



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO DEPÓSITO AURÍFERO  
SÃO JORGE, PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS,  
NOVO PROGRESSO-PA.**

**Dissertação apresentada por:**

**ANTONIO WANDERLEI GOMES BORGES**

**Orientador: Prof. Dr. Márcio Dias Santos (UFPA)**

---

**BELÉM**

**2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

B732g    Borges, Antonio Wanderlei Gomes  
          Geologia e metalogênese do depósito aurífero São Jorge,  
          Província Aurífera do Tapajós, Novo Progresso-PA / Antonio  
          Wanderlei Gomes Borges; Orientador, Márcio Dias Santos – 2011  
          xvii, 94f. : il.

          Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa  
          de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de  
          Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

          1. Ouro - Tapajós (PA). 2. Granito São Jorge. 3. Cisalhamento. I.  
          Santos, Márcio Dias. II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20. ed.: 553.41098115

---



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

**GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO DEPÓSITO  
AURÍFERO SÃO JORGE, PROVÍNCIA AURÍFERA DO  
TAPAJÓS, NOVO PROGRESSO-PA**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**  
**ANTONIO WANDERLEI GOMES BORGES**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 05 / 01 / 2011**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. MARCÍO DIAS SANTOS**  
**(Orientador-UFPA)**

---

**Prof. RAIMUNDO NETUNO N. VILLAS**  
**(Membro-UFPA)**

---

**Prof. VALMIR DA SILVA SOUZA**  
**(Membro-UnB)**

## RESUMO

O depósito aurífero São Jorge está inserido na porção extremo leste da Província Aurífera do Tapajós, município de Novo Progresso, SW do Estado do Pará, distante 88 km da sede deste município. O depósito São Jorge compreende um sistema de veios subverticais de quartzo auríferos hospedado no Granito São Jorge Jovem, de idade paleoproterozóica, e controlado estruturalmente por uma zona de cisalhamento de direção NW-SE. O Granito São Jorge Jovem é um *stock* monzogranítico cálcico-alcálico oxidado, típico de arco magmático e correlacionável à Suíte Intrusiva Tropas. A zona de cisalhamento São Jorge é do tipo rúptil-dúctil transcorrente sinistral de alto ângulo e faz parte de uma estrutura regional denominada lineamento Tocantinzinho. Os veios mais possantes, com espessuras métricas, se alojaram ao longo da direção principal do cisalhamento (NW-SE), enquanto que veios menores, na direção NE-SW, fazem um ângulo médio a alto com a direção principal do cisalhamento. Tal situação estrutural é compatível com o sistema de Riedel, com filões paralelos à direção principal de cisalhamento (Y/D) e veios *gash* em fraturas de extensão (T). Completando o sistema filoneano ocorrem conjuntos localizados de vênulas tipo *stockwork*. Os veios mineralizados estão sempre envolvidos por um halo de alteração hidrotermal bem desenvolvido. A alteração inicial foi marcada por cloritização dos minerais ferromagnesianos do granito (biotita e hornblenda) que produziu clorita+carbonato+magnetita, seguido por metassomatismo sódico (albitização) do feldspato potássico e saussuritização do plagioclásio, produzindo sericita+carbonato+epidoto. A intensificação deste processo resultou em alteração fílica (quartzo+fengita+pirita) acompanhado por cloritização e sulfetação (pirita+calcopirita+esfalerita) de ocorrência mais restrita. O minério aurífero, hospedado nos veios de quartzo, ocorre sempre nas zonas fortemente hidrotermalizadas, associado com sulfetos de ferro (principalmente pirita) e, mais raramente, calcopirita e esfalerita. Galena, bismutinita, bismuto nativo e ouro ocorrem mais restritamente. Ouro livre ocorre também em quartzo e magnetita hidrotermais. Os principais minerais da ganga, associados com o minério, são quartzo, fengita e clorita, além de quantidades subordinadas de carbonato, rutilo e zircão. Três tipos de fluidos foram caracterizados com base no estudo das inclusões fluidas: 1) fluido aquoso de baixa a média salinidade, do sistema H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl, interpretado como água meteórica; 2) fluido aquoso de salinidade média, do sistema H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub>-MgCl<sub>2</sub>, com temperatura de homogeneização entre 120 e 230°C, interpretado como de origem magmática; e 3) fluido aquocarbônico de salinidade baixa a média, com temperatura de homogeneização entre 260 e 350°C, provavelmente de origem magmática ou metamórfica. O fluido magmático

