



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº513

**A SUCESSÃO SILICICLÁSTICA
PALEOPROTEROZOICA ASSOCIADA AO DEPÓSITO DE
MANGANÊS DO AZUL DA SERRA DOS CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

FRANCO FELIPE OLIVEIRA DA COSTA

Orientador: Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira (UFPA)

**BELÉM
2017**

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

Costa, Franco Felipe Oliveira da, 1991-

A sucessão siliciclástica Paleoproterozóica associada ao depósito de manganês do Azul da Serra dos Carajás / Franco Felipe Oliveira da Costa. – 2017.

xix, 62 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Afonso Cesar Rodrigues Nogueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2017.

1. Geologia estratigráfica - Pré-cambriano. 2. Formações (Geologia) – Carajás, Serra dos (PA). 3. Manganês – Carajás, Serra dos (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 551.71

Elaborado por
Hélio Braga Martins
CRB-2/698



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

**A SUCESSÃO SILICICLÁSTICA PALEOPROTEROZOICA
ASSOCIADA AO DEPÓSITO DE MANGANÊS DO AZUL DA
SERRA DOS CARAJÁS**

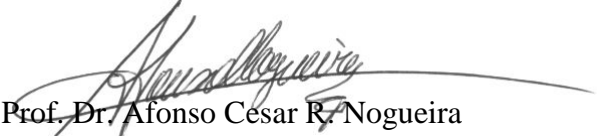
DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

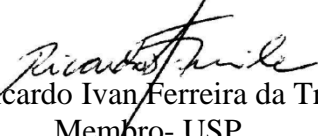
FRANCO FELIPE OLIVEIRA DA COSTA

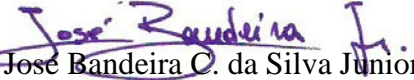
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA**

Data de Aprovação: 21 / 11 / 2017

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Afonso César R. Nogueira
Orientador - UFPA


Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade
Membro- USP


Prof. Dr. José Bandeira C. da Silva Junior
Membro - UFPA

*À minha mãe,
por todo esforço e dedicação para minha educação*

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda fidelidade, sempre comigo, guiando e protegendo.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) e ao Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) por toda infraestrutura oferecida.

Aos geólogos Fernando Martins Vieira Matos e Sérgio Roberto Bacelar Huhn da empresa Vale S.A., pelo incentivo, concessão dos testemunhos e amostras essenciais para execução desta pesquisa. Obrigado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira por sua paciência, ensinamentos e acima de tudo pela confiança no desenvolvimento deste trabalho. Meus sinceros agradecimentos pela oportunidade.

Ao professor Dr. Joelson Lima Soares e ao Dr. Guilherme Rafaelli pela contribuição com seus conhecimentos e experiências.

Ao Laboratório de Geoquímica Orgânica e Inorgânica (LGQM) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em especial ao Dr. René Rodrigues, pela realização das análises de Carbono Orgânico Total (COT).

Aos técnicos e estudantes atuantes no Laboratório de Raios-X, coordenado pelo Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica, pela preparação e análise das amostras. Ao Laboratório de Laminação da UFPA, em nome da técnica Joelma Lobo, por sempre se disponibilizar na confecção das lâminas petrográficas. Obrigado.

Aos meus amigos e companheiros de sala 8, especialmente aos Doutores Kamilla Borges e Francisco Abrantes, e futuros doutores Hudson Santos, Isaac Salém, Luiz Saturnino, Cléber Neri, Jhon Afonso e Pedro Augusto, obrigado pelas discussões, críticas, sugestões, amizade, cafés e momentos de descontração.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação que me acompanharam nesta jornada, Arthur Aragão, Dayane Coelho, Ailton Brito, Sebastian Calderón, Quézia Alencar, Helder Oliveira, Rafael Guimarães, Leonardo Negrão, Romulo Amaral, Reinaldo Junior, Edson Batista, Ramon Carvalho e Pablio Henrique, agradeço pela companhia, apoio e risadas.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o andamento e conclusão desta dissertação de mestrado.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”

(Martin Luther King)

RESUMO

Os depósitos de Manganês pré-cambrianos da Serra dos Carajás têm sido estudados sob enfoque da geoquímica e de recursos minerais na única exposição da Mina do Igarapé Azul. Do ponto de vista estratigráfico trabalhos prévios têm incluído esses depósitos no Grupo Grão Pará que encerra rochas vulcânicas e formações ferríferas bandadas arqueanas ou nos depósitos siliciclásticos finos paleoproterozoicos do Membro Inferior da Formação Águas Claras. A análise faciológica e estratigráfica desta sucessão pelítica incluiu exposições da Mina do Igarapé Azul e a sucessão de 11 testemunhos de sondagem com destaque para a seção do furo 706 do Projeto Manganês do Azul, datado em 2,1 Ga (datação em piritita diagenética), confirmou a Formação Águas Claras como hospedeira do minério de Manganês. A sucessão foi estudada numa seção SE-NW, que inclui testemunhos distribuídos desde a porção do platô N4 (Domínio N4), passando pela Mina do Igarapé Azul (Domínio Azul) até as ocorrências no Igarapé Águas Claras (Domínio Águas Claras), perfazendo 25 km de extensão. Em relação aos demais segmentos, o Domínio Azul encontra-se encaixado na Falha Carajás, interpretado previamente como um bloco alçado. Apesar das descontinuidades estruturais, hidrotermalismo e/ou baixo grau de metamorfismo (?), as fácies deposicionais não foram alteradas, permitindo avaliar os processos sedimentares, interpretar o paleoambiente. Foram identificadas duas sucessões deposicionais em contato discordante erosivo. A Sucessão inferior corresponde aos depósitos de plataforma marinha que consiste em duas associações (AF): 1) *offshore* (AF1), caracterizada por intercalações de arenitos finos com pelitos maciços e laminados com base escavada ou plana, formando ciclos granodecrescentes ascendentes de escala centimétrica, interpretados como turbiditos distais de baixa densidade ligados as fases finais de desaceleração de fluxos turbulentos; e 2) *offshore-transition a shoreface* (AF2), representados por arenitos finos e siltitos manganésíferos maciços e laminados; silito com laminações cruzadas, onduladas, truncamento de baixo ângulo e laminação *pinch-and-swell* indicando fluxos oscilatório e combinado (tempestades). O conteúdo de carbono orgânico total (COT) de até 1% dos pelitos carbonosos indicam condições de deposição predominantemente anaeróbicas no *offshore*. Os arenitos médios a grossos maciços da Sucessão superior (AF3) exibem estratificação cruzada tabular e plano-paralela e representam a migração de formas de leito durante incisão de canais entrelaçados sobre os depósitos de plataforma marinha, evidenciado por vários seixos de pelito nos *foresets* e base dos sets das estratificações cruzadas. A precipitação primária de Mn está associada a forma de óxido-

