

ASPECTOS METALOGENÉTICOS DO DEPÓSITO AURÍFERO SÃO CHICO, PROVÍNCIA MINERAL TAPAJÓS, PARÁ: INFORMAÇÕES COM BASE EM PETROGRAFIA, MEV E INCLUSÕES FLUIDAS DOS VEIOS PRINCIPAL E JÚLIA

Rafael Corrêa Lima¹; Marcelo Lacerda Vasquez²; Isabella dos Santos Paiva¹;

¹Universidade Federal do Pará - UFPA; ²SGB - Serviço Geológico do Brasil, Belém - PA
rg.correalima@gmail.com; marcelo.vasquez@sgb.gov.br; geologyisbellapaiva@gmail.com

RESUMO

Localizado na porção centro-leste da Província Mineral Tapajós (PMT), o depósito São Chico consiste em um sistema de veios de quartzo sulfetados, subverticais, com espessura de até 3,0 metros, orientados segundo a direção WNW-ESE e envelopados por halos de alteração hidrotermal ricos em sericita, clorita e sulfetos. Os veios Principal e Júlia estão encaixados em rochas graníticas petrograficamente classificadas como hornblenda granodiorito, hornblenda monzogranito e biotita sienogranito. De modo subordinado, diques de rochas subvulcânicas porfíricas (dacitos e riolitos) ocorrem ao longo do depósito. A alteração hidrotermal afetou de modos pervasivo e fissural essas rochas, tornando-se mais intensa nas proximidades dos veios. Está registrada principalmente por alteração potássica pervasiva sobreposta por estreitos halos de alteração sericita-clorita relacionados aos veios de quartzo. Zonas distais são marcadas por alteração propilítica pervasiva observada principalmente nas rochas graníticas. Os veios mineralizados contêm pirita + galena + esfalerita ± calcopirita como principais sulfetos e exibem texturas de brecha e de preenchimento de espaços (texturas em pente, crustiforme e vênulas bandadas), nessas variedades ocorrem cristais de feldspato potássico do tipo adularia. Análises por MEV indicam a ocorrência de ouro como: (i) micropartículas ($Au \geq 93\%$) livres nos veios de quartzo e (ii) micropartículas de electrum inclusas em cristais de pirita e esfalerita. Informações preliminares, via estudo de inclusões fluidas em cristais de quartzo, indicam que os fluidos envolvidos na formação dos veios mineralizados são predominantemente aquosos, de baixa salinidade (4,3 a 9,6% equiv. de NaCl) e aprisionados entre 256 e 403 °C. As coexistências entre inclusões aquosas ricas em líquido e outras ricas em vapor, inclusões com homogeneização final para os estados líquido e vapor, aliadas à presença de adularia e às texturas dos veios de quartzo sugerem processos de ebulição (*boiling*) como um dos responsáveis pela formação dos veios e mineralização aurífera associada. Em um estágio tardio, um fluido aquoso pouco salino (< 7,0% equiv. de NaCl), aprisionado entre 152 e 233 °C, provavelmente de origem meteórica, circulou na área do depósito e contribuiu para a formação de associações hidrotermais tardias (calcita e epidoto, por exemplo) em relação ao ouro.

PALAVRAS-CHAVE: Província Mineral do Tapajós, alteração hidrotermal, adularia, inclusões fluidas.

INTRODUÇÃO

Localizada no sudoeste do estado do Pará, a PMT abriga diversas ocorrências auríferas primária, supergênica e aluvionar. Com recursos de cerca de 340 t de ouro e produção histórica (não oficial) que excede as 700 t de ouro, a PMT representa uma das mais importantes províncias minerais do Brasil, tendo se destacado principalmente pelos seus depósitos relacionados a eventos magmático-hidrotermais inseridos em mais de uma classe genética. Esse potencial despertou a atenção e o investimento de mineradoras em trabalhos de pesquisa mineral, os quais indicam a existência de depósitos primários importantes (Tocantinzinho, São Jorge, Cuiú-Cuiú, Coringa, Palito, Ouro Roxo, São Chico e Boa Vista). Ainda que de maneira não consensual, pesquisas acadêmicas propõem que esses depósitos estejam agrupados em ao menos quatro classes: a) relacionados à intrusão / magmático-hidrotermais, b) pórfiros, c) epitermais e d) orogênicos (Juliani et al., 2021; Vasquez et al., 2023). Além disso, o depósito aurífero Castelo dos Sonhos, localizado na porção sudeste da PMT, é classificado como um paleoplacer modificado (Queiroz e Klein, 2018).

