



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 470**

**MINERAIS DE MANGANÊS COMO CONTAMINANTES DO  
MINÉRIO DE FERRO NA MINA N5W EM CARAJÁS, PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**LUIZ CLAUDIO GONÇALVES DA COSTA**

**Orientador: Prof. Dr. MARCONDES LIMA DA COSTA (UFPA)**

---

**BELÉM  
2015**

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

---

Costa, Luiz Cláudio Gonçalves da, 1975-

Minerais de manganês como contaminantes do minério de ferro na mina N5W em Carajás, Pará / Luiz Cláudio Gonçalves da Costa. – 2015.

xvi, 72 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcondes Lima da Costa

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2015.

1. Minérios de manganês - Pará. 2. Silicatos - Pará. 3. Sílica - Pará. 4. Hematita - Pará. 5. Poluentes - Pará I. Título.

CDD 22. ed. 553.4629098115

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

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

**MINERAIS DE MANGANÊS COMO CONTAMINANTES DO  
MINÉRIO DE FERRO NA MINA N5W EM CARAJÁS, PARÁ**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**LUIZ CLÁUDIO GONÇALVES DA COSTA**

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

**Data de Aprovação: 29/09/2015**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa  
(Orientador-UFPA)**

**Prof. Dr. Herbert Pöllmann  
(Membro Martin Luther University of Halle - Wittenberg)**

**Prof.ª Dr.ª Sônia Maria Barros de Oliveira  
(Membro-USP)**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder saúde e força para superar os desafios.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcondes Lima da Costa por sua valiosa orientação e empenho dedicado na elaboração desta Dissertação de Mestrado, ajudando no meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Obrigado pela confiança e paciência.

Aos Professores Herbert Pöllmann e Sônia Maria Barros de Oliveira pelas valiosas contribuições ao trabalho.

Aos colegas e professores do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da UFPA (GMGA-UFPA) pelas discussões, em especial à Suyanne Flávia, André Heron, Patrícia Pinheiro, Fernanda Carvalho, Alessandro Sabbá, Rose e Glayce Souza, suas contribuições foram importantíssimas para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grato à geóloga Heliana Pantoja, grande amiga que dedicou parte do seu tempo para me ajudar, sendo muito companheira e tendo muita paciência comigo.

Ao projeto INCT-GEOCIAM pelo suporte e apoio financeiro e ao Laboratório de Caracterização Mineralógica pelas análises de DRX.

À Vale S.A. por contribuir com meu desenvolvimento profissional e pessoal, apoio logístico, concessão de testemunhos de sondagem e amostras, além da liberação dos dados geológicos. Em especial aos geólogos Henry Galbiatti, Marco Braga e Luciano Fonseca.

Sou agradecido, ainda, à geóloga Adriana Zaparolli pela ajuda na coleta de amostras e descrições petrográficas. Bem como, Edson França, Carlos Delgado, Marcos Freire, Ivan Andrade, Carlos Medeiro, Flávio Freitas, Luciano Assis, Julielson Camelo, Fernando Prezotti, Virgínia Porfiro, Anderson Couto, Marcus Pira, Cláudio Rosas, Richellen Barbosa, Marcos Pires, Aristotelina Silva, Valber Gaia, Hudson Silva, Raquel, Fabio Henrique, Roberto Carvalho, Igor Rosa, Delvan Souza, Paulo, Lira, Jeanderson, França, Wendel e “Jacaré” pelos incentivos, discussões, sugestões e apoio na logística de campo.

A minha esposa Flaviana Oliveira e meus filhos Patrick e Felipe que contribuíram com todo seu amor e carinho para a conclusão deste trabalho. Aos demais familiares que torceram e acreditaram em mim.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Atualmente a caracterização mineralógica e controle do manganês e da sílica nas minas de minério de ferro de Carajás tornam-se indispensáveis. Pois concentrações elevadas de seus minerais foram encontradas, os quais são vistos como impurezas indesejáveis no minério, em especial da mina de N5W, com teores superiores a 65 % de Fe. O presente trabalho objetiva identificar esses minerais, o seu modo de ocorrência e relação com o minério de ferro na mina N5W, na tentativa de contribuir para minimização do seu impacto durante a operação de lavra do minério de ferro.

