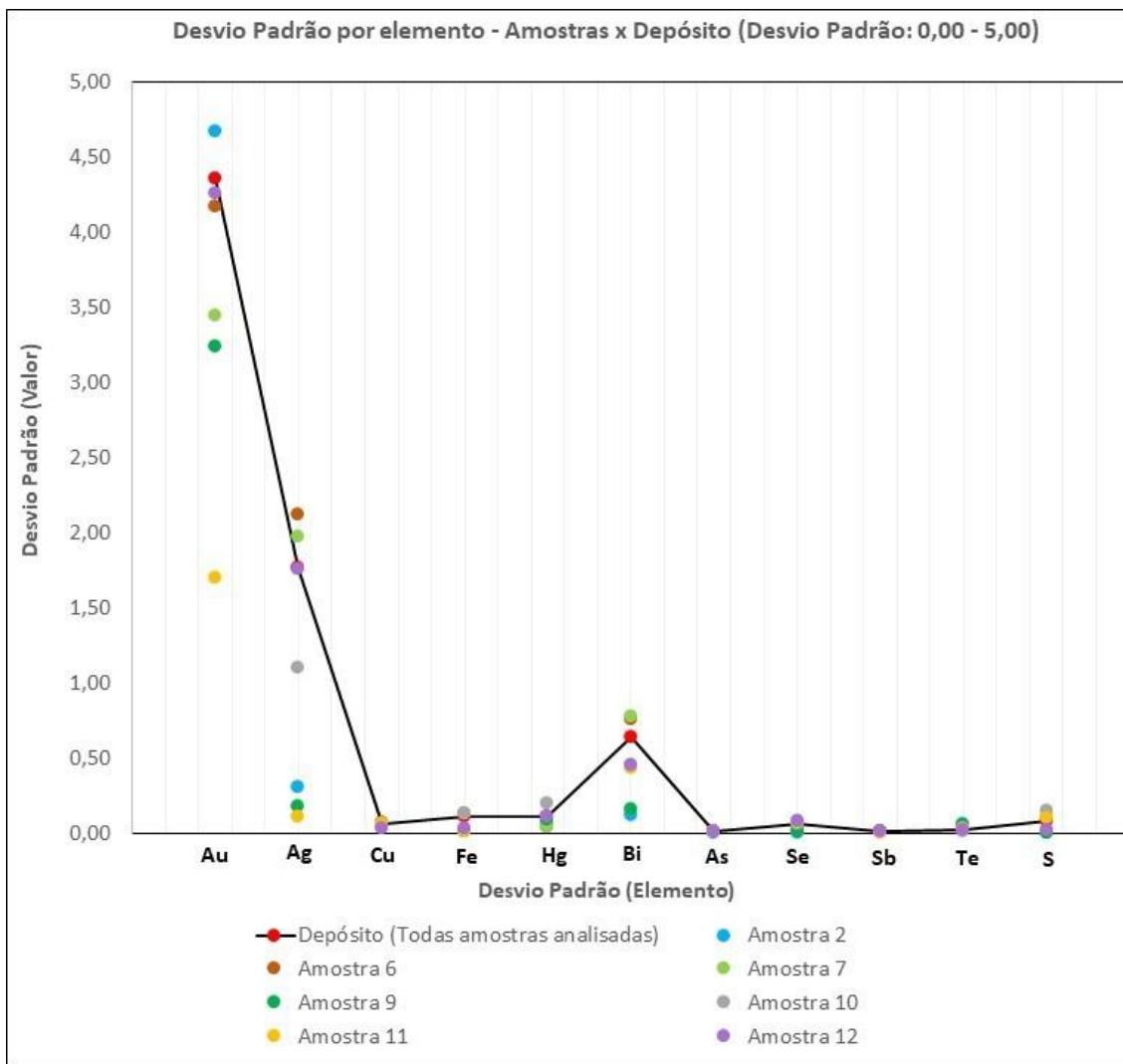


Figura 8.11. Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 5,00) das Amostras e do Depósito, por elemento.

