



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDOS DE INCLUSÕES FLUIDAS E DE ISÓTOPOS
ESTÁVEIS NO DEPÓSITO MOREIRA GOMES DO
CAMPO MINERALIZADO DO CUIÚ-CUIÚ, PROVÍNCIA
AURÍFERA DO TAPAJÓS, ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

ROSE DE FÁTIMA SANTOS ASSUNÇÃO

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luiz Klein (CPRM/UFPA)

**BELÉM
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Assunção, Rose de Fátima Santos, 1987-

Estudos de inclusões fluidas e de isótopos estáveis no depósito Moreira Gomes do campo mineralizado do Cuiú-Cuiú, Província Aurífera do Tapajós, Estado do Pará / Rose de Fátima Santos Assunção. - 2013.

Orientador: Evandro Luiz Klein.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2013.

1. Ouro - Minas e mineração - Tapajós, Região (PA). 2. Minas e recursos minerais - Tapajós, Região (PA). 3. Isótopos estáveis. 4. Inclusões fluidas. I. Título.

CDD 553.41098115. ed. 22



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDOS DE INCLUSÕES FLUIDAS E DE ISÓTOPOS
ESTÁVEIS NO DEPÓSITO MOREIRA GOMES DO
CAMPO MINERALIZADO DO CUIÚ-CUIÚ, PROVÍNCIA
AURÍFERA DO TAPAJÓS, ESTADO DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

ROSE DE FÁTIMA SANTOS ASSUNÇÃO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de aprovação: 29/08/2013

Banca Examinadora:

Prof. Dr. EVANDRO LUIZ KLEIN
(Orientador-CPRM/UFPA)

Prof. Dr. RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS
(UFPA)

Prof. Dr. VALMIR DA SILVA SOUZA
(UNB)

Belém
2013

DEDICATÓRIA

À minha mãe Rosa Assunção
À meu orientador Evandro Klein

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me dá forças para continuar e realizar os meus sonhos;

Ao meu orientador Dr. Evandro Klein (CPRM), pela amizade, apoio e conhecimento compartilhado;

À minha família, pelo carinho e incentivo; em especial a minha mãe Rosa Assunção; ao meu pai José Carlos Assunção, a minha tia Isabel, aos meus primos Marizalene, Urias, Ester e Miqueias; às crianças Wallace e Vinícius; ao meu amor Yury Oliveira, e ao meu amado Jack Assunção, pelo seu amor verdadeiro e por tudo que ele “apronta...”

Aos amigos da Geologia, pelos momentos de descontração;

À geóloga Margarete Wagner Simas (CPRM), pela ajuda com a preparação das amostras para análise isotópica;

À Capes e UFPA, pelo apoio financeiro e infraestrutura, respectivamente;

