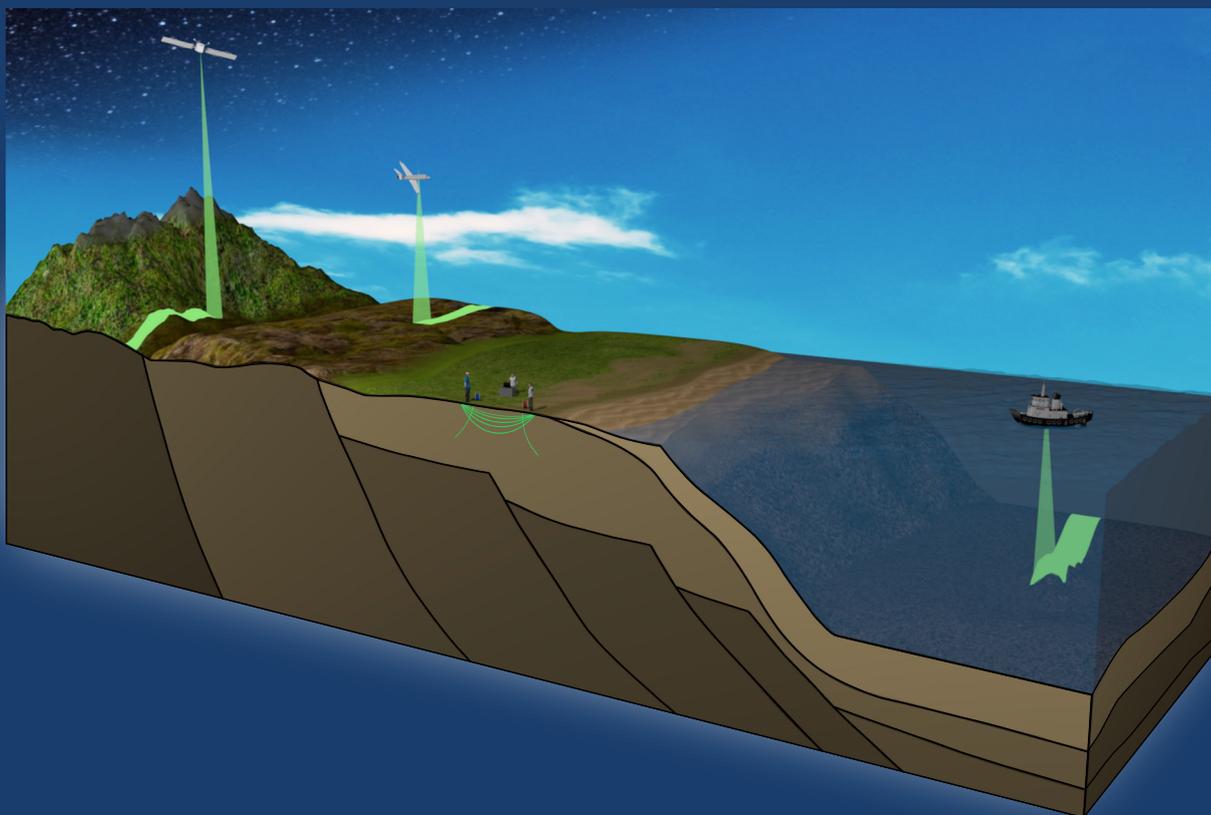


INFORME DE GEOFÍSICA APLICADA Nº2



LEVANTAMENTO AEROGRAVIMÉTRICO CARAJÁS: CONTRIBUIÇÃO À GEOTECTÔNICA E METALOGENIA DA PORÇÃO LESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Geologia

Lúcia Travassos da Rosa Costa

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Vladimir Cruz de Medeiros

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Durringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe do Departamento de Apoio Técnico

Maria José Cabral Cezar

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Valter Alvarenga Barradas

SUPERINTENDÊNCIA DE RECIFE

Chefe da Superintendência

Vanildo Almeida Mendes

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Cleide Regina Moura da Silva

Responsável Técnico do Produto

Roberto Gusmão de Oliveira

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

**LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS
E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL**

**LEVANTAMENTO AEROGRAVIMÉTRICO
CARAJÁS: CONTRIBUIÇÃO À GEOTECTÔNICA
E METALOGENIA DA PORÇÃO LESTE
DO CRÁTON AMAZÔNICO**

AUTORES

Roberto Gusmão de Oliveira
Noevaldo Araújo Teixeira
Iago Sousa Lima Costa
Felipe Mattos Tavares
Nitzschia Regina Rodrigues Domingos

INFORME DE GEOFÍSICA APLICADA

Nº 02



RECIFE
2020

REALIZAÇÃO

Superintendência de Recife

COORDENADOR DO PROJETO

Roberto Gusmão de Oliveira

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS E MAPAS

Roberto Gusmão de Oliveira

Noevaldo Araújo Teixeira

Iago Sousa Lima Costa

Felipe Mattos Tavares

Nitzschia Regina Rodrigues Domingos

COLABORADOR

Alexandre Lisboa Lago

APOIO TÉCNICO**PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO****Capa (DIMARK)**

Washington Jose Ferreira dos Santos

Dario Dias Peixoto

Miolo (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes

Diagramação (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes

REVISÃO DE TEXTO

Irinéa Barbosa da Silva

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Priscila Ururahy

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

L655 Levantamento aerogravimétrico Carajás : contribuição à geotectônica e metalogenia da porção leste do cráton Amazônico / Roberto Gusmão de Oliveira ... [et al.]. – Recife : CPRM, 2020.
1 recurso eletrônico ; PDF. – (Informe de geofísica aplicada ; 2)

Levantamentos geológicos e integração geológica regional.
ISBN 978-65-5664-055-6

1. Geofísica – Brasil. I. Oliveira, Roberto Gusmão de. II. Teixeira, Noevaldo Araújo. III. Costa, Iago Sousa Lima. IV. Tavares, Felipe Mattos. V. Domingos, Nitzschia Regina Rodrigues. VI. Título. VII. Série.

CDD 550.981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O conhecimento geológico do território brasileiro constitui um instrumento indispensável para o planejamento e a execução das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais, e simultaneamente é fonte de dados imprescindível para o conhecimento e gestão do meio físico.

É com esta premissa que o **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral mais este produto, o **Informe de Geofísica Aplicada**, vinculado ao **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral**.

Com os expressivos investimentos realizados nos últimos anos em Geofísica, seja na aquisição de dados aerogeofísicos, seja na aquisição de equipamentos de geofísica terrestre, trabalhos de excelente qualidade de aplicação de dados geofísicos para solução de problemas geológicos vêm sendo desenvolvidos pelos pesquisadores do SGB-CPRM.

Entendendo a importância de divulgar amplamente os trabalhos e as experiências em Geofísica, foi criada esta nova linha editorial, concebida no Departamento de Geologia e na Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica, que permite aos pesquisadores explorar e apresentar de forma mais detalhada os trabalhos realizados em projetos técnicos, demonstrando a diversidade e potencialidade de aplicação da Geofísica.

O Informe de Geofísica Aplicada - **LEVANTAMENTO AEROGRAVIMÉTRICO CARAJÁS: CONTRIBUIÇÃO À GEOTECTÔNICA E METALOGENIA DA PORÇÃO LESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO** - empregou dados aerogeofísicos de gravimetria levantados na região do Cráton Amazônico que abrange a Província Mineral de Carajás, sendo o primeiro aerolevante realizado pelo SGB-CPRM com essa metodologia. Este informe, além de fornecer informações consistentes para o estabelecimento da evolução geodinâmica dos diferentes compartimentos geotectônicos, também contribui para a compreensão das relações estruturais e litológicas dos principais depósitos minerais mediante a análise das suas assinaturas gravimétricas.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos. Este produto está disponível para download no banco de dados corporativo do Serviço geológico do Brasil – CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>), e no Repositório Institucional de Geociências (<http://rigeo.cprm.gov.br/>).

Esteves Pedro Colnago

Diretor-Presidente

Márcio José Remédio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

RESUMO

O Projeto Aerolevantamento Gravimétrico Carajás cobriu uma região do Cráton Amazônico que abrange cinco importantes ambientes geotectônicos: i) o substrato tonalito-trondhjemitó-granodiorito (*TTG*) – *greenstone belts* (Domínio Rio Maria); ii) Domínio Carajás (DC) contendo depósitos de classe mundial de Fe, Mn, Cu, Ni, Au, EGP, Cr e Cu-Au; iii) a extremidade sul do Cinturão Móvel Maroni-Itacaiúnas (Domínio Bacajá); iv) parte do domínio de rochas vulcânicas félsicas e plutônicas alcalinas intracontinentais do *LIP* Uatumã (Domínio Iriri-Xingu); e v) parte do *thrust belt* do Cinturão Araguaia (Domínio Araguaia).

Neste informe, por causa da escala do aerolevantamento, foi dada ênfase aos aspectos primários relacionados com a distribuição de massa e sua consequência na evolução geológica, na geotectônica e na distribuição dos depósitos minerais da área de estudo. Para esses objetivos, foram empregados filtros, técnicas de modelagem e inversão, que realçaram as anomalias de massa, tanto positivas como negativas, e suas correlações litológicas, bem como a relação entre a modificação da estrutura de densidade original da crosta e os eventos geológicos que ocorreram na área de estudo.

Os diferentes ambientes geotectônicos abrangidos pelo aerolevantamento apresentam assinaturas gravimétricas distintas que ratificam ou contradizem os modelos geológicos existentes. Observa-se uma forte correlação entre massas positivas e as unidades metavulcanossedimentares e formações ferríferas nos domínios Carajás (neoarqueano) e o Rio Maria (*TTG-greenstone belts* mesoarqueanos) no embasamento do Craton Amazônico. A forma de distribuição de massa positiva no Domínio Carajás sugere um arranjo regional linear formado por faixas de rochas densas (derrames vulcânicos máficos, *banded iron formations* - *BIFs* e minério de ferro) emparelhadas, sugerindo um ambiente de bacia do tipo rifte. De outra forma, as feições gravimétricas dos terrenos *TTG-greenstone belts* apontam uma evolução a partir de domos e quilhas gerados por tectônica gravitacional. O limite entre os domínios Rio Maria e Carajás é definido, na gravimetria, por uma faixa de anomalias negativas correlacionadas com intrusões de granitos arqueanos ricos em K.

Nos terrenos paleoproterozoicos do Domínio Iriri-Xingu, foi observada uma forte correlação entre massas negativas e o volumoso magmatismo félsico orosiriano. As distribuições circulares de massas negativas coincidem com intrusões de granitoides tipo A e um grande volume de vulcanismo piroclástico félsico. Nos dados gravimétricos, são notáveis as configurações circulares das anomalias negativas, sugerindo a existência de feições morfológicas muito semelhantes a caldeiras vulcânicas.

O Domínio Bacajá, com grande volume de rochas metamorfozadas na fácies granulito, está caracterizado por anomalias Bouguer positivas, com amplitudes médias de 25 mGal. O limite com o Domínio Carajás ocorre mediante um gradiente negativo de 0,34 mGal/km, correlacionado com zonas de cisalhamento. Esse gradiente e a forma da anomalia têm as mesmas características observadas em assinaturas gravimétricas encontradas em zonas de suturas formadas por colisões entre blocos continentais.

O levantamento aerogravimétrico, além de fornecer informações consistentes para o estabelecimento da evolução geodinâmica dos diferentes compartimentos geotectônicos, também, contribuiu para a compreensão das relações estruturais e litológicas dos principais depósitos minerais mediante uma análise das suas assinaturas gravimétricas.

ABSTRACT

An airborne gravimetric survey was conducted covering a region of the Amazonian Craton that includes five important geotectonic environments: i) Tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG)-greenstone belts substrate (Rio Maria Domain); ii) the Carajás Mineral Province (CMP), containing world-class deposits of Fe, Mn, Cu, Ni, Au, EGP, Cr and Cu-Au; iii) the southern end of the Maroni-Itacaiúnas mobile belt (Bacajá Domain); iv) part of the domain of intracontinental felsic and plutonic alkaline volcanic rocks of the Uatumã LIP (Irixi-Xingu Domain); and v) part of the Araguaia Belt thrust belt (Araguaia Domain).

In this report, because of the scale of the aerial survey, an emphasis was placed on the primary aspects related to mass distribution and its consequence on geological, geotectonic evolution and the distribution of mineral deposits in the study area. For these purposes, filters, modeling, and inversion techniques were used to highlight the mass anomalies (both positive and negative) and their lithological correlations, as well as the relationship between the modification of the original density structure of the crust and the geological events that occurred in the study area.

The different geotectonic environments covered by the aerial survey have distinct gravimetric signatures that ratify or contradict the existing geological models. There is a strong correlation between positive masses and the metavolcano-sedimentary units and iron formations in the Carajás domains (Neoarchean) and greenstones belts (Mesoarchean) on the basis of the Amazonian Craton (Domain Rio Maria). The positive mass distribution shape in the Carajás Domain suggests a linear regional arrangement formed by bands of dense paired rocks (mafic volcanic, BIFs and iron ore) suggesting a rift-type basin environment. Otherwise, the gravimetric features of the terrains TTG-greenstone belts suggest an evolution from domes and keels generated by gravitational tectonics. The limit between the domains Rio Maria and Carajás is defined in gravimetric data by a range of negative anomalies correlated with intrusions of K-rich Archean granites.

In the Paleoproterozoic Irixi-Xingu Domain, a strong correlation was observed between negative masses and the voluminous Orosirian felsic magmatism. The circular distributions of negative masses coincide with intrusions of Type A granitoids and a large volume of felsic pyroclastic volcanism. In the gravimetric data, the circular configurations of the negative anomalies are notable, suggesting the existence of morphological features very similar to volcanic caldera.

The Bacajá Domain, with a large volume of metamorphosed rocks in granulite facies, is characterized by positive Bouguer anomalies with average amplitudes of 25 mGal. The limit with the Carajás Domain occurs through a negative gradient of 0.34 mGal/km correlated with shear zones. This gradient and the shape of the anomaly have the same characteristics observed in gravimetric signatures found in suture zones formed by collisions between continental blocks.

The airborne gravimetric survey, in addition to providing consistent information for the establishment of the geodynamic evolution of the different geotectonic compartments, also contributed to the understanding of the structural and lithological relationships of the main mineral deposits through an analysis of their gravimetric signatures.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DO AEROLEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO.....	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Dados Aerogravimétricos.....	15
3.2. Interpolação e Separação das Componentes Regional e Residual dos Dados de Anomalia Bouguer	16
3.3. Métodos de Interpretação e Modelagens	18
4. RESULTADOS: INTERPRETAÇÃO E MODELAGEM DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS	21
4.1. Domínios Tectônicos-Gravimétricos	21
4.2. Alinhamentos Gravimétricos	22
4.3. Distribuição de Massa na Crosta Superior/Média da Área de Estudo	22
4.4. Modelagens Gravimétricas no Domínio Rio Maria.....	29
4.5. Modelagens Gravimétricas no Domínio Carajás	29
4.6. Modelagens Gravimétricas no Domínio Iriri-Xingu	34
4.7. Modelagem Gravimétrica Direta 2,5D do Perfil Regional	37
4.8. Modelagens Euler 3D.....	38
4.9. Assinaturas Gravimétricas dos Principais Depósitos de Minerais Metálicos	39
4.9.1. Depósitos de Au de Diadema e Andorinhas.....	39
4.9.2. Depósitos de <i>IOCG</i> do Salobo e do Cinturão Sul do Cobre	41
4.9.3. Depósitos de Ferro da Serra Norte.....	42
4.9.4. Depósitos de Au-Pt-Pd de Serra Pelada e EGP-Cr de Luanga	43
4.9.5. Depósitos de Ni (Co) da Serra da Onça e Serra do Puma	43
4.9.6. Depósitos de Estanho de Antônio Vicente e Pium	45
4.9.7. Depósitos de Manganês da Serra da Buritirama.....	45
5. CONCLUSÕES	47
6. RECOMENDAÇÕES.....	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

O Projeto Levantamento Aerogravimétrico Carajás foi o primeiro levantamento de dados gravimétricos aéreos contratados pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Na Figura 1, a área do levantamento está localizada em relação ao contexto regional gravimétrico (anomalia Bouguer calculada a partir de dados ar-livre do satélite *GRACE*) e tectônico do Cráton Amazônico. A área escolhida engloba a Província Mineral de Carajás (PMC), contendo depósitos de classe mundial de Fe, Mn, Cu, Ni, Au, EGP, Cr e Cu-Au

que, segundo Teixeira et al. (2009), foram formados em um ambiente de rifte ativo relacionado à dinâmica de formação do Manto Subcontinental Litosférico Arqueano (*Subcontinental Lithospheric Mantle-SCLM*, p.ex. GRIFIN et al., 1999). Além disso, o levantamento gravimétrico cobriu uma região crítica para o entendimento da geologia brasileira, incluindo outros quatro importantes ambientes geotectônicos (Figura 2): i) O substrato *tonalite-trondjemite-granodiorite (TTG) – greenstone belts* do Cráton

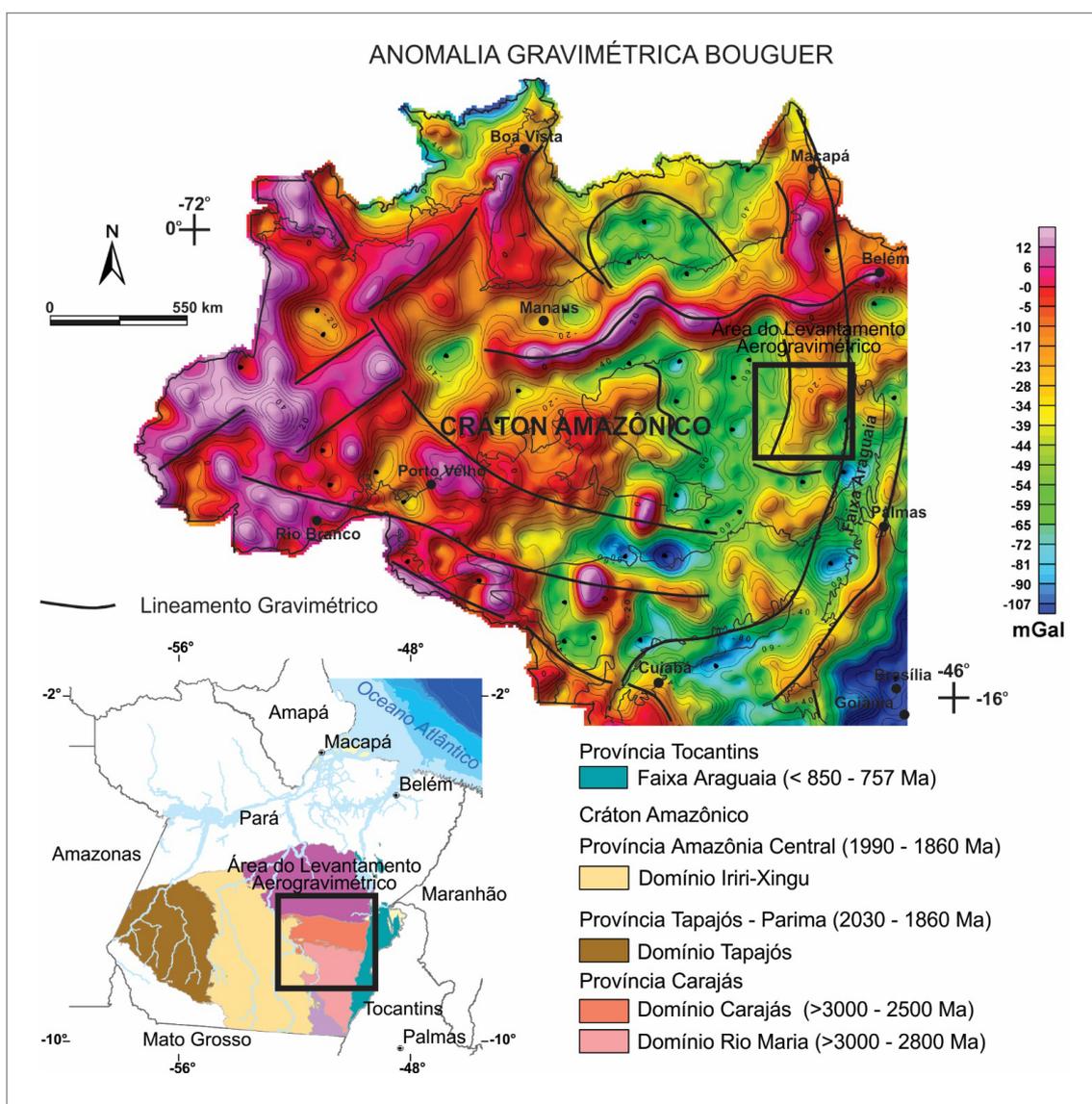


Figura 1 - Anomalia gravimétrica Bouguer do Cráton Amazônico, processada a partir de dados de anomalia ar-livre coletadas pelo satélite *GRACE* (TAPLEY et al., 2005), com superposição das principais estruturas tectônicas e alinhamentos interpretados. Fonte: figura modificada de Oliveira e Andrade (2014). O esquema com o arcabouço das províncias tectônicas é baseado em Vasquez e Rosa-Costa (2008).

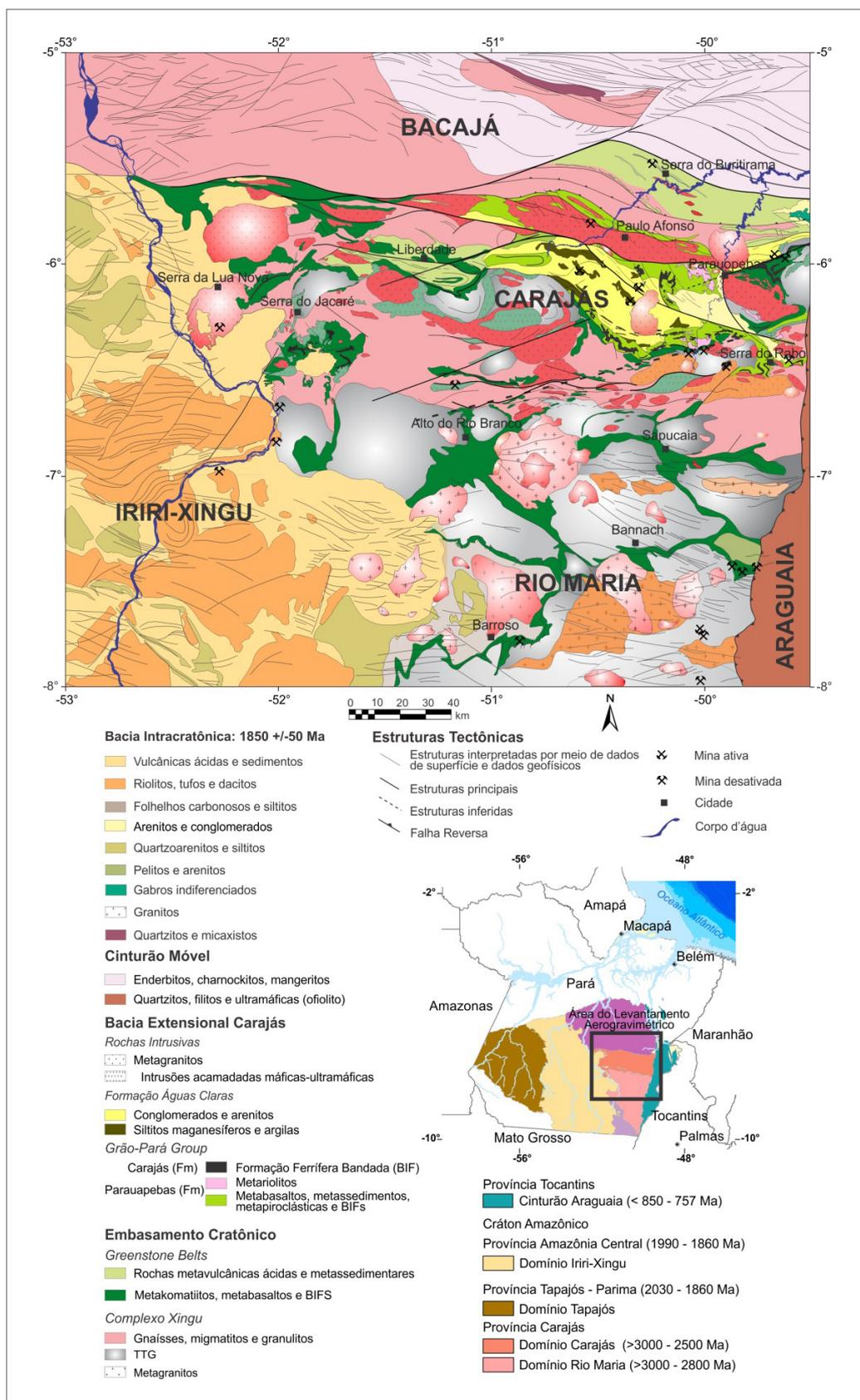


Figura 2 - Arcabouço geofísico-geológico da região do Levantamento Aerogravimétrico Carajás. Fonte: Interpretação Geofísico-Geológica da Provincia Carajás, palestra interna proferida por Iago S. L. Costa, Noevaldo A. Teixeira e Rodolfo R. de Paula do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na Superintendência de Belém no dia 04 de maio de 2016.

Amazônico (Domínio Rio Maria); ii) a extremidade sul do Cinturão Móvel Maroni-Itacaiúnas (Domínio Bacajá); iii) parte do domínio de rochas vulcânicas félsicas e plutônicas alcalinas intracontinentais do *LIP* Uatumã (Domínio Iriri-Xingu); e iv) parte do *thrust belt* do Cinturão Araguaia (Domínio Araguaia).

O método gravimétrico possibilita observar a distribuição de massa na litosfera ao identificar seus excessos por meio de anomalias Bouguer positivas ou suas deficiências por meio de anomalias Bouguer negativas. A distribuição da massa das rochas tem várias implicações geotectônicas e metalogenéticas e, por este motivo, os dados gravimétricos têm sido usados para o entendimento de eventos tectônicos (GIBB et al., 1983; KARNER e WATTS, 1983; HINZE, 1985; WELLMAN, 1988; SÁ et al., 1993; USSAMI et al., 1993; OLIVEIRA e ANDRADE, 2014; OLIVEIRA e MEDEIROS, 2018) e para a localização de depósitos minerais (BIERLEIN et al. 2006; PESCHLER et al., 2006; FORD et al., 2007; SÁNCHEZ et al., 2014; AIRO, 2015).

Neste trabalho são apresentadas as principais correlações geológicas, geotectônicas e metalogenéticas observadas na interpretação dos dados do Levantamento Aerogravimétrico Carajás (Figura 1). É importante informar que, apesar de também terem sido levantados dados magnetométricos, neste informe de geofísica apenas os dados aerogravimétricos foram processados e interpretados. Foi dada ênfase aos aspectos primários relacionados com a distribuição de massa e sua consequência na evolução geológica e na distribuição dos depósitos minerais da área de estudo. A

parametrização do levantamento, com linhas de voo espaçadas de 3 km na direção N-S e a altura constante de 900 metros (SGB-CPRM, 2014), objetivou a cobertura aerogravimétrica de uma área com grande dimensão geográfica. O projeto aerogravimétrico não teve como objetivo a delimitação direta de alvos exploratórios. Entretanto, como será visto, foi possível identificar suturas crustais e corredores tectônicos controladores de depósitos minerais, particularmente de Cu-Au, bem como modelar estruturas geodinâmicas para esta região do Cráton Amazônico.

Ambientes de extensão tectônica, como os riftes, e de compressão tectônica, como as zonas de subducção e os arcos magmáticos, são origem de fluídos e magmas que migram ao longo de canais tectônicos até os seus respectivos sítios de deposição. Cada compartimento possui processos geodinâmicos próprios que permite gerar diferentes tipos de depósitos que são específicos para cada ambiente geotectônico. Mapear e definir os controles físicos favoráveis à localização dos depósitos minerais, através de levantamentos gravimétricos, constituem inúmeras ações inerentes aos serviços geológicos, visando alavancar as descobertas de depósitos minerais. Nessa conjuntura, os dados deste levantamento aerogravimétrico serão muito úteis em programas exploratórios para o estabelecimento de macrocontroles que contribuam na localização de novos depósitos minerais e para expansão daqueles que já são conhecidos, particularmente os depósitos dos tipos *IOCG*, Fe, Cu, Au, Ni, EGP-Cr e Sn, todos passíveis de serem encontrados na área do aerolevantamento aqui apresentado.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DO AEROLEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO

O aerolevante gravimétrico cobriu compartimentos geotectônicos edificados ao longo de um amplo período (3,2 – 0,55 Ga) da evolução da crosta do Cráton Amazônico (TEIXEIRA et al., 1989; TASSINARI e MACAMBIRA, 1999, 2004; TAVARES et al., 2018) (Figura 2). Nessa região, no Mesoarqueano, os processos geodinâmicos produziram um grande bloco continental constituído por uma associação *TTG-greenstone belts* (HUHN et al., 1988; VASQUEZ et al., 2008) sobre o qual, no Neoarqueano, foram formados riftes ou bacias *strike-slip* (PINHEIRO, 1997; HOLDSWORTH e PINHEIRO, 2000). Sobre as sequências vulcano-sedimentares que preencheram essas bacias foi depositada uma sedimentação marinha rasa composta por arenitos, arcóseos, siltitos e conglomerados polimíticos, cujo principal representante é a Formação Águas Claras (ARAÚJO et al., 1988; NOGUEIRA, 1995). No norte da área do aerolevante, os registros da Orogênese Trasmazônica, no Riachão, são definidos pelas deformações produzidas pela colisão do Bloco Carajás com o Bloco Bacajá (TAVARES et al., 2018). No oeste, a ocorrência de grande volume de rochas intrusivas e piroclásticas compõe uma porção da *Large Igneous Province (LIP)* Uatumã, formada no Orosiriano (JULIANI e FERNANDES, 2010; KLEIN et al., 2012), e, finalmente, no leste da área, ocorrem os registros neoproterozoicos do *thrust belt* do Cinturão Araguaia (ALMEIDA et al., 1981), cujo processo colisional com o Cráton Amazônico, possivelmente, produziu obducção do assoalho oceânico da faixa móvel (TEIXEIRA, 1996). Segundo o modelo geotectônico de Vasquez et al. (2008), a área do levantamento aerogravimétrico engloba cinco domínios: Rio Maria, Carajás, Bacajá, Iriri-Xingu e Araguaia (Figura 2).

