



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ROCHAS HOSPEDEIRAS, ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E
AVALIAÇÃO DO BALANÇO GEOQUÍMICO DE MASSA DO
DEPÓSITO AURÍFERO TOCANTINZINHO, PROVÍNCIA DO
TAPAJÓS-PA**

Dissertação apresentada por:

ÉRIKA SUELLEN BARBOSA SANTIAGO

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Netuno Nobre Villas (UFPA)

BELÉM

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ROCHAS HOSPEDEIRAS, ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E
AVALIAÇÃO DO BALANÇO GEOQUÍMICO DE MASSA DO
DEPÓSITO AURÍFERO TOCANTINZINHO, PROVÍNCIA DO
TAPAJÓS-PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ÉRIKA SUELLEN BARBOSA SANTIAGO

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

Data de Aprovação: 05 / 03 /2012

Banca Examinadora:

Prof. Dr. RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS
(Orientador-UFPA)

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

Prof. Dr. RÉGIS MUNHOZ KRÁS BORGES
(Membro-UFPA)

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

S235r Santiago, Érika Suellen Barbosa

Rochas hospedeiras, alteração hidrotermal e avaliação do balanço geoquímico de massa do Depósito Aurífero Tocantinzinho, Província do Tapajós-PA / Érika Suellen Barbosa Santiago; Orientador: Raimundo Netuno Nobre Villas – 2012
xxii,125 f.: il.

Dissertação (mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

1. Metalogenia – Província do Tapajós (PA). 2. Depósito Tocantinzinho. 3. Rochas graníticas. 4. Alteração hidrotermal. 6. Balanço de massa. I. Villas, Raimundo Netuno Nobre, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 553.1098115

*Aos meus pais Emanuel (in memoriam) e Silvia Santiago,
à minha irmã Ellen Santiago
e à vovó Alcinda Barbosa*

AGRADECIMENTOS

- A **Deus** pelo dom da vida, por ter possibilitado mais esta graça alcançada, pelos dons do Espírito Santo, especialmente pelos dons da sabedoria, discernimento, ciência e fortaleza;
- À minha amada mãe, de quem serei eternamente grata pela educação dada, pelos momentos maravilhosos e pelos ruins, por ter me ensinado que, apesar das adversidades da vida, lutar com honra e dignidade a torna sublime. À minha, também amada, maninha Ellen não apenas pelo companheirismo e amor mútuo, mas também por sempre aturar minhas rabugices, chatices e nossas brigas rotineiras;
- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências (IG), em especial, ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), pela infraestrutura disponibilizada;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, aos projetos INCT de Geociências da Amazônia-Geociam (CNPq) e Mineralizações auríferas da região Jamanxim-Tropas, Província do Tapajós: tipologia e gênese (FAPESPA) pelo suporte financeiro;
- Ao Prof. Dr. Netuno Villas que, ao longo desses anos, sempre se dispôs a me ajudar, pelos seus ensinamentos, incentivos, orientações e, sobretudo, à sua amizade, paciência e confiança, os quais sempre carregarei comigo;
- Às empresas de mineração Jaguar Resources Corporation e Unamgen S/A, em particular aos geólogos Elton Pereira e Ruperto Castro, pelo apoio logístico, cessão dos testemunhos de furos de sondagem e material cartográfico viabilizando a execução deste trabalho;
- Aos técnicos do IG-UFPA: Ana Paula (LABMEV), Joelma Lobo (Laminação) e Natalino Siqueira (Laboratório de Hidroquímica) pela ajuda e disposição imprescindíveis para realização deste trabalho;
- Ao técnico Marcus Mansueto (Laboratório de Microsonda Eletrônica IG-USP) pelo apoio durante a seção de microsonda eletrônica;
- Aos professores Drs. Joel Macambira e Roberto Dall’Agnol pelo tempo reservado a me ajudar na petrografia e minerografia e Cláudio Lamarão pelas várias sessões de MEV que puderam ser a mim concedidas;
- À banca avaliadora desta dissertação composta pelos professores Drs. Régis Munhoz Krás Borges (UFPA) e Valmir da Silva Souza (UnB);

- Às amigas geólogas Aline Vieira, Carla Barreto e Mayara Teixeira pela sincera amizade, paciência, tanto nos momentos sérios, como nos de descontração, e ao geólogo Fábio Domingos por seu suporte no ArcGis durante a confecção dos mapas;
- Por fim, àqueles que indiretamente colaboraram para que eu concluísse com êxito mais esta etapa da minha vida.

Grata!