aquoso salino foi interpretado como o fluido mineralizante que transportou os metais (inclusive Au), o cloro e o enxofre oxidado (SO<sub>2</sub>), concentrados na fase residual de um magma granítico, enquanto que o fluido aquocarbônico transportou maior parte do CO<sub>2</sub> e o enxofre reduzido (H<sub>2</sub>S). As condições de temperatura e pressão de formação do depósito São Jorge foram estabelecidas pelo geotermômetro da clorita e isócoras calculadas a partir dos dados microtermométricos, com temperaturas entre 280 e 350°C e pressões entre 1,35 e 3,6 Kb. Tais condições de temperatura favorecem o transporte do ouro na forma de tiocomplexos. Processo de oxidação inicial, com aumento da fO<sub>2</sub> e formação de magnetita, favoreceu a primeira geração de deposição de ouro. A mistura do fluido mineralizante com fluido aquocarbônico e água meteórica e a interação fluido-rocha, com alteração fílica e sulfetação associadas, provocaram aumento de fO<sub>2</sub> e redução de pH, fS<sub>2</sub> e temperatura que favoreceram a deposição principal de ouro em sítios de transtensão da zona de cisalhamento. O estilo filoniano do depósito São Jorge, as rochas graníticas hospedeiras do minério, o controle estrutural do depósito, os tipos de alteração hidrotermal, a associação metálica Au(Cu-Zn-Pb-Bi) e o fluido mineralizante de filiação magmática, são compatíveis com uma relação genética da mineralização com magmatismo granítico (depósito aurífero relacionado à intrusão e estruturalmente controlado). Por outro lado, o controle estrutural dos corpos de minério e a ocorrência de fluido aquocarbônico com temperatura de homogeneização mais alta, captado em profundidade pela zona de cisalhamento, favorecem o modelo orogênico mesozonal. Tais características são compatíveis com um modelo genético híbrido para o depósito São Jorge, no qual o granito forneceu o fluido mineralizante, os metais e calor para movimentar o sistema hidrotermal, enquanto que o cisalhamento forneceu o fluido aquocarbônico, os canais de circulação para os fluidos e as armadilhas estruturais para a deposição do minério. Como a zona de cisalhamento afetou o granito São Jorge Jovem, a relação genética do depósito São Jorge com aquele granito, embora possível, é pouco provável. Uma possibilidade mais consistente para a fonte magmática do fluido mineralizante do depósito São Jorge seria um granito mais jovem como, por exemplo, o granito Maloquinha, 14 a 27 Ma mais jovem, que ocorre em toda a Província Tapajós e também nas proximidades da área do depósito São Jorge.

Palavras-chave: Ouro - Tapajós (PA). Granito São Jorge. Cisalhamento.