No sul da área, o Domínio Rio Maria constitui um fragmento mesoarqueano do Cráton Amazônico. O modelo geotectônico dos terrenos *TTG-greenstone belts* dessa porção do cráton tem sido majoritariamente considerado como decorrente de acreção continental a partir da adição de crosta juvenil em zonas de subducção, como apresentado na Figura 3A (SOUZA et al., 2001; VASQUEZ et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010; ALMEIDA et al., 2011). Nesse modelo, a crosta oceânica primitiva teria composição komatiítica e basáltica e o plutonismo *TTG* decorreria por fusão parcial da crosta oceânica. A coalescência de arcos de ilhas, gerados por vulcanismo toleítico e cálcio alcalino interestratificados com sedimentos pelágicos (*BIFs*) e vulcânicas retrabalhadas, comporiam as calhas geradas pelos diápiros *TTG*. A presença de komatiitos nos *greenstone belts* da área estudada sugere a

ação de plumas em função das altas temperaturas desses magmas (CONDIE e BENN, 2006). Entretanto, os modelos matemáticos recentemente apresentados (SIZOVA et al., 2015) explicam a geodinâmica do Arqueano a partir do regime de uma envoltória basáltica estagnada, com episódicos períodos de subducção. Nesse modelo, delaminações induziriam fusão parcial de basaltos pobres em magnésio hidratados gerando *TTG*. A instabilidade gravitacional dos terrenos *TTG-greenstone* poderia originar a subducção resultando em um padrão de domos e quilhas como apresentado na Figura 3B (PARMENTER et al., 2006). O Domínio Rio Maria é caracterizado pela presença de faixas metavulcanossedimentares (típicos *greenstone belts*) envolvidas e seccionadas por pelo menos três gerações de corpos circulares *TTG* (HUHN et al., 2008; VASQUEZ et al., 2008). Tal feição é inteiramente similar a outros crátons mundiais, como Kaapvaal (África do Sul), Zimbabwe (Centro-Sul da África) ou Pilbara (Austrália). Os diversos *greenstone belts*, como Rio Maria, Seringa, Gradaús, Andorinhas, Cumaru (VASQUEZ e ROSA-COSTA, 2008; MONTEIRO et al., 2014 com várias referências), de uma forma geral, evoluíram a partir de fluxos de lavas peridotíticas-komatiíticas, sendo sucedido por vulcanismo toleítico e, mais raramente, cálcio alcalino. O topo das calhas foi preenchido por sedimentos imaturos e vulcânicas retrabalhadas. De maneira similar ao que ocorreu nos crátons citados, o magmatismo ácido potássico mais jovem (2,8 Ga), como Xinguara e Mata Surrão (BARBOSA et al., 1995), marcaram o final da atividade plutônica arqueana. Idades U-Pb em zircão das litologias dessas unidades apresentam intervalo de cristalização entre 3,0-2,9 Ga (TASSINARI, 1996; ROLANDO e MACAMBIRA, 2003; PIMENTEL e MACHADO, 1994). O grau metamórfico é majoritariamente xisto verde, exceto no contato com os domos ácidos quando atinge a fácies anfíbolito. A tectônica é essencialmente vertical com xistosidade de plano axial penetrativa e direção predominante E-W, perturbada pelo *emplacement* de domos sódicos. Ao longo de todas as faixas, são identificadas inúmeras zonas de cisalhamento, quase sempre subverticais (VASQUEZ et al., 2008).

A configuração geral da Bacia (ou Riffe) Carajás tem a forma de um grande sigmoide (Figura 4). Esta bacia é caracterizada por evolução intracratônica, tendo sido estabelecida sobre os terrenos *TTG-greenstone belt* da porção sudeste do Cráton Amazônico. A Bacia Carajás, com dimensão de 200 km x 100 km, possui compartimentos vulcano-sedimentares

metamorfizados, no geral, em fácies xisto-verde e limitados por zonas de cisalhamento associadas a um sistema transpressivo sinistral (PINHEIRO e HOLDSWORTH, 2000; HOLDSWORTH e PINHEIRO, 2000). Gibbs et al. (1986) consideraram que a estruturação atual da bacia já teria se formado em 2,7 Ga. Por outro lado, Pinheiro e Holdsworth (2000) propuseram a atuação de um sistema transpressional sinistral antes da formação da bacia (2,8 -2,7 Ga) e de

um sistema transpressional dextral pós-formação da bacia (2,6 Ga), seguido por uma transpressão sinistral em torno de 1,9 Ga. Tavares (2015) propôs que a configuração atual da Bacia Carajás não corresponde ao seu local original de deposição, uma vez que os esforços tectônicos que originaram o sigmoide ocorreram na Orogênese Transamazônica.

A Figura 5 apresenta o empilhamento estratigráfico geral da Bacia Carajás tomando por base uma série de trabalhos:

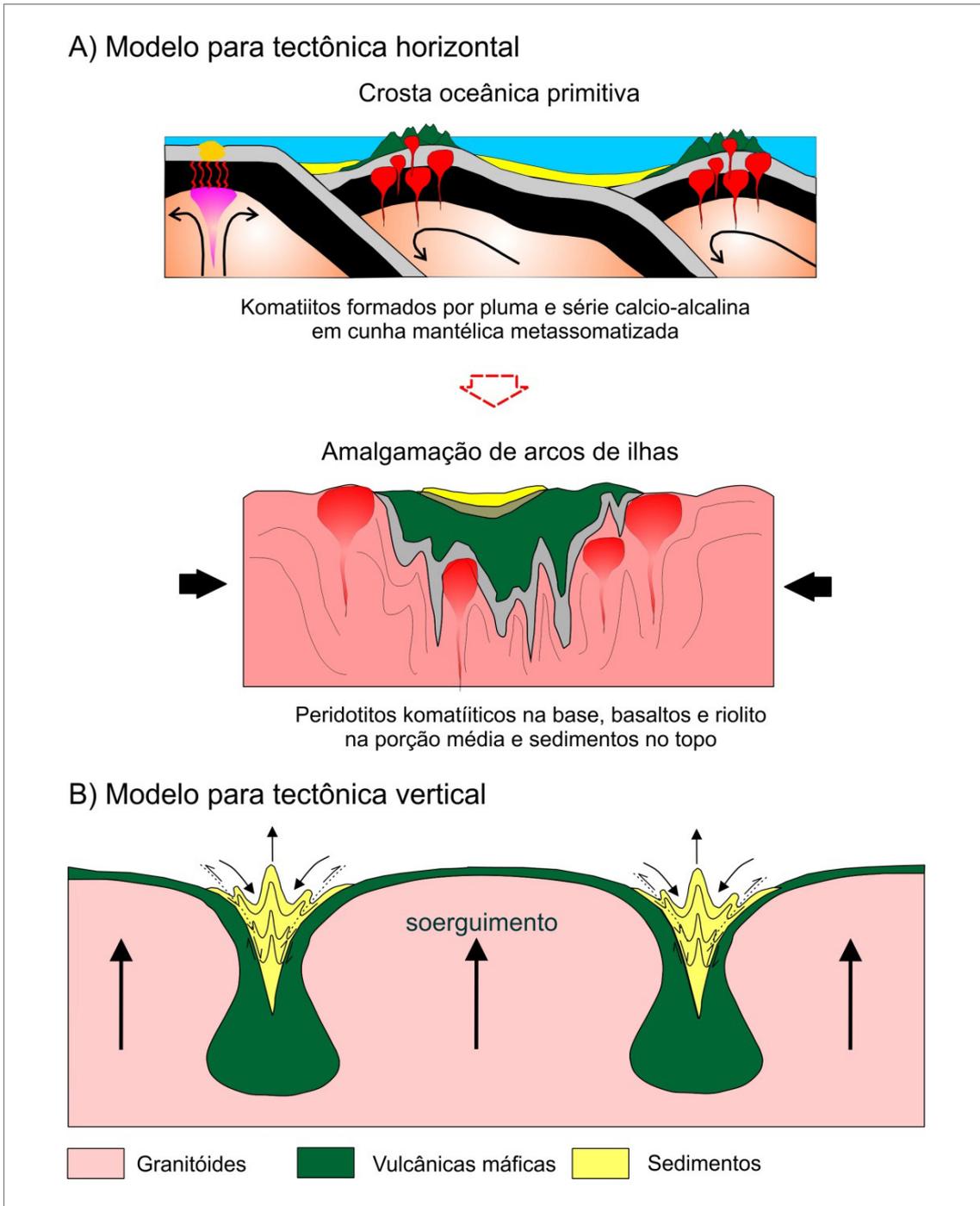


Figura 3 - A) Modelo de formação dos *greenstone belts* por tectônica de placas no Domínio Rio Maria, de acordo com as propostas de Souza et al. (2001); Vasquez et al. (2008); Oliveira et al. (2010) e Almeida et al. (2011). B) Modelo de formação de *greenstone belts* por sagdução adaptado de Parmenter et al. (2006).

Hirata et al. (1982); Gibbs et al. (1986); Machado et al. (1991) e Pinheiro (1997). As unidades estratigráficas (grupos Pojuca, Igarapé-Salobo e Bahia) foram definidas sem seções geológicas tipo, com informações provenientes de furos de sonda e escassos dados geocronológicos. O Grupo Grão-Pará possui um maior conjunto de dados, sendo definido como um pacote predominantemente vulcânico com magmatismo máfico basáltico continental dominante e riolitos subordinados. Wirth et al., (1986) consideraram a idade da Bacia Carajás como 2,76 Ga, obtido em uma rocha metavulcânica ácida. Os períodos de interrupção vulcânica são marcados por deposição de espessas camadas de sedimentos químicos exalativos (*BIF*). As demais unidades foram arbitrariamente colocadas no topo por apresentarem maior conteúdo sedimentar e piroclástico, denotando um arrefecimento da atividade vulcânica. A sequência basal é coberta pela Formação Águas Claras (ARAÚJO et al., 1988; NOGUEIRA, 1995). Toda sequência é cortada por corpos graníticos alcalinos e corpos máficos-ultramáficos acamadados com idades em torno de 2,7 Ga.

O Domínio Bacajá é composto por associações tectônicas que representam fragmentos arqueanos e siderianos

retrabalhados durante o Ciclo Transamazônico, contendo granitoides de arcos magmáticos riacianos e granitoides e charnockitos relacionados ao clímax e estágios posteriores da colisão continental riaciana (VASQUEZ e ROSA-COSTA, 2008, com várias referências). A tectônica dominante é transcorrente com orientação WNW-ESSE, ressaltada pelo relevo e por anomalias magnéticas, que contrastam com a tectônica tangencial E-W do Domínio Carajás adjacente (KLEIN et al., 2014). Segundo Tavares et al. (2018), a colisão entre os blocos Carajás e Bacajá foi associada com um importante espessamento tectônico da crosta (Figura 6), evidenciado pelo metamorfismo regional.

A região que corresponde ao Domínio Iriri-Xingu é uma pequena fração de um amplo evento vulcano-plutônico de dimensões continentais que cobre grande parte da Amazônia Central, denominado evento magmático Uatumã (CORDANI et al., 1984, JULIANI et al., 2014, VASQUEZ et al., 2008, SANTOS et al., 2000). Klein et al. (2012) caracterizaram-no como uma *Silicic Large Igneous Province* que evoluiu entre 1,87- 1,89 Ga. Na área coberta pelo levantamento aerogravimétrico, é constituído por uma associação vulcano-plutônica

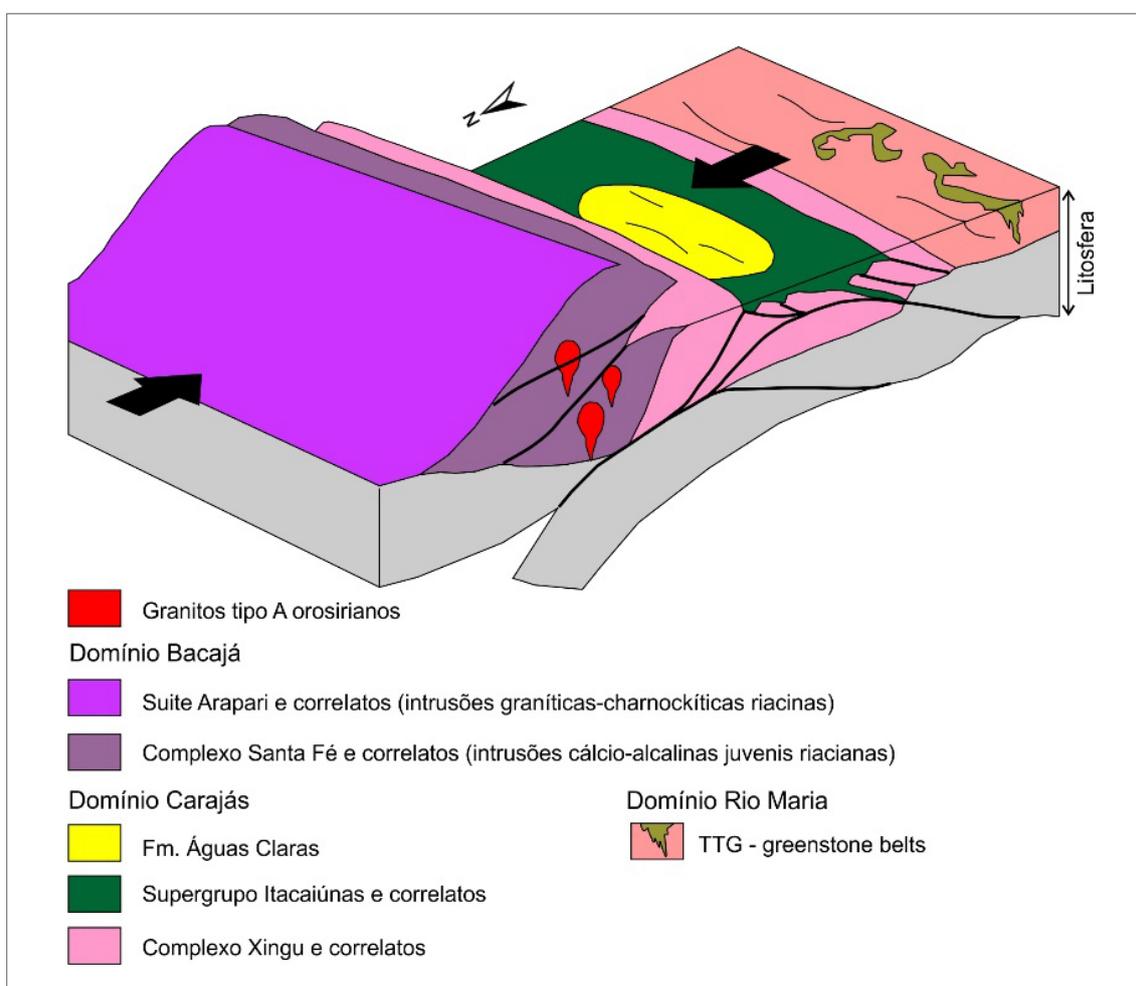


Figura 6 - Esquema sem escala da colisão entre os blocos Carajás e Bacajás no Riáciano. Reproduzido de Tavares et al. (2018).

orosiriana, que inclui vulcânicas félsicas e plutônicas alcalinas intracontinentais, além de coberturas sedimentares de rifte continental (VASQUEZ e ROSA-COSTA, 2008). O estilo do vulcanismo é, essencialmente, em ambiente de caldeira com forte componente explosivo e os termos piroclásticos predominam em relação às lavas ácidas riolíticas e dacíticas (JULIANI e FERNANDES, 2010) (Figura 7).

O Cinturão Araguaia ocupa uma pequena parte da área do projeto, porém em toda sua extensão ele tem aproximadamente

1.200 km na direção N-S e largura de cerca de 100 km, margeando a borda leste do Cráton Amazônico. Na pequena parte que ocupa na área do projeto, dominam rochas metasedimentares da Formação Couto Magalhães (VASQUEZ et al., 2008). O arcabouço estrutural do Cinturão Araguaia é marcado, principalmente, por um sistema de cavalgamentos regionais de direção aproximada N-S, suavemente inclinados para E-ESE (Figura 8), que imprimem uma marcante foliação nas rochas (VASQUEZ e ROSA-COSTA, 2008).

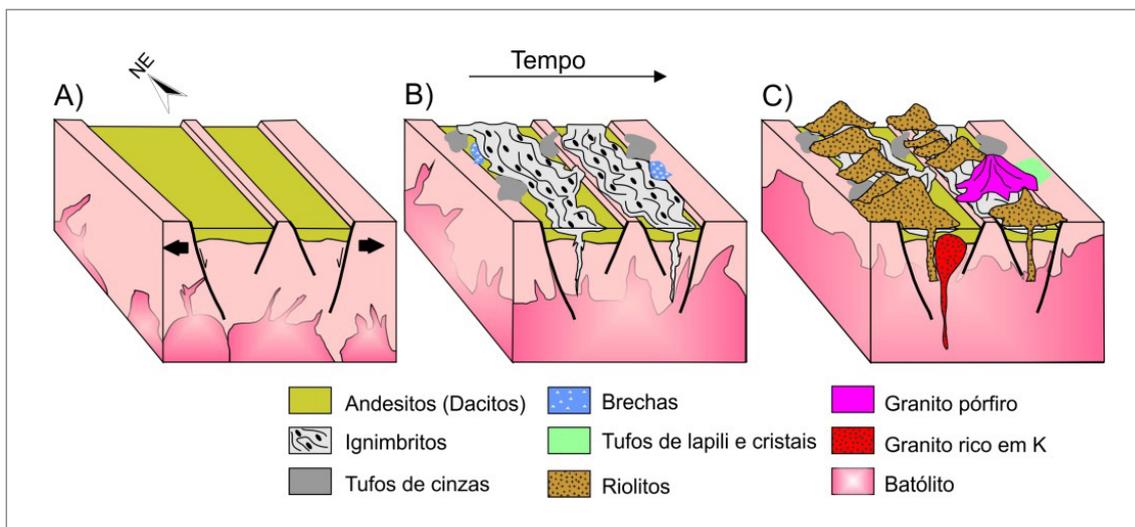


Figura 7 - Esquema sem escala apresentando as fases do desenvolvimento do LIP Uatumã no Domínio Iriri-Xingu (reproduzido de JULIANI e FERNANDES, 2010). A) extensão da crosta, formação de batólitos e deposição da Formação Sobreiro. B) Vulcanismo explosivo e formação de um grande volume de ignimbritos. C) Extrusões de riolitos, domeamento e intrusão tardia de granitos e granitos pórfiros.

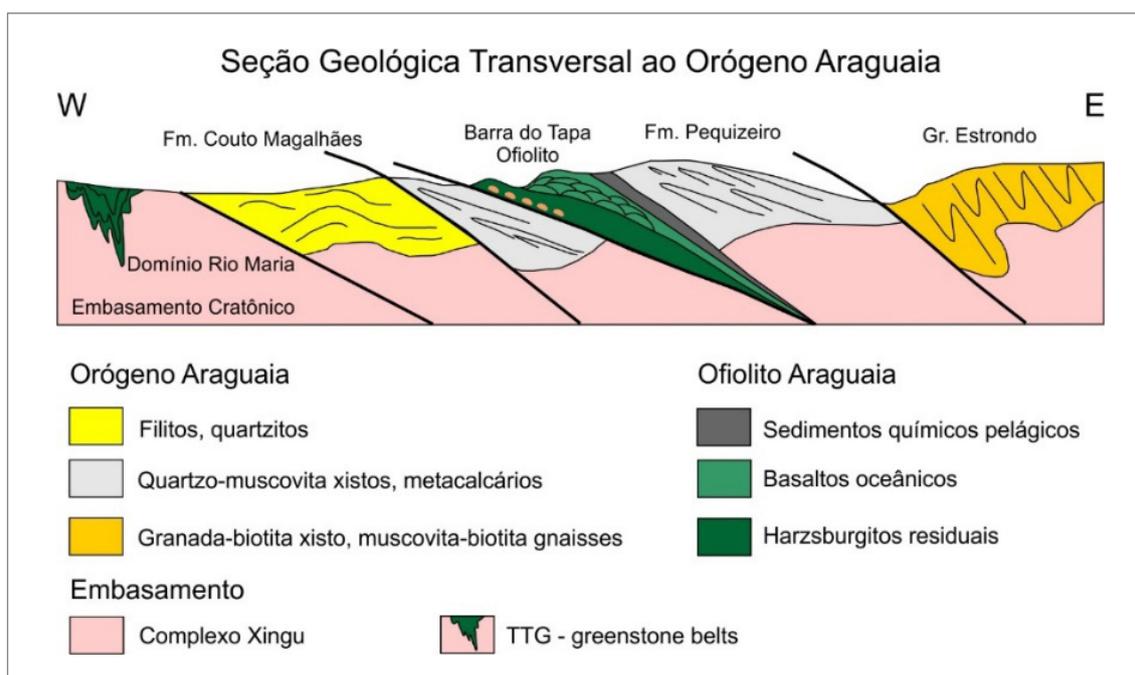


Figura 8 - Seção geológica transversal ao Orógeno Araguaia, com ênfase ao posicionamento do ofiolito (Serra do Tapa, Quatipuru). Reproduzida de Teixeira (1996).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dados Aerogravimétricos

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em 28 de março de 2013, realizou o Contrato nº 002/PR/13 com o Consórcio Aerogravimetria CPRM-Carajás, constituído pelas empresas Lasa Prospecções S.A. e Microsurvey Aerogeofísica Consultoria Científica Ltda., para a execução do serviço de aquisição e processamento de dados aeromagnetométricos e aerogravimétricos do Projeto Levantamento Aerogravimétrico Carajás no Estado do Pará (Figuras 1 e 2).

Para a etapa de aquisição de dados foram utilizadas duas aeronaves, os Cessna Caravan C-208B prefixos PR-FAS e PP-AGP, as quais realizaram o projeto no período de 30/04/2013 a 01/10/2014, totalizando 58.067,70 km de perfis em uma área de 128.694 km² (Figura 9). As bases de operações para a etapa de aquisição de dados foram localizadas nas cidades de Ourilândia do Norte (PA), Marabá (PA) e Imperatriz (MA). Foram usados magnetômetros de bombeamento óptico de vapor de césio e os aerogravímetros GT-2A e GSS3 Graviton-M (Figura 10).

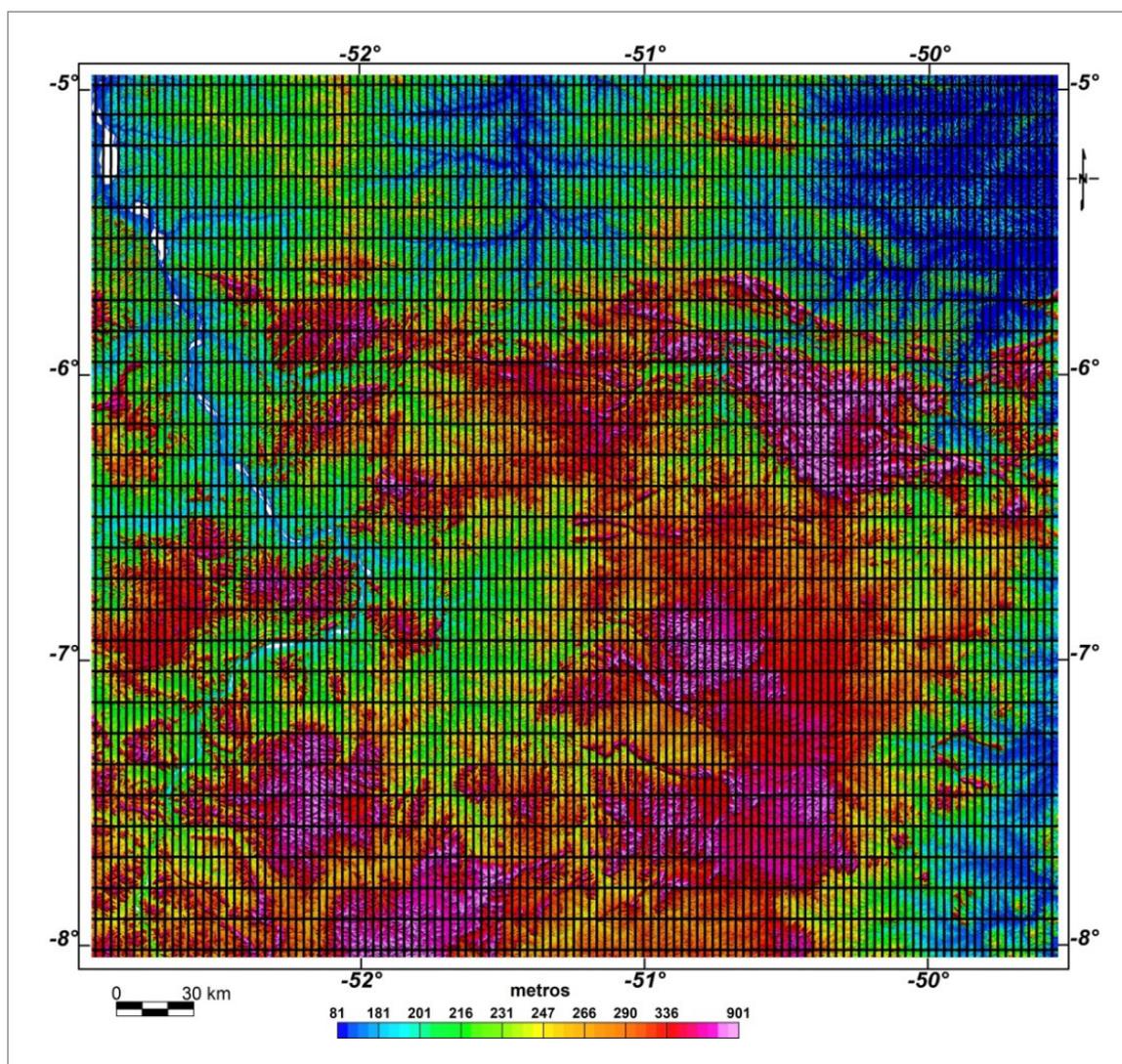


Figura 9 - Linhas de voo do Projeto Levantamento Aerogravimétrico Carajás. As linhas de produção na direção N-S foram espaçadas de 3 km, enquanto as linhas de controle na direção E-W foram espaçadas de 12 km. A amostragem ao longo das linhas de voo variou de acordo com cada aeronave: 7,65 m para o Cessna com prefixo PR-FAS e 15,21 m para o Cessna com prefixo PP-AGP.



Figura 10 - A) Aviões modelo Cessna empregados no aerolevanteamento, estacionados na base de operação do aeroporto de Marabá (PA). B) Avião sobre base gravimétrica. C) Equipamentos de aquisição, processamento e navegação. D) Aerogravímetro GSS3 Graviton-M da Microsurvey Ltda. empregado no aerolevanteamento.

O posicionamento foi realizado por um sistema de navegação GPS com receptores de 12 canais e correção diferencial *real time* (CPRM, 2014). As linhas de voo, na direção N-S, foram espaçadas de 3 km, enquanto as linhas de controle na direção E-W foram espaçadas de 12 km (Figura 9). A amostragem ao longo das linhas de voo variou de acordo com cada aeronave: 7,65 m para o Cessna com prefixo PR-FAS e 15,21 m para o Cessna com prefixo PP-AGP. Leituras gravimétricas para o controle das derivas foram registradas a cada dia de trabalho, antes e após o voo sobre uma estação gravimétrica base, referenciada à Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (RGFB) (Figura 10). A gravação foi realizada durante 40 minutos nas estações-base dos aeródromos. O levantamento foi realizado na altitude fixa de 900 m, com uma velocidade média de 275 km/h no período noturno (CPRM, 2014). Antes do levantamento, foram efetuados testes de consistência gravimétrica interna com o gravímetro ligado sobre a estação-base referenciada a RGFB. Foram também realizados teste de consistência externa em uma pista de calibração localizada em Tietê (SP).

Para a obtenção das anomalias Bouguer e ar-livre foram efetuadas as seguintes correções: aceleração dinâmica, deriva, maré, eötvös e latitude (gravidade normal com a fórmula de 1980). A anomalia Bouguer foi calculada para uma massa topográfica com densidade igual a 2,67 g/cm³.

O processamento final consistiu no nivelamento e micro-nivelamento dos dados das anomalias Bouguer e ar-livre (CPRM, 2014).

3.2. Interpolação e Separação das Componentes Regional e Residual dos Dados de Anomalia Bouguer

Os dados de anomalia Bouguer foram interpolados pelo método de mínima curvatura em *grids* quadrados com dimensão de 750 m x 750 m, equivalente a um quarto da separação entre as linhas de voo (Figura 11). Sabe-se que um mapa gravimétrico dessa envergadura, que abrange um ambiente geológico complexo e uma área de grande dimensão, contém a superposição de anomalias causadas por fontes rasas que refletem variações de densidades de interesse geológico prospectivo, com anomalias causadas por fontes profundas relacionadas com variações de densidades regionais e de interesse geotectônico. Por causa disto, neste trabalho foram aplicados processamentos para separar esses dois tipos de anomalias. O procedimento de filtragem foi realizado após a análise do espectro de potência médio radial dos dados (Figura 12) mediante o emprego do operador gaussiano regional-residual no módulo *Magma* do *Oasis Montaj* v. 9.5 (Geosoft).

