



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**“A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA DO DEPÓSITO CÓRREGO
DO SÍTIO E SUA RELAÇÃO COM O ENXAME DE DIQUES
METAMÁFICOS NO CORPO CACHORRO BRAVO –
QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG”**

AUTORA: Cecília Germano Porto

ORIENTAÇÃO: Prof^a. Dr^a. Lydia Maria Lobato

CO-ORIENTAÇÃO: Geol. Dr. Armando José Massucatto

Nº 91

**BELO HORIZONTE
22 de fevereiro de 2008**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**“A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA DO DEPÓSITO CÓRREGO
DO SÍTIO E SUA RELAÇÃO COM O ENXAME DE DIQUES
METAMÁFICOS NO CORPO CACHORRO BRAVO –
QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG”**

Autora:

Cecília Germano Porto

Banca Examinadora:

Hardy Jost – Prof. Dr. UNB

Friedrich E. Renger – Prof. Dr. UFMG

Lydia M. Lobato – Prof^a. Dr^a. UFMG (orientadora)

Armando José Massucatto – Geol. Dr. (co-orientador)

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de concentração: Geologia Econômica

Belo Horizonte, 22 de fevereiro de 2008.

Dissertação de mestrado intitulada “A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA do DEPÓSITO CÓRREGO DO SÍTIO e sua relação com o enxame de diques metamáficos NO CORPO CACHORRO BRAVO – QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG”, de Autoria de Cecília Germano Porto, apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Geologia, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Lydia M. Lobato – Prof^a. Dr^a. UFMG - Orientadora

Armando José Massucatto – Geol. Dr. - Coorientador

Hardy Jost – Prof. Dr. UNB

Friedrich E. Renger – Prof. Dr. UFMG

Belo horizonte, 22 de Fevereiro de 2008.

*A coisa mais macia da terra
vence a mais dura.
O que não existe penetra até mesmo
no que não tem frestas.*

Lao Tzu (Tao Te King)

*Ao Jan, por todos os caminhos
que seguimos e seguiremos*

*Aos meus pais, Marino e Angélica,
por terem me ensinado a caminhar*

Agradecimentos

À professora Lydia Maria Lobato, por sua dedicação, entusiasmo e amor à ciência e à pesquisa. Minha eterna admiração. À amiga Lydiá, pela enorme paciência e apoio em meus momentos difíceis, meu carinho e agradecimento.

Ao amigo e co-orientador Armando José Massucatto, pelo compromisso, correções, paciência e conselhos amigos.

À AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda. pela oportunidade e financiamento para a realização deste trabalho.

Aos geólogos Jean-Marc Lopez, Mike Schmulian e Marco Aurélio da Costa, meus incentivadores iniciais. Sem vocês este trabalho não teria sido realizado.

Aos geólogos e professores Carlos Alberto Rosière, Franciscus Baars, Friedrich Renger e Hardy Jost pela inspiração, incentivo e valiosas sugestões. Vocês têm a minha admiração.

Ao geólogo e amigo, Leonardo Henrique de Souza, obrigada pela confiança, oportunidades e amizade. Você também tem a minha admiração.

Aos geólogos 'anglogoldianos' Armando José Massucatto, Luiz Cláudio Lima, Luís Camilo Pinto, José Wilson Soares, Sérgio Kolling, Marcos Antônio da Mata, Eric Ferreira e Ulisses Penha que tanto contribuíram com suas observações, discussões, correções e maravilhosas elocubrações geológicas! E aos geólogos JEDI (Whouhm)!

Aos amigos Luís Carlos, Ulisses, Biota, Rosaline e Alessandro (Frangão), pela amizade, incentivo, haicais, emails, ensinamentos petrográficos, geoestatísticos e de vida! À Larissa que chegou no "finalzinho" mas tanto contribuiu com a amizade e apoio.

À toda equipe de exploração de Córrego do Sítio e da Gerência de Recursos Minerais: Paulo de Tarso, Pablo Noriega, Élio, Hebert, Fred, Fernando Rosa, Alexandre Santiago (valeu o mapa!), Marcela, Olívia, Cida, Nádia, Casarin, Evanildo, Hélder, Douglas, Wagner, José Evelin, Toninho e Rezende. Aos amostradores Ricardo, Marcinho, Toninho, Ednei, Gedeon, Marco Aurélio, José Célio, Moisés, José Maria, Gilcimar, Denner, Walington, José Geraldo e Erbem por tantas caixas e amostras carregadas. Obrigada pelo esforço e amizade.