Em 2016, o depósito São Chico, situado ~ 30 km a sudoeste da mina do Palito, passou a operar como uma mina satélite a esta última, tendo as duas produzido, neste mesmo ano, cerca de 39.000 onças de ouro com teor de ~ 8,10 g/t (Olin et al., 2018). As estimativas de recursos minerais apontam para 60.540 onças (medidas e indicadas) com teor de médio de 5,09 g/t e 80.131 onças inferidas com teor médio de 4,55 g/t. Em 2022, a operação na mina de São Chico extraiu cerca de 47.000 toneladas com teor de ouro de 4,67 g/t (<https://www.serabigold.com>).

As zonas mineralizadas do depósito São Chico forneceram idades Pb-Pb em sulfetos entre 1851 e 1886 Ma (Vasquez et al., 2017), e estão encaixadas em granitoides da Suíte Parauari (1905 - 1885 Ma), conforme datações U-Pb em zircão de Pereira (2017). Portanto, trata-se de um depósito magmático-hidrotermal associado ao evento de mineralização de *ca.* 1860 Ma. Este trabalho traz informações petrográficas para as rochas hospedeiras, alterações hidrotermais e zonas mineralizadas, bem como dados preliminares de inclusões fluidas sobre os fluidos hidrotermais envolvidos na gênese dos veios de quartzo sulfetados dos veios Principal e Julia, visando contribuir para as discussões e entendimento do depósito.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa vem sendo realizada em amostras de testemunhos de furos de sondagem e amostras do entorno do depósito amostrados pelos projetos do SGB (Vasquez et al. 2017, 2023). Além disso, foram analisadas amostras de frentes de lavra da mina do São Chico coletadas durante o período de estágio técnico da coautora deste trabalho.

As descrições petrográficas foram realizadas no laboratório do Instituto de Geociências da UFPA. As análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no Laboratório de MEV do Instituto de Geociências da UFPA (IG-UFPA), utilizando um microscópio Zeiss modelo SIGMA-VP. Também foram feitas análises por MEV no microscópio modelo LS15 da Zeiss do Laboratório de Análise Mineral do SGB de Belém (LAMIN-BE).

O estudo de inclusões fluidas foi desenvolvido nos laboratórios de inclusões fluidas do IG-UFPA e do LAMIN-BE. As análises microtermométricas foram realizadas em platinas Linkam modelos MDSG600 (UFPA) e THMSG 600 (SGB) acopladas a microscópios petrográficos de luz transmitida.

RESULTADOS

Rochas hospedeiras

Granitoides

A análise petrográfica permitiu distinguir três variedades de granitoides hospedeiros: (i) hornblenda granodiorito, (ii) hornblenda monzogranito e (iii) biotita sienogranito. As variedades mais preservadas de alterações hidrotermais exibem cor que varia de cinza a rosa. Em linhas gerais, são rochas hololeucocráticas a leucocráticas, de granulação média a grossa, localmente com tendências porfiríticas e, geralmente, sem feições de deformação dúctil. Apresentam ainda a ocorrência de enclaves máficos microgranulares, arredondados e centimétricos.