Para a separação entre fontes rasas e profundas, de acordo com o espectro de potência médio radial e suas estimativas de profundidades, foi definido o ponto de corte no número de onda 0,015 ciclos/km, que corresponde a

um comprimento de onda igual a 67 km (Figura 12). Com a aplicação de um filtro gaussiano, foram separadas as fontes rasas com números de onda maiores do que o ponto de corte e profundidades médias dos topos abaixo de 10 km

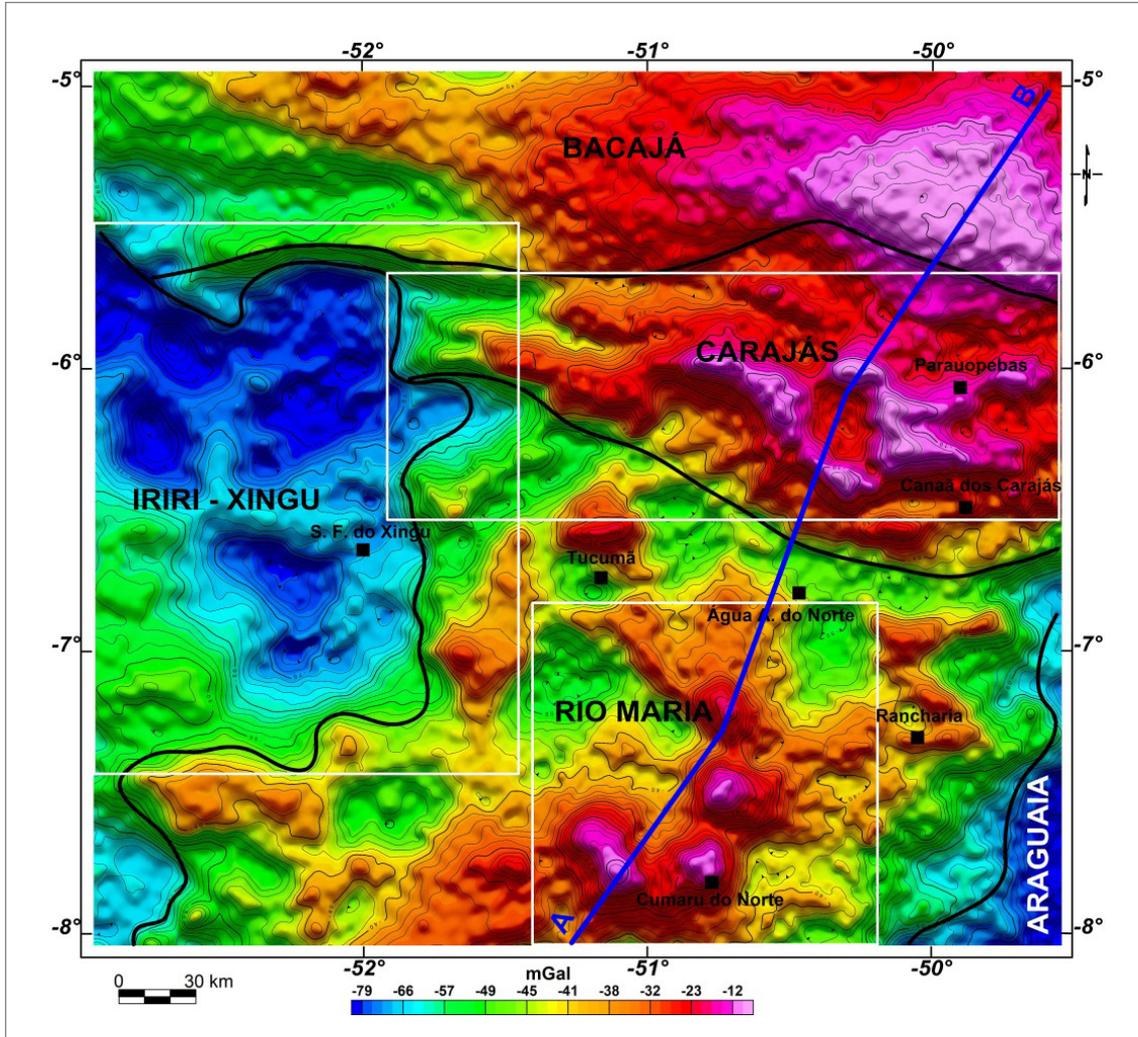


Figura 11 - Anomalia gravimétrica Bouguer (grid de 750 m x 750 m) da área do Projeto Levantamento Aerogravimétrico Carajás com superposição dos limites dos domínios tectônicos, localização do perfil regional A-B modelado (traço azul), e os limites das áreas de modelagens diretas 2,5D e inversão VOXI (retângulos com traço branco). Imagem sombreada: declinação = 0°Az e inclinação = 35°.

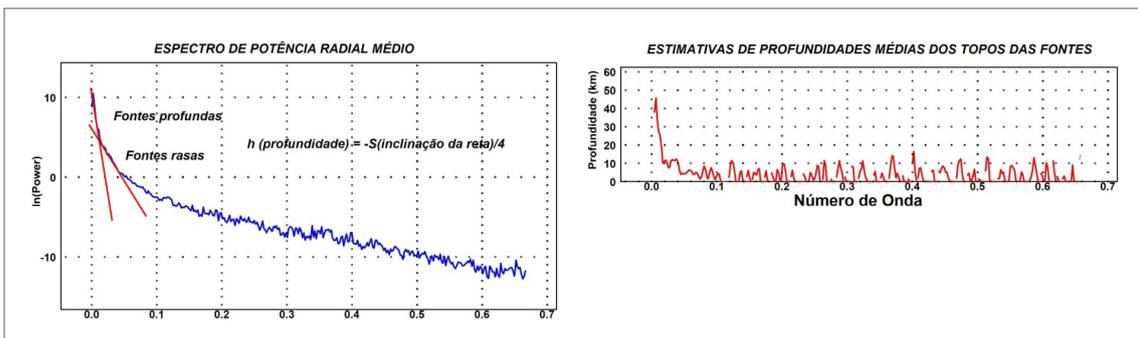


Figura 12 - Espectro de potência radial médio dos dados de anomalias Bouguer com a interpretação dos intervalos dos números de onda utilizados para a aplicação do filtro gaussiano regional-residual.

(Figura 13). Portanto, as fontes profundas correspondem a números de onda menores do que o ponto de corte e com profundidades médias dos topos acima de 10 km e profundidades máximas de 45 km (Figura 14).

3.3. Métodos de Interpretação e Modelagens

Levantamentos gravimétricos em escala regional constituem uma poderosa ferramenta para a determinação e caracterização de diferentes compartimentos geotectônicos, porque as justaposições de massas com contraste de densidades estão associadas com variações litológicas e estruturais dos ambientes geológicos (PESCHLER et al., 2004; PESCHLER et al., 2006; OLIVEIRA e MEDEIROS, 2018). Portanto, o emprego de dados gravimétricos em estudos geotectônicos tem potencialidade para separar e definir compartimentos e limites tectônicos relacionados com eventos de magmatismo e colisões continentais (GIBB et al., 1983; KARNER e WATTS, 1983; PESCHLER et al., 2004; PESCHLER et al., 2006;

OLIVEIRA e MEDEIROS, 2018). Entretanto, conciliar dados geofísicos com dados geológicos de superfície é uma tarefa complexa devido à informação de subsuperfície contida nos dados geofísicos. Assim, foi adotado o procedimento de interpretar e modelar os dados gravimétricos empregando modelos geológicos simples e coerentes.

Uma das principais dificuldades na interpretação de dados gravimétricos é isolar as anomalias causadas por diferentes fontes geológicas. Assim, foi usada a estratégia de sobrepor as estruturas e os principais contatos geológicos no mapa de anomalias de Bouguer e, depois, observar a correlação entre eles. Os alinhamentos de contrastes de densidade mais fortes podem ser interpretados como contatos entre duas unidades de rochas com densidades significativamente diferentes. Geralmente, em comparação com os mapas geológicos, os contrastes de densidade máxima se correlacionam bem com falhas e zonas de cisalhamento (PESCHLER et al., 2004; SÁNCHEZ et al, 2014; OLIVEIRA e MEDEIROS, 2018).

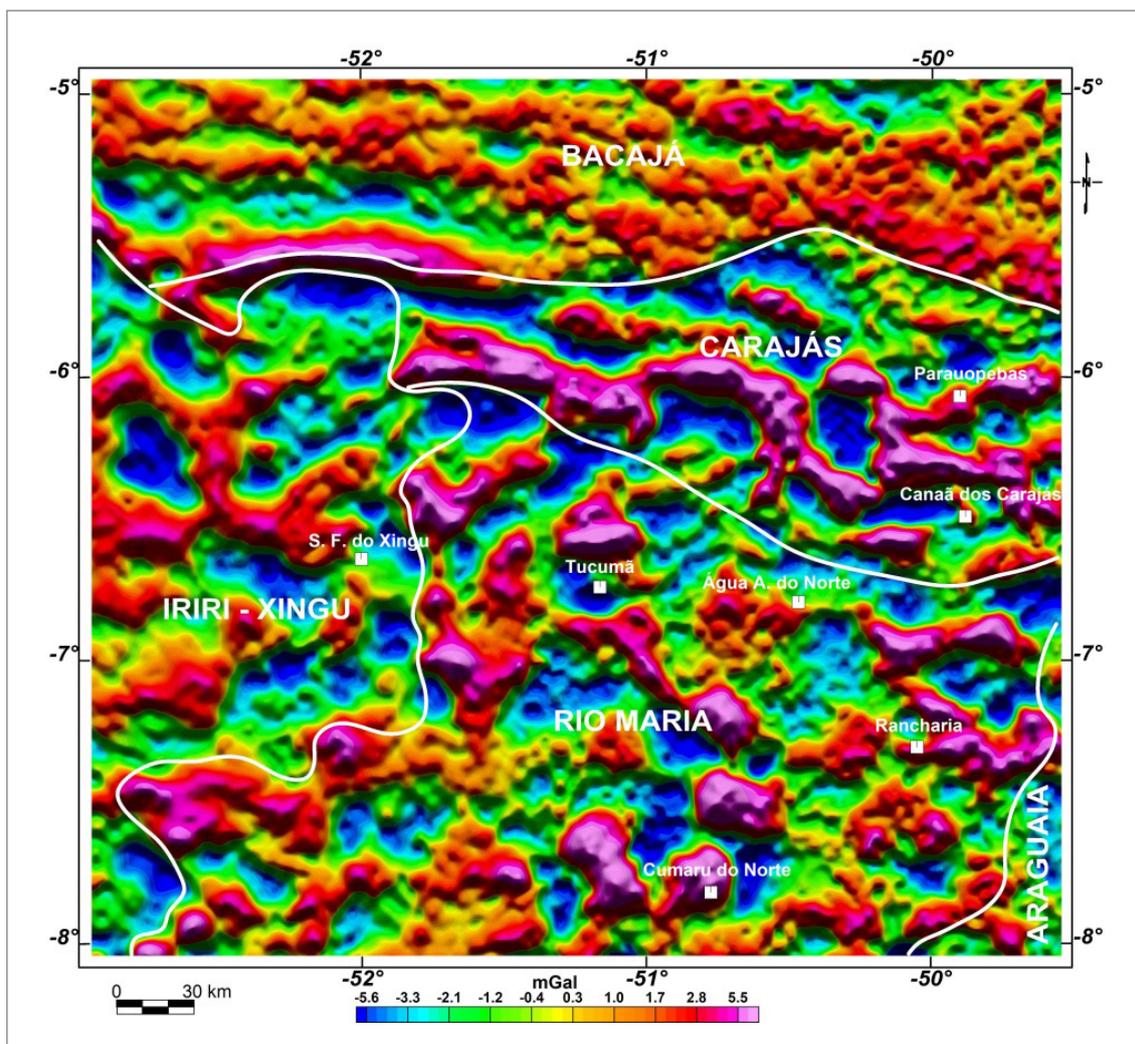


Figura 13 - Componente residual da anomalia Bouguer com superposição dos limites dos domínios tectônicos. Fontes com profundidades inferiores a 10 km. Imagem sombreada: declinação = 0°Az e inclinação = 35°.

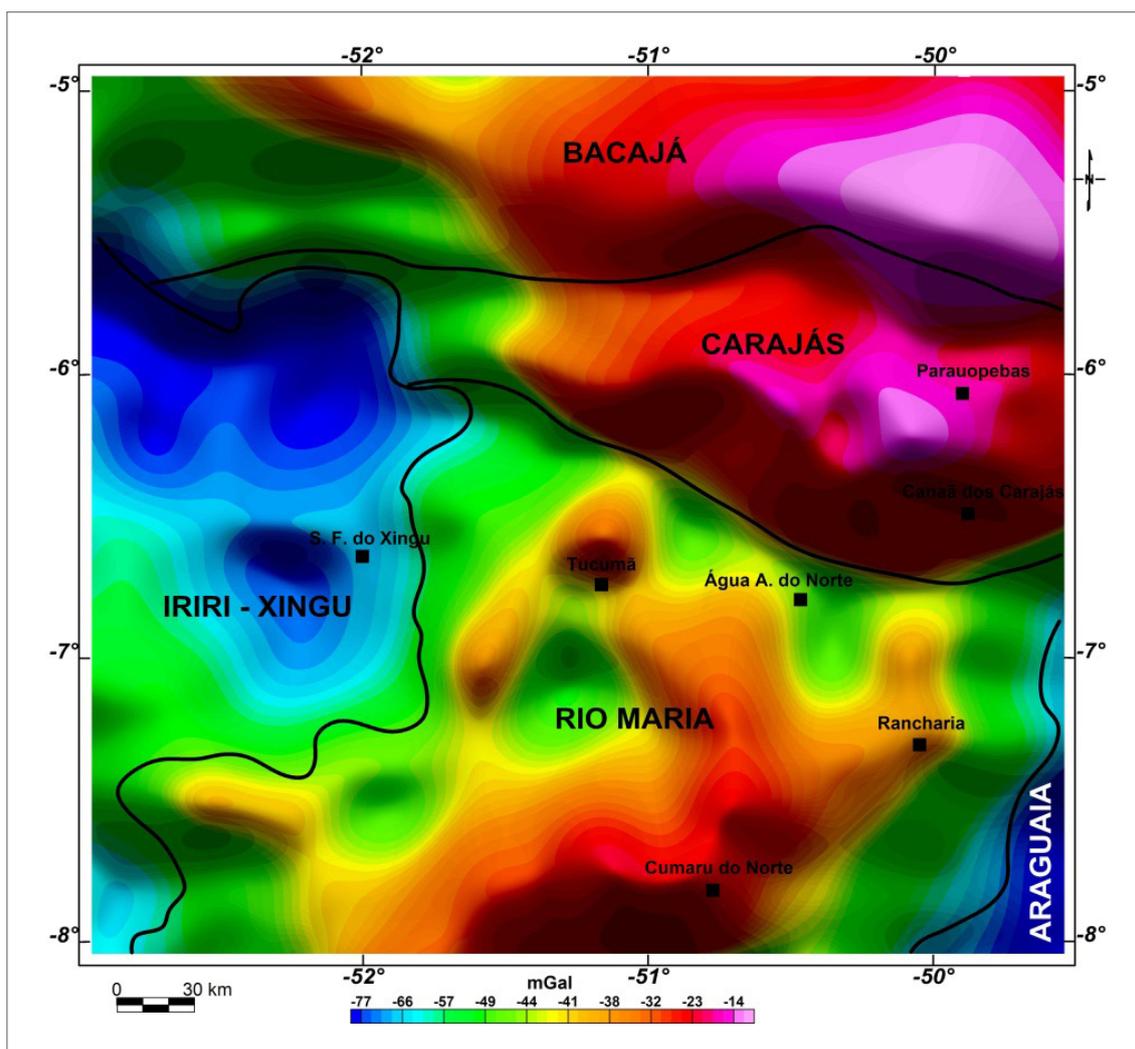


Figura 14 - Componente regional da anomalia Bouguer com superposição dos limites dos domínios tectônicos. Fontes com profundidades superiores a 10 km. Imagem sombreada: declinação = 0°Az e inclinação = 35°.

Neste trabalho foram implementadas modelagens quantitativas 2,5D e 3D, na plataforma *Oasis Montaj* da *Geosoft*, para produzir modelos da crosta adotando duas abordagens: i) modelagens diretas bidimensionais por meio do módulo *GM-SYS*, nas quais foram inseridas informações geológicas conhecidas; e ii) inversões tridimensionais automáticas (3D) pelos métodos *VOXI Earth Modeling* e *Euler Deconvolution*. Para a modelagem com o método *VOXI*, o modelo de inversão representa a subsuperfície como células *voxels* (elementos de volume) de contraste de densidade. Contudo, a variação no contraste de propriedades físicas entre células vizinhas é minimizada, de modo que uma restrição de suavidade é imposta (CONSTABLE et al., 1987; MACLEOD e ELLIS, 2015). O método de *Euler Deconvolution* foi aplicado por meio do cálculo de rotina desenvolvido por Reid et al. (1990) e Mushayandebvu et al. (2001). O procedimento adota o método da estimativa da posição 3D de uma fonte anômala considerando os gradientes das anomalias e um índice estrutural escolhido (*SI*) que corresponde a modelos geológicos simples.

Para a modelagem direta da anomalia Bouguer, foram utilizadas as linhas de voo na direção N-S, que cruzam a área de estudo e atravessam quase ortogonalmente as principais estruturas e litologias. Durante o processo de modelagem, foram adotados os seguintes procedimentos: i) adição de blocos de densidade alta ou baixa em relação a um *background* e de acordo com o tipo de anomalia, positiva ou negativa, respectivamente; (ii) cálculo dos efeitos; e (iii) comparação dos efeitos calculados com os dados observados. Para cada bloco modelado, foram considerados todos os dados geológicos conhecidos. Os valores das densidades utilizadas neste trabalho são compatíveis com valores medidos e usados em terrenos arqueanos ou proterozoicos (por exemplo, Tabela 1 em PESCHLER et al., 2004). Após a modelagem de cada perfil separadamente, os resultados dos dados foram compilados em um único banco de dados e depois interpolados para a construção de um modelo tridimensional da profundidade.

A abordagem utilizada na interpretação tem algumas limitações, por isso é importante esclarecer aspectos

relacionados à ambiguidade associada à interpretação dos dados. No caso das modelagens diretas 2,5D, mesmo que valores de densidade adequados sejam empregados, a dimensão dos corpos modelados pode ser subestimada ou superestimada em situações em que a proporção de rochas mais ou menos densas sofre grandes variações. Portanto, o método pode conduzir a erros na definição da forma e profundidade dos corpos. A forma de um corpo que

se encaixa na mesma anomalia de gravidade pode variar bastante e, por isso, sempre que possível, é imprescindível a adição de informações geológicas. No caso da inversão 3D, os resultados apresentados estão sobre influência das premissas e restrições impostas à modelagem e, portanto, os modelos resultantes assumem critérios de simplicidade que muitas vezes não atendem às complexidades da realidade geológica.

4. RESULTADOS: INTERPRETAÇÃO E MODELAGEM DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS

4.1. Domínios Tectônicos-Gravimétricos

Neste trabalho foi feita a separação de domínios gravimétricos da área de estudo, buscando conciliar a interpretação com o arcabouço tectônico proposto no Mapa Geológico do Estado do Pará (VASQUEZ et al., 2008). De acordo com este arcabouço, foram separados cinco domínios gravimétricos (Figura 15) cujas assinaturas geofísicas foram, também, correlacionadas com as litologias cartografadas.

I) O Domínio Rio Maria é formado por um conjunto de anomalias Bouguer positivas com amplitudes entre 15 e 25 mGal, comprimentos de onda entre 25 e 30 km, orientadas nas direções NNE-SSW, NW-SE e E-W. Estas anomalias positivas contornam anomalias negativas semicirculares, com diâmetros entre 10 e 40 km e amplitude média de 10 mGal, correlacionadas com ortognaisses *TTG* e granitoides de alto K arqueanos, bem como com intrusões de rochas félsicas orosirianas intraplacas (Tipo A, MACAMBIRA e VALE, 1997; DALL'AGNOL et al., 1999; DALL'AGNOL et al., 2005). Este padrão gravimétrico, com ausência de *trends* lineares em grande escala e com entrelaçamentos entre anomalias positivas (*greenstone belts*) e negativas (intrusões *TTG*), sem uma direção dominante, tem semelhança com o padrão tectônico observado em terrenos arqueanos antigos (ZEGERS e VAN KEKEN, 2001; HARRIS et al., 2012; FRANÇOIS et al., 2014). O limite desse domínio com o Domínio Iriri-Xingu é definido por uma linha que contorna o limite

médio entre a tendência predominantemente positiva do Rio Maria e a tendência negativa do Iriri-Xingu.

II) O Domínio Carajás é definido por faixas emparelhadas de anomalia Bouguer positivas orientadas, principalmente na direção ESE-WNW, com amplitudes entre 10 e 30 mGal e comprimento de onda entre 20 e 30 km, correlacionado com seqüências metavulcanossedimentares e um grande volume de formações ferríferas do Supergrupo Itacaiuna. No conjunto, as faixas de anomalias gravimétricas apresentam uma forma que esboça um grande sigmoide em compatibilidade com um evento de uma deformação em um regime transpressivo sinistral (HOLDSWORTH e PINHEIRO, 2000). Estas faixas contornam anomalias negativas associadas com o embasamento gnáissico, intrusões de granitos e coberturas sedimentares (Formação Águas Claras), bem como por intrusões orosirianas de granitos intraplaca do tipo A (MACAMBIRA e VALE, 1997; DALL'AGNOL et al., 1999; DALL'AGNOL et al., 2005). O limite do Domínio Carajás com o Domínio Rio Maria é marcado por um corredor, com largura média de 15 km, formado por anomalias negativas com amplitudes médias de 10 mGal associadas com intrusões de granitos arqueanos de alto K alongados na direção E-W.

III) O Domínio Bacajá é caracterizado por anomalias Bouguer positivas com amplitudes médias de 25 mGal, correlacionado com rochas do Complexo Cajazeiras que sofreram metamorfismo em fácies granulito (VASQUEZ et al., 2008; VASQUEZ e ROSA COSTA, 2008)).

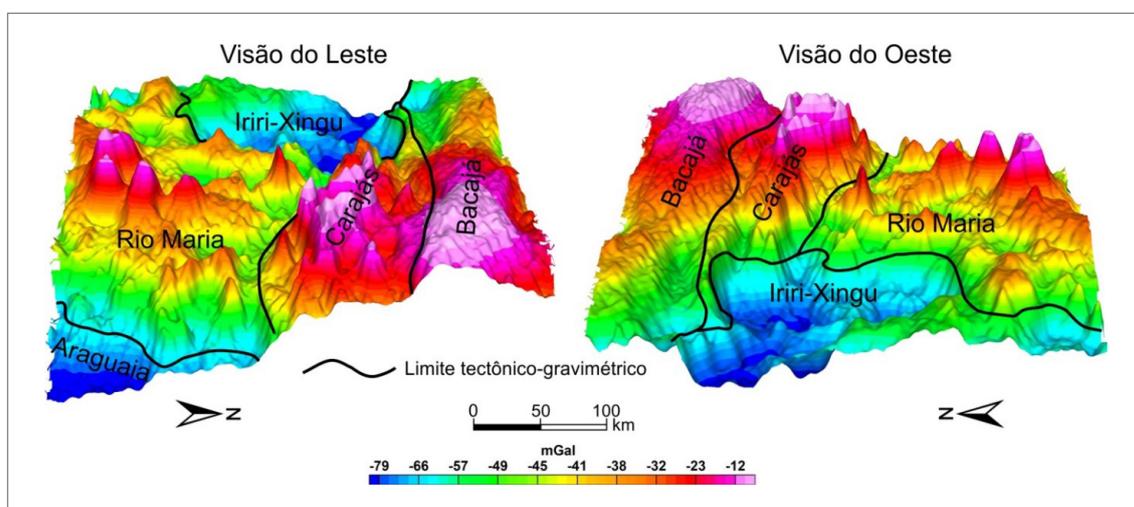


Figura 15 - Visualizações 3D da anomalia Bouguer com separações dos domínios tectônicos gravimétricos de acordo com as denominações de Vasquez et al. (2008).

Neste padrão dominante de anomalias positivas, ocorrem, também, anomalias negativas com amplitudes máximas de 14 mGal, associadas com corpos intrusivos de composição enderbítica e charnockítica (VASQUEZ et al., 2008). O limite com o Domínio Carajás ocorre mediante um gradiente negativo de 0,34 mGal/km, correlacionado com zonas de cisalhamento. A importância e significado tectônico deste limite está discutido em detalhes no Item 4.7.

IV) O Domínio Iriri-Xingu, ao contrário dos outros três domínios descritos acima, apresenta uma tendência expressivamente negativa definida por anomalias semicirculares com diâmetros entre 15 e 40 km e amplitudes entre 15 e 25 mGal. A correlação geológica dessas anomalias na superfície é com rochas vulcânicas paleoproterozoicas do Grupo Iriri e da Formação Sobreiro (VASQUEZ et al., 2008). Também, algumas anomalias têm correlação com intrusões de granitos intraplaca orosirianos (MACAMBIRA e VALE, 1997; DALL'AGNOL et al., 1999; TEIXEIRA et al., 2002; DALL'AGNOL et al., 2005).

V) O Cinturão Araguaia apresenta uma pequena exposição no sudeste da área de estudo. Ele tem correlação com anomalias com gradiente negativo médio de 0,65 mGal/km no sentido do cinturão. As anomalias estão associadas em superfície com metassedimentos da Formação Couto Magalhães (VASQUEZ et al., 2008).

4.2. Alinhamentos Gravimétricos

Alinhamentos geofísicos podem revelar aspectos tectônicos e litológicos importantes de uma área de estudo porque eles contêm informações da subsuperfície. Outro atributo é a capacidade que os métodos geofísicos possuem para acessarem áreas de difícil acesso, como ocorre nos aerolevantamentos.

A interpretação dos alinhamentos depende do método geofísico empregado e do parâmetro petrofísico que ele está expressando. No caso de dados gravimétricos, como ocorre neste estudo, os alinhamentos foram interpretados segundo quatro diferentes atributos: i) eixos de anomalias positivas; ii) eixos de anomalias negativas; iii) gradientes entre anomalias positivas e negativas; e iv) truncamentos. As anomalias positivas identificam rochas mais densas que a média da crosta da área de estudo e podem representar, por exemplo, corpos de rochas máficas, sequências metavulcanossedimentares, *BIFs* e rochas que sofreram metamorfismo de pressão alta. As anomalias negativas identificam rochas mais leves do que a média da crosta da área de estudo e podem representar intrusões de rochas ácidas e depósitos sedimentares. Também, ambos os tipos de anomalias podem estar associados com zonas de falhas ou cisalhamentos. Os gradientes entre anomalias podem representar contatos normais ou tectônicos entre rochas com densidades diferentes. Por fim, truncamentos

são feições importantes para a identificação de estruturas rúptil ou dúctil-rúptil.

A observação da Figura 16 demonstra que estes quatro tipos de assinaturas gravimétricas podem ser identificados na área de estudo. Nos traçados dos alinhamentos com o emprego da anomalia Bouguer, de sua componente residual e das derivadas vertical e horizontal, verifica-se uma grande variação nos comprimentos e nas direções. Os comprimentos expressam uma indicação da relevância regional das feições e as direções os indícios dos *trends* de deformações. Neste caso, apesar da grande variação, é possível identificar que as direções NE-SW e WNW-ESE são as mais importantes.

Uma notável característica destes alinhamentos é a sua forte correlação com depósitos minerais (Figura 16). Isto revela algumas distinções: i) os depósitos de Cu-Au do tipo *IOCG* estão correlacionados com alinhamentos regionais de anomalias positivas ou de gradientes; ii) os depósitos de Mn com um longo alinhamento de gradiente; iii) os depósitos de Sn e W com eixos de anomalias negativas; e iv) os depósitos de Au do Domínio Rio Maria com alinhamentos curtos na direção NE-SW. Cada uma destas correlações pode revelar controles tectônicos e litológicos regionais relevantes para a descoberta de novos depósitos. Estas correlações estão detalhadas no Item 4.9.

4.3. Distribuição de Massa na Crosta Superior/ Média da Área de Estudo

A observação das estimativas de profundidades do topo das fontes das anomalias gravimétricas na Figura 12 indica valores máximos de até 45 km, que devem corresponder à profundidade da interface crosta-manto (*Moho*). Esta estimativa é um pouco maior do que a espessura da crosta prevista para a região no modelo de Assumpção et al. (2013). Entretanto, a interpretação do espectro de potência sugere que a média da profundidade dos topos das fontes gravimétricas contidas na área de estudo é 25 km. Este valor é próximo do esperado para as espessuras somadas das crostas superior/média em outras regiões cratônicas previstas no modelo de Bassin et al. (2000). Então, considerando as limitações das estimativas feitas com base no espectro de potência, supõe-se que a componente regional dos dados gravimétricos (Figura 14) contém fontes localizadas acima da crosta inferior. Isto implica que as discussões e interpretações dos dados gravimétricos estarão restritas às fontes gravimétricas contidas na crosta superior/média, com exceção de aspectos ligados às tendências regionais possivelmente associadas com a variação da profundidade de *Moho* e que são discutidas no Item 4.7.

