



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 525**

**ESTUDOS ISOTÓPICOS (Pb E Nd) E DE QUÍMICA MINERAL  
DO DEPÓSITO AURÍFERO CIPOEIRO, CINTURÃO GURUPI,  
ESTADO DO MARANHÃO**

**Dissertação apresentada por:**

**CHAFIC RACHID EL-HUSNY NETO**

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

---

**BELÉM  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

El-Husny Neto, Chafic Rachid, 1989-

Estudos isotópicos (Pb e Nd) e de química mineral do depósito aurífero Cipoeiro, Cinturão Gurupi, estado do Maranhão / Chafic Rachid El-Husny Neto. – 2018

xv, 62 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Evandro Luiz Klein

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2018.

1. Geologia isotópica – Maranhão. 2. Metalogenia – Maranhão. 3. Química mineralógica - Maranhão. 4. Ouro - Maranhão. 5. Teluretos – Maranhão. I. Título.

---

CDD 22. ed.: 541.388098121

Elaborado por  
Hélio Braga Martins  
CRB-2/698



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

**ESTUDOS ISOTÓPICOS (Pb E Nd) E DE QUÍMICA MINERAL  
DO DEPÓSITO AURÍFERO CIPOEIRO, CINTURÃO GURUPI,  
ESTADO DO MARANHÃO**


**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**


**CHAFIC RACHID EL-HUSNY NETO**


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

**Data de Aprovação: 27 / 04 / 2018**

Banca Examinadora:

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

  
Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura  
(Membro - UFPA)

  
Prof. Dr. José Carlos Frantz  
(Membro - UFRGS)

Aos meus pais e avós.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força ao longo de minha caminhada;

À minha família, principalmente meus pais, Lourdes e Chafic Filho, pelo apoio incondicional que sempre me deram, e aos meus avós Ely e Eduardo, pelo carinho e por me acolherem tanto tempo.

Ao professor Dr. Evandro Luiz Klein, pela orientação, contribuição, paciência e tempo a mim dedicados, indispensável para a concretização deste trabalho;

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG-UFGPA) e ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica-PPGG, pela infraestrutura acadêmica, apoio financeiro e técnico;

À JAGUAR MINING, pelo acesso aos testemunhos;

À Cláudia Ozela, pelo incentivo, paciência, amizade, carinho e compreensão;

Ao professor Dr. Jean Michel Lafon, e ao laboratório Pará-Iso pelo suporte na análise e preparação de amostras;

Ao professor Dr. Cláudio Lamarão, e ao laboratório de Microanálises da UFPA e seus membros Gisele Marques e Ana Paula Correa, pelo apoio técnico durante as etapas laboratoriais;

Aos meus amigos e irmãos Aldemir e Paulo Rodrigues, e aos amigos Carlos Alberto, João Victor, Juvenal, Rafael Estumano, Luísa, Bruna, Renato, e aos demais, que fizeram parte e me ajudaram de alguma forma;

Ao CNPq pela bolsa de estudos durante o desenvolvimento do mestrado;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente ao desenvolvimento deste trabalho.

