

CONDIÇÕES P e T DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA DO DEPÓSITO TURMALINA – QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG.

Marta E. VELÁSQUEZ^{1,2}, Colombo TASSINARI¹, Rosa M. BELLO¹, Lydia M. LOBATO³, William F. CAMPOS⁴, José M. MUNHÁ⁵, Antonio MATEUS⁵

1. Instituto de Geociências USP- edith@igc.usp.br, ccgtassi@usp.br, rosabell@usp.br 2. Universidade Federal do Amazonas-UFAM. 3. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG – lobato@netuno.lcc.ufmg.br. 4. Jaguar Mining Co- william@imsl.com.br. 5. Universidade de Lisboa-FCUL- jmunha@fc.ul.pt, amateus@fc.ul.pt

RESUMO

Condições de pressão e temperatura do metamorfismo e hidrotermalismo geradores da clorita presente em rochas do grupo Nova Lima, hospedeiras do depósito de ouro Turmalina, foram analisadas usando petrografia e química mineral. As diferenças na gênese da clorita provavelmente estão relacionadas com uma origem orogênica para o ouro do Depósito Turmalina, por tanto poderia registrar evidências do evento metamórfico e hidrotermal a partir do qual precipitou o ouro.

Palavras chave: Depósito de ouro Turmalina, gênese orogênica do ouro, química mineral da clorita,

ABSTRACT

Temperatures and PT conditions of metamorphic and hydrothermal geneses was analyzed using petrography and mineral chemistry composition of chlorite bearing in rock of Nova Lima Group that host of Turmalina gold deposit. The apparent different genesis of chlorite is likely related with the origin of lode gold deposit and should record the metamorphic and the mineralization processes.

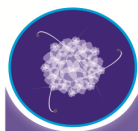
Keywords: Turmalina Gold Deposit, Chlorite, origin of lode gold, mineral chemistry of chlorite.

1. INTRODUÇÃO

A área do Quadrilátero Ferrífero, no sul do Craton de São Francisco, é considerada uma das principais regiões mineiras do Brasil, com um grande potencial em depósitos de ouro e ferro de classe mundial, atualmente explorados na região. Geologicamente, essa área representa um terreno *granito greenstone* arqueano, onde o depósito está encaixado na sequência metavulcanossedimentar da porção inferior do Grupo Nova Lima, base do *greenstone belt* Rio das Velhas e o qual hospeda depósitos auríferos cuja mineralização esta relacionada com o evento Arqueano. Depósitos de menor tamanho inseridos em rochas metassedimentares/vulcanossedimentares do mesmo grupo exibem características similares quanto ao tipo de minério aurífero, mas a sua evolução genética e termocronológica apresentam feições diferentes, em decorrência de possíveis processos de remobilização associada aos eventos Paleo e Neoproterozóicos.

2. GEOLOGIA

O Quadrilátero Ferrífero (QF), localizado na porção sudeste do Cráton de São Francisco, é constituído por três unidades litológicas principais: i) terrenos granito gnáissicos arqueanos, ii) seqüências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt*, incluídas no Supergrupo Rio das Velhas, e (iii) Seqüências metassedimentares de idades Paleo e Mesoproterozóicas das unidades do Supergrupo Minas, Grupo Itacolomí e Supergrupo Espinhaço (Dorr 1969, Machado et al. 1989, Noce 1995, Teixeira et al. 1996, entre outros). Além dos depósitos aluviais Terciários e Quaternários que cobrem as rochas mais antigas.



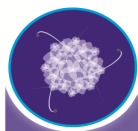
O Supergrupo Rio das Velhas é uma sequência vulcanossedimentar arqueana metamorfizada na fácies xisto verde com transição para anfibolito. Ela aparece tectonicamente desmembrada e intensamente deformada, além de alterada hidrotermalmente e intemperizada. A base é constituída por rochas máficas e ultramáficas, rochas vulcanoclásticas associadas a vulcanismo félsico e metassedimentares de origem química agrupadas no Grupo Nova Lima. No topo ocorrem rochas metassedimentares clásticas incorporadas ao Grupo Maquiné, (Dorr et al. 1957, Almeida 1976, Schorscher 1976, Ladeira 1980 e 1988). O conjunto de rochas foi submetido a eventos tectonometamórficos e magmáticos no Arqueano e por volta de 2.1 Ga (Paleoproterozóico). (Endo 1997; Chemale Jr et al. 1994; Alkmim & Marshak, 1998; Noce, 1995; Machado et al. 1996; Brueckner et al. 2000; Teixeira et al. 2000) e deformacional no Neoproterozóico, arredor de 0,65 Ga.