Dados gravimétricos devem ser compreendidos e interpretados de acordo com a variação de densidades das rochas. A crosta é a parte menos densa da Terra, por causa da diferenciação gravitacional resultante de processos

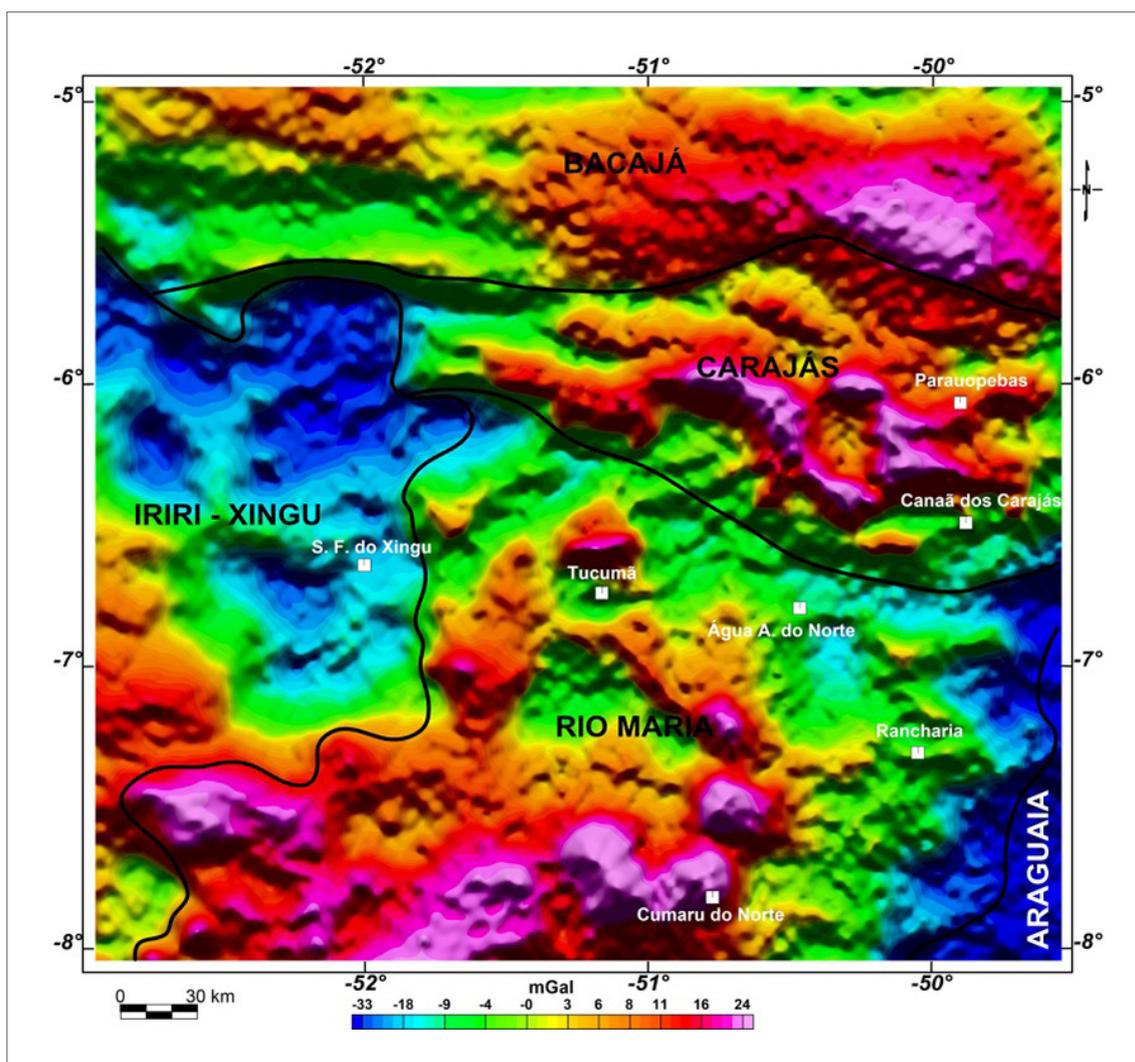


Figura 17 - Anomalia Bouguer com tendência de 1ª ordem removida com superposição dos limites dos domínios tectônicos. Imagem sombreada: declinação = 0°Az e inclinação = 35°.

um com valores positivos e o outro com valores negativos; iii) os valores positivos foram interpolados produzindo um *grid* que representa o excesso de massa (Figura 18); e iv) os valores negativos foram interpolados produzindo um *grid* que representa a deficiência de massa (Figura 18).

Os resultados dessa separação entre excessos e deficiências de massa na crosta superior/média são discutidos com base na correlação com informações geológicas de superfície e em modelagens 2,5D e 3D dos dados gravimétricos e de acordo com as características de cada domínio tectônico-gravimétrico. Neste contexto, as feições gravimétricas são apresentadas e suas contribuições para o entendimento do regime geodinâmico dos vários domínios são discutidas. Assim, a gravimetria fornece um ingrediente a mais para o entendimento de questões que não são consensuais entre os estudiosos dos modelos geodinâmicos do Arqueano. Por exemplo, vários autores questionaram a adoção de modelos geodinâmicos para o Arqueano a partir da subducção de

placas, particularmente no Paleo-Eoarqueano (ex., Rozel et al., 2017). Por causa disto, diversos modelos alternativos têm sido propostos. Por exemplo: i) Moyen e Van Hunen (2012) propuseram que apenas períodos de rápida subducção haviam ocorridos no Eoarqueano; ii) Martin e Moyen (2002) e Martin et al., (2014) consideraram inviável a geração de *TTG* por subducção de *MORB* e propuseram que tais magmas seriam provenientes da subducção de basaltos de platô.

Os processos de diferenciação e crescimento da crosta continental alteraram o perfil de densidade da porção superior da Terra primitiva, que foi incrementado pela atuação de esforços de extensão e compressão e intrusão de rochas com composição predominantemente ácida. A composição original das rochas e os tipos de eventos geológicos contribuíram de maneira diferenciada para o aumento ou diminuição do perfil de densidade. Um dos principais eventos de formação de massa negativas na crosta terrestre

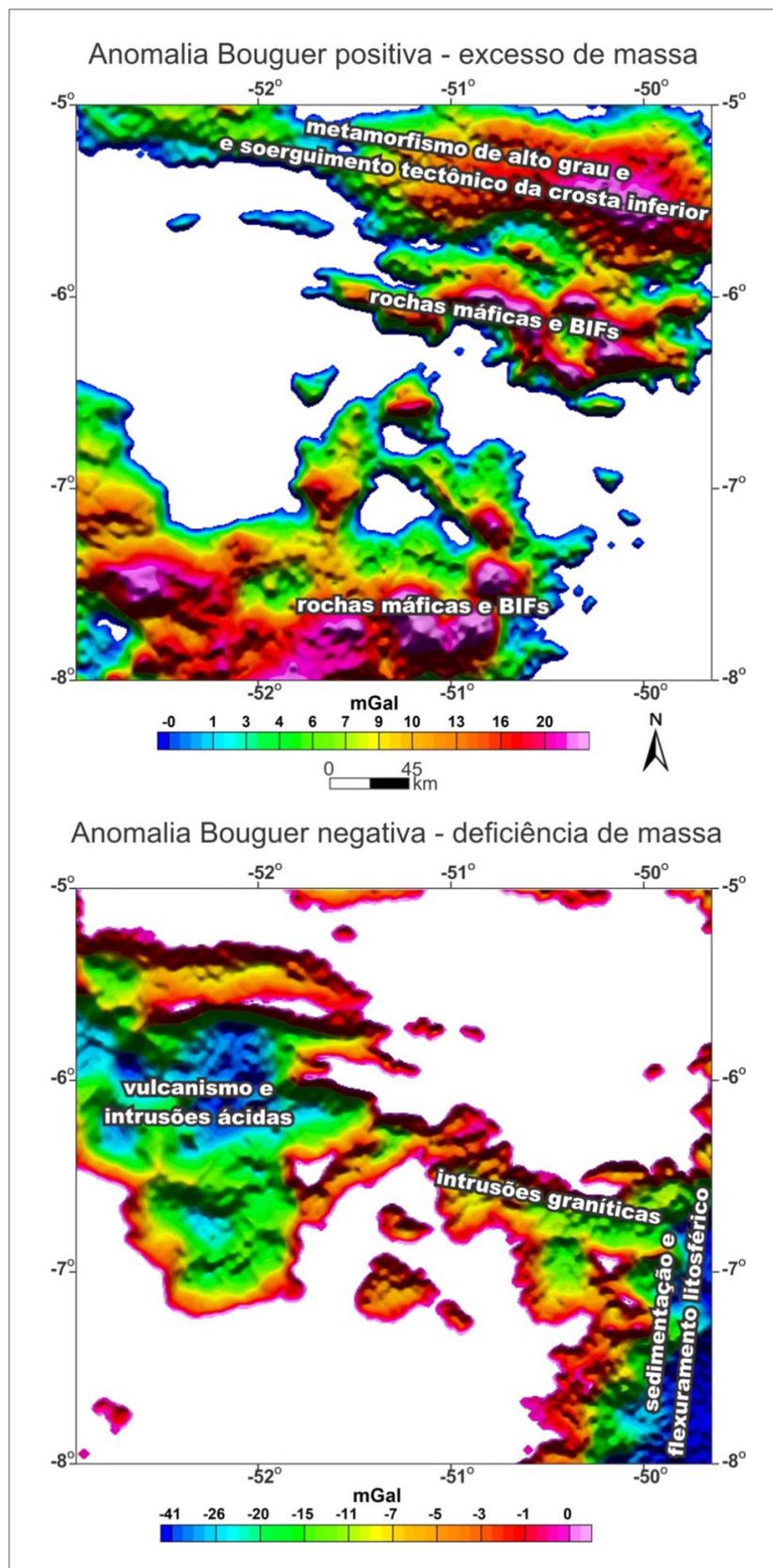


Figura 18 - Componentes positiva e negativa da anomalia Bouguer, com tendência de 1ª ordem removida e interpretação do evento geológico associado. A componente positiva representa o excesso de massa e a negativa a deficiência de massa, ambas em relação a um *background* de densidade que representa a média da crosta. Imagem sombreada: declinação = 0°Az e inclinação = 35°.

foi a intrusão de rochas graníticas. Por isto, o aumento de densidade introduzido por rochas vulcânicas e formações ferríferas nos domínios Carajás e Rio Maria (Figura 19) está em parte compensado pelas intrusões de granitoides T7G no Domínio Rio Maria e granitoides de alto K nos domínios Rio Maria e Carajás (Figura 20).

No Domínio Bacajá, os dados gravimétricos indicam a existência de excesso de massa associado com rochas metamorfizadas em alto grau (granulitos), o que pode

sugerir uma exposição de crosta inferior causada por colisão continente-continente, de acordo com o modelo de Tavares et al. (2018) apresentado na Figura 6. Esta suposição está baseada no marcante contraste de densidade que emparelha anomalias positivas e negativas no limite entre os domínios Bacajá e Carajás (Figura 15). Este limite ocorre mediante um gradiente negativo de 0,34 mGal/km para sul, correlacionado com zonas de cisalhamento. Tais feições sugerem a existência de uma

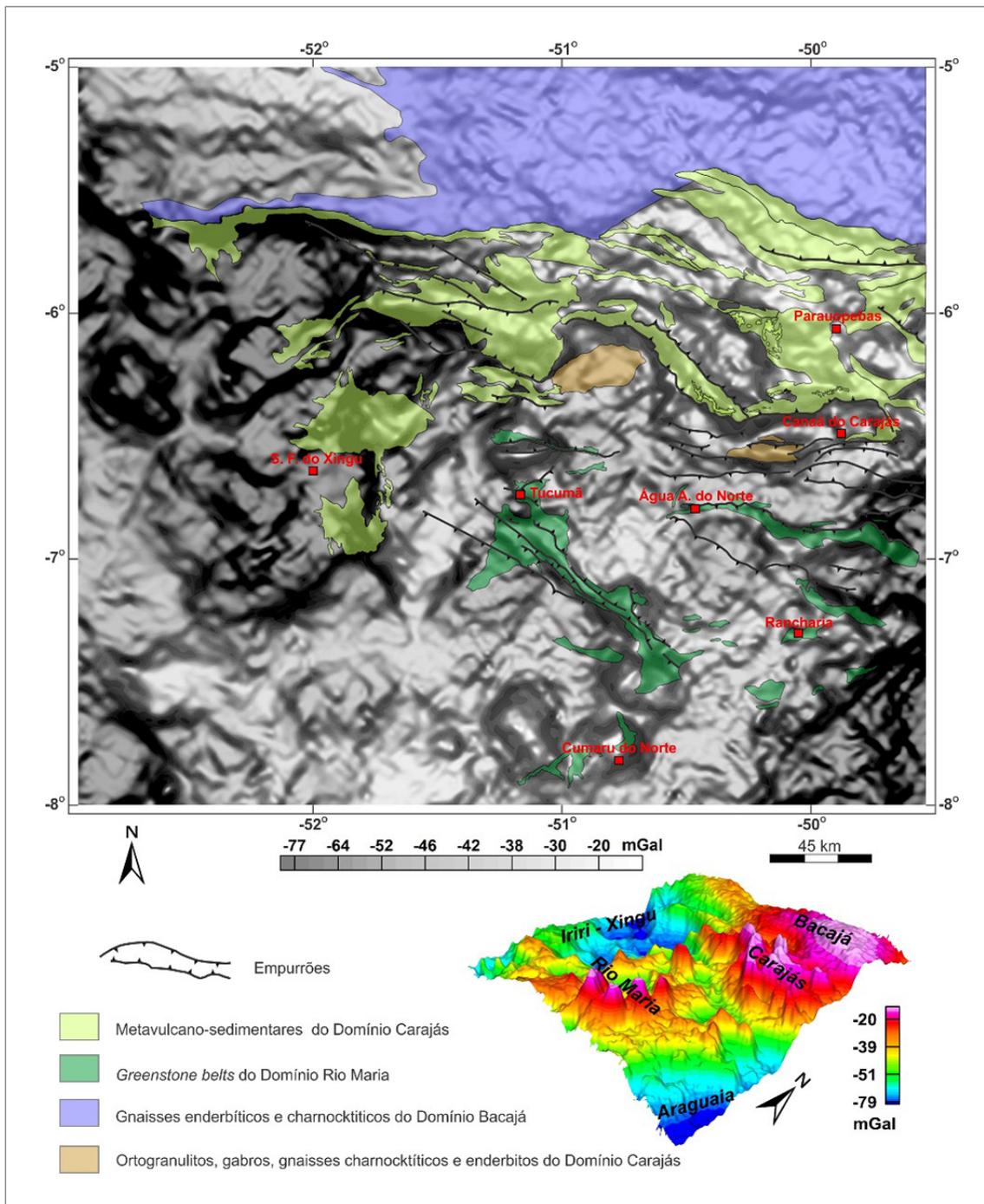


Figura 19 - Anomalia Bouguer em tons de cinza e sombreada (inc. 90°) com superposição das unidades geológicas geradoras de massa positiva no Arqueano.

sutura com as mesmas características das encontradas no Escudo Canadense (GIBB et al., 1983).

A observação do Mapa Geológico do Estado do Pará (VASQUEZ et al., 2008) demonstra que o magmatismo félsico intraplaca Orosiriano dos tipos I e A ocorre de forma extensiva em todos os domínios da área de estudo. Também, no mapa de anomalia Bouguer (Figura 21) observa-se a correlação de alguns corpos com anomalias negativas com intrusões dos tipos I e A no Domínio Iriri-Xingu. Esta

correlação pode indicar que parte das anomalias negativas não é contribuição apenas do magmatismo Uatumã. Entretanto, nos domínios Carajás e Rio Maria, onde também ocorrem várias intrusões, observa-se que não apresentam volume para geração de anomalias negativas expressivas. Este magmatismo tem muita exposição na superfície e isto pode explicar a razão das anomalias gravimétricas associadas apresentarem pouca expressão. Uma possibilidade é a erosão ter removido grande parte das câmaras magmáticas,

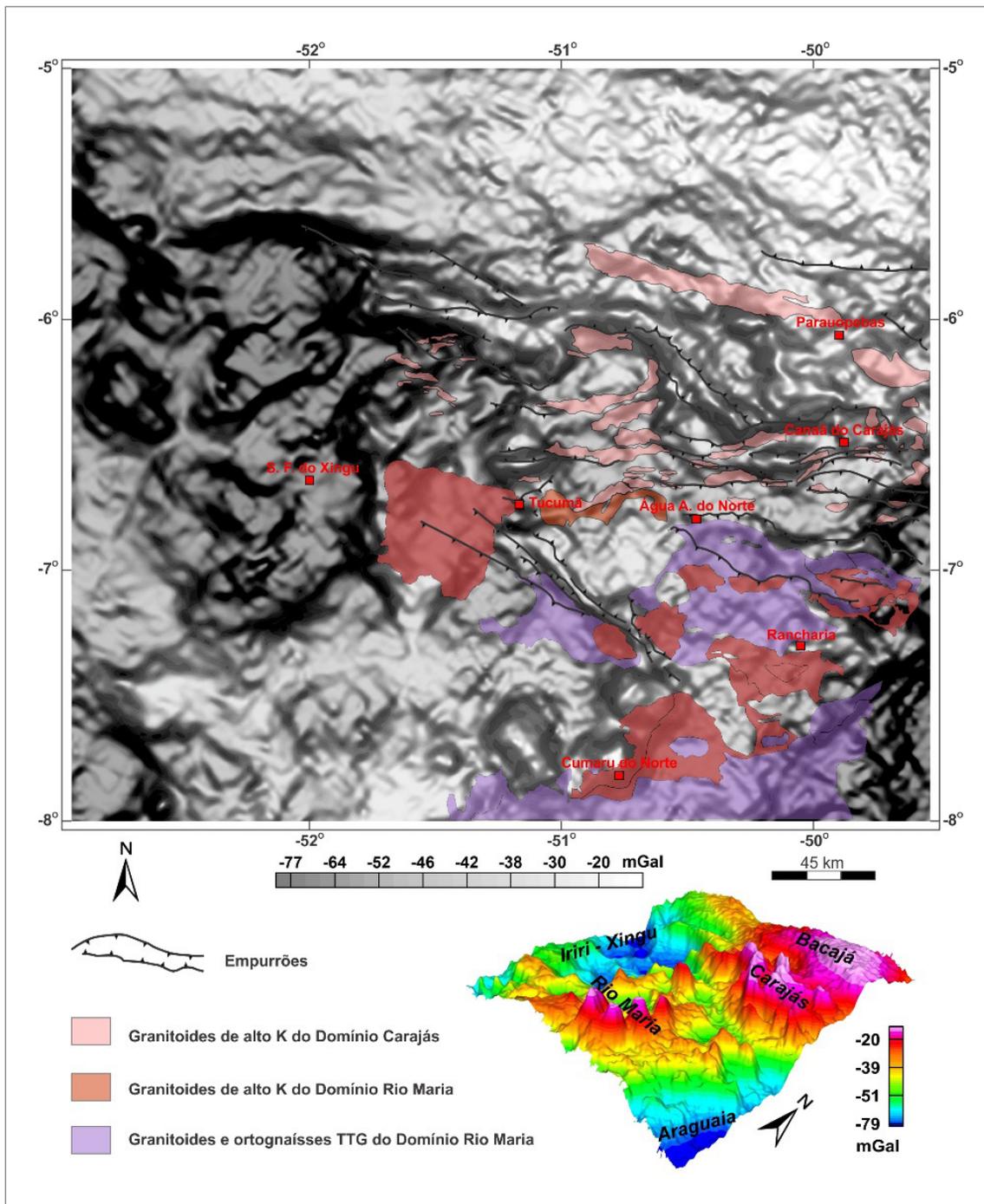


Figura 20 - Anomalia Bouguer em tons de cinza e sombreada (inc. 90°) com superposição das unidades geológicas geradoras de massa negativa no Arqueano.

expondo atualmente apenas os níveis inferiores. De outra forma, estas intrusões poderiam ter ocorrido como lacólitos.

Uma pequena exposição do *thrust belt* da Faixa Araguaia ocorre no sudeste da área. Existe uma correlação evidente dessas rochas com anomalia Bouguer negativa (Figura 21). Há duas hipóteses complementares para explicar as

anomalias negativas, uma litológica e a outra tectonofísica. A primeira é simples, pois se baseia no contraste de densidade entre os metassedimentos menos densos da Formação Couto Magalhães e as rochas mais densas dos terrenos *TTG-greenstone belts*. A segunda precisa ser explicada com base em processos tectônicos regionais associados com colisão

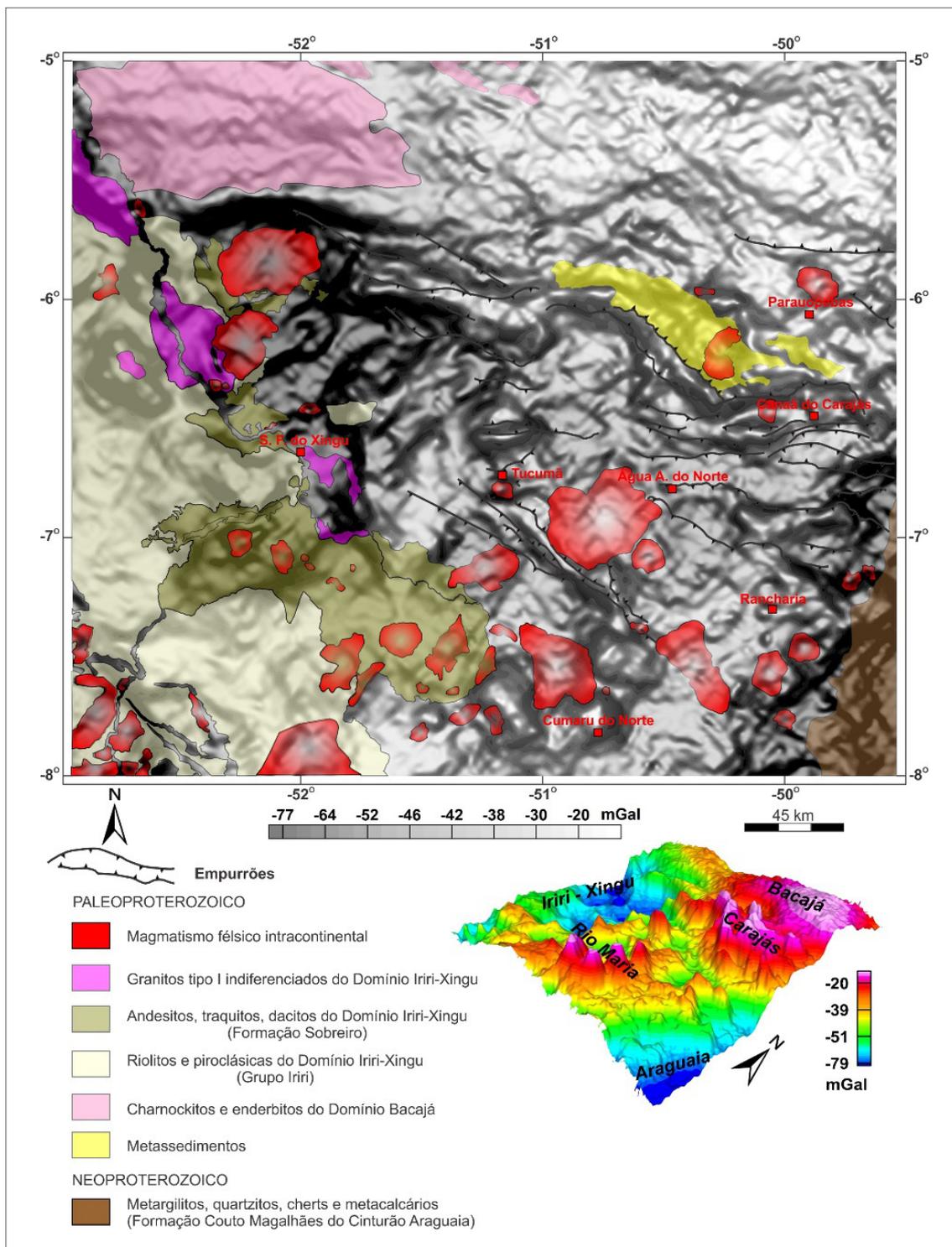


Figura 21 - Anomalia Bouguer em tons de cinza e sombreada (inc. 90°) com superposição das unidades geológicas geradoras de massa negativa no Paleoproterozoico e Neoproterozoico.

de placas tectônicas. Na Orogênese Brasileira, o peso das rochas e da topografia do Cinturão Araguaia produziu flexura ao montar no Cráton Amazônico. Essa flexura abriu espaço para deposição de sedimentos em uma bacia de *foreland*. Os pesos somados aumentaram a flexura e, com a continuidade da colisão, houve o desenvolvimento de *nappes*. Este cenário tectônico para o sudeste da área de estudo é sustentado pelos estudos efetuados por Ussami e Molina (1999). Sendo assim, a anomalia negativa além de refletir contrastes de densidades entre litologias diferentes também é o vestígio fóssil de um evento de colisão entre placas tectônicas que fechou um oceano na margem leste do Cráton Amazônico, comprovado pela presença de fragmentos ofiolíticos no Cinturão Araguaia, como proposto por Teixeira (1996).

4.4. Modelagens Gravimétricas no Domínio Rio Maria

No Domínio Rio Maria, os resultados da inversão e modelagens demonstram, em uma visualização 3D, o entrelaçamento entre as massas positivas e negativas no interior da crosta (figuras 22 e 23). A modelagem revelou a associação das sequências metavulcanossedimentares dos *greenstone belts* com massas positivas distribuídas randomicamente, sugerindo a atuação de uma tectônica gravitacional tipo domos e quilhas comumente encontradas em terrenos arqueanos. As massas negativas correspondem a intrusões *TTG* que circundam as sequências metavulcanossedimentares. Este padrão de distribuição de massa é semelhante aos dos terrenos granito-*greenstones* dos crátons Pilbara e Ylgarn, na Austrália, e Superior, no Canadá (PESCHLER et al., 2004). Também na África, no sudoeste de Botsuana, estudos gravimétricos demonstraram uma clara associação dos *greenstone belts* com anomalias Bouguer positivas (RAMOTOROKO et al., 2016). Nos resultados, não foram identificadas assinaturas gravimétricas típicas de sutura colisional. Segundo Zegers e Van Keken (2001), a ausência de feições típicas de limites e convergência de placas sugere uma forma de geração de rochas e deformação nos terrenos arqueanos mais antigos que não inclui convergência e subducção de placas.

4.5. Modelagens Gravimétricas no Domínio Carajás

No Domínio Carajás, os resultados da inversão e modelagens apresentam uma visão 3D da distribuição de massa das sequências metavulcanossedimentares componentes da Bacia Carajás (ou *rift strike slip*), dos metassedimentos sotopostos e dos gnaisses/granitos do embasamento (figuras 24, 25 e 26). Na Bacia Carajás, o padrão gravimétrico de distribuição de massa forma *trends* lineares e faixas emparelhadas sugerindo uma deposição em calhas alongadas.

As modificações da densidade média da crosta por intrusões ácidas, que introduziram massa negativa, são completadas, no final do Arqueano, pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamento, como os sistemas Carajás e Cinzento (PINHEIRO E HOLDSWORTH, 2000), e deposição dos sedimentos de plataforma da Formação Águas Claras. A nucleação e formação de zonas de cisalhamento em esforços tensionais, provavelmente, enfraqueceram a litosfera e induziram a abertura de espaços que favoreceram a intrusão de rochas ácidas e formação de bacias. Esses dois tipos de eventos geológicos, possivelmente, diminuiram a densidade média da crosta.

Os resultados da modelagem direta (figuras 25 e 26) foram interpretados como a forma tridimensional da Bacia do Carajás, resultante da superposição das várias fases de deformação tectônica que ocorreram ao longo de sua evolução. Observamos que a bacia possui truncamentos e altos tectônicos internos na direção N-S, que a divide em três compartimentos distintos, que foram denominados de Leste, Central e Oeste (Figura 26) por Oliveira (2018), além da ocorrência ao norte de uma pequena sub-bacia estruturalmente controlada pela Zona de Cisalhamento Cinzento (Figura 26).

O Compartimento Leste corresponde à região mais conhecida e estudada da Bacia de Carajás, onde predominam as rochas do Grupo Grão-Pará e os gigantes depósitos de ferro da Formação Carajás, além de vários depósitos de Cu-Au do tipo *IOCG*. Nesta região, a bacia é formada por duas calhas de rochas metavulcanossedimentares, que correspondem a *grabens* ou dobras sinformes (ROSIÈRE et al., 2006; OLIVEIRA, 2018) e são geograficamente correlatas com as serras Norte e Sul. Estas duas estruturas possuem profundidades máximas de 3.700 m e estão separadas por um bloco soerguido que corresponde ao eixo de um dobramento antiforme (ROSIÈRE et al., 2006; OLIVEIRA, 2018). As profundidades das duas calhas aumentam gradualmente para o oeste. A calha norte está compartimentada em duas ao longo de um truncamento N-S. A calha sul tem uma forma triangular com o ápice alongado tectonicamente para o leste, seguindo a direção da Falha de Carajás (Figura 26).