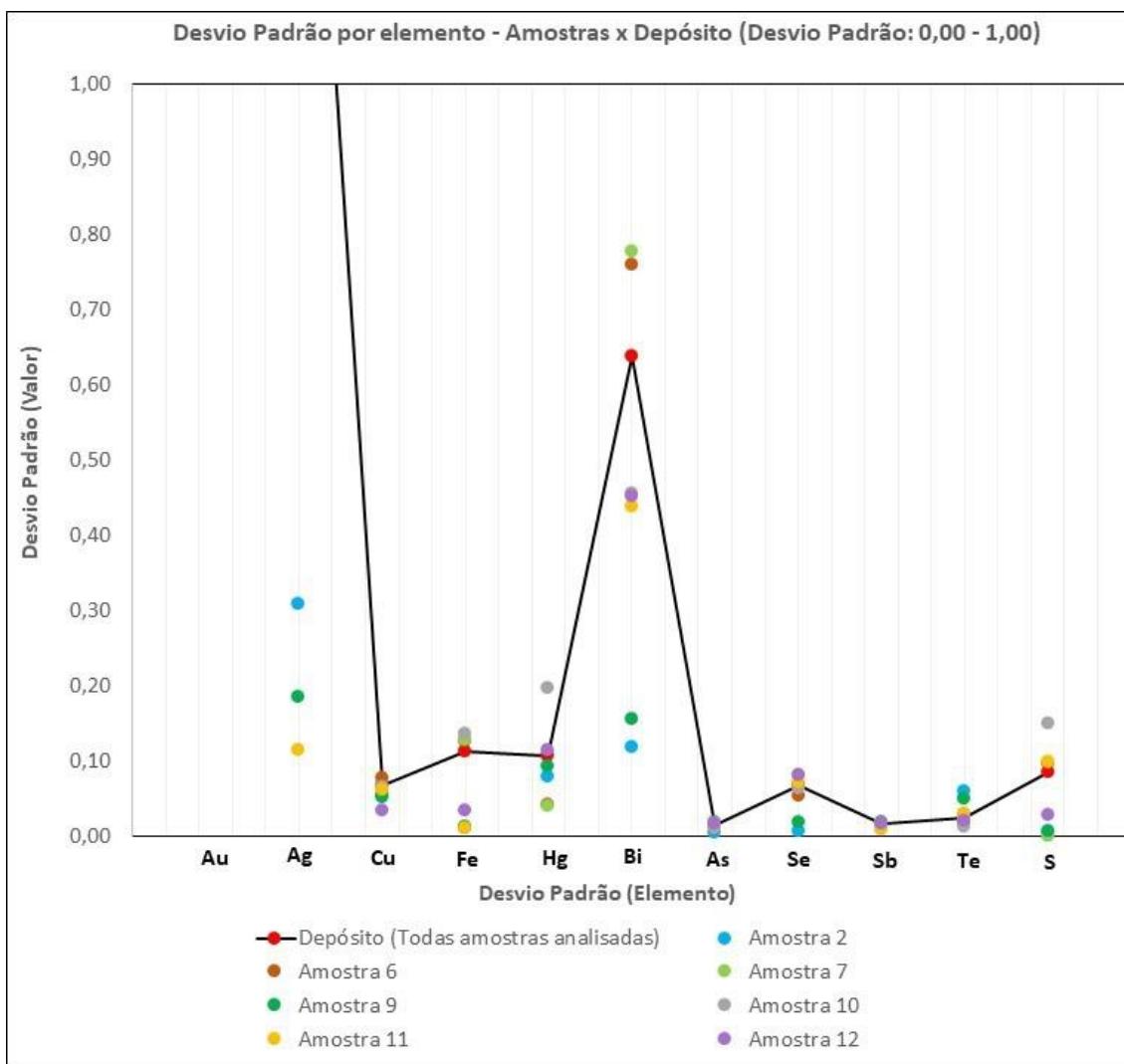


Figura 8.12. Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 1,00) das Amostras e do Depósito, por elemento.

