



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**O DEPÓSITO AURÍFERO PIABA NO FRAGMENTO  
CRATÔNICO SÃO LUÍS (NW-MARANHÃO): PETROGRAFIA  
DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS E FLUIDOS  
MINERALIZADORES**

**Dissertação apresentada por:**

**SANEY CECÍLIO FERREIRA DE FREITAS  
Orientador: Prof. Dr. Evandro Luiz Klein (UFPA)**

---

**BELÉM  
2012**

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

---

F866d Freitas, Saney Cecílio Ferreira de

O Depósito Aurífero Piaba no fragmento Cratônico São Luis (NW-Maranhão): petrografia das rochas hospedeiras e fluidos mineralizadores / Saney Cecílio Ferreira de Freitas; Orientador: Evandro Luiz Klein – 2012

xiv, 70 f.: il.

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

1. Ouro – minas e mineração. 2. Jazidas - Maranhão. 3. Petrologia. 4. Depósito Aurífero Piaba. I. Klein, Evandro Luiz, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 622.3422098121

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**O DEPÓSITO AURÍFERO PIABA NO FRAGMENTO  
CRATÔNICO SÃO LUÍS (NW-MARANHÃO): PETROGRAFIA  
DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS E FLUIDOS  
MINERALIZADORES**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**SANEY CECÍLIO FERREIRA DE FREITAS**

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

**Data de Aprovação: 29 / 08 / 2012**

**Banca Examinadora:**

**Prof. EVANDRO LUIZ KLEIN**  
(Orientador - UFPA)

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

**Prof. FRANCISCO JAVIER RIOS**  
(Membro - CDTN/CNEN)

*À minha família:  
Sávio, filho.  
Amanda, esposa.  
Maria Deuzarina, mãe.*

## AGRADECIMENTOS

Faço aqui os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que deram alguns minutos e dias de suas vidas para que eu pudesse desenvolver e terminar esta dissertação.

À Universidade Federal do Pará – Instituto de Geociências, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, que forneceu todas as condições técnicas e estruturais para a confecção deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À Luna Gold, detentora da permissão de lavra do Depósito Piaba, pela permissão e fornecimento de amostras de testemunhos, assim como as valiosas informações fornecidas gentilmente pelo Dr. Titus Haggan.

Ao Prof. Dr. Evandro Luiz Klein, paciente e atencioso orientador, que vem me assistindo desde meu último ano de graduação em 2008 e do qual tive a honra de receber um pouco de seu grande conhecimento geológico.

Aos Profs. Drs. Cláudio Lamarão, Netuno Villas, Rômulo Angélica e Hilton Túlio, pela ajuda prestada nas análises das amostras nos laboratórios (MEV, Raios – X e Microtermometria).

Ao Dr. Kazuo Fuzikawa (CDTN/CNEN) e Dra. Maria Sylvia Dantas (UFMG) pelo apoio com as análises Raman.

Aos meus colegas de graduação e pós-graduação Williams, Luís Daniel, Lívio, Ana Tayla e Gilberto, que foram bons companheiros ao longo desses anos de Universidade e continuam sendo ótimos colegas de profissão.

A toda minha família, especialmente minha esposa Amanda, meu filho Sávio, minha mãe Maria Deuzarina, minha tia Teresinha e meus irmãos Sandro, Sidney e Saulo, que são meus grandes amigos e incentivadores.