*“ Busca conhecimento do berço à sepultura. ”*

*(Mohammed)*

## RESUMO

O depósito aurífero orogênico de Cipoeiro, localizado no Cinturão Gurupi, Estado do Maranhão, está hospedado em tonalito da Suíte Intrusiva Tromai (2148 Ma) e possui a maior concentração de ouro conhecida até o momento (61,9 t Au). Visando contribuir com o conhecimento sobre a metalogenia do depósito, este trabalho buscou: definir a composição e sequencia temporal da mineralogia hidrotermal e/ou dos tipos de alteração hidrotermal; investigar a composição química do minério; identificar potenciais fontes do Pb e Nd na mineralização; e estimar a idade do evento mineralizador. Os estudos mostraram que o tonalito hospedeiro está fortemente alterado pelo hidrotermalismo e localmente por deformação dúctil, obliterando suas estruturas primárias. A alteração hidrotermal possui variação distal e proximal e ocorre de forma pervasiva e fissural/venular. A alteração distal é pervasiva e gerou uma assembleia composta por clorita e sericita. A alteração proximal é pervasiva e fissural/venular e gerou assembleia que compreende quartzo, clorita, sericita, calcita, pirita e quantidades subordinadas de calcopirita, esfalerita e galena, além da mineralização aurífera associada a um conjunto de teluretos. O ouro ocorre de três formas: (1) partículas inclusas na pirita, (2) precipitado em fraturas de pirita, e (3) livre, junto aos veios de quartzo. Os teluretos são petzita (Ag-Au), hesita (Ag) e sylvanita (Au-Ag), e em menor quantidade coloradoita (Hg), kochkarita (Pb-Bi) e volynskita (Ag-Bi). As condições de mineralização são compatíveis com a fácies xisto verde (~300°C). A partir do equilíbrio clorita-pirita-esfalerita e da composição dos teluretos foi estimado  $\log fO_2$  no intervalo de -29,6 a -33,2 e  $\log fS_2$  de -9,6 a -10,6, o que indica fluido relativamente reduzido e, em conjunto com os demais dados físico-químicos disponíveis na literatura, sugere transporte por complexo reduzido de enxofre. Estudos isotópicos, Pb em pirita e Nd em calcita, permitiram considerar que a fonte do fluido é provavelmente originária da mistura de fontes distintas, ocorrida pela interação fluido-rocha durante a ascensão do fluido por estruturas até o local de deposição do minério. A idade para o depósito não pôde ser definida de forma categórica, entretanto, isótopos de Pb e Nd indicam o Paleoproterozoico como idade mais provável da mineralização.

Palavras-chave: Cinturão Gurupi. Metalogênese. Isótopos radiogênicos. Química mineral. Ouro. Teluretos.

## ABSTRACT

The Cipoeiro orogenic gold deposit, located in the Gurupi Belt, Maranhão State, Brazil, is hosted by tonalite of the Tromai Intrusive Suite (2148 Ma), and shows the higher concentration of gold known to date (61.9 t Au). In order to contribute to the knowledge of the metallogeny of this deposit, this work looked for: to define the composition and temporal sequence of the hydrothermal mineralogy and/or types of hydrothermal alteration; to investigate the chemical composition of the ore; to identify potential sources of Pb and Nd in the mineralization; and to estimate the age of the mineralizing event. The studies have shown that the tonalite is strongly altered and locally deformed, which caused the obliteration of the primary mineralogy and textures. The hydrothermal alteration has distal and proximal variation and occurs in the pervasive and fissural/venular forms. The distal alteration is pervasive and comprises chlorite and sericite. The proximal alteration is pervasive and fissural/venular and is composed of quartz, chlorite, sericite, calcite, pyrite and subordinate amounts of chalcopyrite, sphalerite and galena, in addition to the gold mineralization and a set of tellurides. The gold occurs in three forms: (1) particles included in pyrite, (2) precipitated in pyrite fractures, and (3) free-milling, in quartz veins. The telluride mineralogy comprises petzite (Ag-Au), hessite (Au) and sylvanite (Au-Ag), and subordinate coloradoite (Hg), kochkarite (Pb-Bi) and volynskite (Ag-Bi). The mineralization are compatible with the greenschist facies conditions. The chlorite-pyrite-sphalerite equilibrium along with the telluride composition allowed the estimation of  $\log fO_2$  in the range of -29.6 to -33.2, and  $\log fS_2$  ranging from -9.6 to -10.6, indicating relatively reduced fluid conditions. This values, along with available physico-chemical data, suggest gold transportation as a reduced sulfur complex. Isotopic studies, Pb in pyrite and Nd in calcite, allowed considering that the source of the fluid is likely a mixture of different regional sources, caused by the fluid-rock interaction during the ascent of the fluid through structures to the site of ore deposition. The age of mineralization could not be defined unequivocally, but the Pb and Nd isotopes indicate the Paleoproterozoic as the most probable age of the mineralization.

Key words: Gurupi Belt. Metallogenesis. Radiogenic isotopes. Mineral chemistry. Gold. Tellurides.