O Compartimento Central é separado do Compartimento Leste pelo Granito Central, que forma um alto tectônico entre os dois compartimentos (Figura 26). Este compartimento é formado por uma única calha, com forma sigmoidal alongada na direção NW-SE, com um comprimento total de 110 km. Este compartimento possui dois depocentros, um no noroeste e outro no sudeste, ambos com profundidades de 3.000 m. Os dois depocentros são separados por uma região mais rasa na porção central, com profundidades máximas de 1.000 m. Na superfície, afloram sedimentos da Formação Águas Claras. No entanto, a assinatura positiva dominante da anomalia Bouguer nessa região indica que há um grande volume de rochas metavulcanossedimentares sob os sedimentos da Formação Águas Claras.

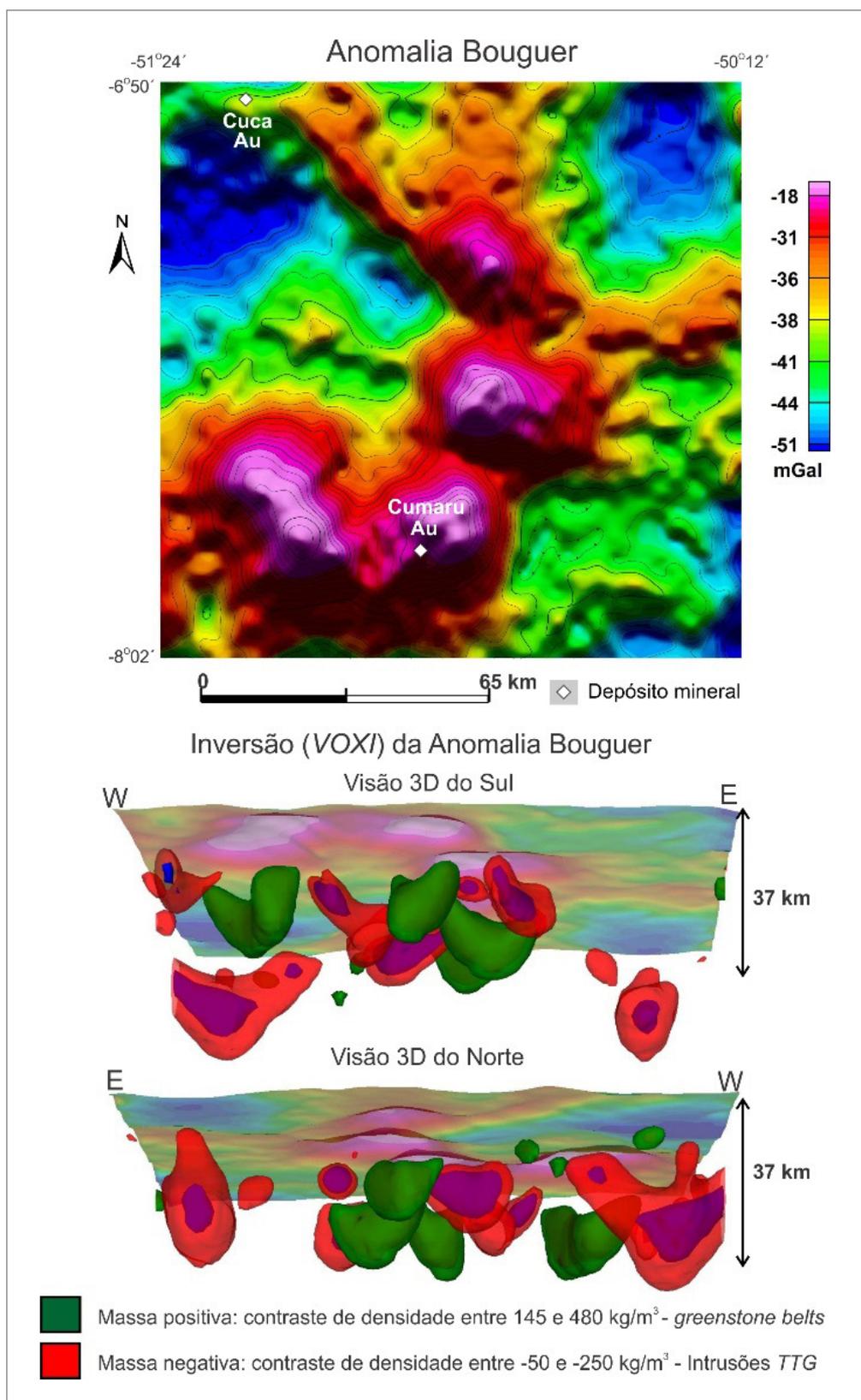


Figura 22 - Resultados da Inversão VOXI da anomalia Bouguer para a área do Domínio Rio Maria. O limite da área de modelagem está indicado na Figura 11. A inter-relação entre anomalias positivas (*greenstone belts*) e negativas (intrusões *TTG*) sugerem um modelo evolutivo tipo domos e quilhas. Neste tipo de inversão, em que uma restrição de suavidade foi imposta (CONSTABLE et al., 1987; MACLEOD e ELLIS, 2015) e vínculos geológicos não foram aplicados, os contrastes de densidades apresentam configurações alongadas na direção vertical, enquanto as direções horizontais são controladas pela forma da anomalia.

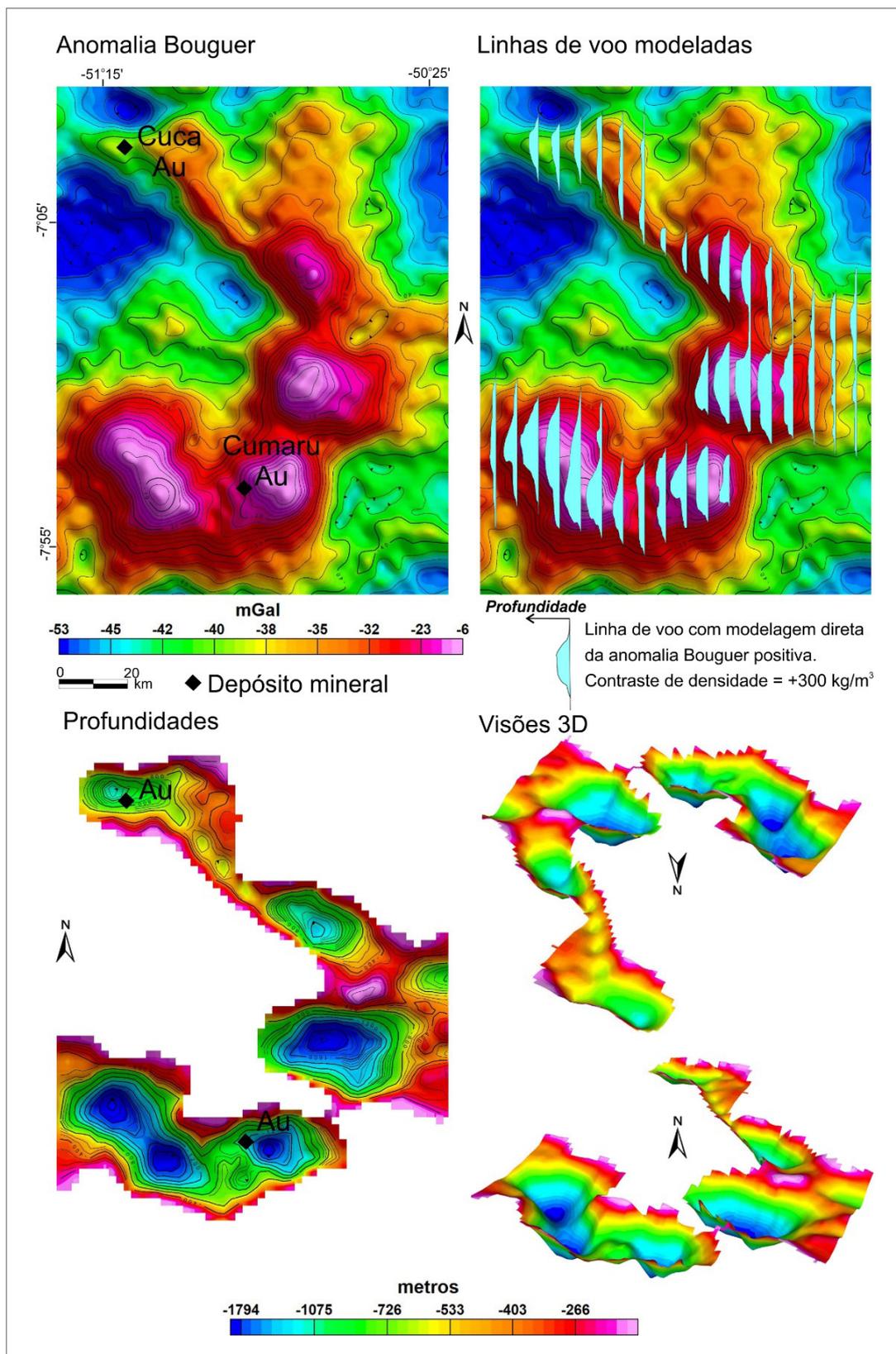


Figura 23 - Resultado da modelagem direta 2,5D de dados da anomalia Bouguer positiva ao longo de linhas de voo no Domínio Rio Maria. O limite da área de modelagem está indicado na Figura 11. A inter-relação entre anomalias positivas (*greenstone belts*) e negativas (intrusões *TIG*) sugerem um modelo evolutivo do tipo domos e quilhas. O modelo 3D apresenta as formas geométricas e estimativas de profundidades dos *greenstone belts*. Nesta modelagem, um contraste positivo de densidade entre as rochas metavulcanossedimentares e suas encaixantes foi imposto (+300 kg/m³) e vínculos geológicos foram empregados, resultando em estimativas de profundidades mais realistas.

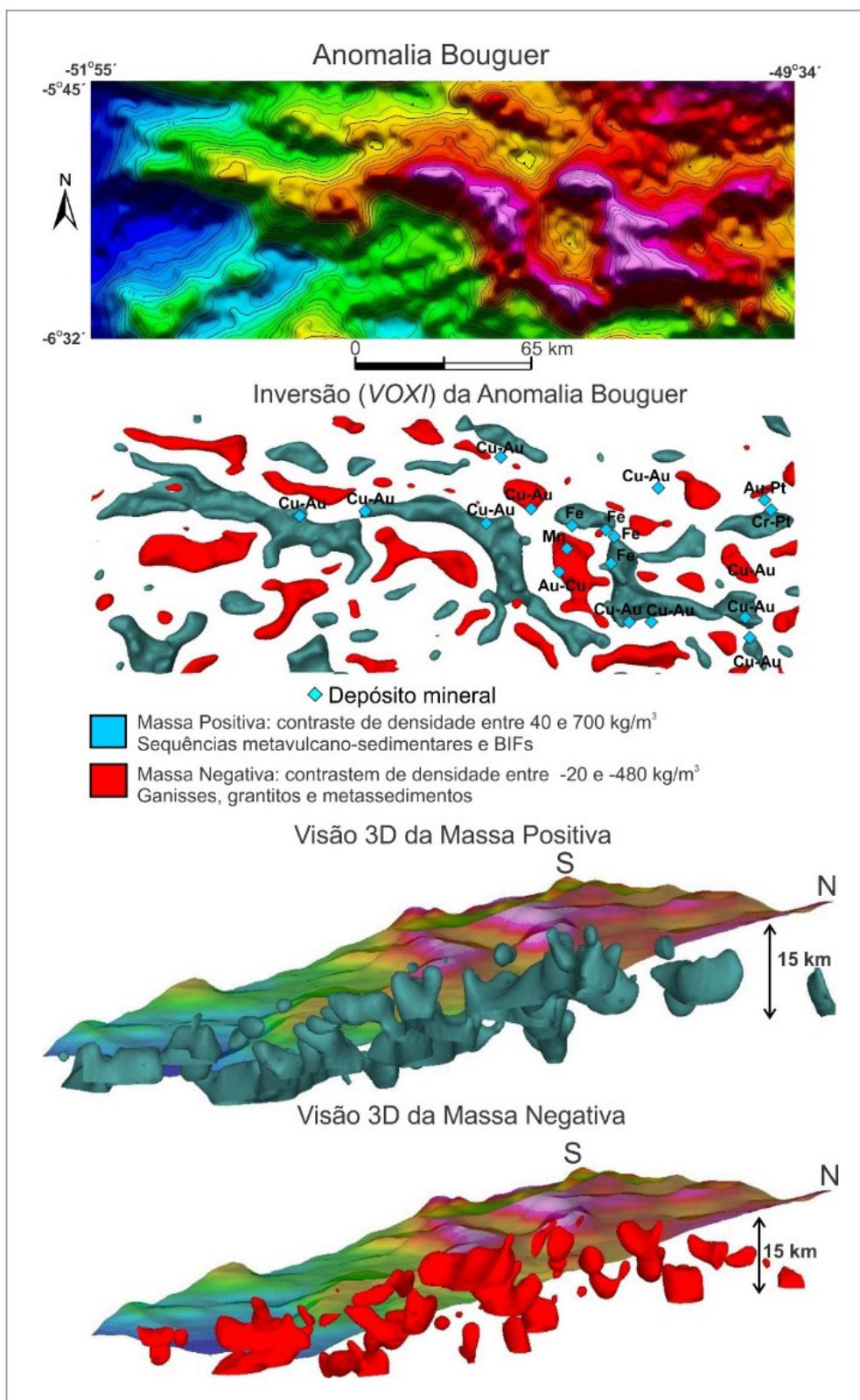


Figura 24 - Resultados da Inversão VOXI da anomalia Bouguer para a área da Bacia Carajás. O limite da área está indicado na Figura 11. A modelagem revelou a associação das sequências metavulcano-sedimentares com massas positivas alongadas, possivelmente, desenvolvidas em uma bacia do tipo *strike slip*. As massas negativas correspondem a gnaisses do embasamento, intrusões graníticas e metassedimentos. Neste tipo de inversão, em que uma restrição de suavidade foi imposta (CONSTABLE et al., 1987; MACLEOD e ELLIS, 2015) e vínculos geológicos não foram aplicados, os contrastes de densidades apresentam configurações alongadas na direção vertical, enquanto as direções horizontais são controladas pela forma da anomalia.

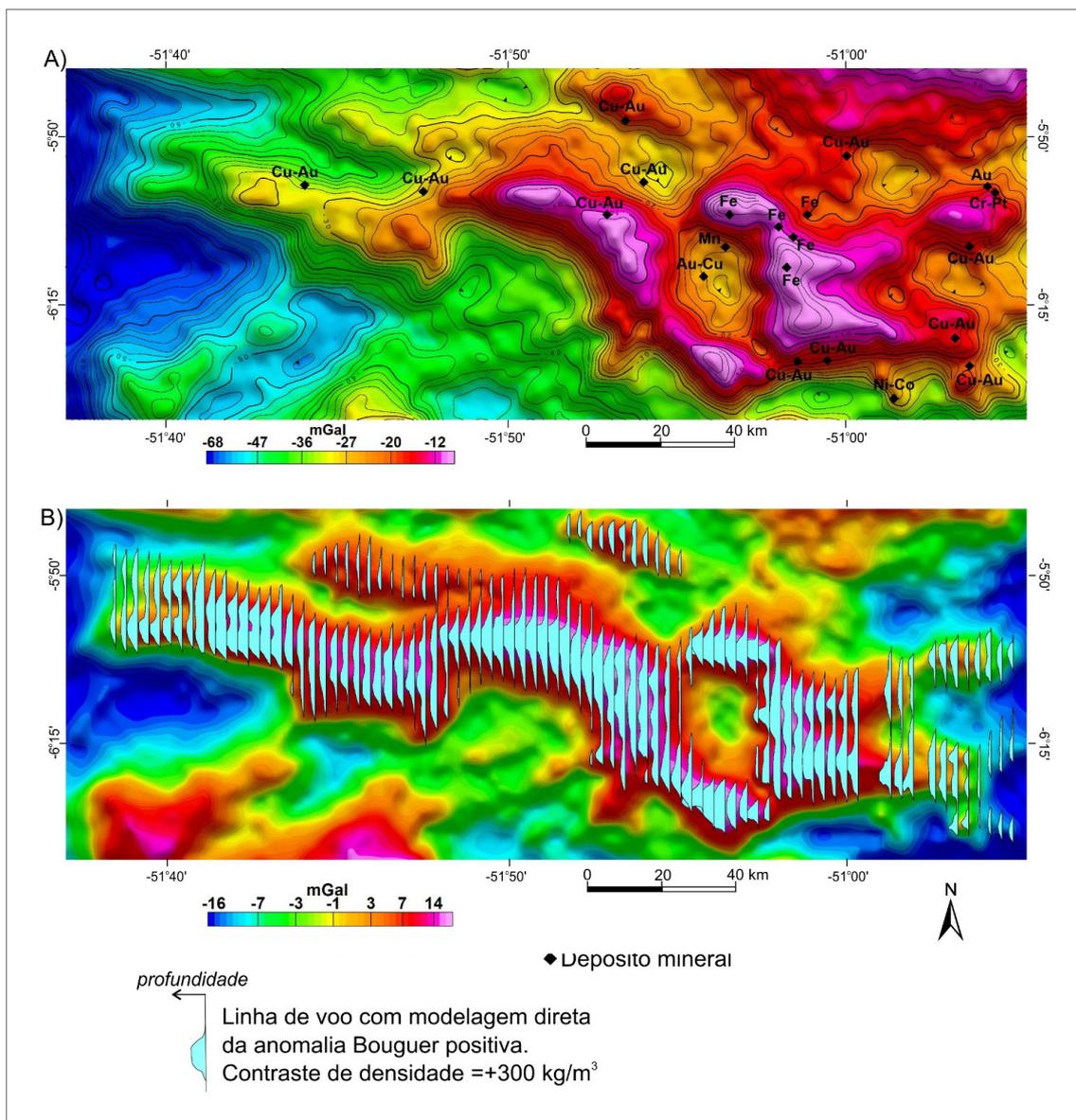


Figura 25 - A) Anomalia Bouguer da região da Bacia Carajás. O limite da área está indicado na Figura 11. Imagem sombreada: declinação = 0° Az e inclinação = 35° , com superposição dos depósitos minerais. B) Anomalia Bouguer com *trend* de 1ª ordem removido e o resultado da modelagem 2,5D (girado horizontalmente) ao longo das linhas de voo. Nesta modelagem, um contraste de positivo de densidade, entre as rochas metavulcanossedimentares e suas encaixantes, foi imposto ($+300 \text{ kg/m}^3$) e vínculos geológicos foram empregados, resultando em estimativas de profundidades mais realistas.

O Compartimento Oeste é separado do Compartimento Central por um forte truncamento na direção N-S, que produziu deslocamento relativo sinistral e um alto tectônico entre os dois compartimentos (Figura 26). As estruturas tectônicas, que podem estar geneticamente relacionadas a esse truncamento, são pequenas falhas e diques transcorrentes sinistrais com a direção NNE-SSW, de acordo com o Mapa Geológico do Projeto ARIM Carajás (COSTA et al., 2016). O truncamento reduziu a largura e a profundidade da bacia e limitou a ocorrência de sedimentos da Formação Águas Claras a oeste. Este compartimento, com largura de 25 km e extensão de 100 km, está estruturado

em duas calhas de rochas metavulcanossedimentares com profundidades de 2.500 m, separadas por um bloco alto central com profundidade entre 450 e 900 m. Essa estrutura principal possui uma subdivisão secundária que separa esse compartimento em segmentos leste e oeste. Essa divisão ocorreu por meio de truncamento N-S que diminuiu a profundidade do compartimento. Essa subdivisão secundária, interpretada por meio dos dados de anomalia Bouguer, tem correspondência no mapa geológico de Costa et al. (2016), que mapeou predominantemente as rochas do Grupo Aquiri, no segmento leste, e as rochas do Grupo Liberdade, no segmento oeste.

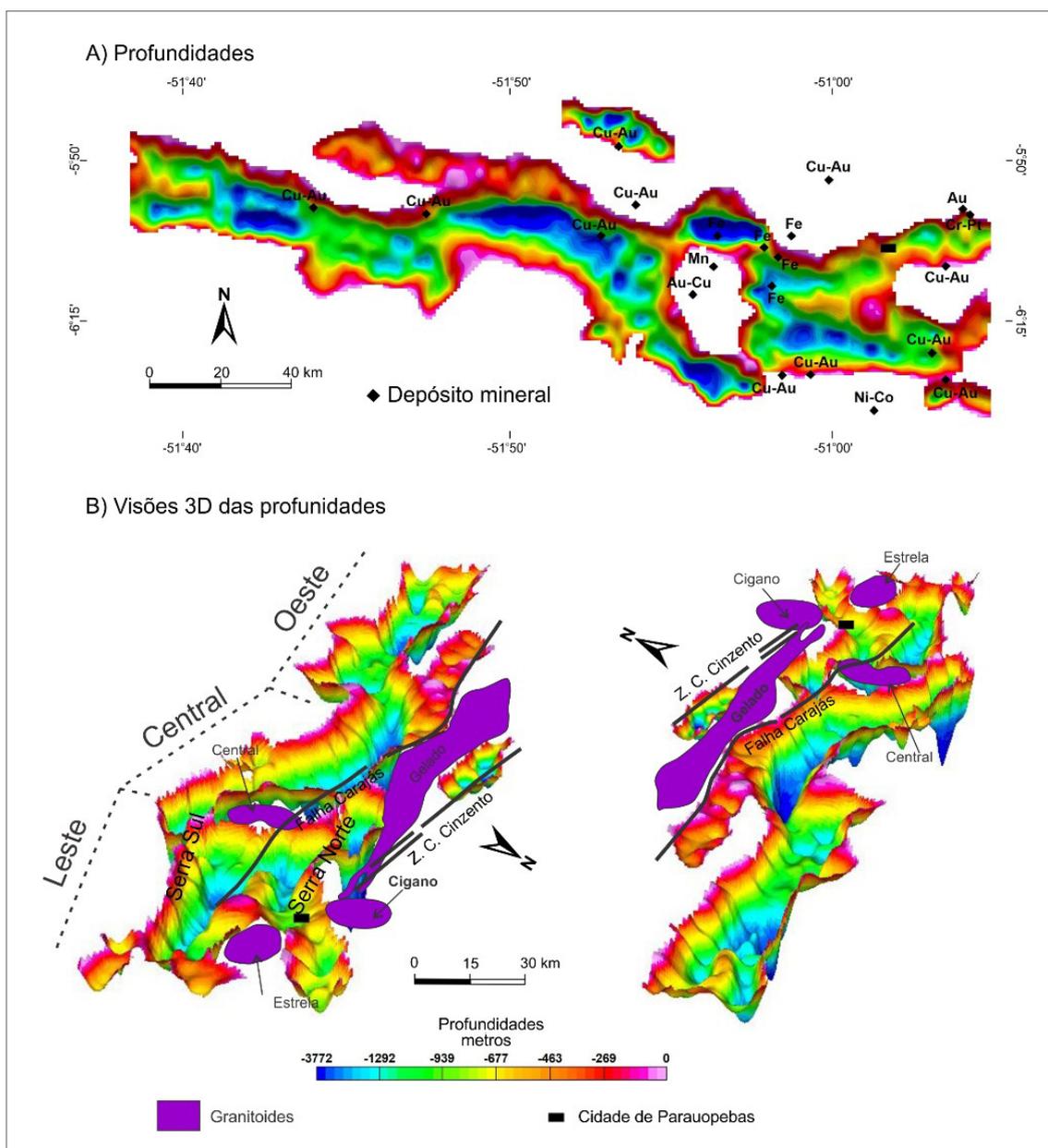


Figura 26 - A) Resultado da modelagem direta 2,5D ao longo de linhas de voo de dados da anomalia Bouguer positiva na Bacia Carajás (Figura 25) com superposição dos principais depósitos minerais. B) Modelo 3D apresentando as formas geométricas e estimativas de profundidades das sequências metavulcanossedimentares.

4.6. Modelagens Gravimétricas no Domínio Iriri-Xingu

No Domínio Iriri-Xingu, nas regiões de afloramento das rochas vulcânicas do Grupo Iriri e da Formação Sobreiro (VASQUEZ et al., 2008), os dados gravimétricos indicam a existência de grandes estruturas semicirculares definidas por anomalias negativas, com diâmetros entre 15 e 40 km e amplitudes entre 15 e 25 mGal. As formas das anomalias sugerem a conformação da distribuição nos corpos geológicos. Como as anomalias são negativas e semicirculares (Figura 27), o ambiente geológico sugere que a inferência mais simples é

sua correlação com intrusões félsicas. As formas e amplitudes das anomalias e a presença de anomalias onde não existem intrusões mapeadas sugerem, também, que em alguns casos essas posições das intrusões teriam suas câmaras magmáticas originais ainda preservadas. Obviamente, como as rochas vulcânicas aflorantes são de composição félsica, espera-se que parte da amplitude negativa das anomalias seja devido ao pacote de rochas vulcânicas sobreposto. O panorama descrito acima conduz para um modelo geológico em que grandes estruturas magmáticas circulares, alojadas na crosta superior, seriam a fonte do grande volume de rochas extrusivas do Grupo Iriri e da Formação Sobreiro.

As anomalias negativas, que ocorrem no Domínio Iriri-Xingu, foram invertidas por meio do VOXI (Figura 27) e pela modelagem direta 2,5D (Figura 28). Os resultados sugerem que a crosta original teve o seu perfil de densidade

modificado pela intrusão de um volumoso magmatismo ácido. A correlação mais evidente para este efeito de geração de massa com contraste negativo na crosta é o grande evento de geração de massa negativa representado pelo

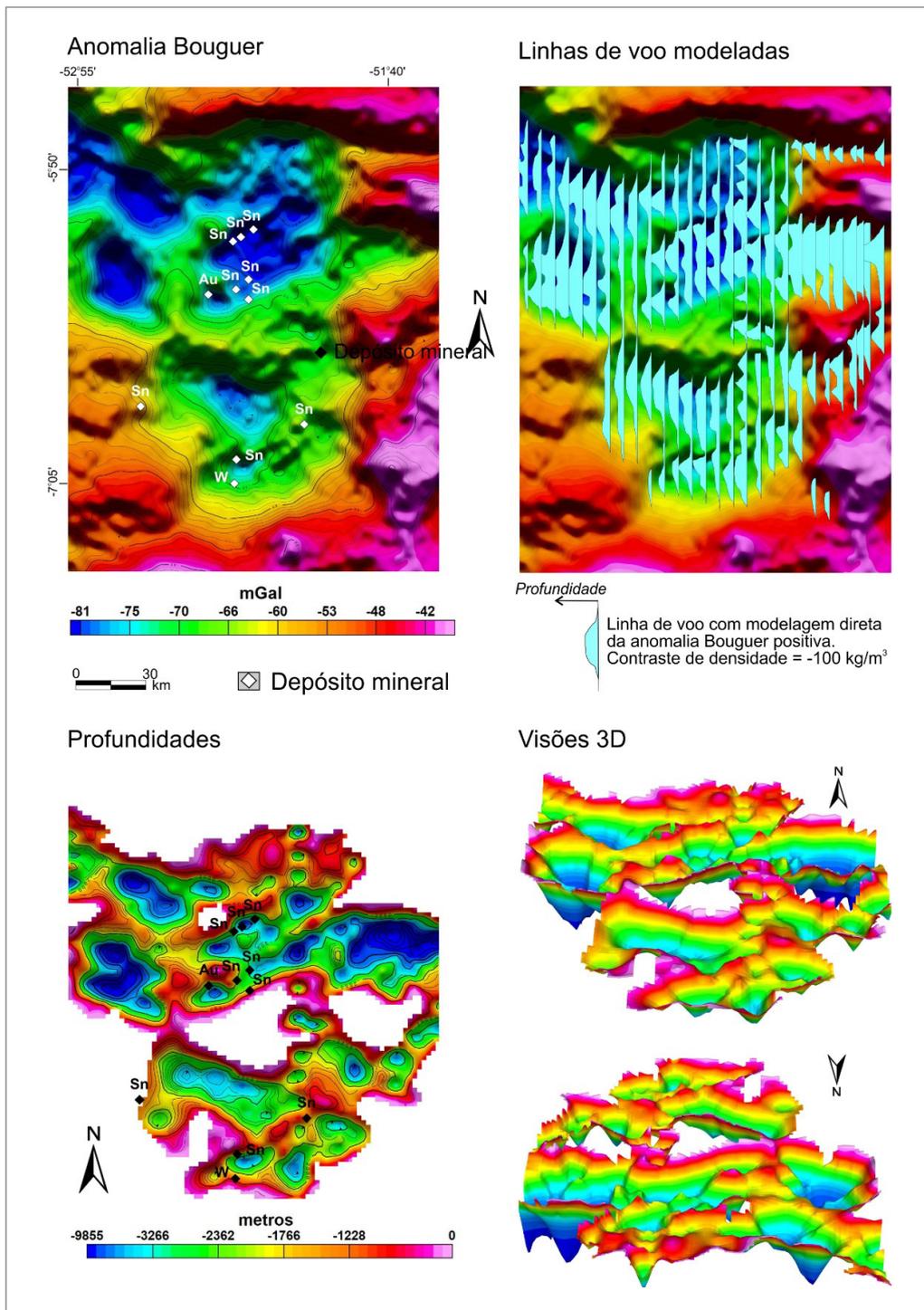


Figura 28 - Resultado da modelagem direta 2,5D de dados da anomalia Bouguer positiva ao longo de linhas de voo no Domínio Iriri-Xingu. O limite da área de modelagem está indicado na Figura 11. O modelo 3D apresenta as formas geométricas e estimativas de profundidades de possíveis intrusões graníticas que podem ser as fontes do grande volume de rochas piroclásticas e riolitos da Formação Sobreiro e do Grupo Iriri. Nesta modelagem, um contraste de densidade negativo entre as rochas leves (granitos?) e suas encaixantes foi imposto (-100 kg/m^3) e vínculos geológicos foram empregados, resultando em estimativas de profundidades mais realistas.

plutonismo e vulcanismo Uatumã (MACAMBIRA e VALE, 1997; JULIANI e FERNANDES, 2010; KLEIN et al., 2012). Os dados gravimétricos não indicam a existência de suturas que pudesse sugerir uma zona colisional no Domínio Iriri-Xingu com os domínios Rio Maria, Carajás e Bacajá dentro da área do aerolevante. A Figura 28 apresenta uma configuração circular com coalescência de feições circulares com deficiência de massa sugestivas de caldeiras com predominante preenchimento de ignimbritos e sedimentos, de acordo com a Figura 7, reproduzida de Juliani e Fernandes (2010). Segundo Teixeira et al. (2015), essas unidades vulcano-plutônicas podem representar eventos magmáticos intracratônicos gerados por *underplating*, provavelmente induzidos por plumas mantélicas.