Ao Fernando, por tantas lâminas, sempre prestativo. E à Vale, através de Henry Galbiatti, Elba Caldeira e Patrícia Procópio que gentilmente identificaram e cederam uma amostra de dique metamáfico em sondagem realizada na mina de Brucutu.

À minha família que tanto amo: meus pais, minha irmã Maria Teresa (Popi), minhas tias e primos. Obrigada pela paciência, incentivo e compreensão na minha ausência. Por terem se cansado de ouvir: " - não posso, tô fazendo mestrado..." Ah...e aos meus totós! :) Pura alegria!

Às minhas amigas Claudinha e Lucília. Pelo incentivo, força e companheirismo. Amizade que vale a vida!

Aos amigos de sempre e sempre muito queridos: Carol, Juliano, Juliana, Iarina, Giovana, Jucota, Val e Andréa.

Ao JAN, por tudo o que fomos, somos e seremos. Meu beijo e carinho eterno.

Enfim, a todos aqueles que por falha minha não mencionei, mas que de coração agradeço. A todos os seres que contribuíram para a realização deste trabalho, à energia criadora do Universo e em especial à Gaia, nossa Mãe-Terra, a quem devemos a existência. Sua beleza e mistério é que nos torna geólogos...

OBRIGADA!

RESUMO

O lineamento Córrego do Sítio localiza-se no *greenstone belt* Rio das Velhas (GBRV), Quadrilátero Ferrífero e tem o corpo Cachorro Bravo como seu principal alvo mineralizado. É um depósito aurífero do tipo orogênico, no sentido de Groves *et al.* (1998). Os corpos mineralizados (*lodes*) são de origem hidrotermal, caracterizados por veios de quartzo e carbonato com sulfetação disseminada no contato com as encaixantes, em uma complexa estruturação local. Os corpos mineralizados estão alojados em rochas metassedimentares clásticas turbidíticas, de porções superiores do GBRV. Esta pesquisa desenvolve-se no corpo Cachorro Bravo no qual a mineralização está hospedada em rochas metassedimentares entre enxames de diques metamáficos. A mineralização apresenta distintas associações mineralógicas se próximas ou afastadas desses diques. A alteração hidrotermal é descontínua nos níveis metassedimentares com o predomínio de carbonatação no halo intermediário e sericitização no halo proximal. Nas zonas mineralizadas junto aos *lodes* de quartzo ocorre sulfetação de arsenopirita e pirita arsênica, principalmente. Próximo aos diques metamáficos, a alteração hidrotermal é dos tipos cloritização, carbonatação e sericitização, com rutilo e titanita hidrotermais. O principal sulfeto, arsenopirita, é formado a partir do consumo da pirrotita. O ouro ocorre associado à arsenopirita. Minerais de antimônio (berthierita e estibinita) fazem parte da paragênese da alteração hidrotermal e da mineralização, o que sugere que a mineralização foi de ambiente mais raso, na transição entre o mesozonal e epizonal, ainda não registrado para depósitos auríferos, no Grupo Nova Lima, GBRV. Ocorrem três principais famílias de estruturas no corpo Cachorro Bravo. O acamamento dos litotipos metassedimentares (S_0) é o primeiro elemento planar, facilmente observado. Toda a seqüência metassedimentar está deformada por um dobramento (F_n) que imprimiu uma foliação (S_n), plano-axial, a principal foliação local. Sobrepondo-se a foliação S_n ocorre uma clivagem de crenulação espaçada (S_{n+1}). Um terceiro plano de foliação é observado e sua ordem cronológica anterior ou posterior a S_{n+1} ainda é dúbia. Algumas rochas do lineamento foram submetidas a intensos processos de alteração hidrotermal que causaram a obliteração completa de seus protólitos e produziram uma associação hidrotermal a quartzo, carbonato, mica branca e clorita. Após análise multielementar foi possível definir os elementos Cr, Ni e P como bons marcadores de seus distintos protólitos, metassedimentares e ígneos.