Rochas subvulcânicas

Ocorrem de forma subordinada e em contato abrupto com as rochas graníticas. São rochas de matriz afanítica, contendo fenocristais (≤ 1.0 cm) de plagioclásio e quartzo, com hornblenda e biotita subordinadas. As variedades menos hidrotermalizadas exibem preservada textura de fluxo magmático marcada, sobretudo, pela orientação dos fenocristais de plagioclásio. Petrograficamente são classificados como hornblenda dacito e biotita riolito. Embora não estejam bem definidas as relações temporais das rochas subvulcânicas com os granitos e a extensão do evento subvulcânico que representam, estes litotipos são ao menos contemporâneos aos eventos hidrotermais, já que algumas variedades estão intensamente hidrotermalizadas. Não obstante, informações de novos furos indicam que os veios mineralizados podem estar cortados e deslocados por diques de rochas dacíticas.

Alteração hidrotermal

A alteração hidrotermal está registrada pela ocorrência de associações minerais formadas a partir da substituição de minerais primários em estilo pervasivo e pela ocorrência de veios e vênulas mono- e poliminerálicas. Cinco tipos de alterações foram reconhecidos:

- (i) Alteração potássica pervasiva que oblitera parcialmente a textura granular primária das rochas graníticas conferindo-lhes cor vermelha forte. A associação mineral compreende feldspato potássico, clorita e pirita (Figuras 1A e 1B). Análises por MEV não identificaram micropartículas de ouro associados a essa geração de pirita.
- (ii) Veios e vênulas de quartzo são poliminerálicos (pirita, galena, esfalerita, ouro, electrum, calcopirita, clorita, calcita e adularia) (Figuras 1C, 1D e 1G) e podem exibir texturas de brecha e de preenchimento de espaços (textura em pente, crustiforme e bandada).
- (iii) Halos de alteração rica em sericita-clorita relacionados aos veios de quartzo e sobrepostos às zonas de alteração potássica (Figuras 1E e 1F). A associação mineral inclui mica branca, clorita, quartzo, pirita e esfalerita, com ilmenita, calcita e rutilo subordinados.
- (iv) Alteração propilitica distal às zonas mineralizadas. Afeta de modo pervasivo os granitoides, os quais exibem a cor verde típica desse tipo de alteração. Sua associação mineral consiste em clorita + epidoto + rutilo \pm titanita \pm prhenita. No entorno do depósito, granitoides intensamente propilitizados estão recortados por vênulas de quartzo, indicando esse estágio como anterior à formação dos veios (Figura 1H).
- (v) Vênulas tardias de calcita, com quartzo e epidoto associados, que truncam zonas potassicadas, sericitizadas, os veios de quartzo e zonas propilitizadas (Figura 1I).