4.7. Modelagem Gravimétrica Direta 2,5D do Perfil Regional

Com objetivo de efetuar uma modelagem bidimensional do conjunto tectônico, que inclui os domínios Bacajá, Carajás e Rio Maria, foi escolhido um perfil gravimétrico que atravessa os três domínios (localização na Figura 11). O perfil tem extensão de 380 km e foi amostrado no *grid* de anomalia Bouguer. O emprego da anomalia Bouguer, sem remoção de componentes rasas ou profundas, assegurou que todas as fontes fossem consideradas no processo de modelagem.

A região não possui perfis de sísmica de refração profunda para permitir vinculações consistentes entre os dois métodos, e assim, dar maior coerência ao resultado da modelagem. Por isso, a ambiguidade inerente à interpretação dos dados gravimétricos foi parcialmente resolvida com uso de vínculos geológicos.

Para as operações de modelagem, foram considerados os dados cinemáticos e geológicos conhecidos. Os valores das densidades das rochas superficiais foram presumidos segundo médias publicadas (TELFORD et al., 1990; LUÍS E SILVA, 1995). As densidades das rochas em profundidade foram modificadas de acordo com as necessidades de ajuste do modelo, com exceção da crosta inferior e do manto, que tiveram suas densidades fixadas. Como a litosfera da região é muito resistente (TASSARA et al., 2007), as cargas superficiais produzidas pela topografia, possivelmente, não têm capacidade para gerar flexuras isostáticas significativas. Então, a profundidade de *Moho* foi considerada como sendo em média 40 km. Este valor corresponde a espessura da crosta estimada pelo modelo de Assumpção et al. (2013) para a região da área de estudo.

A Figura 29 apresenta o resultado da modelagem. O modelo de densidades pressupõe uma crosta inferior densa (3.000 kg/m^3) que teria preservado características da crosta primitiva e que estaria presente com as mesmas propriedades petrofísicas em todos os domínios e, também, que as

ondulações de comprimentos de onda mais curtos estariam associadas com fontes na crosta média/superior. Observa-se que os dados apresentam uma tendência regional negativa para sul, sugerindo um progressivo espessamento da crosta nessa direção.

Os compartimentos maiores foram separados de acordo com os dados geológicos conhecidos. Observa-se que as amplitudes das anomalias, associadas com as sequências metavulcanossedimentares, necessitam de grandes volumes de rochas densas (3.000 kg/m^3) para ajustar o modelo e, por causa disto, suas raízes foram modeladas em profundidades de até 10 km. Este valor pode parecer exagerado, porém seria necessário aumentar muito a densidade das rochas para que o ajuste fosse efetuado com os corpos possuindo profundidades menores. É importante observar que estes valores de espessuras são muito maiores do que os obtidos, considerando apenas o contexto local e com remoção de um *trend* de 1ª ordem nos dados de anomalia Bouguer, e mais parecidos com os resultados da modelagem pelo VOXI. Esta diferença resulta da interferência dos efeitos de densidade da estrutura da crosta, das rochas graníticas e dos metassedimentos no ajuste do modelo em relação às sequências metavulcanossedimentares. Possivelmente, os valores mais próximos das espessuras reais correspondam a um compromisso entre os três métodos.

A variação de densidade da crosta superior/média nos três domínios ocorre por causa da composição das rochas que afloram. Por isto, o Domínio Bacajá, composto por granulitos, apresenta as densidades maiores (2.900 kg/m^3), enquanto o embasamento das rochas metavulcanossedimentares dos domínios Rio Maria e Carajás apresentam as densidades menores (2.800 kg/m^3). Para os corpos de rochas félsicas, as estimativas de densidades foram relativamente altas (2.750 kg/m^3). Apesar do grande volume de rochas intrusivas, não são observadas anomalias Bouguer negativas expressivas associadas com esses corpos nos domínios Rio Maria e Carajás. Uma exceção é a anomalia negativa que ocorre associada com granitos arqueanos na região de transição entre os domínios Carajás e Rio Maria. No mapa, esta assinatura geofísica se estende na direção E-W, formando uma faixa com 200 km de comprimento e média de 15 km de largura. Do ponto de vista dos dados gravimétricos, esse corredor negativo é o local mais adequado para o limite entre os domínios Carajás e Rio Maria.

Para demonstrar a semelhança entre as assinaturas de perfis gravimétricos associados com suturas no Escudo Canadense com o perfil gravimétrico modelado neste trabalho (Figura 29), foi efetuada a suavização dos dados, removendo em parte o efeito de excesso de massa causado pelas rochas dos *greenstone belts* do Rio Maria e das rochas metavulcanossedimentares e *BIFs* da Bacia Carajás (Figura 26). O resultado apresentado na Figura 30, apesar da diferença de comprimento dos perfis, demonstra uma

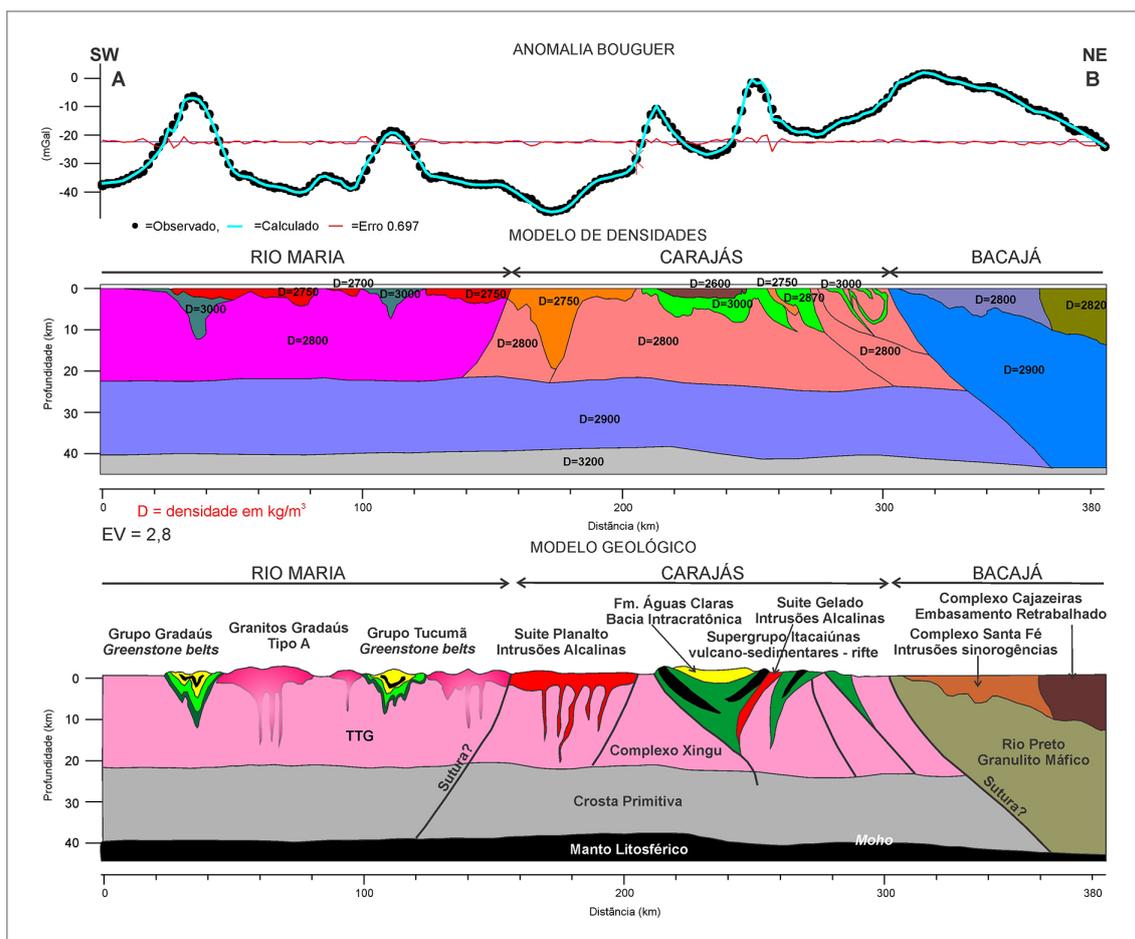


Figura 29 - Modelo 2,5D do perfil gravimétrico A-B (localização na Figura 11) que atravessa os domínios Bacajá, Carajás e Rio Maria. O método e os parâmetros empregados estão discutidos no texto e a metodologia está descrita no Item 3.3. Na parte inferior da figura, está apresentada uma interpretação geológica do modelo de densidade.

clara semelhança de forma com os perfis apresentados por GIBB et al. (1983). Assinaturas gravimétricas similares têm sido associadas com zonas de suturas em vários outros cinturões orogênicos pré-cambrianos na América do Sul (LESQUER et al., 1984; USSAMI e MOLINA, 1999; BERROCAL et al., 2004; OLIVEIRA e MEDEIROS, 2018), Austrália (WELLMAN, 1988; SPAMPINATO et al., 2015), África (BAYER e LESQUER, 1978; RANGANAI et al., 2002), e Índia (MISHRA, 2011; MISHRA e RAVI KUMAR, 2014; RAO et al., 2011; MANDAL et al., 2015). Adicionalmente, a mesma assinatura gravimétrica é encontrada em associação com suturas em zonas de colisão continente-continente em orógenos paleozoicos, como, por exemplo, os Apalaches (KARNER e WATTS, 1983), nos orógenos cenozoicos ativos dos Alpes (KARNER e WATTS, 1983; BAYER et al., 1989) e no Himalaia (KARNER e WATTS, 1983). O resultado da modelagem e esta comparação com os casos do Escudo Canadense (Figura 30) são compatíveis com o modelo de evolução de Tavares et al. (2018), que defende um evento de colisão entre o Bloco Carajás e o Bloco Bacajá no Riáciano, cujo esquema está reproduzido na Figura 6.

4.8. Modelagens Euler 3D

Gravity worms (multiscale wavelets edges detections of gravity fields) é uma técnica utilizada para trabalhos de interpretação de dados gravimétricos e foi desenvolvida por pesquisadores que trabalham para Fractal Graphics (*Geoinformatics*) e CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (*Exploration and Mining*). Hornby et al. (1999) introduziram pela primeira vez o conceito, que foi desenvolvido em estudos posteriores. Esta técnica emprega princípios conhecidos desde os primórdios do emprego do método gravimétrico e consiste na detecção de bordas de anomalias gravimétricas a partir da transformada de *wavelets* de continuação para cima dos dados gravimétricos.

Sabe-se que as bordas de corpos com contraste de densidade estão nos maiores gradientes das anomalias, correspondendo a contatos ou falhas, sendo importante para os trabalhos de mapeamento e prospecção. A denominação de *gravity worms* é devida ao formato de minhocas que as soluções apresentam. Neste trabalho, em substituição ao

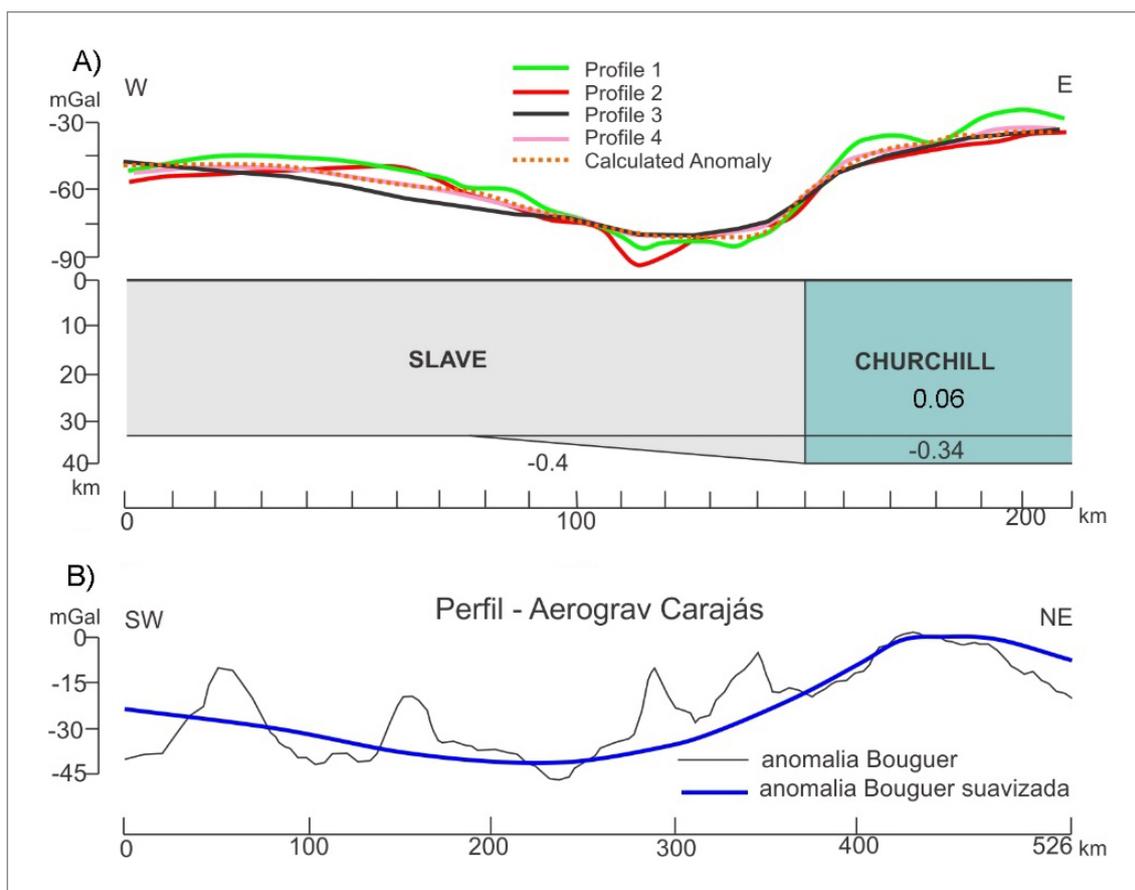


Figura 30 - A) Reprodução da Figura 10 de Gibb et al. (1983) com modelo gravimétrico da zona de sutura proposta entre os crátons Slave e Churchill, no Canadá. B) Anomalia Bouguer do perfil gravimétrico do Aerolevante Carajás. A anomalia Bouguer suavizada tem forma e amplitude semelhantes as dos perfis apresentados em A.

método *wavelet edges detections*, foi adotado o método de inversão *Euler 3D*, cuja metodologia está descrita no Item 3.3. As soluções *Euler 3D*, para um índice estrutural $SI = 0$ (contato) e tolerância de 15%, foram calculadas nos dados de anomalias Bouguer residuais e, posteriormente, interpretadas e digitalizadas manualmente (Figura 31). É importante informar que apesar da semelhança dos resultados com o método original, a adoção da inversão de *Euler 3D* tem limitações quanto à identificação de mergulhos de corpos e estruturas em relação ao método de *wavelets edges detections*.

Os resultados apresentados na Figura 31 têm aplicação no mapeamento e investigação de estruturas tectônicas. As linhas de soluções apresentam forte correlação com falhas e contatos e possuem, também, aplicação na prospecção de recursos minerais (p. ex. BIERLEIN et al., 2006). Isto decorre de sua capacidade para a localização de contatos e falhas mineralizadas ou associadas às rochas-fonte. Observa-se na Figura 31 a existência de conexões entre as interpretações das linhas de soluções *Euler 3D* e as ocorrências de depósitos minerais na área de estudo. As assinaturas gravimétricas dos principais depósitos estão apresentadas no item 4.9.

4.9. Assinaturas Gravimétricas dos Principais Depósitos de Minerais Metálicos

Os compartimentos geológicos cobertos pelo levantamento aerogravimétrico (*TTG-greenstone belts*, riftes ensiálicos, orógenos, bacia do tipo rifte ou bacia *strike slip*) possuem assinatura metalogenética específica para cada ambiente e, em decorrência das variações nos estilos estruturas e na composição litológica, cada um possui assinatura gravimétrica particular. Neste contexto, o Domínio Carajás é o mais relevante compartimento coberto pelo levantamento aerogravimétrico. Trata-se de uma das mais importantes províncias minerais do planeta. A mesma é responsável por significativa produção metálica tanto em volume como em diversidade dos tipos de mineralizações (p.ex. KLEIN e CARVALHO, 2008; MONTEIRO et al., 2014).

4.9.1. Depósitos de Au de Diadema e Andorinhas

Os depósitos de Au de Diadema ocorrem em veios de quartzo encaixados em rochas metavulcanossedimentares do *greenstone-belt* Sapucaia e são estruturalmente controlados pela zona de cisalhamento Diadema (ZCD) (OLIVEIRA

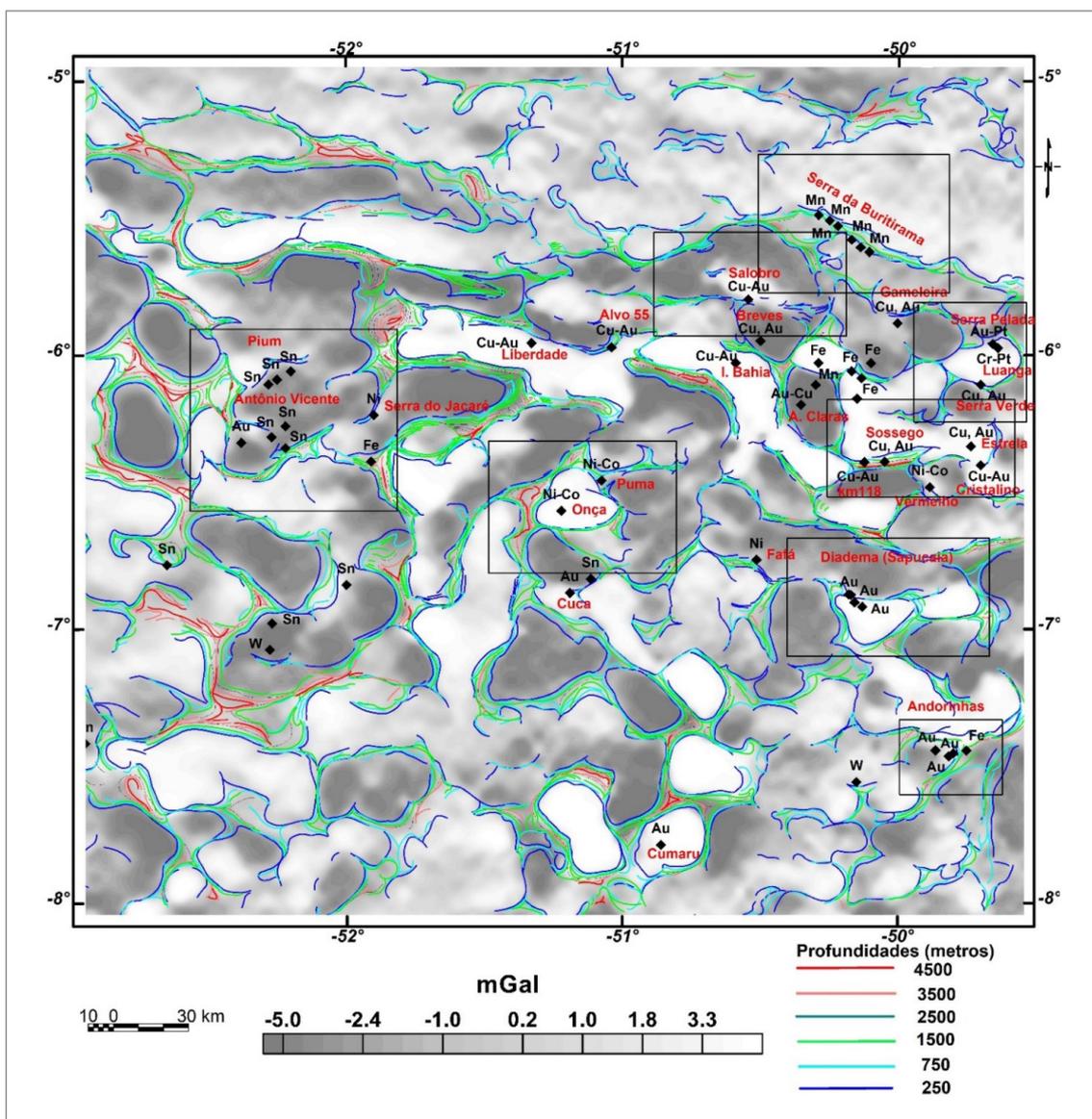


Figura 31 - Componente residual da anomalia Bouguer com superposição das linhas de soluções modeladas pelo método Euler 3D e os principais depósitos minerais da área do Projeto Levantamento Aerogravimétrico Carajás. O nome e localização dos depósitos minerais estão de acordo com o SIG apresentado por Vasquez e Rosa-Costa (2008). Os retângulos de cor preta indicam a localização das áreas com interpretação de detalhe dos dados gravimétricos apresentada no Item 4.9.

e LEONARDOS, 1990). A ZCD tem forte correspondência com gradientes gravimétricos expressivos e, como é possível observar na Figura 32A, limita dois contextos gravimétricos distintos, um positivo ao sul, associado com as rochas metavulcanossedimentares do *greenstone belt*, e outro negativo ao norte, representado por rochas do embasamento com intrusões graníticas. A expressiva anomalia gravimétrica positiva associada com as rochas metavulcanossedimentares indica a existência de um grande volume de rochas densas na coluna estratigráfica do *greenstone belt*, possivelmente compostas por máficas e BIFs.

Os depósitos de Au de Andorinhas ocorrem em veios de quartzo encaixados em rochas metavulcanossedimentares

do *Greenstone Belt* Andorinhas (HUHN, 1992; SOUZA, 1999). A interpretação dos dados gravimétricos (Figura 32B) indica que nas proximidades das mineralizações não ocorrem anomalias gravimétricas positivas muito expressivas, sugerindo que nesse local a coluna estratigráfica do *greenstone belt* não possui um grande volume de rochas densas. Porém, também, sugere a continuidade das rochas metavulcanossedimentares para norte e, nessa região, ocorrem anomalias gravimétricas positivas expressivas. Nas proximidades das mineralizações, os gradientes gravimétricos permitem a interpretação de várias zonas de falhas com direção NE-SW, possivelmente representado o principal controle estrutural dos depósitos de Au.

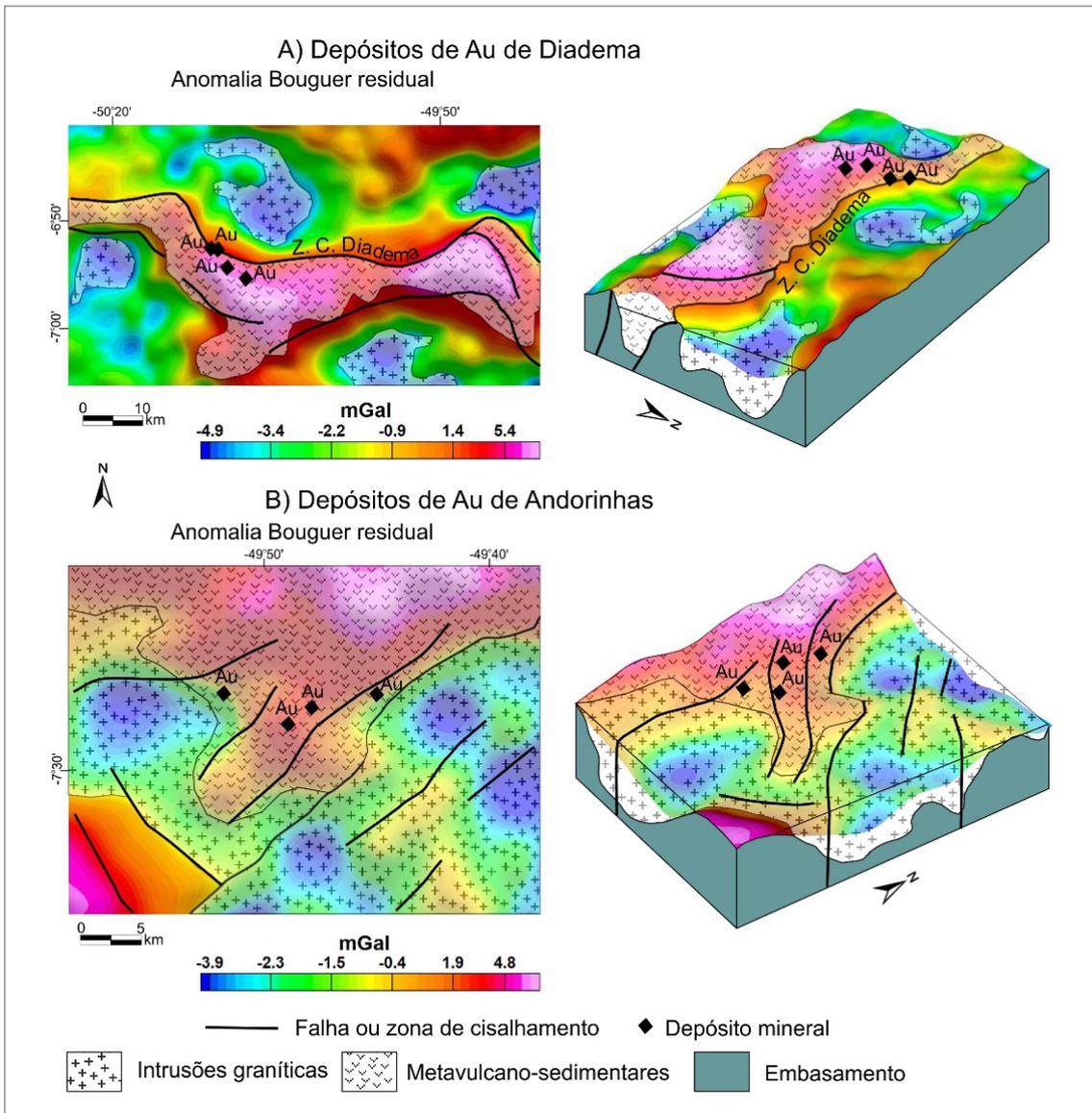


Figura 32 - A) Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Au de Diadema com visão das anomalias em 3D. B) Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Au de Andorinhas com visão das anomalias em 3D. A localização desta área de detalhe está apresentada na Figura 31.

Regionalmente, em torno do *greenstone belt*, ocorrem várias intrusões de rochas graníticas (Figura 32B).

4.9.2. Depósitos de IOCG do Salobo e do Cinturão Sul do Cobre

Os diversos tipos de depósitos minerais de Carajás resultaram de uma sequência de eventos associados com a evolução do manto continental Arqueano (GRAINGER et al., 2008, TEIXEIRA et al., 2009). Segundo Teixeira et al. (2009), a província exemplifica uma típica metalogenia de rifte intracratônico em que os diversos tipos de mineralizações presentes, direta ou indiretamente, resultaram de vários períodos extensionais, acompanhados de fusão parcial do manto, produção espontânea e cristalização de magmas

profundos e exsolução de voláteis e enorme atividade exalativa de fundo oceânico. Este modelo de mineralizações inclui a existência de uma quilha metassomatizada do *Subcontinental Lithospheric Mantle (SCLM)*, da forma como proposta por Haggerty (1989), Wyllie (1989) e Groves et al. (2010). Recentemente, a existência de uma quilha do SCLM, na Província Mineral de Carajás, foi proposta pelos estudos de tomografia sísmica efetuados por Costa et al. (2020).