ABSTRACT

Córrego do Sítio lineament is located in the Rio das Velhas greenstone belt (GBRV), Quadrilátero Ferrífero, Brazil and Cachorro Bravo is its principal orebody. It is an orogenic gold deposit as defined by Groves *et al.* (1998). The gold-only lodes are of hydrothermal origin and is characterized by quartz-carbonate veins with sulphidation in the wall rocks contact. The orebodies are hosted by clastic and turbiditic metasedimentary rocks of the upper portions of the GBRV. This research is developed at Cachorro Bravo orebody and its mineralization occurs in the metasedimentary sequences between mafic dykes swarms. There are two different mineralogical associations if near or far from these dykes. Hydrothermal alteration is discontinuous in metasedimentary sequences prevailing carbonatization in distal halos and sericitization in proximal halos. Sulphides of the lodes are mainly arsenic-pyrite and arsenopyrite. Near to the dyke contacts, hydrothermal alteration is represented by chloritization, carbonatization, sericitization and hydrothermal rutile and titanite. Arsenopyrite formed after pyrrhotite. On both styles, gold is associated to arsenopyrite. The presence of antimonious minerals (berthierite and stibnite) suggests that the mineralization at Córrego do Sítio took place in a shallow environment, transition from mesozonal to epizonal, so far not registered in the Rio da Velhas greenstone belt. Local structures are a complex and there are three main structure families in Cachorro Bravo orebody. Bedding (S_0) is easily observed in the metasedimentary sequences and underwent a deformation folding event (F_n) which prints an axial-planar foliation (S_n). Overprinting S_n occurs a spaced crenulation clivage (S_{n+1}). Another foliation plan is observed but its cronology before or after S_{n+1} is not understood yet. Some of the rocks in Corrego do Sítio were submitted to intense hydrothermal alteration and transformed into a quartz-carbonate-white mica-chlorite association. Their protolites became unclear but by multi-elementar analysis it was possible to define Cr, Ni and P as guide of their metasedimentary and igneous origin.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Localização da área (montagem em imagem IKONOS e fotografias aéreas)..... 19
- Figura 2** – Localização da área e principais vias de acesso. Cuiabá e Córrego do Sítio, em destaque, são minas da AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda. no Quadrilátero Ferrífero, MG. ... 24
- Figura 3** – Representação esquemática dos ambientes crustais de depósitos auríferos hidrotermais. Do lado direito da figura, os ambientes orogênicos, típicos de depósitos auríferos em Gb. Do lado esquerdo estão caracterizados os depósitos auríferos em ambientes distensionais (*in Groves et al., 1998*). 26
- Figura 4** – Cronologia dos eventos magmáticos registrados no greenstone belt Rio das Velhas baseado em idades U-Pb. As linhas contínuas representam o intervalo de tempo entre as idades mais antigas e mais novas, as tracejadas os erros das idades. (Modificado de Lobato *et al.*, 2007) 31
- Figura 5** – Mapa Geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero (Modificado de Dorr (1969), Ladeira (1980), Renger et al (1994). O lineamento Córrego do Sítio está localizado na porção NE, no 10. 32
- Figura 6** – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero que mostra a distribuição das associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas (GBRV). Modificado de Zuchetti et al (1998). 34
- Figura 7** – Coluna estratigráfica idealizada para o greenstone belt Rio das Velhas (Zucchetti et al, 1998) 35
- Figura 8** – Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Alkmim & Marshak, 1998). 36
- Figura 9** – Ambiência geotectônica e ciclos estratigráficos associados (modificado de Baltazar & Zucchetti, 2007). 38
- Figura 10** – Porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Lobato et al, 2001 a)..... 40
- Figura 11** – Mapa geológico do lineamento de Córrego do Sítio e proximidades. O lineamento é composto pelos alvos mineralizados de sul (Grotta Funda) a norte (Bocaina). Mapa base de Pinto (1989) e de Zucchetti et al (1998), modificado por Costa (2004), Lopez (2005) e Porto & Lima (2006). Interno/AGABM. 44
- Figura 12** – Estereogramas polares do acamamento S0 do domínio do lineamento Córrego do Sítio. *Software Georient.* 52
- Figura 13** – Estereograma polar de medidas de foliação S_n da área do corpo Cachorro Bravo, Córrego do Sítio. *Software Georient.* 54
- Figura 14** – Estereograma polar de medidas de crenulação S_{n+1} da região de Córrego do Sítio. *Software Georient.* 56
- Figura 15** – Seção esquemática NW-SE do corpo Cachorro Bravo. As lentes mineralizadas ocorrem preferencialmente na capa (série 300) e entre os diques metamáficos (série 200). Algumas lentes menos expressivas ocorrem na lapa do dique..... 58
- Figura 16** – Perfil esquemático dos dois furos de sondagem amostrados. Notar que o furo FCS628 está mineralizado entre os diques metamáficos (proximal). O furo FCS814 não contém mineralização neste intervalo (distal). 71