hidróxidos através da oxidação de Mn^{+2} acima da interface redox em condições favoráveis de oxigenação na zona de *offshore-transition* a *shoreface*, simultaneamente a deposição das fácies influenciadas por ondas. Ciclos granocrescentes ascendentes de escala métrica formados por siltito manganésíferos/lâmina de óxido de Mn e siltito/arenito com estruturas produzidas por ondas sugerem recorrência da precipitação de Mn durante a deposição da Formação Águas Claras. É possível que o modelo mais coerente para deposição primária de Mn da Mina do Azul esteja relacionado à precipitação dominante de óxidos-hidróxidos em plataforma marinha rasa na zona de *offshore-transition* a *shoreface*, e uma fase carbonática subordinada relacionada ao *offshore*. Isto fornece uma nova perspectiva para o entendimento evolutivo dos mares pré-cambrianos sem correlação com análogos modernos, no Cráton Amazônico.

Palavras-chave: Formação Águas Claras. Depósitos de Manganês. Paleoproterozoico. Serra dos Carajás.

ABSTRACT

The Precambrian Manganese deposits of the Serra dos Carajás have been studied only in the Igarapé Azul Mine, mainly under geochemistry and mineral resources point view. Stratigraphically, previous work has included these deposits in the Archean Grão Pará Group that include volcanic rocks and banded iron formations or in the fine siliciclastics deposits of the Lower Member of the Paleoproterozoic Águas Claras Formation. Facies and stratigraphic analysis of this pelitic succession carried out in the Igarapé Azul Mine exposures and eleven cores that include the core number 706 of the Azul Manganese Project, dating to 2.1 Ga (age obtained by diagenetic pyrite), confirmed the Águas Claras Formation as host of the Manganese ore. Cores were distributed in a 25 km long SE-NW oriented section, which includes the plateau N4 (N4 Domain), the Azul Igarapé Mine (Azul Domain) and the outcrops in the Águas Claras River (Águas Claras Domain). In relation to the other segments, the Azul Domain is beheaded in the Carajás Fault, previously interpreted as an uplifted block. Despite the structural discontinuities, hydrothermalism and / or low degree of metamorphism (?), the sedimentary facies are preserved allowing the sedimentary processes and the paleoenvironmental interpretations. Two depositional successions were identified, separated by an unconformity. The lower succession include two facies associations (AF) representatives of marine platform settings: 1) offshore (AF1), characterized by intercalations of very fine sandstones with massive to laminated pelites, forming small-scale (a few cm) fining upward cycles, with scoured to flat base, interpreted as distal low density turbidite linked to the deceleration of turbulent flows; and 2) offshore-transition to shoreface (AF2) consisting in fine sandstone and manganiferous siltstone with even parallel lamination and massive bedding, cross- and undulated laminated siltstones, low-angle truncated and pinch-and-swell laminations indicative of oscillatory and combined flows (storms). Carbonaceous pelite with total organic carbon content (TOC) up to 1% indicates predominantly anaerobic conditions. The medium- to coarse-grained sandstones of the upper succession (AF3) exhibit tabular (planar) and even parallel cross stratifications, with pelite and quartz pebbles in the foresets and bottomsets, represent the migration of bed forms during incision of braided channels on the marine platform. The primary Mn precipitation is associated with the oxide-hydroxide form through the oxidation of Mn^{+2} above the redox interface under favorable oxygenation conditions in the offshore transition-shoreface zone, simultaneously deposition of facies influenced by waves. Meter-scale coarsening upward cycles formed by

Manganesiferous siltstone/Mn oxide laminae and siltstone/sandstone with wave structures suggest recurrence of Mn precipitation during the deposition of the Águas Claras Formation. It is possible that more consistent model for primary deposition of Mn in the Igarapé Azul Mine is related to the dominant precipitation of oxides-hydroxides on shallow marine platform at the offshore transition-shoreface zone, and a carbonate phase subordinate related to offshore zone. This provides a new perspective for the evolutionary understanding for Precambrian seas without correlation with modern analogues, in the Amazon Craton.

Key-words: Águas Claras Formation. Manganese deposits. Paleoproterozoic. Serra dos Carajás.