EPÍGRAFE

*“A educação tem raízes amargas,
mas os seus frutos são doces.”*

Aristóteles

RESUMO

Moreira Gomes é um dos depósitos do campo mineralizado do Cuiú-Cuiú, província Aurífera do Tapajós, com recursos de 21,7 t de ouro. A zona mineralizada, com 1200 metros de comprimento, 30-50 metros de largura e, pelo menos, 400 metros de profundidade é controlada por uma estrutura subvertical de orientação E-W, associada a um sistema de falhas transcorrentes sinistrais. As rochas hospedeiras nesse depósito são predominantemente tonalitos de 1997 ± 2 Ma (Suite Intrusiva Creporizão). O estilo da alteração hidrotermal relacionado à mineralização é predominantemente fissural e localmente pervasivo. Os tipos de alteração hidrotermal são sericitização, carbonatação, cloritização, sulfetação, silicificação e epidotização, além da formação de veios de quartzo de espessuras variadas. Pirita é principal sulfeto e contém inclusões de galena, esfalerita, calcopirita e, em menor quantidade, de hessita e bismutinita. O ouro ocorre mais comumente como inclusão em cristais de pirita e, secundariamente, na forma livre em veios de quartzo. Ag, Pb e Bi foram detectados por análise semi-quantitativa como componentes das partículas de ouro. Estudo de inclusões fluidas identificou fluidos compostos por CO₂ (Tipo 1), H₂O-CO₂-sal (Tipo 2) e H₂O-sal (Tipo 3). O volátil CO₂ é predominante na fase carbônica. O fluido do Tipo 2 apresenta densidade baixa a moderada, salinidade entre 1,6 e 11,8 % em peso equivalente de NaCl e foi aprisionado principalmente entre 280° e 350°C. No fluido do Tipo 3 o sistema químico pode conter CaCl₂ e, talvez, MgCl₂, e a salinidade varia de zero a 10,1% em peso equivalente de NaCl. Apenas localmente a salinidade atingiu 25% em peso equivalente de NaCl. Esse fluido foi aprisionado principalmente entre 120° e 220°C e foi interpretado como resultado de mistura de fluido aquoso mais quente e levemente mais salino, com fluido mais frio e diluído. Globalmente, o estudo das inclusões fluidas indica estado heterogêneo durante o aprisionamento e ocorrência de separação de fases, mistura, flutuação de pressão e reequilíbrio das inclusões durante aprisionamento. A composição isotópica do fluido em equilíbrio com minerais hidrotermais (quartzo, clorita e calcita e pirita) e de inclusões fluidas apresenta valores de $\delta^{18}\text{O}$ e δD entre +0,5 e +9,8 ‰, e -49 a -8 ‰, respectivamente. Os valores de $\delta^{34}\text{S}$ de pirita (-0,29 ‰ a 3,95 ‰) são provavelmente indicativos da presença de enxofre magmático. Pares minerais forneceram temperaturas de equilíbrio isotópico em geral concordante com as temperaturas de homogeneização de inclusões fluidas e compatíveis com as relações texturais. Os resultados isotópicos, combinados com os dados mineralógicos e de inclusões fluidas são interpretados como produto da evolução de um sistema magmático-

hidrotermal em três estágios. (1) Exsolução de fluido magmático aquoso e portador de CO₂ entre 400°C e 320-350°C, seguido de separação de fases e precipitação principal da assembleia clorita-sericita-pirita-quartzo-ouro sob pressões menores que 2,1 kb e a 6-7 km de profundidade. (2) Resfriamento e continuação da exsolução do CO₂ do fluido magmático geraram fluido aquoso, mais pobre a desprovido de CO₂ e levemente mais salino, com aprisionamento predominantemente a 250°-280°C. A assembleia hidrotermal principal ainda precipitou, mas epidoto foi a principal fase nesse estágio. (3) Mistura do fluido aquoso do estágio 2, mais quente e mais salino, com um fluido aquoso mais frio e menos salino, de origem meteórica. Carbonatação está associada com esse estágio. A assembleia hidrotermal e os valores isotópicos indicam que fluido foi neutro a levemente alcalino e relativamente reduzido, que H₂S (ou HS⁻) pode ter sido a espécie de enxofre predominante, e que Au(HS)⁻² deve ter sido o complexo transportador de ouro. A deposição do ouro em Moreira Gomes ocorreu em resposta a diversos mecanismos, envolvendo a separação de fases, mistura e reações fluido-rocha. O depósito Moreira Gomes é interpretado como o produto de um sistema magmático-hidrotermal, mas não possui feições clássicas de depósitos relacionados a intrusões graníticas, tanto oxidadas como reduzidas. A idade de deposição do minério (1,86 Ga) sugere que o sistema magmático-hidrotermal pode estar relacionado com a fase final do extenso magmatismo cálcio-alcalino da Suíte Intrusiva Parauari, embora o magmatismo transicional a alcalino da Suíte Intrusiva Maloquinha não possa ser descartado.

Palavras-chave: ouro, Tapajós, Paleoproterozoico, inclusão fluida, isótopos estáveis, granito hospedeiro