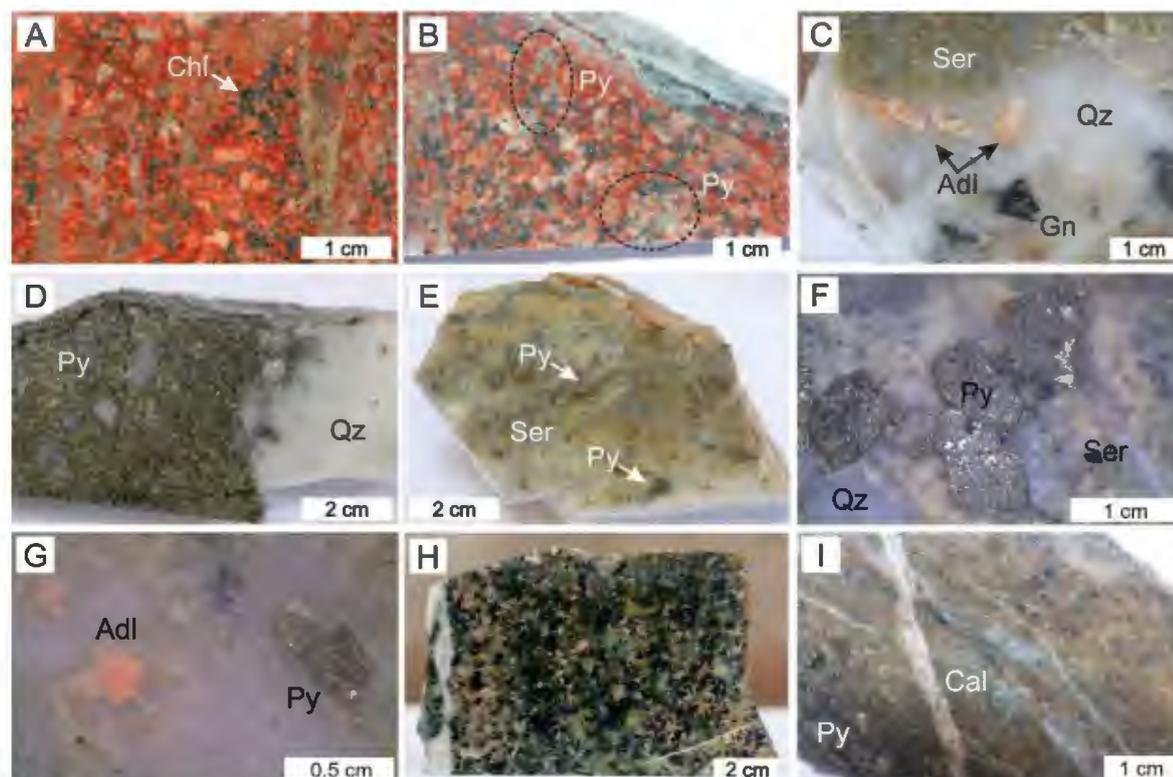


Figura 1. Aspectos mesoscópicos das principais alterações hidrotermais do depósito São Chico. A) Alteração potássica intensa em rocha granítica. B) Agregados de pirita em zona de alteração potássica. C) Veio de quartzo leitoso com galena e adularia associadas e halo sericítico. D) Veio de quartzo leitoso com pirita maciça. E) Halo sericítico, relacionado a vênulas de quartzo, com pirita associada. F) Detalhe para zona de alteração sericítica com cristais de pirita associada. G) Detalhe para a ocorrência de cristal de adularia em veio de quartzo com pirita. H) Granitoide intensamente propilitizado cortado por vênula de quartzo. I) Calcita em vênula milimétrica cortando rocha vulcânica intensamente sericitizada.

Inclusões fluidas e microtermometria

Inclusões fluidas (IF) foram observadas em lâminas bipolidas de veios de quartzo sulfetados. Os cristais de quartzo hospedeiros são subédricos a euédricos, em alguns casos, mostram terminações piramidais bem desenvolvidas. Três tipos de IF foram reconhecidos: (i) aquosas bifásicas (H_2O -Sais) (tipo 1); (ii) aquosas monofásicas (H_2O -Sais) (tipo 2) e, mais raramente (iii) aquosas trifásicas (H_2O -Sais-Sólido). De forma geral, essas inclusões ocorrem em pequenos grupamentos aleatórios e em linhas de crescimento de cristais de quartzo hexagonais, além de trilhas transgranulares. Análises microtermométricas preliminares indicam, para as inclusões aquosas bifásicas em grupos aleatórios e em linhas de crescimento do quartzo, salinidade entre 4,3 e 9,6% em peso equiv. de NaCl e temperatura de homogeneização entre 256 e 403 °C. Essas variedades homogeneizaram para ambos os estados, líquido e vapor, com predomínio do primeiro. Para as variedades em trilhas transgranulares, os valores de temperatura de fusão do gelo indicam salinidade entre 0,3 e 7,0% em peso equiv. de NaCl e temperatura de homogeneização entre 152 e 233 °C. Nesses casos, a homogeneização deu-se no estado líquido.

CONSIDERAÇÕES

Os veios de quartzo mineralizados do depósito São Chico são polimetálicos, brechados e podem também exibir texturas indicativas de formação em níveis crustais rasos (texturas em pente, crustiforme e bandada, além de cristais de quartzo zonados e hexagonais). Essas

características combinadas com as informações preliminares do estudo de IF (coexistência de inclusões aquosas ricas em líquido com aquosas ricas em vapor, homogeneização final para os estados líquido e vapor, *trends* evolutivos de temperatura e salinidade – Figura 2), além da presença de adularia podem ser sugestivas de que processos de ebulição (*Boiling*) tenham sido um dos responsáveis pela formação dos veios mineralizados.