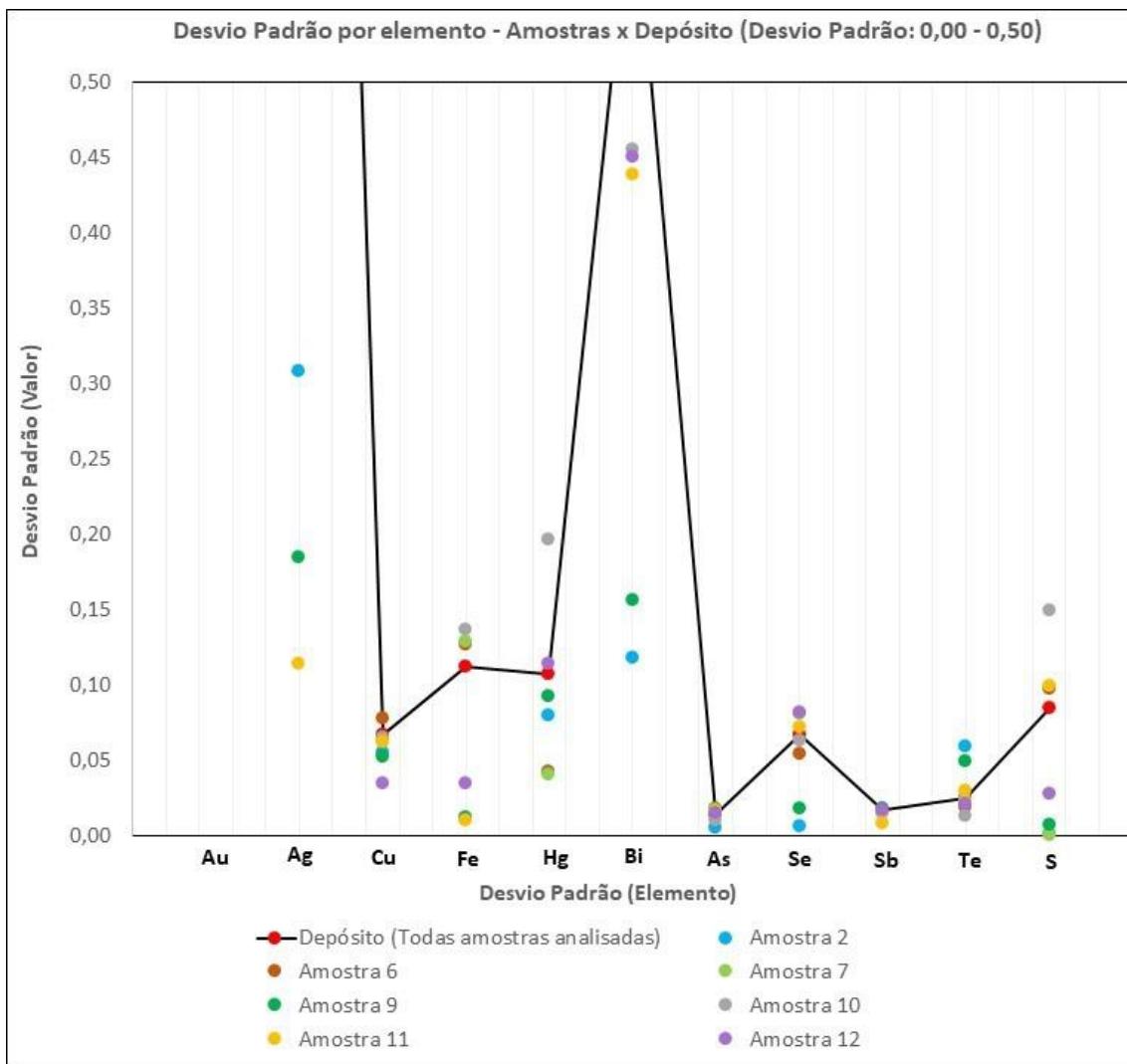


Figura 8.13. Gráfico comparativo de Desvio Padrão (0,00 – 0,50) das Amostras e do Depósito, por elemento.

9 ARTIGO

ESPAÇO PARA INCLUSÃO DO ARTIGO (Em elaboração, próximo a conclusão)