ABSTRACT

Moreira Gomes is a recently discovered deposit (preliminary resources of 21.7 t Au) of the Cuiú-Cuiú goldfield, an importante and historical mining área of the Tapajós Gold Province, Amazonian Craton. The mineralized zone is about 1200 m long, 30-50 m wide, and is followed to at least 400 m in depth. The zone is controlled by a subvertical, east-west-trending structure that is related to a left-handed strike-slip fault system. The host rocks in the deposit are predominantly tonalites dated at 1997 ± 2 Ma that are attributed to the magmatic arc or post-collision Creporizão Intrusive Suite. Hydrothermal alteration and mineralization are predominantly of the fissure-filling type and locally pervasive. Sericitization, chloritization, sulfidation, silicification, carbonatization and epidotization are the observed alteration types. Pyrite is by far the predominant sulfide mineral and bears inclusions of chalcopyrite, galena, sphalerite and minor hesite and bismuthinite. Gold occurs predominantly as inclusions in pyrite and subordinately in the free-milling state in quartz veins. Ag, Pb and Bi have been detected by semi-quantitativa analysis. Three types of fluid inclusions, hosted in quartz veins and veinlets, have been identified. (1) Type 1: one- and two-phase CO₂ inclusions; (2) Type 2: two- and three-phase H₂O-CO₂-salt inclusions, and (3) Type 3: two-phase H₂O-salt inclusions. CO₂ is largely the predominant volatile phase in the CO₂-bearing inclusions. The CO₂-bearing types 1 and 2 are interpreted as the product of phase separation of an immiscible fluid. This fluid presents low to moderate density, low to moderate salinity (1.6 to 11,8 wt.% NaCl equivalent) and was trapped chiefly at 280° to 350°C. In Type 3 fluid, the chemical system may contain CaCl₂ and/or MgCl₂, salinity varies from zero to 10.1 wt.% NaCl equivalent. Only locally salinities up to 25% have been recorded. This fluid was trapped mainly between 120° and 220°C and is interpreted as resulting from mixing of a hotter and more saline aqueous fluid (in part derived from phase separation of the H₂O-CO₂ fluid) with a cooler and dilute aqueous fluid. As a whole, the fluid inclusions indicate phase separation, pressure fluctuations, mixing, and reequilibration during trapping. The isotopic composition of inclusion fluids and of the fluid in equilibrium with hydrothermal minerals (quartz, chlorite, and calcite) show $\delta^{18}\text{O}$ and δD values that range from +0.5 to +9.8‰, and from -49 to -8‰, respectively. The $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite (-0.29‰ to 3.95‰) are probably related to magmatic sulfur. Mineral pairs show equilibrium isotopic temperatures that are compatible with the fluid inclusion homogenization temperatures and with textural relationships of the hydrothermal minerals. Isotopic results combined with mineralogical and fluid inclusion data

are interpreted to reflect a magmatic-hydrothermal system that evolved in at least three stages. (1) Exsolution of a CO₂-bearing magmatic fluid between 400°C and 320-350°C and up to 2.1 kbars (6-7 km in depth) followed by phase separation and main precipitation of the hydrothermal assemblage composed of chlorite-sericite-pyrite-quartz-gold. (2) Cooling and continuous exsolution of CO₂ producing a CO₂-depleted and slightly more saline aqueous fluid that was trapped mainly at 250°-280°C. The predominant hydrothermal assemblage of stage 1 continued to form, but epidote is the main phase at this stage. (3) Mixing of the stage 2 aqueous fluid with a cooler and dilute aqueous fluid of meteoric origin, which was responsible for the main carbonatization phase. The composition of the hydrothermal assemblage and the fluid and isotopic composition indicate that the mineralizing fluid was neutral to slightly alkaline, relatively reduced (only locally, more oxidized conditions have been attained, resulting in the precipitation of barite). H₂S (and/or HS⁻) might have been the main sulfur species in the fluid and Au(HS)⁻² was probably the gold transporting complex. Gold deposition occurred as a consequence of a combination of mechanisms, such as phase separation, mixing and fluid-rock interaction. The Moreira Gomes is a granite-hosted gold deposit that is interpreted to be a product of a magmatic-hydrothermal gold system. The age of ore formation (~1.86 Ga) is consistent with the final stages of evolution of the widespread high-K, calc-alkaline Parauari Intrusive Suite, although the transitional to predominantly alkaline Maloquinha Intrusive Suite cannot be ruled out. Notwithstanding, the deposit does not show the classic features of (oxidized or reduced) intrusion-related gold deposits of Phanerozoic magmatic arcs.

keywords: gold, Tapajós, Paleoproterozoic, fluid inclusion, stable isotopes, granite-hosted