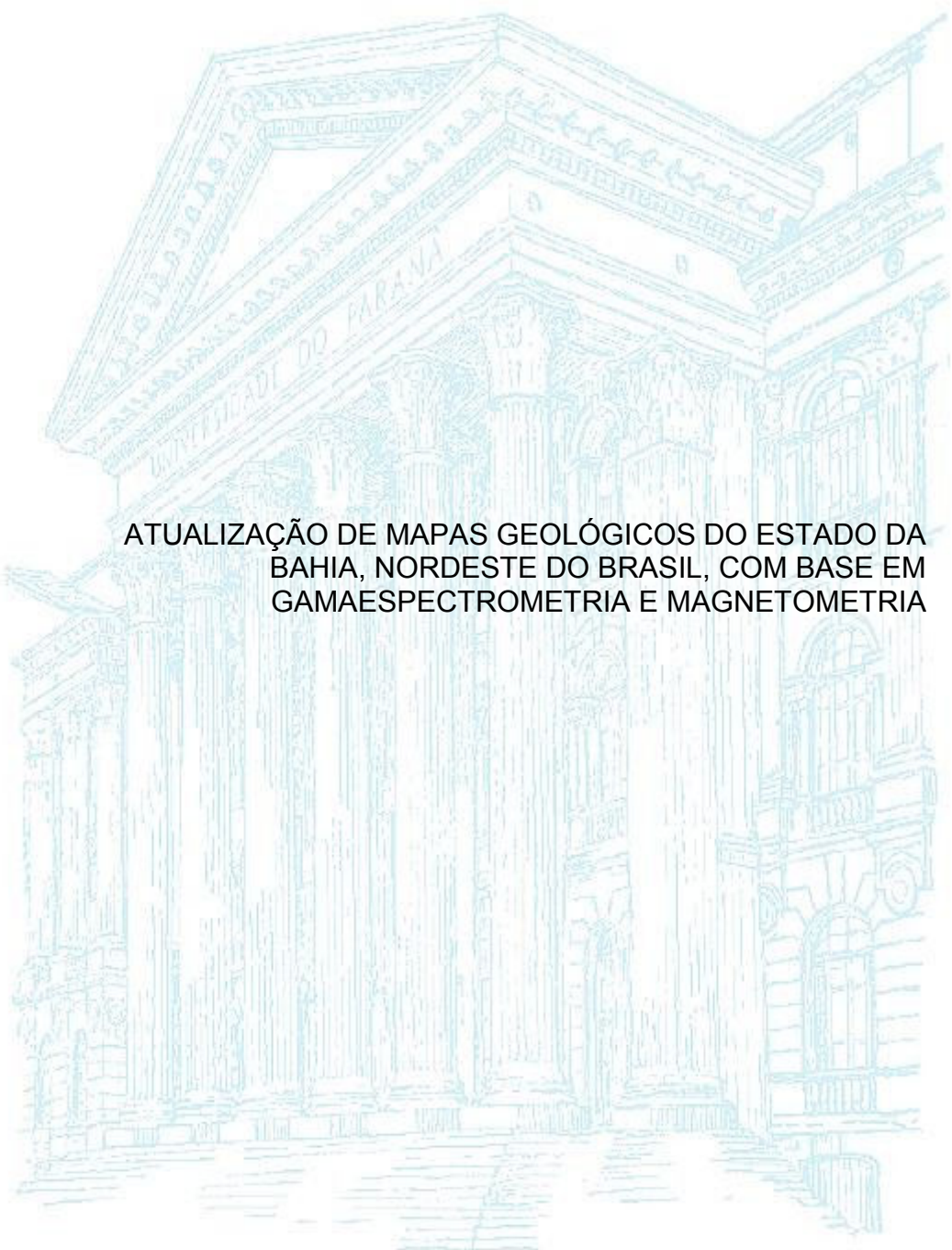
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCOS ROGÉRIO LIMA TELES



ATUALIZAÇÃO DE MAPAS GEOLÓGICOS DO ESTADO DA BAHIA, NORDESTE DO BRASIL, COM BASE EM GAMAESPECTROMETRIA E MAGNETOMETRIA

Curitiba
2016

MARCOS ROGÉRIO LIMA TELES

ATUALIZAÇÃO DE MAPAS GEOLÓGICOS DO ESTADO DA BAHIA, NORDESTE DO BRASIL, COM BASE EM GAMAESPECTROMETRIA E MAGNETOMETRIA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração Geologia Exploratória, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:
Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

Co-Orientador: Dr. Roberto Gusmão de Oliveira

Curitiba

2016

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista
Isabel Ângela dos Santos Matos – CRB-5/995:

T269 Teles, Marcos Rogério Lima.
Atualização de mapas geológicos do Estado da Bahia, Nordeste do Brasil, com base em gamaespectrometria e magnetometria. / Marcos Rogério Lima Teles. -- Curitiba, 2016.
102 f. Il.

Orientador Francisco José Fonseca Ferreira.
Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

1. Geofísica - Bahia. 2. Prospecção - Métodos geofísicos. 3. Magnetometria. 4. Gamaespectrometria. I. Ferreira, Francisco José Fonseca. II. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra. III. Título.

CDD: 550.83
CDU: 550.3:550.83 (81)

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCOS ROGÉRIO LIMA TELES

"Atualização de mapas geológicos do Estado da Bahia, Nordeste do Brasil, com base em gamaespectrometria e magnetometria."