O depósito de ouro Turmalina localizado no Quadrilátero Ferrífero, na região de Pitangui a NW de Belo Horizonte, ocorre em rochas foliadas com sericita, clorita, biotita, quartzo, encaixado entre metapelito rítmico e metatufito clorítico, correlacionáveis com a parte superior da unidade de rochas metapiroclásticas do Grupo Nova Lima. Trata-se de corpos de forma tabular, estruturalmente controlada, associada a zonas de alteração hidrotermal em zonas de cisalhamento. Os corpos de minério (A e B) estão hospedados em rochas metavulcanossedimentares que foram deformadas em regime rúptil-dúctil, e confinados em zonas silicificadas. Processos hidrotermais de caráter pós-metamórfico favoreceram o desenvolvimento de reações químicas, que delimitam várias áreas típicas de alteração silícica, propilítica, saussurítica, gerando níveis de quartzo, clorita, sericita, e a precipitação de sulfetos de ferro e ouro, distribuídas como halos nas encaixantes do plano principal da zona de cisalhamento.

Os resultados dos estudos petrográficos, minerográficos e análise química usando microsonda eletrônica em clorita hidrotermal e metamórfica associada à mineralização, foram utilizados para determinar as temperaturas de formação deste mineral e correlacioná-las com as temperaturas obtidas no estudo de inclusões fluidas, estimando as condições P e T de formação da mineralização do depósito Turmalina

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Lâminas petrográficas dessas amostras foram usadas tanto para o estudo petrográfico como para as análises química em clorita e outros minerais, cujos resultados não serão discutidos neste trabalho. As análises químicas foram realizadas usando uma microsonda eletrônica JEOL JXA 8200 sob as condições trabalho: voltagem de 15 kV, corrente de 10 nA e diâmetro de feixe de 5-10 µm, pertencente ao Departamento de



Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e a JEOL JXA 8600 *Superprobe* do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os resultados foram empregados no cálculo das temperaturas de formação da clorita mediante o uso de calibrações empíricas, que levam conta o valor de Al^{IV} , e a razão $Fe/(Fe+Mg)$.

Laminas bi-polidas associadas com a mineralização pertencentes as zonas silicificadas foram utilizadas no estudo microtermométrico de inclusões fluidas para determinação das condições P e T e composição dos fluidos mineralizantes.

4. RESULTADOS

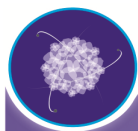
As cloritas do depósito Turmalina apresentam feições típicas de dois estágios: a) metamórficas - relacionadas ao desenvolvimento de um evento metamórfico em fácies xisto verde apresentam-se orientadas seguindo a foliação milonítica (S_2), e b) hidrotermal - como resultado dos processos de alteração de biotita e anfibólio e por vezes da granada. O cálculo de temperatura feito com as calibrações empíricas de Kranidiotis & Maclean (1987) e Zang & Fyfe (1995), oscilam no intervalo de 405 a 496°C para ambas as cloritas, e é compatível com a temperatura das condições do metamorfismo de fácies xisto verde; as razões $Fe/(Fe+Mg)$ entre 0,32 a 0,66 das cloritas analisadas se encontram inseridas no intervalo de confiabilidade dos termômetros usados.

