

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO MINERIO DE COBRE DA MINA DE SOSSEGO, CARAJÁS E SEUS PRODUTOS DE BENEFICIAMENTO. IMPLICAÇÕES METALÚRGICAS¹

Oscar Jesus Choque Fernandez²
José Marcelino da Silva Dias Filho³
Silvio Faro da Silva⁴
Emanuelle Guimarães Casseb³

Resumo

O trabalho caracteriza as fases minerais do minério de cobre da mina de Sossego, assim como os seus produtos de beneficiamento, usando diversas técnicas analíticas, a fim de identificar as prováveis implicações na liberação granulométrica e seu tratamento metalúrgico. A calcopirita é a principal fase de cobre identificada, e magnetita, quartzo, series tremolita-ferroactinolita, albita, calcita-dolomita, apatita e clinocloro são os minerais de ganga. Foram caracterizados diversos tipos de texturas, sendo predominante calcopirita brechoide, e em menor proporção disseminações e *stringers*, além dos intercrescimentos de calcopirita-pirita-magnetita-silicatos. Os três últimos tipos podem produzir implicações para liberação mineral, pois ao requerer maior moagem, produzem finos perdidos nos rejeitos.

Palavras-chave: Cobre; Mina de sossego; Beneficiamento.

MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF ORE COPPER FROM SOSSEGO MINE, CARAJÁS AND PRODUCTS OF MINERAL PROCESSING. METALLURGICAL IMPLICATIONS

Abstract

Were characterized mineral phases for copper ore from Sossego mine and their product of ore treatment using different analytical technical and identify the provable metallurgical implications. Chalcopyrite is the main mineral copper and magnetite, quartz, tremolite-ferroactinolite series, albite, calcite-dolomite, apatite and clinocllore are the other gangue minerals. Types of textures were characterized too, being a brecciate chalcopyrite the predominant, but disseminations, stringers, and chalcopyrite-pyrite-magnetite-silicates intergrowth occur in minor proportion. Three last ones can produce implications to mineral liberation, so while applying for bigger grinding they produce fine grains lost in the tails.

Keyword: Copper; Sossego mine; Ore treatment.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Professor Doutor, Curso de Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará (IFPA)*

³ *Graduando em Engenharia de materiais, IFPA*

⁴ *Cursando Curso Técnico em Metalurgia, IFPA*

1 INTRODUÇÃO

A mina de Sossego, Carajás, tem reservas estimadas de 600 milhões de toneladas e a reserva minerável totaliza 190 milhões de toneladas com teor médio de 1,00% de Cobre e 0,29g/t de Ouro.⁽¹⁾

A mina de Sossego localizada na Província Mineral de Carajás (Figura 1) é apenas a primeira entre os vários depósitos de cobre que a Vale colocará em produção nos próximos anos. Se Salobo, Cristalino, Alemão e 118 entrarem em produção conforme o planejado, a empresa estará produzindo mais de 650.000 toneladas de cobre em 2010, o que colocará o Brasil como um grande produtor de cobre mundial. A Vale deu partida no ano de 2008 à Usina Hidrometalúrgica de Carajás (UHC) para produzir placas metálicas de cobre com teor de mais 99% (usina semi-industrial com capacidade para produzir 10 mil t/ano).⁽²⁾

Vários trabalhos mineralógicos e metalúrgicos foram realizados na mina de Sossego, podendo se citar a: Ferreira,⁽³⁾ Torresi e Xavier,⁽⁴⁾ Monteiro et al.⁽⁵⁾ entre outros, sendo observada pouca informação disponível da usina de beneficiamento de Sossego. Este trabalho tem como finalidade caracterizar os minerais de minério de cobre da mina de Sossego e discutir suas implicações metalúrgicas decorrentes, pretendendo contribuir com outras informações mineralógicas e metalúrgicas para o entendimento dos problemas gerados no beneficiamento mineral.

