



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**AMBIENTE DEPOSICIONAL, COMPOSIÇÃO
MINERALÓGICA E ESTUDO ISOTÓPICO Pb-Pb DAS
ZONAS SULFETADAS DO ALVO SÃO MARTIM,
CINTURÃO ARAGUAIA, SUL DO PARÁ**

TESE APRESENTADA POR

ADERSON DAVID PIRES DE LIMA

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

Data de Aprovação: **07 / 07 / 2004**

Comitê de Tese:



RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS (Orientador)



BASILE KOTSCHOUBEY



MARCEL AUGUSTE DARDENNE

Belém

RESUMO

O Alvo São Martim (ASM) situa-se a cerca de 35 km a SE de Redenção (PA), na borda oeste do Cinturão Araguaia (CA). Testemunhos de furos de sondagem revelam zonas ricas em sulfetos, que foram estudadas com ênfase nas rochas hospedeiras, modo de ocorrência, constituição e feições texturais, bem como na composição isotópica do Pb e fluidos hidrotermais à época da diagênese.

O pacote sedimentar hospedeiro, pertencente à Formação Couto Magalhães, foi depositado sobre um embasamento arqueano com abundantes formações ferríferas bandadas. Tem pelo menos 800 m de espessura e revela metamorfismo nulo a incipiente. Siltitos, com intercalações centimétricas a decamétricas de arenitos finos, calcários, diamictitos e rochas rudáceas constituem os membros intermediário e superior do pacote, o qual também hospeda soleiras decimétricas a métricas de diabásio.

Os siltitos são compostos por quartzo, argilo-minerais e calcita, ocorrendo comumente tipos laminados e maciços, que contêm localmente finos cristais de sulfetos disseminados acompanhando o acamamento (mineralização estratiforme). Arenitos finos com matriz argilosa e cimento carbonático são compostos essencialmente por quartzo, calcita, plagiocásio e sílex, tendo pirita, calcopirita, hematita e titanita como principais acessórios. Os calcários, formados por micritos e esparitos, possuem intervalos com expressivas contribuições de sedimento detrítico (clastos de quartzo, sílex e rocha quartzo-carbonática) e material carbonoso, com restritas ocorrências de pirita. Os diamictitos negros e verdes consistem de clastos de quartzo, sílex, calcário, rocha quartzo-carbonática e silito suportados por matriz fina. Na variedade negra destacam-se sulfetos disseminados e imersos em matriz formada por material carbonoso (querogênio a grafita) e caulinita, onde também ocorrem grãos finos de F-apatita, barita, plagioclásio, e menos comumente de muscovita, anidrita, titanita e um aluminossilicato de Na (albita?). A gipsita também ocorre nestas rochas tanto como veio/leito ou substituindo a pirita. Já os ruditos têm cor cinza e são constituídas por fragmentos de pirita, sílex e calcita em meio a faixas ricas em estilpnomelano, clorita e argilo-minerais, além de calcita que ocorre em vênulas e em interstícios minerais.

O ambiente deposicional é de zonas de talude, tendo sido os sedimentos transportados tanto por correntes de turbidez quanto por fluxo de detritos (*debris flows*). Sismos foram considerados os agentes deflagradores desses fluxos gravitacionais.

Nos diamictitos negros os sulfetos consistem de pirita e, subordinadamente, calcopirita e esfalerita, ocorrendo barita, quartzo, gipsita, calcita, F-apatita, aluminossilicato de Na (?) e titanita como principais minerais de ganga. A pirita e calcopirita ocorrem como clastos e em cristais neoformados dentro da matriz carbonosa, e também em fragmentos líticos e em vênulas. A pirita ainda apresenta-se com *habitus* framboidal de dimensões submicroscópicas, enquanto a esfalerita forma grãos anédricos associados às outras variedades de pirita.

Nas rochas rudáceas destacam-se pirita (dominante), esfalerita, calcopirita e galena, além de bornita/digenita como produto de alteração supergênica. A pirita ocorre como clastos, cristais isolados e agregados, alguns framboidais, em microfraturas e em planos de clivagem da calcita. Os clastos apresentam textura esquelética e fraturas preenchidas por calcita, a partir das quais se dá a substituição do sulfeto pelo carbonato. O modo de ocorrência dos cristais é semelhante àquele nos diamictitos negros. A calcopirita está sempre associada à pirita, da mesma maneira que a esfalerita e a galena, as quais mostram formas irregulares e também ocorrem isoladamente. Minerais de ganga como F-apatita e barita são comuns, juntos a quantidades menores de alanita, monazita, xenotima, sericita, titanita e albita.

Dados isotópicos de pirita foram usados no modelo em estágio duplo de evolução do Pb, fornecendo idades que majoritariamente ocupam o intervalo de 440 e 720 Ma, compatíveis, portanto, com a idade de estruturação do CA. Fontes diversas são indicadas para o Pb.

Temperaturas de homogeneização entre 88 e 110°C obtidas em inclusões fluidas aprisionadas em cristais de calcita dos diamictitos negros, bem como as de maturação do querogênio (~150°C), são consistentes com a ausência de metamorfismo nas rochas hospedeiras do ASM. Assumindo-se um gradiente térmico de 30-35°C/km no tempo de formação da bacia, uma profundidade de cerca de 2-3 km pôde ser estimada para os processos diagenéticos neste Alvo.