Resultados de microtermometria em inclusões fluidas revelam varias populações: monofásicas essencialmente compostas por CO_2 líquido ou gás; bifásicas compostas por $H_2O(l) + H_2O(v)$ ou $CO_2(l) + CO_2(g)$, $H_2O(l) + CO_2(l \text{ ou } g)$, trifásicas constituídas por $H_2O(l) + CO_2(l) + CO_2(g)$ ou $H_2O(l) + H_2O(v) + \text{sólido}$ e multifásicas com $H_2O(l) + CO_2(l) + CO_2(g) + \text{vários sólidos}$. Foi analisado um total de 277 inclusões fluidas, diferenciadas da seguinte maneira; corpo de minério A, 131 inclusões fluidas bifásicas constituídas por uma fase líquida essencialmente aquosa. No corpo de minério B, 146 inclusões fluidas das quais 62 são essencialmente aquosas, 45 aquocarbônicas e 39 essencialmente carbônicas.

O intervalo de temperaturas para o sistema total (corpo A e B) varia entre 145 e 415°C. Estimativas da pressão dos fluidos, para ambos os corpos, oscilam entre 1 - 2,5 Kbar. Valores de salinidade e temperatura de homogeneização total confirmam que os corpos de minério do depósito Turmalina A e B, mesmo contemporâneos, registram condições e características de formação diferentes (Velásquez, 2011).

5. CONCLUSÃO

A temperatura de formação das cloritas associadas ao evento de mineralização, juntamente com os dados composicionais e as condições de P e T das inclusões de fluidas, são coerentes com as observações feitas na petrografia, que indicam as condições de metamorfismo no fácies xisto verde. O conjunto de dados indica que a gênese do depósito



Turmalina é compatível com o modelo do tipo *Lode Gold*, nos termos de Groves et al.(1998) e relacionado ao evento Riachão.

6. REFERÊNCIAS

- Alkmim F. F., Marshak S. 1998. Trans-Amazonian orogeny in the southern São Francisco Cráton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29-58.
- Almeida F.F.M, 1976. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7 (4): 349-364.
- Brueckner, H.K., Cunningham, D., Alkmim, F.F., Marshak, S. 2000. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd São Francisco cráton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research*, vol 99: 255-269.
- Chemale Jr et al. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 65: 25-54
- Dorr 1969. Dorr J.V.N, 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS, 110. Professional Paper, 641-A .
- Dorr J.V.N, Gair J.E, Pomerene J.B, Rynearson G.A, 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brazil. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro. 31p (avulso 81)
- Endo, I., 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. PhD thesis, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2 volumes, 243 pp.
- Kranidiotis & MacLean (1987)
- Groves, D.I Goldfarb, R., Gebre-Mariam, M., Hagemann, Sg., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* Vol. 13:7-27.
- Kranidiotis, P., MacLean, W.H. 1987. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology* vol 82: 1898- 1911
- Ladeira, E.A, 1988. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. (Coords.). Principais Depósitos Minerais do Brasil. Vol. III, Brasília, DNPM/CVRD, 301-375 p.
- Ladeira, E.A., 1980. Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine, and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Department of Geology of University of Western Ontario, Canada, Unpublished PhD. Thesis, 272p. London, Ontario, Canada.
- Machado N, Schrank A, Abreu F.R, Knauer L.G, Almeida-Abreu P.A, 1989. Resultados preliminares da geocronologia U-Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: Simpósio Geológico Minas Gerais, 5, Belo Horizonte, 1989. SBG. Boletim, 10: 171-175
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M., Valeriano, C. 1996. U-Pb geochronology of the central Ribeira belt Brazil and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research* vol 79: 347-361.
- Noce C.M, 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP, São Paulo. 128p.
- Schorscher J.H.D. 1976. Polimetamorfismo do Pré-cambriano na região de Itabira, Minas gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto. Resumos, 194-195.
- Teixeira W., Sabaté, P., Barbosa, J., Noce, C.M., Carneiro, M.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton in: International Geological Congress 31. Rio de Janeiro. CPRM. 101-131pp.
- Teixeira W; Carneiro M.A; Noce C.M; Machado N; Sato K; Taylor P.N, 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Cráton, Brazil. *Precambrian Research*, 78: 151-164.
- Velásquez, ME., 2011. Evolução termocronológica e metalogenética da mineralização aurífera do Depósito Turmalina, Quadrilátero Ferrífero – MG. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Zang, W., Fyfe, W.S., 1995. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil. *Mineralium Deposita* vol30: 30-38.