Os principais minerais de manganês identificados foram pirolusita, bixbyita, criptomelana, hollandita, ramsdellita e calcofanita, todos oxi-hidróxidos de Mn, exceto a braunita também identificada nesta mina, que é um silicato. Estes minerais geralmente estão alojados em veios e vênulas hidrotermais que interceptam o minério de ferro. Mas ocorrências, em menor proporção, entre as camadas de jaspilitos também são observadas, como aparente ligação com pequenas lentes. Aparentemente pelo menos dois modos de ocorrências foram individualizados na mina de N5W, cada um com mineralogia de Mn específica: zonas de falhas, brechas e veios com pirolusita, calcofanita, braunita e bixbyita, além de possíveis lentes com criptomelana e hollandita, provável ainda que tenha havido a formação intempérica desses minerais, representados por pirolusita e criptomelana. Quartzo, oxi-hidróxidos de Fe e de Mn são os principais constituintes dos veios preenchendo falhas e fraturas em N5W, com MnO atingindo teores de até 61,74 % nesses veios.

Sendo assim os minerais de Mn associado ao minério de ferro indicam ambiência sedimentar, hidrotermal e restritamente intempérica, quando esses minerais em parte foram alterados, as soluções mobilizadas e então como novas fases foram reprecipitados ao lado dos oxi-hidróxidos de Fe.

A associação geoquímica típica quando da presença de minerais de manganês é Mn-As-Cu-Zn-Ag-ETR com teores anômalos positivos, enquanto para a formação ferrífera Zr-Hf-Nb-Ta-Sc-Th como valores negativos. Os elementos terras raras encontram-se em concentrações elevadas na zona enriquecida em Mn, mas principalmente quando se trata de hollandita, quando se observa forte anomalia positiva de Ce. O minério de Fe apresenta como característica anomalia positiva de Eu.

A contaminação por  $\text{SiO}_2$  está representada por boulders métricos de jaspilitos circundados por hematitas friáveis, em muitos casos, quando a lavra atinge a zona saprolítica grossa.

Portanto os contaminantes de Mn são de origem diversa, porém predominam por enquanto as ocorrências hidrotermais, intimamente associadas com o proto-minério de ferro. Os teores elevados de  $\text{SiO}_2$  mostram que a lavra atingiu a base do perfil de alteração, incorporando parte dos proto-minérios.

**Palavras-chave: Oxi-hidróxidos e silicato de manganês; sílica; contaminantes, Formação Carajás.**

## ABSTRACT

Mineralogical characterization and control of manganese and silica contents in the Carajás mine iron ore is a routine task. Relatively high concentrations of manganese and silica minerals, considered ore impurities, are present in the high grade iron ore (>65% Fe) of the N5W mine. This study aimed to identify these minerals and their mode of occurrence in the iron ore from N5W, improving the mine planning and exploitation.

The main manganese minerals in the iron ore are: (a) pyrolusite, bixbyite, cryptomelane, hollandite, ramsdellite and chalcophanite, all Mn oxy-hydroxides; and (b) the braunite, a silicate. These minerals were found in hydrothermal veins and veinlets, cross-cutting the primary bedding of the iron ore and subordinately forming centimetre scale lens shaped veins, interbedded in the jaspilite layers. The Mn rich veins are spatially associated with fault zones and breccia bodies showing pyrolusite, chalcophanite, braunite and bixbyite veins, subordinated lenses of cryptomelane and hollandite. The presence of pyrolusite and cryptomelane indicates weathering of the rocks. Quartz and Fe-Mn oxy-hydroxides are the main minerals filling faults and fractures in the N5W mine, where MnO grades in veins, reach up to 61,74%.

The Mn minerals in the iron ore are indicative of sedimentary and hydrothermal origin. Weathering caused alteration of the primary minerals, promoting mobilization and reprecipitation of new Mn minerals together with Fe oxy-hydroxides.

Typical geochemical association in the Mn rich iron ore Mn-As-Cu-Zn-Ag with positive anomalous ETR levels, whilst in the iron formation Zr-Hf-Nb-Ta-Sc-Th with ETR negative values. The rare earth elements concentrations are higher in the Mn rich zones. These zones show strong positive Ce anomalies when hollandite is present.

Higher SiO<sub>2</sub> contents are related to the presence of metric jaspilite boulders surrounded by hematite friable, in the thick saprolite zone.

Finally, the Mn contaminants are diverse in origin, however hydrothermal Mn rich minerals are dominant, closely associated with the proto-iron ore. The high SiO<sub>2</sub> contents are indicative of the base of the alteration profile, incorporating part of the proto-ores.

**Keywords: Mn Oxi-hydroxides; hematite; quartz; silica; contaminants, Carajás Formation.**