## RESUMO

O depósito aurífero Piaba tornou-se, em 2010, a primeira mina em operação no Fragmento Cratônico São Luís, noroeste do Maranhão. Seu ambiente geológico compreende rochas metavulcanossedimentares do Grupo Aurizona e granitoides da Suíte Tromai, entre outras unidades menores, formadas em ambiente orogênico, de arcos de ilhas entre 2240 e 2056 Ma. A mineralização em Piaba se hospedou em um granodiorito granofírico fino (Granófiro Piaba) e em rocha subvulcânica andesítica do Grupo Aurizona. Os corpos de minério estão encaixados na falha Piaba de orientação ENE-WSW rúptil-dúctil e consistem em uma trama *stockwork* de veios e vênulas de quartzo com seus halos de alteração hidrotermal. O estudo petrográfico realizado em amostras obtidas em testemunhos de sondagem na zona mineralizada mostrou que as rochas hospedeiras do minério foram afetadas por intensa alteração hidrotermal, que provocou a transformação quase que por completo dessas rochas. Os produtos dessas modificações são minerais micáceos formados durante a sericitização e cloritização do granodiorito granofírico e da rocha andesítica, as quais ocorreram de forma pervasiva e fissural. Além disso, carbonatação, silicificação e sulfetação ocorreram em consequência da percolação de fluidos em condutos (fratura e falhas) ao longo da falha Piaba, formando as venulações. Esses últimos tipos aparentam estar associados com a precipitação do ouro. Estudos petrográficos, microtermométricos e por espectroscopia microRaman em grãos de quartzo das vênulas de uma zona *stockwork* definiram inclusões aquo-carbônicas bifásicas e trifásicas, produzidas por aprisionamento heterogêneo durante separação de fases, e fluidos aquosos tardios. O fluido aquo-carbônico, responsável pela mineralização, é composto por CO<sub>2</sub> (5 – 24 mol %, densidade de 0,96-0,99 g/cm<sup>3</sup>), H<sub>2</sub>O (74 – 93 mol%), N<sub>2</sub> (≤1 mol%), CH<sub>4</sub> (≤1mol%) e 5,5% em peso equivalente de NaCl. O minério depositou a 267-302°C e 1,25-2,08 kbar, correspondendo a profundidades de 4 a 7 km. A composição e intervalo de P-T de atuação do fluido mineralizador, combinadas com o caráter redutor (log  $f_{O_2}$  -31,3 a -34,3) e a sulfetação das rochas hospedeiras, sugerem que o ouro foi transportado como um complexo sulfetado e que foi depositado em consequência da separação de fases, redução da atividade de enxofre e da  $f_{O_2}$  por interação fluido-rocha. Essas condições são consistentes com a formação do depósito em regime rúptil, portando em condições mesozonais a epizonais. Por comparação com outras ocorrências auríferas similares já estudadas na região, as características geológicas e do fluido permitem atribuir a classe de depósitos de ouro orogênico para Piaba.

Palavras – chave: Ouro – minerais e mineração, Jazidas – Maranhão, Petrologia, Depósito aurífero Piaba.

## ABSTRACT

The Piaba gold deposit became, in 2010, the first gold mine in operation in the São Luís Cratonic Fragment, northwestern of the State of Maranhão, Brazil. The tectonic setting comprises the metavolcano-sedimentary rocks of the Aurizona Group and the granitoids of the Tromaí Intrusive Suite, along with minor units. All these rocks formed in island arc setting between 2240 and 2056 Ma. Gold mineralization at Piaba is hosted in a fine-grained granophyric granodiorite (Piaba Granophyre) and in a subvolcanic andesitic rock belonging to the Aurizona Group. The ore bodies are hosted in the Piaba fault, which is an ENE-WSW-trending brittle-ductile structure. These ore bodies consist of stockwork veins and veinlets and their hydrothermal haloes. The petrographic study was undertaken in drill cores of the mineralized zone. This study has shown that the host rocks have been affected by strong hydrothermal alteration that provoked intense mineralogical transformations of the rocks. The most prominent alteration processes have been the sericitization and chloritization of the host rocks, occurring in pervasive and fissure-filling modes. In addition, carbonatization, silicification and sulfidation occurred in response to fluid flow and veining along fractures and small faults associated with the Piaba fault. These latter types of alteration appear to be associated with gold precipitation. Petrographic, microthermometric and Raman microspectroscopic studies have been undertaken in quartz from mineralized veins from a stockwork zone. These studies identified two and three phase aqueous-carbonic fluid inclusions that have been interpreted as produced by heterogeneous trapping during immiscible phase separation. Late aqueous inclusions have also been identified. The mineralizing aqueous-carbonic fluid is composed of CO<sub>2</sub> (5 – 24 mol%, density of 0.96-0.99 g/cm<sup>3</sup>), H<sub>2</sub>O (74 – 93 mol%), N<sub>2</sub> (≤1 mol%), CH<sub>4</sub> (≤1mol%), and has 5.5 wt. % NaCl equivalent. The gold ore deposited at 267-302°C and 1.25-2.08 kbar, corresponding to depths of 4 to 7 km. Fluid composition and the P-T interval of the mineralizing fluid, its relatively reduced character (log  $f_{O_2}$  -31.3 to -34.3), and the strong sulfidation of the host rocks indicate that gold has been transported as a sulfur complex and was deposited in response to phase separation and lowering of  $f_{O_2}$  and of the sulfur activity during fluid-rock interaction. These conditions are consistent with the brittle regime and mesozonal to hypozonal conditions. Comparing the geological and fluid P-T-X characteristics of Piaba with those of other gold prospects already investigated in the same region, it is possible to define Piaba as an orogenic gold deposit.

Key words: Gold – minerals and mining, Maranhão, Petrology, Piaba auriferous deposit.