A correlação com dados gravimétricos demonstra que os depósitos de Cu-Au do tipo IOCG de Salobo (Figura 33A) e do Cinturão Sul do Cobre (Figura 33B) estão claramente localizados na região de contato entre rochas densas (anomalia positiva) e leves (anomalia negativa). Esta característica é confirmada por um dos atributos desses depósitos, que indica a proximidade entre rochas máficas e félsicas

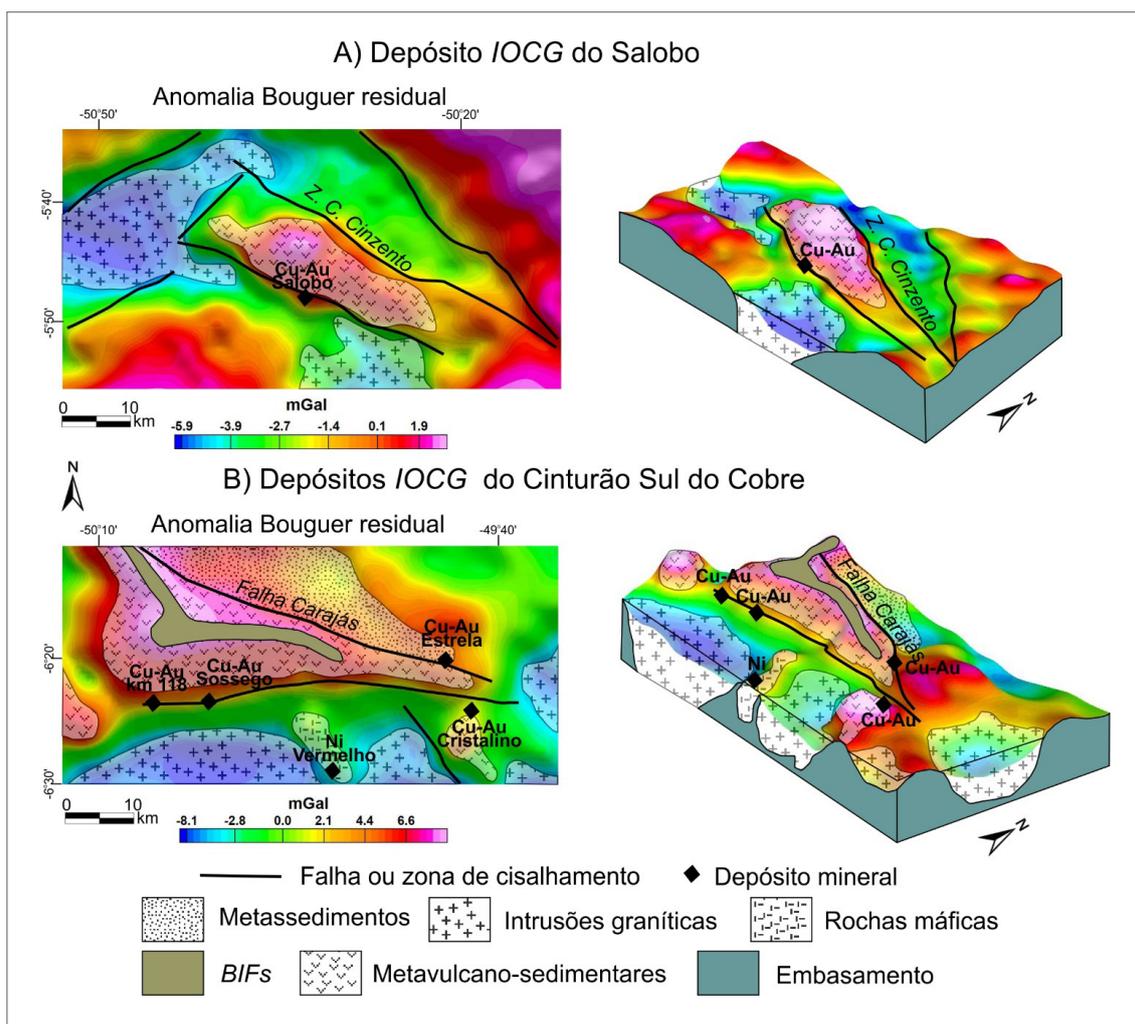


Figura 33 - A) Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural do depósito de Cu-Au IOCG de Salobo com visão das anomalias em 3D. B) Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural do depósito de Cu-Au IOCG do Cinturão Sul do Cobre com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

(MONTEIRO et al. 2014, com várias referências). Todos coincidem com alinhamentos gravimétricos alongados com expressão regional.

Os dados gravimétricos e os resultados da modelagem *Euler 3D* também fornecem indícios de controle estruturais para os depósitos Cu-Au de Igarapé Bahia, Cristalino, Liberdade e Estrela, localizados nas proximidades da interface entre anomalias positivas e negativas, porém sem a existência de *trends* regionais importantes (Figura 31). Isto, possivelmente, sugere um controle combinado litológico-estrutural. No caso específico do depósito de Estrela, os estudos de Lindenmayer et al. (2005) mapearam metandesitos, metariolitos e gabros como rochas hospedeiras, associação com cúpulas de albita-ortoclásio granitos e controle estrutural por *splays* da Falha de Carajás (Figura 33B).

Os depósitos de Cu-Au de Breves, Gameleira e Águas Claras estão localizados no interior de anomalias gravimétricas negativas (Figura 31), possivelmente, implicando

na predominância de controle litológico mais associado com intrusões graníticas. Esses depósitos não apresentam conteúdo significativo de óxido de ferro e apontam zonas de *greisens* como padrão de alteração hidrotermal (MONTEIRO et al., 2014), fatos que corroboram a correlação com anomalias de deficiência de massa sugerida pela gravimetria (Figura 31).

4.9.3. Depósitos de Ferro da Serra Norte

Os depósitos gigantes de minério de ferro são os mais importantes geradores de anomalias gravimétricas positivas na área de estudo. Como seria esperado, os depósitos estão associados com expressivas anomalias positivas (Figura 34), que resultam do efeito de densidade somado dos BIFs e rochas metavulcanossedimentares. Também, como observado na Figura 34, é possível identificar associação com alinhamentos de gradientes gravimétricos que sugerem a

existência de controles estruturais. Uma das possibilidades, sugerida por Rosière et al. (2006), é o desmembramento e a rotação de blocos na antiforme da Dobra Carajás. Também, não deve ser descartada a influência da Falha Carajás no posicionamento dos corpos de ferro (Figura 34). Os dados gravimétricos também destacam as assinaturas gravimétricas negativas relacionadas com as intrusões dos granitos Estrela, Central e Cigano (Figura 34).

4.9.4. Depósitos de Au-Pt-Pd de Serra Pelada e EGP-Cr de Luanga

O depósito de Au-Pt-Pd de Serra Pelada está hospedado em metassedimentos e seu controle estrutural é exercido por dobras (VILLAS e SANTOS, 2001) e falhas transcorrente (FREITAS-SILVA, 1998). Nos dados gravimétricos (Figura 35), observa-se que o depósito está posicionado na confluência de três zonas de falhas: NW-SE, E-W e NE-SW, definidas pelos gradientes produzidos pelos contatos tectônicos entre rochas com densidades diferentes. As duas primeiras estão condicionadas pelo Granito Cigano e a terceira define o contato entre rochas metavulcanossedimentares e metassedimentares. A falha de direção E-W conecta diretamente a área mineralizada com a intrusão do Granito Cigano. Os dados gravimétricos indicam que a mineralização ocorre na vizinhança de rochas densas (intrusão máfica e rochas metavulcanossedimentares).

No depósito de EGP-Cr de Luanga, a mineralização ocorre em ortopiroxenito e harzburgito (FERREIRA FILHO

et al., 2007). Os dados gravimétricos indicam que essas rochas não estão associadas com anomalia positiva significativa, sugerindo que elas possuem pouca expressão volumétrica. Os dados indicam, ainda, que o corpo de máficas-ultramáficas está estruturalmente controlado por zonas de falhas com direção NE-SW. Observa-se, também, que a falha localizada a oeste do corpo mineralizado está conectada com a mineralização de Au-Pt-Pd de Serra Pelada.

4.9.5. Depósitos de Ni (Co) da Serra da Onça e Serra do Puma

Os depósitos de Ni (Co) da Serra da Onça e Serra do Puma ocorrem como minérios primários e supergênicos associados com rochas ultramáficas acamadadas (FERREIRA FILHO, 2007; KLEIN E CARVALHO, 2008). A expressiva anomalia gravimétrica positiva associada com o depósito de Serra da Onça (Figura 36) demonstra a sua correlação com um grande volume de rochas ultramáficas, que estão estruturalmente controladas por zonas de falhas com direção ENE-SSW. De outra forma, as anomalias gravimétricas positivas relacionadas com o depósito de Puma não são expressivas, porém a interpretação dos gradientes gravimétricos sugere que as rochas hospedeiras e, possivelmente também, o depósito, estão controlados pela Zona de Falha Carapanã. Observa-se, também, em torno dos depósitos, várias anomalias gravimétricas negativas interpretadas como intrusões graníticas (Figura 36).

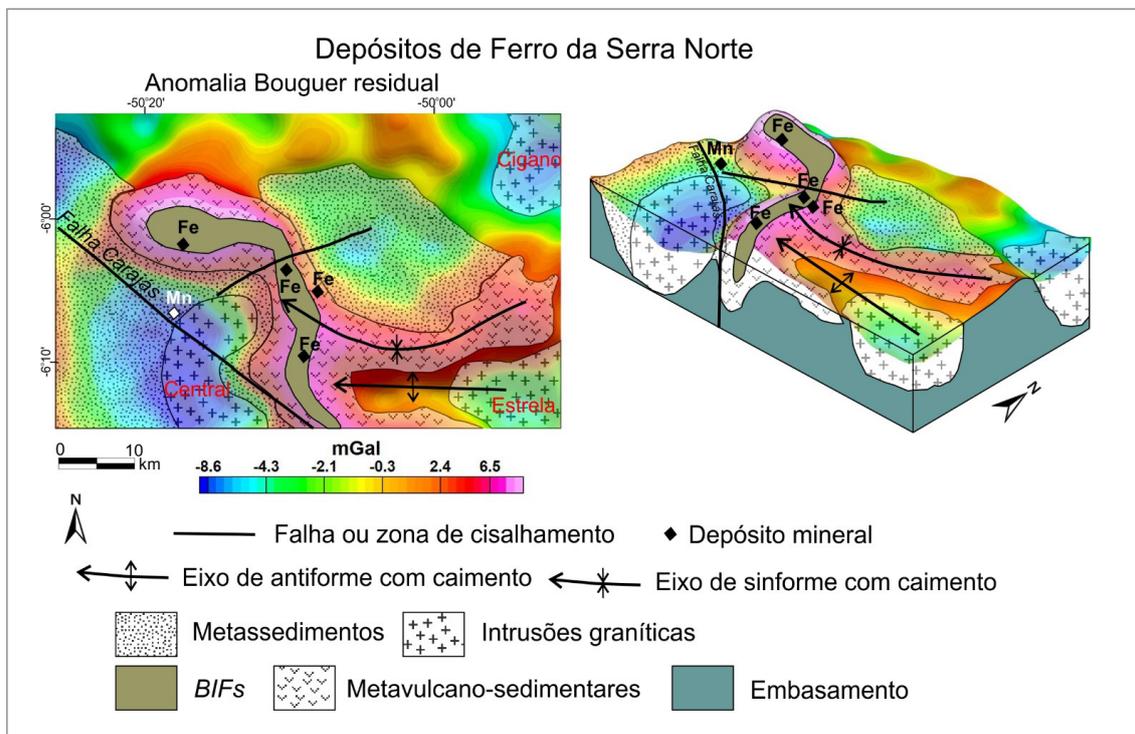


Figura 34 - Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Fe da Serra Norte com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

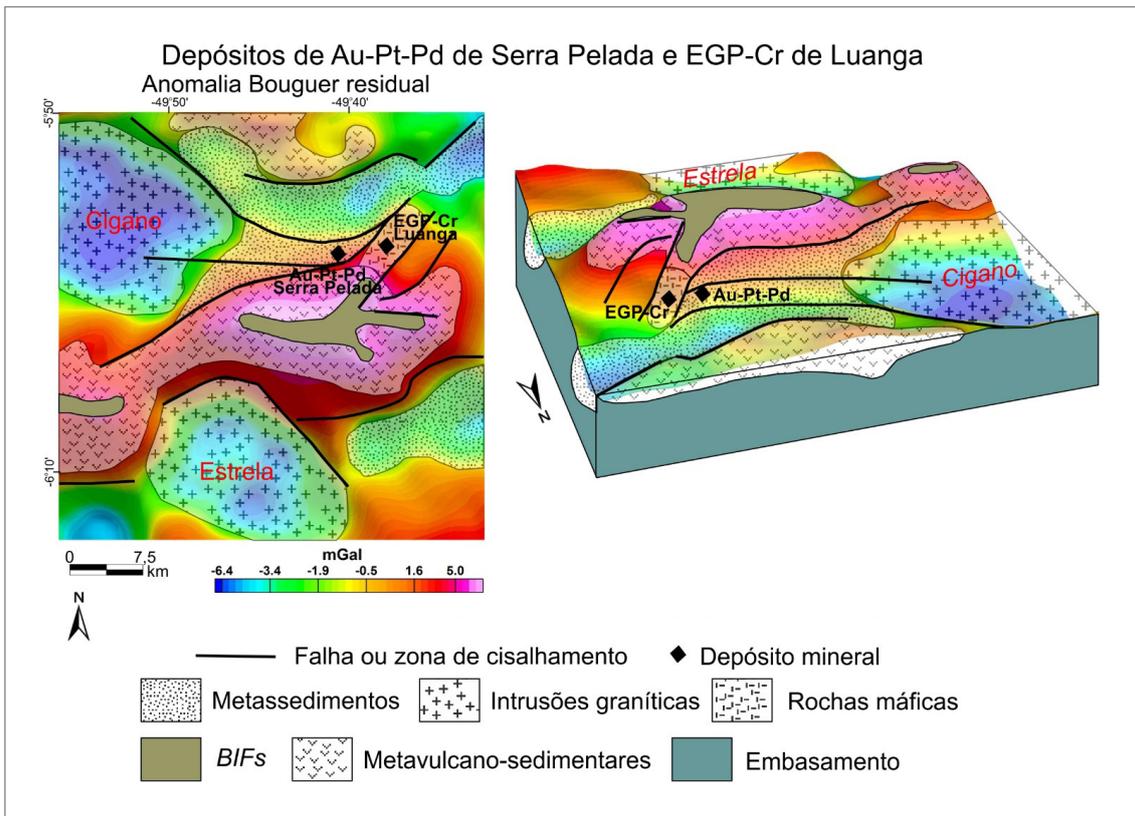


Figura 35 - Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Au-Pt-Pd de Serra Pelada e EGP-Cr de Luanga com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

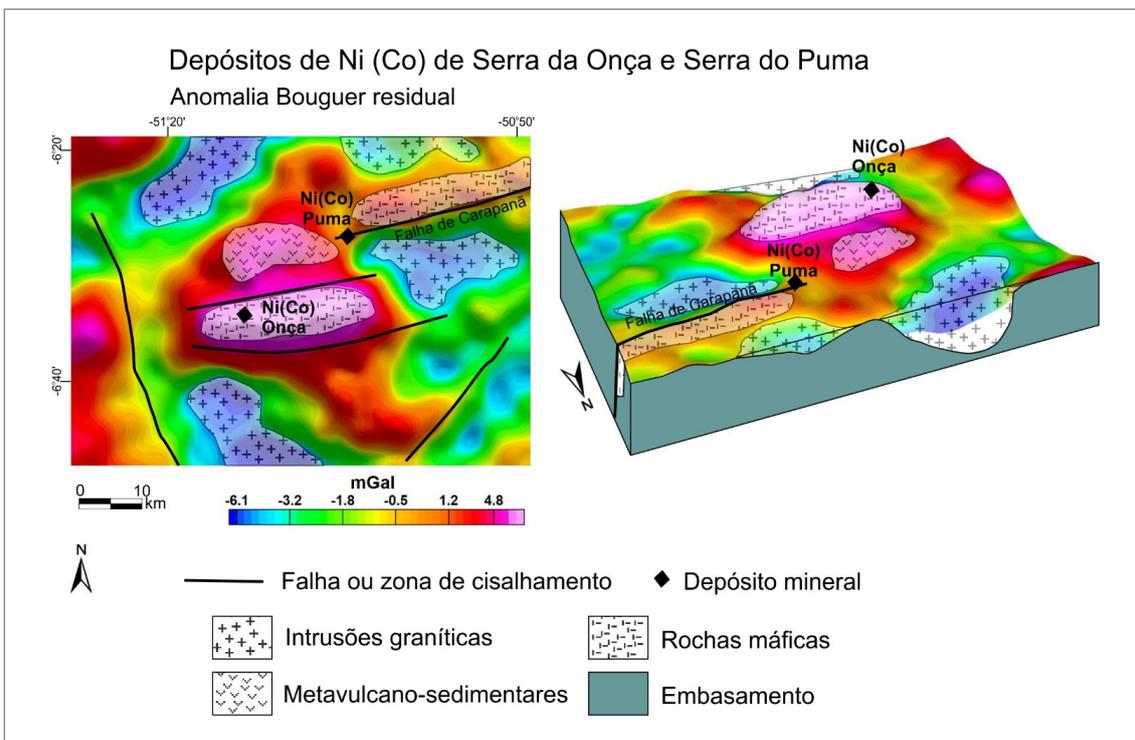


Figura 36 - Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Ni(Co) de Serra da Onça e Serra do Puma com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

4.9.6. Depósitos de Estanho de Antônio Vicente e Pium

Os depósitos de Estanho de Pium e Antônio Vicente possuem associação genética com *stocks* de granitos anorogênicos atribuídos à Suíte Intrusiva Velho Guilherme (TEIXEIRA et al., 2002). Segundo Teixeira (1999), a mineralização de cassiterita está associada a *greisens* e às fácies mais evoluídas e alteradas dos granitos. A interpretação dos dados gravimétricos demonstra a forte correlação dos depósitos com vários *stocks* de rochas graníticas interpretados por meio de anomalias gravimétricas negativas e circulares, com diâmetro variando entre 5 e 10 km (Figura 37). Observa-se, também, a existência de um forte controle estrutural definido por falhas interpretadas a partir de gradientes gravimétricos nas direções NE-SW e NW-SE. No conjunto, os depósitos estão associados com uma ampla região de deficiência de massa, com forma elíptica e eixo maior com dimensão de 80 km na direção NE-SW (Figura 37). A forma do agrupamento das anomalias negativas e a ambiência geológica sugerem que as anomalias poderiam ser os registros fósseis de centros vulcânicos pretéritos, cuja coalescência teria formado uma grande caldeira colapsada. Independentemente desta interpretação, considerando a existência de um grande volume de rochas piroclásticas na região e a pouca correlação entre anomalias gravimétricas e corpos graníticos aflorantes, é possível supor que a maioria

das rochas intrusivas na região ainda mantém suas cúpulas e câmaras magmáticas preservadas sob os depósitos de rochas vulcânicas.

4.9.7. Depósitos de Manganês da Serra da Buritirama

O Mn da Serra da Buritirama tem três formas de ocorrência (ARAÚJO e SOUZA, 2018): i) precipitado nos interstícios de metarenitos e planos de falhas, fraturas e bandas de cisalhamento; ii) em crosta laterítica manganésifera; e iii) como fragmento de crosta manganésifera em depósitos coluvionares. A interpretação dos dados gravimétricos demonstra que os alinhamentos dos depósitos na direção NW-SE ocorre segundo *trends* de gradientes gravimétricos que indicam a existência de, pelo menos, duas zonas de falhas ou cisalhamentos com extensões de aproximadamente 35 km (Figura 38). Este fato indica que ocorre um importante controle estrutural das mineralizações e suas hospedeiras. Observa-se, também, que as falhas separam rochas metavulcanossedimentares (anomalias positivas) de rochas metassedimentares (anomalias negativas). As intensidades das anomalias positivas e negativas indicam que as duas formações geológicas não devem ser muito espessas. Adicionalmente, a interpretação indica que as falhas interpretadas ocorrem paralelas e a uma distância entre 1 e 4 km a sudeste da Zona de Cisalhamento Buritirama (ZCB).

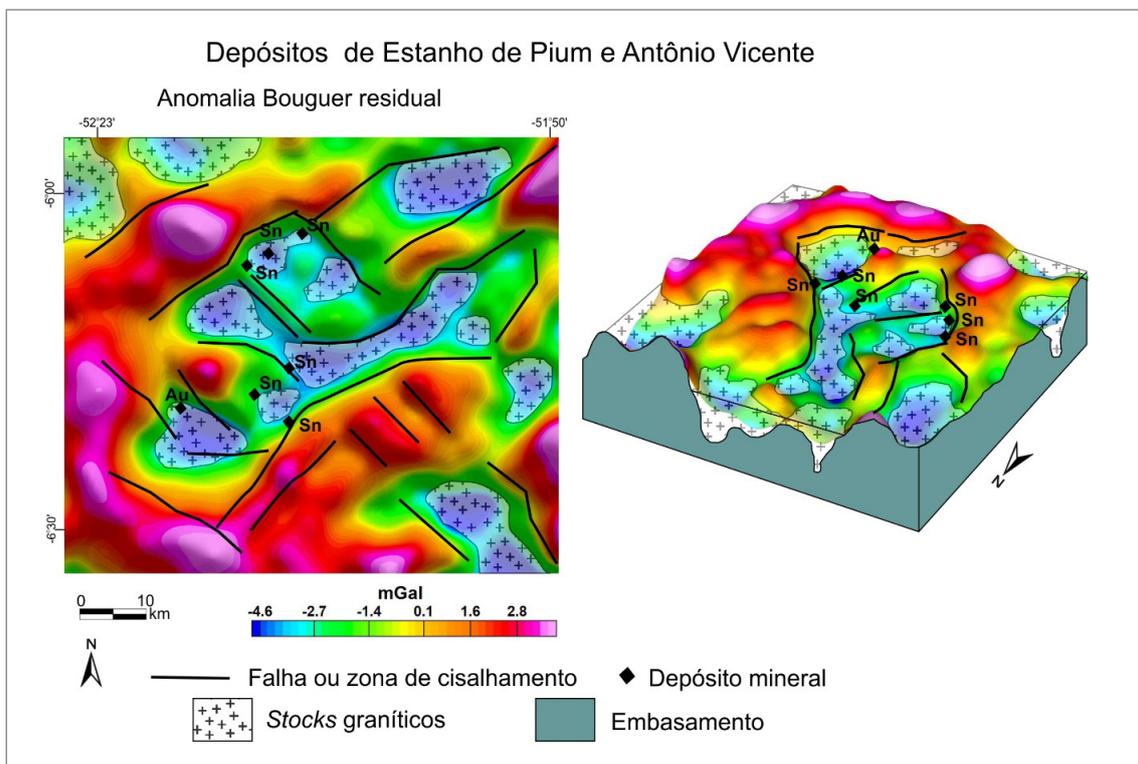


Figura 37 - Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Sn de Pium e Antônio Vicente com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

Esta zona de cisalhamento é interpretada, neste trabalho, como sendo o limite tectônico entre os domínios Carajás e Bacajá. Como é possível observar na Figura 38, a ZCB separa, a nordeste, uma crosta com densidade alta, que corresponde às rochas metamorizadas na fácies granulito do Domínio Bacajá, da crosta com densidade média (normal) do Domínio

Carajás, a sudoeste. No Item 4.7, foi interpretado que o limite associado com esta justaposição de crostas com densidades distintas pode corresponder a uma zona de sutura formada pela colisão de dois diferentes blocos crustais (Figura 29), como interpretado por Tavares et al. (2018) com base em estudos geológicos, estruturais e geocronológicos.

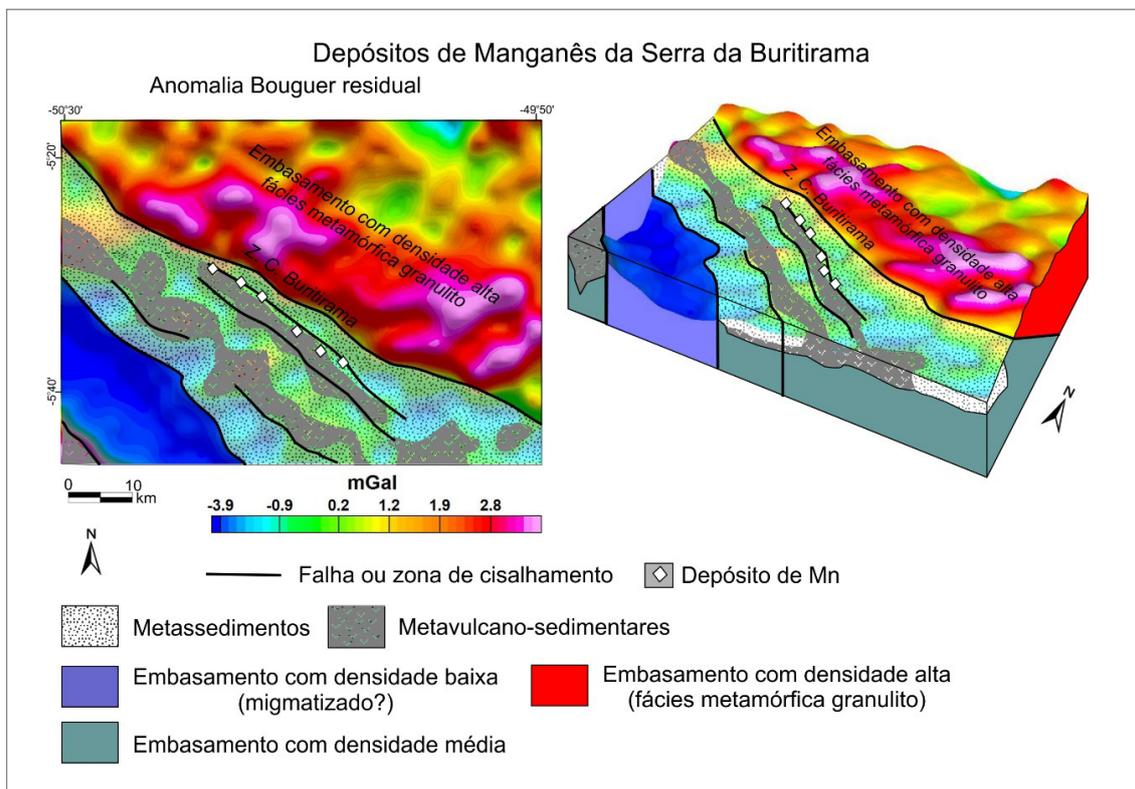


Figura 38 - Assinaturas gravimétricas com interpretação litológica e estrutural dos depósitos de Mn da Serra da Buritirama com visão das anomalias em 3D. A localização em relação a área do projeto está apresentada na Figura 31.

5. CONCLUSÕES

As interpretações e modelagens dos dados aerogravimétricos apresentados neste trabalho demonstraram um grande potencial para o entendimento da distribuição de massa na área do projeto e sua capacidade para resolver problemas importantes no âmbito geotectônico e de recursos minerais. Os filtros e modelagens aplicados nos dados realçaram as modificações de massa, tanto positiva como negativa, e suas correlações litológicas. Estas correlações permitiram entender o efeito dos eventos geológicos na modificação da estrutura de densidade original da crosta e levantar hipóteses sobre modelos de evolução tectônica.

O emprego de modelagens Euler 3D e a correlação das assinaturas gravimétricas com a geologia e os depósitos minerais possibilitaram a localização de zonas de gradientes e de fontes de anomalias gravimétricas, que podem corresponder às estruturas e aos contatos geológicos correlacionados com depósitos de Cu-Au, Au, Cr, Ni-Co e Mn. Esta correlação

poderá ser útil no entendimento dos controles geológicos e na definição de novos alvos favoráveis a estes tipos de depósitos.

A modelagem 2,5D de um perfil que atravessa toda área de estudo apresentou uma seção em profundidade da distribuição de densidade nos domínios Bacajá, Carajás e Rio Maria. Mesmo o modelo representando aproximações simples, de uma realidade extremamente complexa, oferece possibilidades para discussões sobre a evolução tectônica dos três domínios.

Os dados permitiram distinguir diferenças de modelos de evolução tectônica nos diferentes domínios: i) *TTG-greenstone belts* no Domínio Rio Maria sem convergência e colisão de placas litosféricas (sagdução?); ii) riftes ensiálicos desenvolvidos em bacias do tipo *strike slip* no Domínio Carajás; iii) *Large Igneous Province (LIP)* no Domínio Iriri-Xingu; e iv) cinturões orogênicos com colisão continente-continente nos domínios Bacajá e Araguaia.

6. RECOMENDAÇÕES

A elaboração de um modelo geodinâmico robusto, que harmonize os dados de campo com a geocronologia e a geofísica para toda a região oeste do Cráton Amazônico, deve ser um compromisso prioritário para o SGB-CPRM, não só porque constitui um dos aspectos geocientíficos de maior importância para o país, mas por sua notória implicação econômica.

É muito importante a continuidade de levantamentos aerogravimétricos no Cráton Amazônico, porque a proposição por vários autores da existência de sucessivos arcos

magmáticos na região entre o Cachimbo e Carajás, se confirmada, poderá constituir um forte atrativo para aplicação de investimentos exploratórios nessa região. Zonas de consumo litosférico e seus respectivos produtos magmáticos constituem, em todo o planeta, os maiores depositários de recursos minerais como Cu, Au, Mo, Zn e Pb. Por outro lado, a possibilidade de que tal região possua, na verdade, uma condição metalogenética distinta, poderá ajudar o investidor a construir modelos exploratórios não convencionais e, assim, encontrar novos tipos de mineralizações.

