

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE MINÉRIO DE ESTANHO EM ARIQUEMES-RO: EXPLORANDO POTENCIAIS PARA RASTREAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE SUBPRODUTOS

Palavras-Chave: Cassiterita, Mineração Artesanal e de Pequena Escala, Petrografia

Autores(as):

Henrique Nicolas Silva Aguiar, IG – UNICAMP

Ramon Rodrigo de Andrade Cabral, IG – UNICAMP

Prof^o. Dr^o. David Jozef Cornelius Debruyne (orientador), IG - UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Maria José Mesquita (Co-orientadora), IG - UNICAMP

INTRODUÇÃO

O Brasil detém 9% das reservas mundiais de estanho, com destaque para as concentrações localizadas nas Províncias Minerais do Mapuera e de Rondônia (GOV.BR, 2018). A Província de Rondônia abriga mineralizações expressivas associadas a granitos tipo A, principais fontes da cassiterita no Brasil (BUCH et al., 2019). A facilidade de acesso ao minério favoreceu a consolidação da MAPE (Mineração Artesanal e de Pequena Escala) (ALMEIDA et al., 2011). Entretanto, a cadeia produtiva do estanho enfrenta desafios relacionados à rastreabilidade e à sustentabilidade de sua produção. Grande parte da mineração artesanal opera de forma informal, dificultando a inserção dos concentrados em cadeias de suprimento regulamentadas (IIED; IGF, 2018).

Neste contexto, esta pesquisa está inserida no projeto internacional "CRAFTing Estanho Responsável: Um Caminho para Práticas de Mineração Éticas e Sustentáveis na Amazônia Brasileira", coordenado pelos orientadores. O projeto visa contribuir para o desenvolvimento de mecanismos de rastreabilidade. Para isso, realiza-se a caracterização petrográfica em luz refletida de concentrados produzidos pelas MAPEs, com análise de subprodutos via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), de tal forma alimentando um banco digital voltado à construção de um fingerprinting mineral, visando a certificação e inserção responsável da produção artesanal em mercados formais.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Ariquemes, localizado na porção central de Rondônia, concentra importantes áreas de mineração artesanal de cassiterita, sendo um dos principais pólos produtores do Brasil.

A região insere-se no Domínio Jamari, formado por rochas arqueanas e paleoproterozoicas com magmatismo juvenil (1,79–1,67 Ga) e granitos tipo A, fontes primárias da cassiterita na Província Estanífera de Rondônia (CIOTTA et al. 2024), os quais com alto grau de diferenciação e enriquecimento em elementos como Sn, Nb, Ta e F. Esses granitos são considerados as principais fontes primárias de cassiterita na Província Estanífera de Rondônia (PER), sustentando seu elevado potencial metalogênético (BUCH et al., 2019; SILVA, 2023).

As amostras de concentrado de cassiterita são provenientes das MAPEs em área de drenagem ativa ou em paleocanais, proveniente da erosão dos granitos e greisens mineralizados. As localidades das amostras são provenientes da região de Bom Futuro, onde ocorre maior extração de cassiterita a céu aberto, no município de Ariquemes-RO, onde está a sede da cooperativa COOPERSANTA.

METODOLOGIA

A pesquisa teve início com uma revisão bibliográfica abrangente sobre a geologia da Província Estanífera de Rondônia, com ênfase nos depósitos do Rio Crespo e do Jamari (SOUZA, 2003). Os trabalhos abordam a evolução tectono-magmática e os principais estilos de mineralização da província, bem como estudos detalhados sobre os pegmatitos e greisens. Também foram incluídos estudos voltados à proveniência de minerais pesados, como Nascimento e Góes (2005). Essa etapa foi fundamental para embasar a definição dos critérios utilizados na caracterização dos grãos de cassiterita.

As amostras de concentrado de cassiterita foram fornecidas pela cooperativa COOPERSANTA, responsáveis pela produção de cassiterita na região de Ariquemes. Amostras foram coletadas de nove localidades, denominadas AF, BT, CF, ET, GK, HP, JM, PA e RM. Para cada localidade, foram preparadas alíquotas representativas, com contagem aleatória de 100 grãos por alíquota e três repetições por amostra. Essa abordagem assegura representatividade estatística para avaliação das características petrográficas.