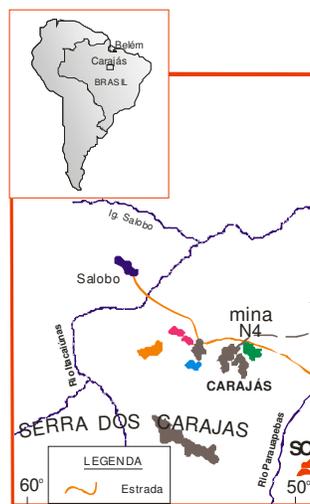


Figura 1. Localização de mina de Sossego na Província Mineral de Carajás.⁽⁶⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No trabalho de campo realizado em setembro de 2004, foram verificadas as relações espaciais entre os diferentes tipos de minério existentes e identificada a mineralização. Nessa etapa foi feita uma coleta sistemática de amostras para estudo da caracterização mineralógica.

Foram coletadas 11 amostras provenientes de perfuratriz e 27 amostras da frente de lavra de minério do ROM provenientes da bancada 168 e 57 e amostras das diferentes etapas do processo de beneficiamento do minério: alimentação à flotação Rougher (19), concentrado (19) e rejeito final (19).

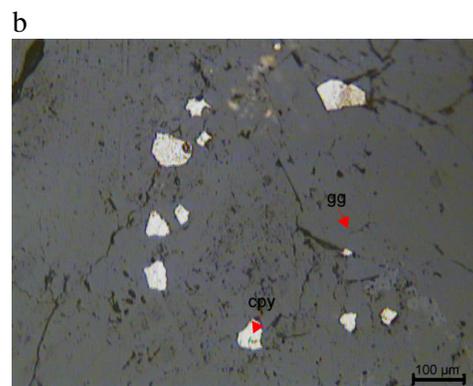
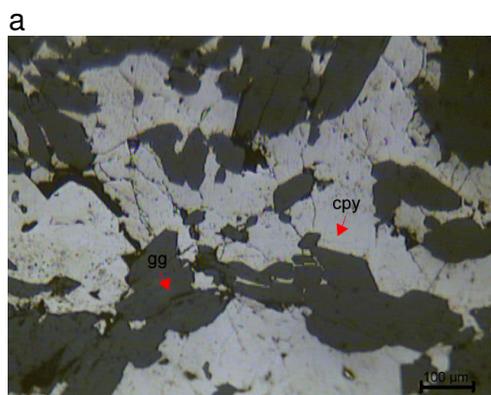
As amostras do ROM e dos produtos de beneficiamento foram analisadas macroscopicamente e microscopicamente identificando os principais aspectos gerais do minério, só então, foram obtidas 95 alíquotas das mesmas amostras para análises por difração de raios-X. Outra porção da mesma alíquota foi utilizada para a confecção de secções polidas para análises em microscopia de luz refletida.

As análises mineralógicas por difração de raios-X foram realizados em amostras da frente de lavra e produtos de beneficiamento com as seguintes condições de operação: difratômetro tipo PW1390, anodo de cobre, tensão: 40 kV e corrente: 30 mA, margem de 5 a 60° 2θ, passos: 0,020°2θ, tempo por passo:1/2 segundo. Para a identificação das fases minerais utilizou-se o programa APD da Phillips e a base de dados PDF do ISCD. As diferentes texturas das fases minerais opacas foram identificadas usando um microscópio Union, com ampliações diversas.

3 RESULTADOS

As análises mineralógicas efetuadas por DRX no ROM, alimentação a flotação e concentrados, confirmam que o principal mineral de minério de cobre e a calcopirita. Esta fase não apresenta reflexões no rejeito da flotação e por tanto não podem ser detectados pelo difratômetro ou se confundem com outras fases identificadas. A calcopirita ocorre associada sempre com a pirita nos concentrados. As fases que correspondem aos minerais de ganga, além da pirita, correspondem a magnetita, quartzo, apatita, clinocloro, albita e os minerais das series tremolita-ferroactinolita,⁽⁷⁾ porém não foi possível determinar especificamente a fase principal desta serie. Foram observados calcitas e dolomitas em algumas amostras do ROM, raramente na alimentação a flotação, menos nos seus produtos de beneficiamento.