*"Foi o
tempo que
dedicastes
à tua rosa
que fez tua rosa
tão importante."
(O Pequeno Príncipe –
Antoine De Saint-Exupéry)*

RESUMO

O depósito Tocantinzinho localiza-se na porção central da Província Aurífera do Tapajós (PAT), dentro do lineamento Tocantinzinho (NW-SE), e dista cerca de 200 km a sudoeste da cidade de Itaituba (PA). O granito hospedeiro (2,0 Ga) é constituído por rochas granitoides diversas, porém monzogranitos são dominantes, os quais, juntamente com sienogranitos e álcali-feldspato granitos subordinados, representam suas fácies mais evoluídas. Trata-se de um *stock* alongado na direção NW-SE, interpretado como tardiorogênico a pós-colisional, cujo magma foi alojado a profundidades de 6-9 km e cristalizado em condições de fO_2 intermediárias (tipo oxidado da série ilmenita). Foi relacionado aos estágios finais da orogênese Cuiú-Cuiú, à semelhança do Monzogranito Jamanxim, de mesma idade. Os granitoides foram agrupados, de acordo com o grau de alteração, em (1) pouco alterados (5-10% de minerais hidrotermais) e (2) moderadamente alterados (10-30% de minerais de alteração), estes designados informalmente de salame e *smoky*, e principais hospedeiros do minério. As variedades pouco alteradas revelam, em geral, textura hipidiomórfica a alotriomórfica média a grossa com arranjos poiquilítico e *rapakivi* locais. Essencialmente isótropas, são constituídas de microclina (41 a 50%), quartzo (21 a 33%) e oligoclásio (An_{28-29}) (22 a 36%), além de biotita (1,5 a 8%) e Fe-edenita (0 a 2%) como minerais varietais. Zircão, magnetita, apatita, allanita, monazita, U-thorita e titanita formam a suíte de fases acessórias primárias. Essas rochas são meta a peraluminosas e de afinidade shoshonítica, mostram baixos teores de CaO (<1,6%) e MgO (<0,5%), razões Fe_2O_3/FeO na faixa de 0,44-0,55 e razões K_2O/Na_2O com valor médio de 1,29. Apesar das marcantes diferenças macroscópicas, as variedades salame e *smoky* revelam notáveis similaridades mineralógicas e químicas, à parte as razões Fe_2O_3/FeO e conteúdos de Na_2O e MgO. As texturas magmáticas foram moderada a severamente mascaradas, especialmente em zonas catacladas. A alteração hidrotermal das rochas granitoides, embora generalizada, é fraca a moderada. Foram descritos, em ordem cronológica, os seguintes tipos: cloritização, sericitização, silicificação e carbonatação. Os dois primeiros foram ubíquos, enquanto que os dois últimos são de ocorrência mais local e estão representados por vênulas de preenchimento. Os produtos hidrotermais comumente substituem minerais primários ou são constituintes de veios/vênulas mono e poliminerálicos. A mineralização é representada por ouro, pirita, calcopirita, esfalerita e galena, estando intimamente associada à sericitização em estilo predominantemente *stockwork*. O estágio hidrotermal iniciou com a cloritização (chamosita) a temperaturas em torno de 315-330°C, evoluindo para sericitização, na qual os fluidos

hidrotermais, que transportavam Cu-Zn-Pb-Au, teriam precipitado os sulfetos e ouro devido ao aumento do pH e das atividades das espécies de S. À medida que a alteração avançou, a sílica em solução foi precipitada como quartzo em vênulas em decorrência da diminuição da temperatura e aumento do pH. No estágio mais tardio (carbonatação), provavelmente houve mistura entre fluidos aquosos e aquocarbônicos, o que teria provocado a reação entre Ca^{2+} e CO_2 e formado calcita. Em geral, a pouca abundância de minerais de alteração é indicativa de que o paleossistema Tocantinzinho foi dominado pelo ambiente mineralógico, implicando baixas razões fluido/rocha. Diferenças químicas observadas na clorita mostram que ora os minerais destruídos, ora a composição dos fluidos, além da temperatura, foram os agentes controladores mais importantes para sua composição. Cálculos de balanço de massa mostraram que o paleossistema hidrotermal Tocantinzinho pode ter evoluído com variação de volume (redução seguida de expansão) sem, entretanto, ter excedido 10%. A transferência de componentes dependeu do tipo de alteração e variedade considerada, mas, em geral, as rochas registraram perdas de Al_2O_3 , FeO, Na_2O , CaO, Ba e Sr, e ganhos de Fe_2O_3 , S, voláteis e Rb. Potássio foi pouco mobilizado durante a cloritização e sericitização, mas contabilizou perdas significativas na carbonatação e silicificação, enquanto que SiO_2 foi o componente mais suscetível ao fator volume escolhido. Os fluidos foram pouco eficazes para mobilizar os ETR, que exibem similar padrão de distribuição a despeito do grau de alteração. Foram estimados para cada m^3 de rocha alterada perdas ou ganhos entre 210 e 330 kg, registrando-se na variedade *smoky* maior troca de massa nos diversos tipos de alteração, exceto na cloritização. Principais contribuições à transferência de massa entre os fluidos e o corpo granítico são devidas a SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO. O depósito Tocantinzinho mostra características similares aos depósitos Batalha, São Jorge e do campo Cuiú-Cuiú da PAT. Embora ainda haja carência de importantes dados para consubstanciar um modelo genético, tipologicamente este depósito melhor se enquadra nos depósitos auríferos relacionados a intrusões graníticas.