- Figura 17** – Fluxograma esquemático da origem da formação de arsenopirita nos litotipos metassedimentares próximos ou afastados dos diques metamáficos, a partir da pirrotita e da pirita, respectivamente. O fluxograma exemplifica também a seqüência da 1ª geração (arsenopirita euhédrica a subhédrica) e da 2ª geração (arsenopirita acicular ou prismática, fina, euhédrica e límpida). 86
- Figura 18** – *a e b*: Padrões de ETR normalizados ao condrito dos metapelitos e metapsamitos do corpo Cachorro Bravo, no depósito Córrego do Sítio. Amostras alteradas são próximas das zonas mineralizadas e as inalteradas, afastadas. *c*: Padrões de ETR normalizados ao condrito para as rochas metassedimentares do *Greenstone belt* neoarqueano de Yellowknife, Canadá (*in* Taylor & McLennan, 1985). 95
- Figura 19** – Diagrama de classificação de rochas vulcânicas de Cox *et al.* (1979) para as amostras de diques metamáficos do corpo Cachorro Bravo, lineamento de Córrego do Sítio. Não foi feita distinção de amostras próximas ou afastadas das zonas mineralizadas para este diagrama. 97
- Figura 20** – Padrões de ETR normalizados ao condrito, dos diferentes diques metamáficos do lineamento Córrego do Sítio. Destacadas em círculo vermelho as amostras de diques DB3 que apresentam intensa alteração hidrotermal. 98
- Figura 21** – Padrões de ETR normalizados ao condrito, dos diques metamáficos em diferentes áreas do Quadrilátero Ferrífero. 99
- Figura 22** – Concentração de Cr, Ni e P em amostras interpretadas como diques DB3. As amostras 969, 970 e 971 sugerem protólito metassedimentar e as demais, protólito ígneo máfico. 101
- Figura 23** – Gráficos de correlação de Au vs As, S, Sb, Hg, Ba e Cu. Note que 10.000 ppm é o limite superior de detecção de As pelo método analítico utilizado. 102
- Figura 24** – Correlação dos teores de As com a porcentagem de arsenopirita nas amostras mineralizadas. Teores de As > 6.000 ppm correspondem a porcentagem de Aspy > 4%. (10.000 ppm de As é o limite superior de detecção do método analítico utilizado). 103
- Figura 25** – Gráficos de correlação de Au vs Mg, F, P e Ti. Todos elementos apresentam correlação negativa. 103
- Figura 26** – Perfil geoquímico dos elementos As, Ni, Cu, Sb, P, Cr e S ao longo da sondagem diamantada FCS628. MG – metagrauvaca, RP – metapelito, RPP – metarritmito pelítico-psamítico, ZTP – zona de transição pelítica, DB1 – dique metamáfico, DB3 – dique com protólito alterado hidrotermalmente. 104
- Figura 27** – Principais halos de alteração hidrotermal no corpo Cachorro Bravo, lineamento de Córrego do Sítio. Notar que vários halos são intermitentes/descontínuos nas rochas metassedimentares. *a* caracteriza a alteração hidrotermal e a mineralização no contexto das rochas metassedimentares. *b* caracteriza a alteração hidrotermal e a mineralização no contexto das rochas metassedimentares entre os diques metamáficos. Figura esquemática, sem escala. 106
- Figura 28** – Distribuição dos minerais de alteração (exceto matéria carbonosa, que é mineral constituinte original) nas rochas hospedeiras metassedimentares em halos distais, intermediários e proximais à mineralização. Halos distais e intermediários são mais raros e ocorrem preferencialmente quando a mineralização está hospedada em metagrauvaca. Outros sulfetos são esfalerita, calcopirita, tetraedrita e galena, principalmente. Arsenopirita subh (subhédrica), arsenopirita euh (euédrica). ... 111
- Figura 29** – Tipos de alteração hidrotermal em zonas mineralizadas nos litotipos metassedimentares próximos a diques metamáficos. A cloritização e a carbonatação são mais expressivas e ocorre turmalina e minerais de titânio. 113

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