REFERÊNCIAS

- AIRO, M. L. Geophysical signatures of mineral deposit types in Finland. **Geological Survey of Finland. Special Paper**, Espoo, v. 58, p. 9-70, 2015. Disponível em: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_058_pages_009_070.pdf. Acesso em: 23 out. 2020.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; NEVES, B. B. de B. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth science reviews**, Amsterdam, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, Apr. 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9).
- ALMEIDA, J. A. C. de; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M. A. de; MACAMBIRA, M. J. B.; PIMENTEL, M. M.; RAMO, O. T.; GUIMARÃES, F. V.; LEITE, A. A. da S. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 187, n. 1-2, p. 201-221, May 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.03.004>.
- ARAÚJO, O. J. B.; MAIA, R. G. N. M.; SILVA, J. J. X. da; COSTA, J. B. S. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1988, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG, 1988. v. 1, p. 324-338.
- ARAÚJO, R. N.; SOUSA, M. J. de. J. **Áreas de Relevante Interesse Mineral Província Mineral de Carajás, PA: estratigrafia e análise do minério de Mn de Carajás - áreas Azul, Sereno, Buritirama e Antônio Vicente**. Belém: CPRM, 2018. 198 p. (Informe de Recursos Minerais. Série Províncias Minerais do Brasil, 16). Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20421>. Acesso em: 23 out. 2020.
- ASSUMPÇÃO, M.; BIANCHI, M.; JULIÀ, J.; DIAS, F. L.; FRANÇA, G. S.; NASCIMENTO, R.; DROUET, S.; PAVÃO, C. G.; ALBUQUERQUE, D. F.; LOPES, A. E. V. Crustal thickness map of Brazil: data compilation and main features. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 43, p. 74-85, Apr 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.12.009>.
- BARBOSA, A. A.; LAFON, J. M.; NEVES, A. P.; VALE, A. G. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do Granito Redenção, SE do Pará: Implicações para a evolução do magmatismo proterozóico da região de Redenção. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra**, Belém, v. 7, p. 147-164, 1995.
- BASSIN, C.; LASKE, G.; MASTERS, G. The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America. **Eos Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 81, n. 48, p. F897, Jan. 2000.
- BAYER, R.; LESQUER, A. Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du craton Ouest-african: géométrie d'une suture panafricane. **Bulletin de la Société Géologique de France**, Paris, v. S7-XX, n. 6, p. 863-876, Jan. 1978. DOI: <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-XX.6.863>.
- BAYER, R.; CAROZZO, M. T.; LANZA, R.; MILETTO, M.; REY, D. Gravity modelling along the ECORS-CROP vertical seismic reflexion profile through the Western Alps. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 162, n. 3-4, p. 203-218, May 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(89\)90244-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(89)90244-8).
- BERROCAL, J.; MARANGONI, Y; SÁ, N. C. de; FUCK, R.; SOARES, J. E. P.; DANTAS, E.; PEROSI, F.; FERNANDES, C. Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, Central Brazil. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 388, n. 1-4, p. 187-199, Sept. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.033>.
- BIERLEIN, F. P.; MURPHY, F. C.; WEINBERG, R. F.; LEES, T. Distribution of orogenic gold deposits in relation to fault zones and gravity gradients: targeting tools applied to the Eastern Goldfields, Yilgarn Cráton, Western Australia. **Mineralium Deposita**, Berlin, v. 41, p. 107-126, 2006. DOI 10.1007/s00126-005-0044-4.
- CONDIE, K. C.; MARESCHA, J. C.; BENN, K. Archean geodynamics: similar to or different from modern geodynamics? Washington: American Geophysical Union, 2006. p. 47-59. (Archean Geodynamics and Environments, 164). DOI: <https://doi.org/10.1029/164GM05>.
- CONSTABLE, S. C.; PARKER, R. L.; CONSTABLE, C. G. Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. **Geophysics**, Tulsa, v. 52, n. 3, p. 289-300, Mar. 1987. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1442303>.
- CORDANI, U. G.; TASSINARI, C. C. G.; KAWASHITA, K. A Serra dos Carajás como região limítrofe entre províncias tectônicas. **Ciências da Terra, São Paulo**, v. 9, p. 6-11, 1984.
- COSTA, I. S. L.; ROCHA, M. P.; KLEIN, E. L.; VASQUES, m. L. Lithospheric structure of the southern Amazonian Craton from multiple-frequency seismic tomography: Preliminary insights on tectonic and metallogenic implications. **Journal of South American Earth Science**, Oxford, v. 101, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102608>.
- COSTA, U. A. P.; PAULA, R. R. de; SILVA, D. P. B.; BARBOSA, J. dos P. de O.; SILVA, C. M. G. da; TAVARES, F. M.; OLIVEIRA, J. K. M. de; JUSTO, A. P. **Mapa de integração geológico-geofísica da ARIM Carajás**. Belém: CPRM, 2016. 1 mapa, color. Escala 1:250.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19048>. Acesso em: 26 out. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamento Aerogravimétrico Carajás**: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gravimétricos: texto técnico. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções S.A.; Microsurvey Aerogeofísica Consultoria Ltda, 2014. v. 1, 246 p. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21687>. Acesso em: 26 out. 2020.

DALL'AGNOL, R.; SCAILLET, B.; PICHAVANT, M. An Experimental Study of a Lower Proterozoic A-type Granite from the Eastern Amazonian Cráton, Brazil. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 40, n. 11, p. 1673-1698, 1999.

DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; RÄMÖ, O. T.; MOURA, C. A. V.; MACAMBIRA, M. J. B.; OLIVEIRA, D. C. de. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos**, Amsterdam, v. 80, n. 1-4, p. 101-129, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.058>.

FERREIRA FILHO, C. F.; CANÇADO, F.; CORREA, C.; MACAMBIRA, E. M. B.; SIEPIERSKI, L.; JUNQUEIRA-BROD, T. C. Mineralizações estratiformes de PGE-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. *In*: ROSA-COSTA, L. T.; KLEIN, E. L.; VIGLIO, E. P. (ed.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2007. v. 5, p. 1-14. Disponível em: <http://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/CGA%205.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

FRANÇOIS, C.; PHILIPPOT, P.; REY, P.; RUBATTO, D. Burial and exhumation during Archean sagduction in the East Pilbara Granite-Greenstone Terrane. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 396, p. 235-251, June 2014.

FORD, K.; KEATING, P.; THOMAS, M. D. Mineral Deposits of Canada - Overview of geophysical signatures associated with Canadian ore deposits. *In*: GOODFELLOW, W. D. (ed.) **Mineral resources of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods**. St. John's: Geological Association of Canada, 2007. p. 939-969. (Special Publication, 5).

FOWLER, C. M. R. **The Solid Earth**: an introduction to global geophysics. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 685 p.

FREITAS-SILVA, F. H. Controle estrutural da mineralização aurífera de Serra Pelada, Curionópolis-PA. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG. Núcleo Minas Gerais, 1998. p. 131. Disponível em: <http://sbg-mg.org.br/novosite/wp-content/uploads/2017/11/XL-CBG.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

GIBB, R. A.; THOMAS, M. D.; LAPOINTE, P. L.; MUKHOPADHYAY, M. Geophysics of proposed sutures in Canada. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 19, n. 4, p. 349-384, Mar. 1983. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(83\)90021-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(83)90021-9).

GIBBS, A. K.; WIRTH, K. R.; HIRATA, W. K.; OLSZEWSKI JUNIOR, W. J. Age and composition of the Grão Para Group

volcanics, Serra dos Carajás, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 201-211, jun. 1986. Disponível em: <http://papegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12001/11545>. Acesso em: 26 out. 2020.

GRAINGER, C. J.; GROVES, D. I.; TALLARICO, F. H. B.; FLETCHER, I. R. Metallogensis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Cráton, Brazil: varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralization. **Ore Geology Reviews**, Amsterdam, v. 33, n. 3-4, p. 451-489, June 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.10.010>. Acesso em: 26 out. 2020.

GRIFFIN, W. L.; O'REILLY, S. Y.; RYAN, C. G. The composition and origin of sub-continental lithospheric mantle. *In*: FEI, Y.; BERTKA, C. M.; MYSEN, B. O. (ed.). **Mantle Petrology: field observations and high pressure experimentation: a tribute to Francis R. (Joe) Boyd**. Houston: The Geochemical Society, 1999. p. 13-45. (Special Publication, 6). Disponível em: https://www.geochemsociety.org/files/5614/1270/3112/SP-6_013-046_Griffin.pdf. Acesso em: 26 out. 2020.

GROVES, D.I.; BIERLEIN, F. P.; MEINERT, L. D.; HITZMAN, M. W. Iron-oxide coppergold (IOCG) deposits through earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. **Economic Geology**, Lancaster, v. 105, n. 3, p. 641-654, May 2010. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.641>.

HAGGERTY, S. E. Mantle metasomes and the kinship between carbonatites and kimberlites. *In*: Bell, K. (ed) **Carbonatites - genesis and evolution**. London: Unwin Hyman, 1989. p. 546-560.

HARRIS, L. B.; GODIN, L.; YAKYMCHUK, C. Regional shortening followed by channel flow induced collapse: a new mechanism for "dome and keel" geometries in Neoproterozoic granite-greenstone terrains. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 212-213, p. 139-154, Aug. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.04.022>.

HINZE, W. J. **The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps**. Houston: Society of Exploration Geophysicists, 1985. 454 p.

HIRATA, W. K.; RIGON, J. C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A. A. C.; MEIRELES, E. M. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG. Núcleo Norte, 1982. v. 1, p. 100-110. Disponível em: <http://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/Anais%201%20SGA%20V1.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

HOLDSWORTH, R. E.; PINHEIRO, R. V. L. The anatomy of shallow-crustal transpressional structures: insights from the Archean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. **Journal of Structural Geology**, New York, v. 22, n. 8, p. 1105-1123, Aug. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(00\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00036-5).

HORNBY, P.; BOSCHETTI, F.; HOROWITZ, F. G. Analysis of potential field data in the wavelet domain. **Geophysical Journal**

- International, Oxford, v. 137, n. 1, p. 175-196, Apr. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.1999.00788.x>.
- HÜHN, S. R. B. **Geologia, controle estrutural e gênese do depósito aurífero Babaçu, região de Rio Maria, sul do Pará.** 1992. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1992.
- HUHN, S. R. B.; SANTOS, A. B. S.; AMARAL, A. F. do; LEDSHAM, E. J.; GOUVÊA, J. L.; MARTINS, L. P. B.; MONTALVÃO, R. G. M. de; COSTA V. G. O terreno “granito greenstone” da região de Rio Maria – sul do Pará. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais [...].** Manaus: SBG. Núcleo Norte, 1988. v. 3, p. 1438-1452.
- JULIANI, C.; FERNANDES, C. M. D. Well-preserved Late Paleoproterozoic volcanic centers in the São Félix do Xingu region, Amazonian Cráton, Brazil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 191, n. 3-4, p. 167-179, Apr. 2010.
- JULIANI, C.; VASQUEZ, M. L.; KLEIN, E. L.; VILLAS, R. N. N.; MISAS, C. M. E.; SANTIAGO, É. S. B.; MONTEIRO, L. V. S.; CARNEIRO, C. de C.; FERNANDES, C. M. D.; USERO, G. Metalogênese da Província Tapajós. *In*: SILVA, M. da G. da; ROCHA NETO, M. B. da; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras.** Belo Horizonte: CPRM, 2014. p. 229-268. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19389>. Acesso em: 26 out. 2020.
- KARNER, G. D.; WATTS, A. B. Gravity Anomalies and flexure of the lithosphere at Mountain ranges. **Journal of Geophysical Research. Section B. Solid Earth**, Hoboken, v. 88, B12, p. 10449-10477, Dec. 1983. DOI: 10.1029/JB088iB12p10449.
- KLEIN, E. L.; CARVALHO, J. M. A. Recursos minerais. *In*: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (org.) **Geologia e recursos minerais do estado do Pará:** texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. Belém: CPRM, 2008. p. 217-262. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10443>. Acesso em: 26 out. 2020.
- KLEIN, E. L.; ALMEIDA, M. E.; ROSA-COSTA, L. T. **The 1.89-1.87 Ga Uatumã Silicic Large Igneous Province, northern South America.** [S.l.:s.n.], nov. 2012. Published on Large Igneous Provinces Commission. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266559345_The_189-187_Ga_Uatuma_Silicic_Large_Igneous_Province_northern_South_America. Acesso em: 26 out. 2020.
- KLEIN, E. L.; ROSA-COSTA, L. T.; VASQUEZ, M. L. Metalogênese da borda oriental do Cráton Amazônico. *In*: SILVA, M. da G. da; ROCHA NETO, M. B. da; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras.** Belo Horizonte: CPRM, 2014. p. 171-194. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19389>. Acesso em: 26 out. 2020.
- LESQUER, A.; BELTRÃO, J. F.; ABREU, F. A. M. de. Proterozoic links between northeastern Brazil and West Africa: a plate tectonic model based on gravity data. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 110, n. 1-2, p. 9-13, 15, 17-26, Dec. 1984. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90055-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90055-6).
- LINDENMAYER, Z. G.; FLECK, A.; GOMES, C. H.; SANTOS, A. B. S.; CARON, R.; PAULA, F. de C.; LAUX, J. H.; PIMENTEL, M. M.; SARDINHA, A. de S. Caracterização geológica do Alvo Estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará. *In*: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T. de; RAMOS, B. W. (ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia.** Brasília: DNPM; ADIMB, 2005. Cap. 4, p. 157-226. Disponível em: http://www.adimb.com.br/publicacoes_amazonia/Indice/Cap_IV.pdf. Acesso em: 26 out. 2020.
- LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. da C. e. **Geofísica de prospecção.** Belém: UFPA; CEJUP, 1995. v. 1.
- MACAMBIRA, E. M. B.; VALE, A. G. **São Félix do Xingu:** folha SB.22-Y-B, estado do Pará. Texto Explicativo. Brasília: CPRM, 1997. 344 p. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/8718>. Acesso em: 26 out. 2020.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 49, n. 3-4, p. 329-354, Feb. 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(91\)90040-H](https://doi.org/10.1016/0301-9268(91)90040-H).
- MACLEOD, I. N.; ELLIS, R. Quantitative magnetization vector inversion. *In*: SAGA BIENNIAL TECHNICAL MEETING AND EXHIBITION, 14., 2015, Adelaide, Australia. **Extended Abstracts.** Australia: [s.n.], 2015. p 1-5. DOI: 10.1071/ASEG2016ab115.
- MANDAL, A.; GUPTA, S.; MOHANTY, W. K.; MISRA, S. Sub-surface structure of a craton–mobile belt interface: evidence from geological and gravity studies across the Rengali Province–Eastern Ghats Belt boundary, eastern India. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 662, p. 140-152, Nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.01.016>.
- MARTIN, H.; MOYEN, J. F. Secular changes in tonalite-trondhjemite-granodiorite composition as markers of the progressive cooling of Earth. **Geology**, Boulder, v. 30, n. 4, p. 319-322, Apr. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0319:SCITG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0319:SCITG>2.0.CO;2).
- MARTIN, H.; MOYEN, J. F.; GUITREAU, M.; BLICHERT-TOFT, J.; PENNEC, J. L. Why Archean TTG cannot be generated by MORB melting in subduction zones. **Lithos**, Amsterdam, v. 198-199, n. 1, p. 1-13, June 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.02.017>.
- MISHRA, D. C. A Unified Model of Neoproterozoic Convergence and Rifting of Indian Cratons: Geophysical Constraints. **International Journal of Geosciences**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 610-630, Jan. 2011. DOI: 10.4236/ijg.2011.24063.

- MISHRA, D. C.; KUMAR, M. R. Proterozoic orogenic belts and rifting of Indian cratons: geophysical constraints. **Geoscience Frontiers**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 21-41, Jan. 2014. DOI: 10.1016/j.gsf.2013.03.003.
- MONTEIRO, L. V. S.; XAVIER, R. P.; SOUZA FILHO, C. R. de; MORETO, C. P. N. Metalogênese da Província Carajás. In: SILVA, M. da G. da; ROCHA NETO, M. B. da; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p.43-92. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19389>. Acesso em: 26 out. 2020.
- MOYEN, J. F.; VAN HUNEN, J. Short-term episodicity of Archaean plate tectonics. **Geology**, Boulder, v. 40, n. 5, p. 451-454, May 2012. DOI: <https://doi.org/10.1130/G322894.1>.
- MUSHAYANDEBVU, M. F.; VAN DRIEL, P.; REID, A. B.; FAIRHEAD, J. D. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution. **Geophysics**, Tulsa, v. 66, n. 3, p. 814-823, May 2001. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1444971>.
- NOGUEIRA, A. C. R. **Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, região central da Serra dos Carajás-PA**. 1995. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.
- OLIVEIRA, C. G.; LEONARDOS, O. H. Gold mineralization in the Diadema shear belt, northern Brazil. **Economic Geology**, Lancaster, v. 85, n. 5, p. 1034-1043, Aug. 1990. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.5.1034>.
- OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; SCAILLET, B. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian Cráton, Brazil. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 51, n. 10, p. 2121-2148, Oct. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/petrology/egq051>.
- OLIVEIRA, R. G. de. Insights on the framework of the Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil, and on the three-dimensional shape of the Carajás Basin, based on gravity data. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [S.l.], v. 1, n. 3, 101-112, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.29396/jgsb.2018.v1.n3.1>. Disponível em: <https://jgsb.cprm.gov.br/index.php/journal/article/view/50>. Acesso em: 28 out. 2020.
- OLIVEIRA, R. G. de; MEDEIROS, W. E. Deep crustal framework of the Borborema Province, 1069 NE Brazil, derived from gravity and magnetic data. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 315, p. 45-65, Sept. 2018. DOI: 10.1016/j.precamres.2018.07.004.
- OLIVEIRA, R. G. de; ANDRADE, J. B. F. de. Interpretação Geofísica dos Principais Domínios Tectônicos Brasileiros. In: SILVA, M. da G. da; ROCHA NETO, M. B. da; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p. 21-38. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19389>. Acesso em: 26 out. 2020.
- PARMENTER, A. C.; LIN, S.; CORKERY, M. T. Structural evolution of the Cross Lake greenstone belt in the northwestern Superior Province, Manitoba: implications for relationship between vertical and horizontal tectonism. **Canadian Journal of Earth Sciences**, Ottawa, v. 43, n. 7, p. 767-787, July 2006. DOI: <https://doi.org/10.1139/e06-006>.
- PESCHLER, A. P.; BENN, K.; ROEST, W. R. Insights on Archean continental geodynamics from gravity modelling of granite-greenstone terranes. **Journal of Geodynamics**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 185-207, Sept. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2004.06.005>.
- PESCHLER, A. P.; BENNA, K.; ROEST, W. R. Gold-bearing fault zones related to Late Archean orogenic folding of upper and middle crust in the Abitibi granite-greenstone belt, Ontario. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 151, n. 3-4, p. 143-159, Dec. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.08.013>.
- PIMENTEL, M. M.; MACHADO, N. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Boletim de resumos expandidos [...]**. Camboriú: SBG, 1994. v. 2, p. 390-391. Disponível em: http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/docreader.aspx?bib=Anais&PagFis=40585. Acesso em: 28 out. 2020.
- PINHEIRO, R. V. L. **Reactivation history of the Carajas and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil**. 1997. 422 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Durham University, Durham, 1997. Disponível em: <http://etheses.dur.ac.uk/5072/>. Acesso em: 28 out. 2020.
- PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazonas, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 597-606, dez. 2000. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10878/10338>. Acesso em: 28 out. 2020.
- RAMOTOROKO, C.D.; RANGANAI, R.T.; NYABEZE, P. Extension of the Archaean Madibe-Kraaipan granite-greenstone terrane in southeast Botswana: Constraints from gravity and magnetic data. **Journal of African Earth Sciences**, Oxford, v. 123, p. 39-56, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.06.016>.
- RANGANAI, R. T.; KAMPUNZU, A. B.; ATEKWANA, E. A.; PAYA, B. K.; KING, J. G.; KOOSIMILE, D. I.; STETTLER, E. H. Gravity evidence for a larger Limpopo Belt in southern Africa and geodynamic implications. **Geophysical Journal International**, Oxford, v. 149, n. 3, p. F9-F14, June 2002. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2002.01703.x.
- RAO, B. N.; KUMAR, N.; SINGH, A. P.; RAO, M. R. K. P.; MALL, D.M.; SINGH, B. Crustal density structure across the Central Indian Shear Zone from gravity data. **Journal of Asian Earth Sciences**, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 341-353, Aug. 2011. DOI:10.1016/j.jseas.2011.04.023.

- REID, A. B.; ALLSOP, J. M.; GRANSER, H.; MILLETT, A. J.; SOMERTON, I. W. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, Tulsa, v. 55, n. 1, p. 80-91, Jan. 1990.
- ROLANDO, A. P.; MACAMBIRA, M. J. B. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4., 2003, Salvador. **Short Papers [...]**. Salvador: CBPM; IRD, 2003. v. 1, p. 268-270. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-05/010039206.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.
- ROSIÈRE, C. A.; BAARS, F. J.; SEOANE, J. C. S.; LOBATO, L. M.; SILVA, L. L.; MENDES, G. E. Structure and iron mineralization of the Carajás Province. **Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy . Section B . Applied Earth Science**, London, v. 115, n. 4, p. 126-133, 2006.
- ROZEL, A. B.; GOLABEK, G. J.; JAIN, C.; TACKLEY, P. J.; GERYA, T. Continental crust formation on early Earth controlled by intrusive magmatism. **Nature**, London, v. 545, p. 332-335, May 2017
- SÁ, N. C. da; USSAMI, N.; MOLINA, E. C. Gravity map of Brazil 1: representation of free-air and Bouguer anomalies. **Journal of Geophysical Research . Section B . Solid Earth**, v. 98, n. B2, p. 2187-2197, Feb. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1029/92JB00979>.
- SÁNCHEZ, M. G.; ALLAN, M. M.; HART, C. J. R.; MORTENSEN, J. K. Extracting ore-deposit-controlling structures from aeromagnetic, gravimetric, topographic, and regional geologic data in western Yukon and eastern Alaska. **Interpretation**, Tulsa, v. 2, n. 4, p. 1N-T284, Nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1190/INT-2014-0104.1>.
- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; MCNAUGHTON, N. J.; FLECHER, I. R. New understanding of the Amazon Cráton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. **Gondwana Research**, Osaka, v. 3, n. 4, p. 37-49, 2000.
- SIZOVA, E.; GERYA, T.; STÜWE, K.; BROWND, M. Generation of felsic crust in the Archean: A geodynamic modeling perspective. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 271, p. 198-224, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.10.005>.
- SOUZA, C. S. de. **Gênese e controle do depósito aurífero de Lagoa Seca, greenstone belt de Andorinhas, Rio Maria - PA**. 1999. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- SOUZA, Z. S. de; POTREL, A.; LAFON, J. M.; ALTHOFF, F. J.; PIMENTEL, M. M.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, C. G. de. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 109, n. 3-4, p. 293-315, July 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00164-4](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00164-4).
- SPAMPINATO, G. P. T.; BETTS, P. G.; AILLERES, L.; ARMIT, R. J. Early tectonic evolution of the Thomson Orogen in Queensland inferred from constrained magnetic and gravity data. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 651-652, p. 91-120, May 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.03.016>.
- TAPLEY, B.; RIES, J.; BETTADPUR, S.; CHAMBERS, D.; CHENG, M.; CONDI, F.; GUNTER, B.; KANG, Z.; NAGEL, P.; PASTOR, R.; PEKKER, T.; POOLE, S.; WANG, F. GGM02 - An improved Earth gravity field model from GRACE. **Journal of Geodesy**, Berlin, v. 79, n. 8, p. 467-478, Nov. 2005. DOI: 10.1007/s00190-005-0480-z
- TASSARA, A.; SWAIN, C.; HACKNEY, R.; KIRBY, J. Elastic thickness structure of South America estimated using wavelets and satellite-derived gravity data. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 253, n. 1-2, p. 17-36, Jan. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.10.008>.
- TASSINARI, C. C. G. **Mapa Geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos**. 1996. 257 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. DOI: 10.11606/T.44.2013.tde-22082013-163642. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-22082013-163642/publico//Tassinari_LivreDocencia.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. **Episodes**, Ottawa, v. 22, n. 3, p. 174-182, Sept. 1999. DOI: 10.18814/epiugs/1999/v22i3/004.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B. B. de B. (ed.) Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. cap. 28, p. 471-485. Disponível em: <http://sbg.sitepessoal.com/livrosadobados/geologiaSul.pdf>. Acesso em: 21 out. 2020.
- TAVARES, F.M. **Evolução Geotectônica do Nordeste da Província Carajás**. 2015. 130 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional e Econômica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14778/1/Doutorado%20-%20Felipe%20Mattos%20Tavares%20-%202003.2015.pdf>. Acesso em: 28 out. 2020.
- TAVARES, F. M.; TROUW, R. A. J.; SILVA, JUSTO, C. M. G.; A. P.; OLIVEIRA, J. K. M. The multistage tectonic evolution of the northeastern Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil: Revealing complex structural patterns. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 88, p. 238-252, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.024>.
- TEIXEIRA, N. A. Assoalho oceânico no complexo ultramáfico do Quatipurú (PA). Implicações geotectônicas para a Faixa Móvel Araguaia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39., 1996, Salvador. **Anais [...]**. SBG. Núcleo Bahia-Sergipe, 1996. v. 6, p. 117-120. Disponível em: http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/docreader.aspx?bib=Anais&PagFis=44035. Acesso em: 28 out. 2020.

TEIXEIRA, N. A. et al. Evolução geológica e mineralizações primárias da Província Mineral Carajás. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 2., 2009, Gramado. **Resumos [...]**. Gramado: SBG, 2009.

TEIXEIRA, N. A.; CAMPOS, L. D.; CARVALHO, M. T. N. de; CUNHA, L. M. Porphyry or Not Porphyry: That's Not The Only Question. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 14., 2015, Marabá. **Anais [...]**. [S.l.]: SBG. Núcleo Norte, 2015. p. 382-385.

TEIXEIRA, N. P. **Contribuição ao estudo das rochas granitoides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará**. 1999. 507 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. DOI: 10.11606/T.44.1999.tde-22122015-110743. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-22122015-110743/fr.php>. Acesso em: 28 out. 2020.

TEIXEIRA, N. P.; FERNANDES, C. M. D.; MOURA, C. A. V.; PINHO, S. C. V.; BETTENCOURT, J. S. Geologia, geoquímica, geocronologia e isótopos de Sm-Nd de rochas vulcânicas paleoproterozóicas do Grupo Uatumã ocorrentes na região de São Félix do Xingu, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico, Brasil. *In*: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., 2002, Belém. **Boletim de resumos e roteiro da excursão**. Belém: PRONEX-UFPA; SBG. Núcleo Norte, 2002. p. 37. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/nucleonorte/Annais%20II%20SimposioVulcanismo%20Nov-2002-Belem.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 42, n. 3-4, p. 213-227, Mar. 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90012-0](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90012-0).

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p.

USSAMI, N.; MOLINA, E. C. Flexural Modeling of the Araguaia Belt, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 1-12, Jan. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00007-3).

USSAMI, N.; SÁ, N. C. da; MOLINA E. C. Gravity map of Brazil 2. Regional and residual isostatic anomalies and

their correlation with major tectonic provinces. **Journal of Geophysical Research . Section B . Solid Earth**, Hoboken, v. 98, n. B2, p. 2199-2208, Feb. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1029/92JB01398>.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. da (org.) **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará. Belém: CPRM, 2008. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil-PGB. Integração e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10443>. Acesso em: 21 out. 2020.

VASQUEZ, M. L.; SOUSA, S. C.; CARVALHO, J. M. A. (org.) **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2008. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil -PGB. Integração e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10443>. Acesso em: 28 out. 2020.

VILLAS, R. N.; SANTOS, M. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. **Mineralium Deposita**, Berlin, v. 36, n. 3-4, p. 300-331, May 2001.

WELLMAN, P. Development of the Australian proterozoic crust as inferred from gravity and magnetic anomalies. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 40-41, p. 89-100, Oct. 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(88\)90062-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(88)90062-9).

WIRTH, K. R.; GIBBS, A. K.; OLSZEWSKI JUNIOR, W. J. U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 195-200, jun. 1986. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12000>. Acesso em: 28 out. 2020.

WYLLIE, P. J. **The genesis of kimberlites and some low-SiO₂, high-alkali magmas**. *In*: Kimberlites and related rocks. Special publication (Geological Society of Australia). Vol.1. No.14. Blackwell Scientific, Cambridge, MA, pp. 603-615. ISBN 0867930330.

ZEGERS, T. E.; VAN KEKEN, P. E. Middle Archean continent formation by crustal delamination. **Geology**, Boulder, v. 29, n. 12, p. 1083-1086, Dec. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<1083:MACFBC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<1083:MACFBC>2.0.CO;2).

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

INFORME DE GEOFÍSICA APLICADA Nº2

O conhecimento geológico do território brasileiro constitui um instrumento indispensável para o planejamento e a execução das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais, e simultaneamente é fonte de dados imprescindível para o conhecimento e gestão do meio físico.

É com essa premissa que o Serviço Geológico do Brasil – CPRM tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral mais este produto, o Informe de Geofísica Aplicada, vinculado ao Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Com os expressivos investimentos realizados nos últimos anos em Geofísica, seja na aquisição de dados aerogeofísicos, seja na aquisição de equipamentos de geofísica terrestre, trabalhos de excelente qualidade de aplicação de dados geofísicos para solução de problemas geológicos vêm sendo desenvolvidos pelos pesquisadores do SGB-CPRM.

Entendendo a importância de divulgar amplamente os trabalhos e experiências em Geofísica, foi criada esta nova linha editorial, concebida no Departamento de Geologia e na Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica, que permite aos pesquisadores explorar e apresentar de forma mais detalhada os trabalhos realizados em projetos técnicos, demonstrando a diversidade e potencialidade de aplicação da Geofísica.

Com mais este produto, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos. Este produto está disponível para download no banco de dados corporativo do Serviço geológico do Brasil – CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>), e no Repositório Institucional de Geociências-RIGEO (<http://rigeo.cprm.gov.br>)

www.cprm.gov.br

Assessoria de Comunicação

Tels: (61) 2108-8400 • (21) 2295-4641
email: asscomdf@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel.: (21) 2295-4697
email: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento a Usuários – SEUS

Tel.: (21) 2295-5997
email: seus@cprm.gov.br

LEVANTAMENTO AEROGRAVIMÉTRICO CARAJÁS: CONTRIBUIÇÃO À GEOTECTÔNICA E METALOGENIA DA PORÇÃO LESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Sede Brasília

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte
BLoco H - Edifício Central Brasília - Brasília - DF - Brasil
CEP: 70040-904
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório do Rio de Janeiro

Avenida Pasteur, 404 - Urca - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
CEP: 22290-255
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tels: (21) 2546-0212 • (61) 3223-1166

Departamento de Geologia

Tels: (91) 3182-1326

Departamento de Recursos Minerais

Tel.: (21) 2295-4992

Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Tel.: (11) 3775-5123