Palavras-chave: Metalogenia –Tapajós, Província de (PA). Depósito Tocantinzinho. Rochas Graníticas. Alteração Hidrotermal. Balanço de Massa.

ABSTRACT

The Tocantinzinho deposit is located in the central part of Tapajós Gold Province (TGP), within the Tocantinzinho shear zone (NW-SE), at about 200 km southwest of Itaituba city, Pará state. The host granite (ca. 2.0 Ga) is made up of several granitoid rocks, though monzogranites are the dominant type and represent together with subordinate syenogranites and alkali feldspar granites the most evolved facies. It is an elongated NW-SE-trending stock that has been interpreted as a late-orogenic to post-collisional intrusion, related to the final stages of the Cuiú-Cuiú orogeny likewise the coeval Jamanxim Monzogranite. The magma was emplaced at depths of 6 to 9 km and crystallized under intermediate fO_2 conditions (oxidized type of the ilmenite series). Two varieties of monzogranite have been recognized according to the alteration degree: a weakly altered variety (5 to 10% of hydrothermal minerals) and a moderately altered variety (10 to 30% of hydrothermal minerals), the latter referred to informally as salami and smoky. In general, the weakly altered samples reveal medium- to coarse granulation and hypidiomorphic to allotriomorphic texture, with local poikilitic and rapakivi features. Essentially isotropic, they are composed of microcline (41 to 50%), quartz (21 to 33%) and oligoclase (An_{28-29}) (22 to 36%), in addition to biotite (1,5 to 8%) and Fe-edenite (0 to 2%). Zircon, magnetite, apatite, allanite, monazite, U-thorite and titanite are the main magmatic accessory phases. The monzogranites are metaluminous to peraluminous and present shoshonitic character, low CaO (<1,6%) and MgO (<0,5%) contents, besides Fe_2O_3/FeO and K_2O/Na_2O ratios that range from 0,44 to 0,55 and from 1,22 to 1,57, respectively. The salami and smoky varieties show remarkable macroscopic differences, but they are mineralogically and chemically very similar, aside the Fe_2O_3/FeO ratios and Na_2O and MgO contents. The magmatic textures have been moderate to severely masked, especially in cataclastic zones. These rock varieties have been altered at different degrees, the most noticeable types being chloritization, sericitization, silicification and carbonatization. The first two are ubiquitous, whereas the others are represented by scattered filling veins/veinlets. The secondary minerals replace commonly primary minerals or are constituents of mono and polymineralic veins/veinlets. The mineralization is represented by gold, pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena, being closely related to sericitization. Stockwork is the most significant mineralization style. The hydrothermal stage started with chloritization at temperatures around 315-330°C when chamosite was produced. Then sericitization was set forth at the same time that the ore-bearing fluids precipitated pyrite,

chalcopyrite, sphalerite, galena and gold in response to the increase of both solution pH and sulfur species activities. As the alteration advanced, silica-saturated solutions moved into fractures where decreasing temperature and H^+ activity favored the deposition of quartz. Later on, aqueous and aqueous-carbonic fluids might have mixed, allowing Ca^{2+} e CO_2 to react to form calcite (carbonatization). Considering the relatively low amounts of hydrothermal products, the Tocantinzinho paleosystem seems to have evolved under low fluid/rock ratios. Chlorite formed continuously with distinct composition most likely controlled by the nature of the replaced mineral, fluid composition and temperature. Mass balance calculations showed that the Tocantinzinho hydrothermal palaeosystem did not evolve isovolumetrically, but may have experienced volume changes no greater than 10%. The transfer of components depended upon the alteration type and rock variety, but, in general, losses of Al_2O_3 , FeO, Na_2O , CaO, Ba and Sr, and gains of Fe_2O_3 , S, volatiles and Rb are recorded. Potassium was largely conserved during chloritization and sericitization, whereas significant losses occurred during silicification and carbonatization. SiO_2 was the most sensitive component to the volume factor chosen. The fluids seemed to have had low capacity of mobilizing REE, whose distribution patterns are very similar despite the alteration degree. Estimates of mass losses or gains per m^3 of rock yielded 210 to 330 kg, the larger amounts being detected in the salami variety, except for chloritization. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and CaO were the components that have mostly contributed to the mass transfer between the fluids and the granitic intrusion. The Tocantinzinho deposit share many similarities with the Batalha and São Jorge deposits, and some prospects of the Cuiú-Cuiú goldfield of the TGP. From the typological point of view, it can be more properly classified as an intrusion-related gold deposit.

Keywords: Metallogeny – Tapajós, Province (PA). Tocantinzinho Deposit, Granitic Rocks, Hydrothermal Alteration, Mass Balance