As amostras foram montadas em mounts polidos, conforme protocolo adaptado de Galenhouse (1971), com superfície refletiva para análise em microscopia de luz refletida. A descrição petrográfica considerou cor, poder refletor, morfologia dos grãos, fraturas, birrefletância, reflexões internas e inclusões minerais. Amostras JM e RM não foram montadas devido à granulometria $< 200 \mu\text{m}$, que

difícil a análise dos grãos. Enquanto HP e PA foram excluídas por variação granulométrica e limitações de tempo. Também foram observadas limitações operacionais, como sobreposição de grãos e polimento irregular, comprometendo a padronização. Esses fatores demonstram a necessidade de ajustes no protocolo de preparação para garantir maior padronização e confiabilidade dos resultados em análises futuras.

Com os dados obtidos nas análises petrográficas e de MEV-EDS para obtenção de imagens BSE e composição química dos grãos. Os dados gerados estão sendo integrados em um banco digital, que reúne informações morfotexturais, mineralógicas e químicas dos grãos de cassiterita e minerais acessórios. Permitindo agrupar classes representativas, auxiliando a diferenciar populações de cassiterita. Além de servir como ferramenta de análise comparativa, ele constitui a base para a construção de uma impressão digital mineral (*fingerprint*) voltada à rastreabilidade e certificação da produção de MAPES na região.

RESULTADOS

As amostras apresentaram variações marcantes entre as localidades, refletidas na distribuição dos tipos de cassiterita e minerais acessórios. Foram reconhecidos grupos distintos de grãos, que evidenciam diferenças na alteração superficial e ocorrência de inclusões, permitindo distinguir características próprias de cada concentrado. A Figura 1 ilustra exemplos representativos dessas classes.

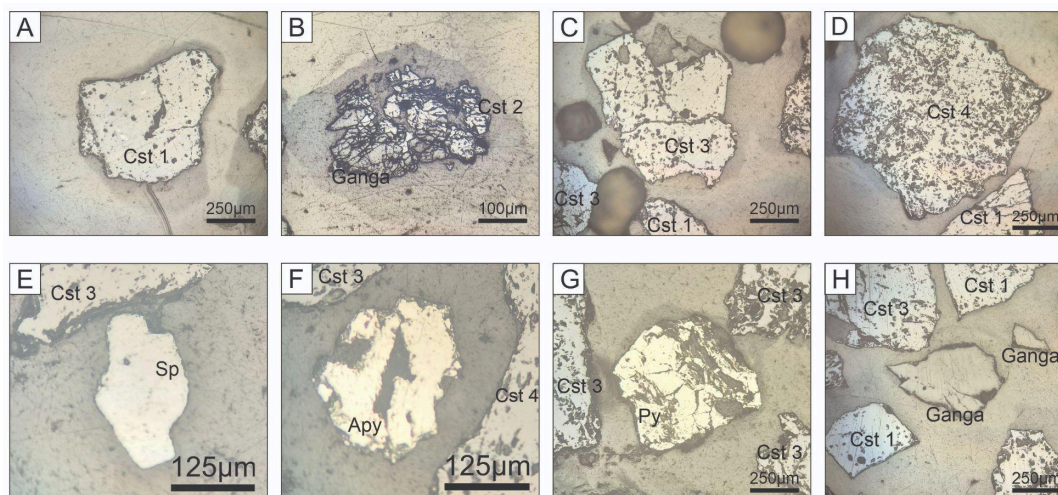


Figura 1: Fotomicrografias em luz refletida (luz plana) de grãos em concentrado mineral, com as diferentes classes texturais e associações minerais. (A) Cst 1: grão euédrico a subédrico, com limite do grão regular e superfície bem polida. (B) Cst 2: grão subédrico, fortemente fraturado e preenchido com a ganga silicatada. (C) Cst 3: grãos subédricos, presença de reflexões internas, levemente fraturado e superfície alterada. (D) Cst 4: grão subédrico com limite do grão irregular, com reflexões internas, morfologia irregular e possível zonamento interno. (E) Grão de Esfalerita (Sp) subédrico, com poder refletor baixo e superfície levemente irregular. (F) Grão de Arsenopirita (Apy) subédrico, com reflexões internas e fraturas preenchidas pelo mineral sulfetado. (G) Pirita (Py) com alto poder refletor. (H) Grãos associados com Ganga, podendo ser descrito como quartzo ou topázio.

As amostras das localidades CF, AF e GK apresentaram variações na composição mineral e nas características texturais, que permitiram a classificação dos grãos em sete grupos morfotexturais distintos. A Tabela 1 apresenta a distribuição percentual de cada grupo por localidade, evidenciando diferenças entre os concentrados analisados.