As texturas mineralógicas dos minerais opacos, identificadas apenas em amostras do ROM, mostram que a calcopirita ocorre em brechas e de aspecto maciço, em grãos finos irregulares disseminados, em vênulas em fraturas e/ou *stringers* (*stockwork*), e intercrescimentos calcopirita-pirita-magnetita-silicatos (Figura 2). A magnetita como cristais anédricos, clastos angulosos a sub-arredondados ocorrem dispersos na rocha e por vezes na calcopirita. Inclusões de pirita em calcopirita foram observadas em algumas amostras, assim como texturas de substituição entre a calcopirita (pirita), magnetita e silicatos. Não foram observados partículas de ouro-prata, nas amostras estudadas.



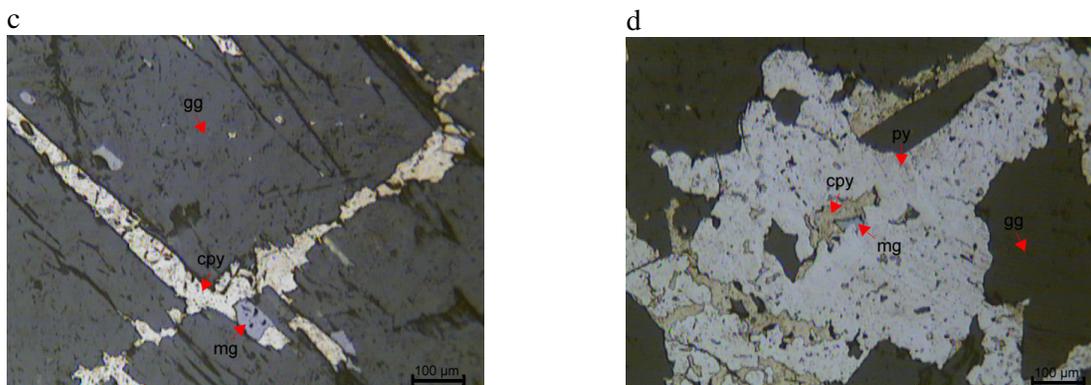


Figura 2. Diferentes tipos de texturas observadas em amostras do ROM da mina de Sossego: a) Calcopirita (cpy) brechoide, b) disseminados de calcopirita (cpy) em ganga (gg), c) *stringers* de calcopirita (cpy) e magnetita (mg) em ganga (gg) d) intercrescimentos de pirita-calcopirita-magnetita-silicatos.

Os dados das análises químicas para a alimentação a flotação e seus produtos de separação, são mostrados na Tabela 1, as mesmas foram tabeladas como mínimos e máximos, indicando a heterogeneidade das análises.

Tabela 1: Dados de análises químicas das amostras da usina de beneficiamento

Análise Química dos Produtos de Beneficiamento			
	Alimentação	Concentrado	Rejeito
Cu (%)	0,558-1,293	26,644-29,686	0,029-0,170
S (%)	0,50-1,20	30,13-32,42	0,04-0,16
Fe (%)	11,35-15,86	26,98-29,86	9,55-10,71
Ag (g/t)	0,41-1,05	12,97-19,29	0,23-0,70
Au (g/t)	0,23-0,51	6,41-9,07	0,05-0,10
F (Ppm)	802-1676	124-326	860-1726
Ni (Ppm)	288-463	1176-1961	232-391

Fonte: Laboratório de absorção atômica da usina Sossego/Vale (2004). Intervalo de 9 análises para cada produto.