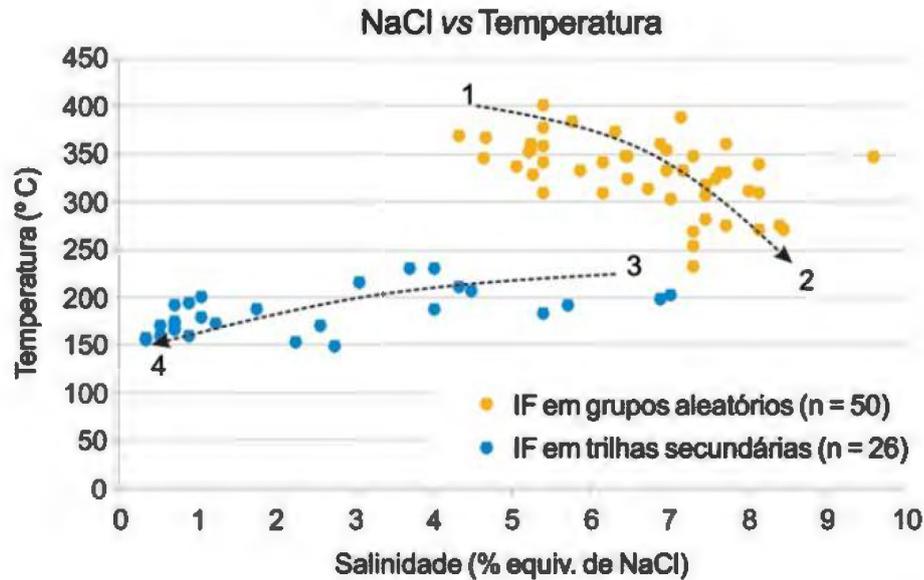


Figura 2. Diagrama de temperatura de homogeneização e salinidade para IF aquosas bifásicas. *Trend 1 - 2* representa possível registro de ebulição e *trend 3 - 4*, processo de diluição dos fluidos aquosos, com provável participação de água meteórica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Juliani C., Assis, R.R., Monteiro, L.V.S., Fernandes, C.M.D., Martins, J.E.Z.S. e Costa, J.R.C. 2021. Gold in Paleoproterozoic (2.1 to 1.77 Ga) Continental Magmatic Arcs at the Tapajós and Jurien Mineral Provinces (Amazonian Craton, Brazil): A New Frontier for the Exploration of Epithermal–Porphyry and Related Deposits. *Minerals*, 11, 714. <https://doi.org/10.3390/min11070714>.
- Olin E.J., Cole G., Willow M.A., Olson T. R. 2018. NI 43-101 Technical Report Palito Mining Complex, Brazil.
- Pereira D.F. 2017. Petrografia, geoquímica e química mineral das rochas encaixantes do Depósito São Chico, Domínio Tapajós, SW do Pará. Dissertação (Mestrado), PPGG/UFPA.
- Queiroz, J.D.S. e Klein, E.L. 2018. The Paleoproterozoic metaconglomerate-hosted Castelo de Sonhos gold deposit, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: A modified paleoplacer origin. *J. Geol. Surv. Braz.* 1, 81–99, doi:10.29396/jgsb. 2019.v1.n2.
- Vasquez, M.L.; Chaves, C.L.; Moura, E.L.; Oliveira, J.K.M. 2017. Geologia e recursos minerais das folhas São Domingos – SB.21-Z-A-II e Jardim do Ouro – SB.21-Z-A-III. Escala: 1:100.000. Belém, SGB-CPRM. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17997>>. Acesso em: Jul. 2023.
- Vasquez, M.L.; Gaia, S.M.S.; Chaves, C.L.; Silva, C.M.G. (orgs.). 2023. Evolução Crustal e Metalogenia da Província Mineral do Tapajós – ARIM Tapajós. Belém, SGB-CPRM. (em revisão).