Tabela 1 : Distribuição mineral e observações das amostras de concentrado de cassiterita

Proveniência	Minerais identificados	Distribuição mineral (%)	Comentários
CF	Cassiterita, Pirita, Translúcidos	C1 (25,62%); C2 (17,36%); C3(29,75%); C4 (10,47%); C6 (1,93%); Pirita (1,65%); Translúcidos (20,11%); Translúcidos c/ inclusão (1,10%)	Pouca alteração
AF	Cassiterita, Pirita, Arsenopirita, Esfalerita	C1 (9,63%); C2 (10,16%); C3 (23,80%); C4 (7,49%); C5 (4,55%); C6 (1,34%); Esfalerita (1,34%); Pirita (0,80%); Arsenopirita (0,27%); Translúcidos (20,59%); Translúcidos c/ inclusão (20,86%)	Granulometria mista e alterado
GK	Cassiterita, Esfalerita, Translúcidos	C1-11,5%); C2 (1,24%); C3 (7,89%); C4 (24,89%); C6 (1,16%); Esfalerita (4,73%); Translúcidos (48,59%)	Granulometria fina e rico em translúcidos

DISCUSSÃO

A distribuição dos grupos morfotexturais de cassiterita varia significativamente entre os concentrados. As amostras CF e AF apresentam predominância da classe Cst 3 (30% e 24%, respectivamente), indicando grãos subidiomórficos subarredondados associados a retrabalhamento sedimentar e fraturas, conforme padrões de depósitos secundários da PER (Souza, 2003; Dias et al., 2013). Em contraste, a amostra GK destaca-se pela alta proporção de grãos translúcidos (49%) e Cst 4 (25%), sugerindo intemperismo intenso e perda de cassiterita preservada.

A análise de minerais acessórios reforça essa heterogeneidade regional: a amostra AF registra maior diversidade (41% de grãos translúcidos e translúcidos com inclusões), o que pode refletir condições distintas de beneficiamento antes do envio às cooperativas. A ocorrência de pirita, arsenopirita e grãos translúcidos demonstra a diversidade mineral entre os concentrados e indica que, embora existam minerais de minério adicionais, a frequência de subprodutos economicamente relevantes é baixa, mantendo abaixo de 2,5% indicando viabilidade econômica limitada. Essas variações texturais e mineralógicas evidenciam distintos históricos de formação e retrabalhamento sedimentar na PER.

CONCLUSÃO

A pesquisa analisou concentrados provenientes de MAPEs situadas na região do município de Ariquemes, aplicando análise macroscópica e a petrografia em luz refletida. Apenas grãos com tamanho $s > 200 \mu\text{m}$ permitiram a descrição detalhada, e a granulometria fina de parte das amostras reduziu a

representatividade de alguns concentrados. O estudo integrou os resultados morfo-texturais e geoquímicos obtidos pela petrografia em um banco de dados digital, que permite diferenciar populações de cassiterita e gerar fingerprints minerais voltadas à rastreabilidade e certificação da produção artesanal. O potencial para subprodutos mostrou-se baixo, devido à ocorrência restrita de minerais de minério adicionais. A metodologia demonstrou viabilidade para rastreamento mineral, mas requer grãos com granulometria adequada e de alto investimento em tempo e preparação, reforçando a importância da integração de dados petrográficos e geoquímicos para aumentar a aplicabilidade e a confiabilidade do estudo.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Adénisia et al.** Avaliação do Teor de Estanho na Cassiterita Recebida pela Empresa ERSA. *Ciências Exatas e da Terra*.
- CPRM.** Áreas de Relevante Interesse Mineral - Reavaliação da Província Estanífera de Rondônia. In: BUCH, T.; DALL'IGNA, L. G.; GRAÇA, M. C.; SILVA, D. R. (Eds.). *Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral*, Vol. 18, p. 82. Porto Velho: DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS, 2019.
- DIAS, C. A. T.; LEITE JÚNIOR, W. B.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J. S.** Geologia e mineralogia do pegmatito estanífero Cascavel, mina Bom Futuro, Rondônia. *Geociências (São Paulo. Online)*, v. 32, p. 731, 2013.
- GOV.BR.** Sumário Mineral Brasileiro. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/pasta-sumario-brasil-mineral-2018/estanho#:~:text=O%20Brasil%20possui%20aproximadamente%209,%2C1%25%20do%20total>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- NASCIMENTO, M. S.; GÓES, A. M.** Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do rio Capim, sul da Sub-bacia de Cametá. *Brazilian Journal of Geology*, v. 35, n. 1, p. 49-58, 2005.
- SILVA, M. A. da.** Petrografia e metalogênese do Maciço Palanqueta: implicações para o potencial mineral de elementos raros na Província Estanífera de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. 2023. 203 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2023.
- SOUZA, V. da S.** Evolução magmática e modelo metalogenético do sistema vulcano-plutônico estanífero Bom Futuro (RO). 2003. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.