4 DISCUSSÕES

Dos minerais de minério de cobre, a calcopirita é a fase principal identificada no ROM, alimentação à flotação e concentrado, a mesma ocorre associada intimamente a pirita, ambos, como é de prever, apresentam-se nos difratogramas observados. O teor de cobre, entre 26,6% a 28,7 % confirma os elevados percentuais no concentrado. No rejeito esses teores alcançam um máximo de teor de cobre de 0,2%, por isso a calcopirita não foi detectada nas análises por DRX, pois se encontram abaixo do limite de detecção do difratômetro. No entanto a calcopirita brechoide e maciça, em maior abundância nas amostras estudadas, quando moídas mostram-se adequados à liberação e posterior concentração.

As várias fases de intercrescimento observadas nas amostras: pirita-calcopirita-magnetita-silicatos (principalmente das series tremolita-ferroactinolita, quartzo e clinocloro), estão presentes como intercrescimentos binários, ternários, às vezes quaternários, em tamanhos variados. Essas fases intercrescidas podem dificultar a moagem e, portanto sua liberação irá requerer tempos maiores de moagem, o que pode induzir a produzir maior quantidade de finos, isto pode ser o 0,2% de Cu perdidos como rejeitos (lamas).

Disseminações de calcopirita, se bem não dominantes no minério, às vezes se confundido com inclusões minerais na ganga, usualmente são problemáticas para liberá-lo durante a moagem. Essa mesma dificuldade poderá ser observada com o preenchimento das fraturas dos silicatos pela calcopirita, não entanto pelas análises por DRX, na foi possível identificar as fases silicatadas e menos magnetita, embora ocorram pequenas reflexões que sugerem sejam destas fases.

Os teores de cobre do concentrado (26,6 a 28,7) e considerando somente calcopirita encontram-se levemente abaixo da media dos teores de cobre do concentrado da produção brasileira do ano de 2007, que é da ordem de 30,2% de Cu,⁽⁸⁾ porém as mesmas abaixo do teor teórico de Cu na calcopirita (CuFeS_2) que é 34,63%. Isto indica que a associação mineral junto a pirita influencia as recuperações de Cu.

O ouro e prata apresentam teores elevados nos concentrados (máximo de 9 e 19 ppm respectivamente), porem os seus rejeitos podem alcançar teores máximos de 0,1 e 0,7 ppm respectivamente, isto sugere que esses metais possuem tamanhos de grãos finos, não observados pela microscopia ótica.

5 CONCLUSÃO

Muitos autores⁽⁹⁻¹¹⁾ consideram que a produção de grãos com tipos de texturas, acima detalhadas (excetuando a calcopirita brechoide) pode ser prejudicial quando se projetam circuitos de recuperação do metal cobre, isto porque esse tipo de texturas quando moídos em excesso produzem finos a ultrafinos formando lamas com relativas perdas de sulfetos de cobre. Ao mesmo tempo a liberação dos disseminados, *stringers* e intercrescimentos em tamanhos de grão fino como partículas finas da rocha hospedeira é dispendiosa e prejudicial na flotação, pois partículas menores que 400 malhas (37 μm) freqüentemente não são presas pela bolha de ar. O imbrincamento mútuo entre as fases calcopirita-pirita, calcopirita-pirita-magnetita e calcopirita-pirita-magnetita-silicatos, associados aos seus tamanhos de grão dificultam a liberação do sulfeto de cobre.

Alternativas tecnológicas precisam ser desenvolvidas para a recuperação dos metais preciosos e o Ni, quando processados pela via hidrometalurgica, considerando sua importância comercial.

A disponibilidade de dados mineralógicos, dados texturais e dados químicos permitiu realizar esta pesquisa, porem é preciso de outros adicionais, que permitirá identificar e caracterizar outras fases de cobre, substituições, modos de ocorrência dos metais preciosos, entre outros. O MEV e a microsonda podem auxiliar para uma maior complementação deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESPA (Processo 040/208) pelo auxílio concedido. Os segundos autores agradecem a FAPESPA/CNPq/IFPA/CNPq pela concessão de bolsas de iniciação científica. Agradecemos a VALE, pela permissão de visitar a mina de Sossego.