## ABSTRACT

The São Jorge gold deposit lies in the easternmost part of the Tapajós Gold Province, SW portion of the State of Pará, far around 88km from Novo Progresso city. The São Jorge deposit comprises a mineralized quartz vein system hosted by the Young São Jorge Paleoproterozoic granite and it is controlled by a NW-SE trending shear zone. The Young São Jorge granite is an oxidized calc-alkaline monzogranite stock, characterized as magmatic arc type and correlated to the Tropas Intrusive Suite. The São Jorge shear zone is a brittle-ductile sinistral strike-slip shear zone which belongs to a regional structure known as Tocantinzinho Lineament. The thicker lodes, of metric width, are hosted by NW-SE main shear direction, whereas thinner veins in the NE-SW direction make middle to high angle in relation to the chief shear direction. Such a structural situation is compatible to the Riedel system, with parallel lodes hosted by main shear direction (Y/D) and gash veins in extension fractures (T). Minor stockwork veinlets complete the São Jorge vein system. The mineralized veins are always involved by hydrothermal alteration halo. Early alteration is characterized by chloritization of the ferromagnesian minerals (biotite and hornblende) which yielded chlorite+carbonate+magnetite mineral assemblage, followed by sodium metasomatism (albitization) of the K-feldspar and saussuritization of the plagioclase which generated sericite+carbonate+epidote assemblage. Intensification of that process evolved to phillitic alteration (phengite+quartz+pyrite assemblage) associated to minor chloritization and sulfidation (pyrite+chalcocopyrite+sphalerite assemblage). The gold-bearing ore, hosted in quartz veins, occurs in deep hydrothermal altered rocks, associated to sulfides (chiefly pyrite) and, more rarely, chalcocopyrite and sphalerite. Galena, bismuthinite, native bismuth and gold are minor metallic phases. Free gold also occurs in hydrothermal quartz and magnetite. The main gangue minerals associated to ore are quartz, phengite and chlorite. Carbonate, rutile and zircon are minor gangue phases. Three types of fluids were recognized in the São Jorge deposit from fluid inclusion studies: 1) low-middle-salinity aqueous H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl fluid, interpreted as meteoric water; 2) middle-salinity aqueous H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub>-MgCl<sub>2</sub> fluid, with homogenization temperature ranging from 120 to 230°C, interpreted as magmatic brines; and 3) low-middle-salinity aquocarbonic H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl fluid, with homogenization temperature ranging from 260 to 350°C, probably of magmatic or metamorphic origin. The magmatic saline aqueous fluid was interpreted as the ore fluid which transported the metals (mainly gold), the chlorine, and the oxidized sulphur (SO<sub>2</sub>), concentrated in the residual phase of a

granitic magma, whereas the aquocarbonic fluid transported the majority of CO<sub>2</sub> and the reduced sulphur (H<sub>2</sub>S). The temperature and pressure conditions for the São Jorge gold deposit were established by combination of hydrothermal chlorite geothermometry and isochore calculated from the fluid inclusion microthermometric data. The temperature values for trapping the ore fluids range from 280°C to 360°C and the pressures vary from 1.35 to 3.6 kb. Such a temperature condition favors the gold transport as tiocomplexes. Early oxidation process brought about an increase of fO<sub>2</sub> and magnetite formation which favored first generation of gold deposition. The mixing of ore fluid with aquocarbonic fluid and meteoric water and fluid-rock interaction, with associated phyllic and sulfidation alteration reactions, caused increasing of fO<sub>2</sub> and reduction of pH, fS<sub>2</sub> and temperature which triggered the main gold precipitation in transtension sites of shear zone. The veining style of the São Jorge deposit, the host granitic rocks of the ore, the kinds of hydrothermal alterations, the Au(Cu-Zn-Pb-Bi) metallic association and the ore fluid of magmatic filliation, are consistent to a genetic relationship between the gold deposit and granitic magmatism (intrusion-related gold deposit). On the other hand, the structural control of the ore bodies and the occurrence of aquocarbonic fluid with higher homogenization temperature, deep-collected by the shear zone, hold up the mesozonal orogenic model. Such a characteristics support a hybrid genetic model for the São Jorge gold deposit, in which the granite supplied the ore fluid, the metals and heat to move the hydrothermal system, whereas the shear zone provided the aquocarbonic fluid, the flow paths for the fluids and the structural traps for ore deposition. Since the shear zone had affected the Yong São Jorge granite, the genetic relationship between the gold deposit and that granite, though possible, is little probable. Another more consistent possibility as magmatic source for the São Jorge ore fluid would be a younger granite, as the Maloquinha granite, 14 to 27 Ma younger, which occurs in the whole Tapajós Province and also neighborhood São Jorge area.

Keywords: Tapajós-Gold. São Jorge Granite. Shear zone.