Três fases evolutivas (a autóctone I, a alóctone e a autóctone II) compõem o modelo metalogenético proposto para o depósito de São Martim. Na primeira formaram-se os sulfetos estratiformes sin-sedimentares, na segunda (fase principal) houve o dismantelamento de depósitos exalativos formados nas circunvizinhanças, tendo os sulfetos e outros minerais sido transportados como clastos para dentro da bacia e na última processos diagenéticos não só produziram novos sulfetos, mas, sobretudo, recristalizaram muitos dos preexistentes. A contribuição diagenética foi, entretanto, quantitativamente a menos importante, pouco acrescentando à reconhecida fraca mineralização do ASM. A baixa produção de espécies reduzidas de enxofre é apontada como a principal causa do carácter subeconômico do depósito, aliada a áreas-fonte que não têm se revelado pródigas em metais-base.

A despeito de algumas semelhanças com os depósitos tipo Kupferschiefer, as diferenças são muito mais significativas, o que deixa o Alvo São Martim muito à margem deste clássico exemplo de sulfetos singenéticos hospedados em seqüências sedimentares.

ABSTRACT

The São Martim Prospect is located at about 35 km southeast of Redenção, Pará state, in the western part of the Neoproterozoic Araguaia belt. Drill hole cores reveal sulfide-rich zones hosted by an essentially clastic sedimentary sequence. The knowledge of their host rocks, mode of occurrence, mineralogical composition and textural features, as well as Pb isotopic composition and hydrothermal fluids was the main purpose of this study.

The unmetamorphosed or incipiently metamorphosed host sequence that belongs to the Couto Magalhães Formation overlies banded iron-formations of the Archean basement and has at least 800m of thickness. Siltstones, fine-grained sandstones, limestones, diamictites and rudaceous rocks make up the medium and upper members of the sedimentary pile, where intrusive diabase sills are common.

Massive and laminated siltstones are composed of quartz, clay minerals and calcite. Minor disseminated pyrite occurs on bedding planes (stratiform mineralization). Sandstones with clayey matrix and carbonate cement show quartz, calcite, plagioclase and fine-grained silica as the main minerals, besides chalcopryite, hematite and titanite that are the most important accessory phases. The limestones, composed of micrites and sparites, are intercalated with terrigenous rocks and carbonaceous material in which small concentrations of sulfides are present. Black and greenish diamictites consist of clasts of quartz, chert, limestone and siltstone supported by a fine matrix with submicroscopic grains of calcite and plagioclase. Disseminated sulfides are common in the black variety, being immersed in a carbonaceous matrix (kerogen to graphite). The greenish rudaceous rocks are made up of chert and calcite clasts associated with contorted strips of stilpnomelane, chlorite, calcite and clay-minerals. Calcite also fills fractures and mineral interstices.

The clastic sediments were transported by gravitational flows (turbidity currents and debris flows), most likely triggered by seismicity, and accumulated on the basin slopes.

In the black diamictites, pyrite is the major sulfide accompanied by subordinate amounts of chalcopryite and galena. Barite, quartz, calcite, F-apatite, albite and titanite

are the main gangue minerals. Pyrite and chalcopyrite occur both as clasts and neoformed grains in the carbonaceous matrix. They are also constituents of lithic clasts and veinlets. Submicroscopic framboidal pyrite is also present, whereas sphalerite is associated with all the other pyrite varieties.

Among the sulfides in the rudites pyrite is dominant, followed by sphalerite, chalcopyrite and galena. Bornite/digenite occurs as supergene products. The most common gangue minerals are barite and F-apatite, but minor amounts of allanite, xenotime, monazite, sericite, titanite and albite are also observed. Pyrite occurs as clasts, isolated grains and aggregates, some of them with framboidal aspect, as well as in microfractures and cleavage planes of calcite. The clasts generally present skeletal texture and fractures filled with calcite, whereas the crystals have similar mode of occurrence as that in the diamictites. The other sulfides always occur associated with pyrite, but galena and sphalerite also form individual grains.

Lead isotope data on pyrite used in the double stage Stacey-Krammer's evolution diagram yield most model ages in the 720-440 Ma range which is in agreement with formation age of the Araguaia belt. Multiple sources are indicated for lead.

Homogeneization temperatures of 88-110°C obtained in fluid inclusions trapped in calcite crystals of the black diamictites and the maturation temperature of the kerogen ($\approx 150^\circ\text{C}$) are consistent the virtually absence of metamorphism in the São Martim host rocks. Assuming a thermal gradient of 30-35°C/km at the formation time of the basin, a thickness of 2-3 km could be estimated for the diagenetic processes in this prospect.

Three evolving phases (autochton I, allochton and autochton II) are distinguished in the metalogenetic model proposed for the São Martim prospect. Stratiform syn-sedimentary sulfides were formed in the first phase, while the dismembering of nearby exhalative deposits caused sulfides and other minerals to be transported as clasts into the basin, characterizing the second and main phase. During the diagenesis (third phase), new sulfides were produced and preexisting ones were largely recrystallized. However, the diagenetic contribution was quantitatively the least important to the recognized weak mineralization of São Martim. Low levels of reduced sulfur species in the fluids may have accounted for the subeconomic value of the deposit, combined with the potential source areas that seem to be poor in base metals.

Despite some similarities with the Kupferschiefer deposits, the differences are so much more striking that the comparison with these classical syn-sedimentary sulfides is greatly weakened.