REFERÊNCIAS

- 1 ICAM, 2004. International congress on applied mineralogy Disponível em: <<http://www.icam2004.org/fiel/fiel.pdf>>. Acesso em: dezembro, 2009.
- 2 Sequeirinho (Complexo Sossego) / Cobre. Minérios e Minerals Ed. 308, agosto, 2008. Disponível em: <http://www.minerios.com.br/index.php?id_materia=939> Acesso em: 03 janeiro. 2009.
- 3 FERREIRA, M.S. 2004. Petrografia de rochas associadas aos depósitos do Sossego e Sequeirinho, Província metalogenética de Carajás. Belém, universidade federal do Pará. Centro de Geociências.
- 4 TORRESI, I.; XAVIER, R.P. A mineralização de Cu-Au do corpo pista na mina de Sossego, Província Mineral de Carajás (PA): Rochas Hospedeiras e Paragênese do minério. Instituto de Geociências, UNICAMP. Dezembro de 2008.
- 5 MONTEIRO, L. XAVIER, R. SOUZA FILHO, C., TORRESI, I. BARTHOLOTO, D. E AUGUSTO, R. alteração hidrotermal em rochas metavulcânicas do supergrupo itacaiunas, província mineral de Carajás. Padrões de zoneamentos em sistema oxidado de ferro-cobre-ouro (IOCG). IV simpósio de vulcanismo e ambientes associados, foz de Iguaçu PR, 08-11 de abril de 2008.
- 6 CHOQUE FERNANDEZ, O. J. Microquímica e Mineralogia de Processos do Minério de Cobre Salobo, Carajás. UFPA. Centro de Geociências, Belém (PA) 2002.
- 7 KLEIN, C.; Dutrow, B. Mineral Science, Edição 23ª, 2008
- 8 DNPM, 2008 Sumário mineral de 2008 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Disponível em: <[HTTP://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDScecao=68&IDPagina=1165](http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDScecao=68&IDPagina=1165)> Acessado em 15 janeiro 2009.
- 9 PETRUK, W. Predicting and measuring mineral liberations in ores and mill products, and effect of mineral textures and grinding methods on mineral liberations. In: THE METALLURGICAL SOCIETY ANNUAL MEETING, 6., New Orleans. *Proceedings ...* New Orleans 1986: TMS. p.393-403. 1986.
- 10 GREET C.J.; SMART R.ST.C. The effect of size separation by cyclizing and sedimentation/decantation on mineral surfaces. *Minerals Engineering*, 10 (9):995-1011.1997.
- 11 CHATTERJEE, A. Role of particle size in mineral processing at Tata Steel. *International Journal of Mineral Processing*, 53:1-14. 1998
- 12 SERGIO, R. 2003. O depósito Sossego, disponível em: <[HTTP://www.folhaonline.com.br/noticias](http://www.folhaonline.com.br/noticias)>. Acessado em janeiro, 2009.
- 13 LUZ, A. B. da. Tratamentos de Minérios. Rio de Janeiro 2002.
- 14 AMSTUTZ, G.C. Microscopy applied to mineral dressing. *Quarterly of the Colorado School of Mines. Fiftieth Anniversary of Froth Flotation in the U.S.A.* 56(3):443-482, 1961.
- 15 FENG, D.; ALDRICH, C. Effect of particle size on flotation performance of complex sulphide ores. *Minerals Engineering*, 12(7):721-731. 1999.
- 16 GASPARINI, C. Gold and other Precious Metals, from Ore to Market. Berlin, Springer Verlag. 1993.
- 17 Usina hidrometalúrgica permitirá a produção de cobre cátodo a partir de concentrado sulfetado. *Minérios & Minerais*, Edição 302, Março, 2008 <[HTTP://www.minerios.com.br/index.php?id_materia=638](http://www.minerios.com.br/index.php?id_materia=638)> Acessado em: 5 de janeiro de 2009.