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:

Prof. Dr. Maximilian Fries - Unipampa

Prof. Dr. Leonardo Fadel Cury - UFPR

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira – UFPR
Presidente

Curitiba, 13 de maio de 2016.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro plano, dirijo meus agradecimentos ao meu orientador, o Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira, pela sua disponibilidade, boa vontade, orientação e compreensão ao longo desses dois anos em que estivemos empenhados na realização desse projeto.

À CPRM pelo apoio financeiro, disponibilização dos dados aerogeofísicos e todo suporte necessário a esse projeto.

Ao meu grande amigo e colega de trabalho, Nelson Custódio da Silveira Filho, sua contribuição a essa obra subscreve desde o incentivo pessoal, à valorosa contribuição técnica e científica, que me fizeram evoluir no conhecimento.

Ao amigo Eron Macedo, co-orientador nessa obra, por seu incentivo e grandiosa colaboração nas etapas de campo.

Ao Superintendente Regional de Salvador da CPRM, Dr. Teobaldo Rodrigues, pelo apoio.

Aos meus filhos Amin e Guilherme, que ao longo desse período suportaram minha ausência.

A todos que contribuíram.

Muito obrigado!

RESUMO

A presente dissertação de mestrado trata dos trabalhos desenvolvidos no Projeto Anagé-Poções, em apoio ao programa Levantamentos Geológicos e Potencial Mineral de Novas Fronteiras, executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, da Diretoria de Geologia e Mineração (DGM), bem como no âmbito de integração dos dados geológicos e geofísicos de alta resolução, aqui aperfeiçoados, com objetivo de melhor definir o arcabouço geotectônico da porção sudoeste do Cráton do São Francisco (CSF). O contexto geotectônico da área de estudo engloba a zona de transição entre a porção sudeste do CSF e o ramo norte da faixa móvel brasiliana Araçuaí. Esse segmento do CSF inclui porções arqueanas meridionais dos blocos Gavião e Jequié, aglutinadas e estabilizadas no Paleoproterozóico (2,0Ga). Com base nos novos mapeamentos geológicos e na interpretação dos dados aerogeofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos) delineou-se na área de estudo e no seu entorno o limite existente entre a faixa de deformação brasiliana Araçuaí e as rochas do embasamento do Cráton do São Francisco. A utilização de dados geofísicos de alta resolução e de gravimetria terrestre, já existentes, foram essenciais para o entendimento de diversos aspectos geotectônicos e estruturais, até então considerados controversos. Os mapas litogeofísicos, as composições ternárias gamaespectrométricas e as técnicas de realce de anomalias magnéticas foram importantes na reformulação dos modelos iniciais para produção de novos mapas geológicos da região de estudo, tanto na orientação dos trabalhos de campo como na concepção e no entendimento do arcabouço tectono-estrutural da área de estudo. Essas técnicas contribuíram significativamente para a cartografia e contextualização geológica, tanto no mapeamento das descontinuidades tectônicas, quanto no arranjo espacial e reconhecimento dos compartimentos estruturais, o que permitiu a realização de inferências sobre a evolução geológica dos segmentos estudados. A distribuição espacial das megaestruturas atuantes desde o Arqueano-Paleoproterozóico é considerada de grande relevância como zonas de circulação de fluidos potencialmente geradores de jazidas minerais e sua melhor delimitação contribui para o avanço do conhecimento técnico-científico e da pesquisa mineral na área de estudo.

Palavras-chave: cartografia geológica; mapa litogeofísico; Cráton do São Francisco.

ABSTRACT

This master's degree dissertation deal with the works developed in the Anagé-Poções Project, in support to the Geological Surveys and Mineral Potential of New Frontiers program, executed by CPRM – Geological Survey of Brazil, Directorship of Geology and Mineral Resources (DGM), as well as in integration ambit of high resolution geological and geophysical data, here improved, with objective of better define the geotectonic framework of the southwest portion of the São Francisco Craton (CSF). The study area geotectonic context includes the transition zone existing between the southeast portion of CSF and the northern branch of Brasiliano Araçuaí mobile belt. This CSF segment includes Archean meridional portions of the Gavião and Jequié blocks, agglutinated and stabilized in Paleoproterozoic (2.0 Ga). Based on new geological mapping and in aerial geophysical (gamaspectrometric and magnetometric) data, was delineated on study area and its surround the existent boundary between the Brasiliano Araçuaí deformation belt and São Francisco Craton basement rocks. The utilization of high resolution geophysical data and ground gravimetry was essential to understand several geotectonic and structural aspects, until then considered controversial. The lithogeophysical maps, gamaspectrometric ternary compositions, and magnetic anomaly enhancing techniques were important to reformulate the initial models to produce new geological maps of the study region, both the fieldwork orientation and utilized sampling and the conception and understanding of the study area tectono-structural framework. These techniques significantly contributed to the cartography and geological contextualization, both in the tectonic discontinuity mapping and space arrangement and establishment (recognition) of structural compartments, which enabled make inferences about the geological evolution of studied segments. The space distribution of megastructures acting since Archean-Paleoproterozoic is considered of great relevance as fluid circulation zones potentially generator of mineral deposits, and its better delimitation contributes for the advance of the technical-scientific knowledge and mineral research in the study area.

Keywords: Magnetic and gravimetric anomaly enhancement; lithogeophysical map; São Francisco Craton.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa geológico simplificado do estado da Bahia indicando os domínios tectono-geocronológicos arqueanos e paleoproterozóicos e a área de estudo. Fonte: Barbosa, Cruz e Souza (2012).. 17

Figura 1.2: Cráton do São Francisco segundo Alkmim et al (2006). 18

Figura 1.3: Limites do Cráton do São Francisco sugeridos por Almeida (1977), com indicação da área de estudo. Fonte: Cruz et al (2012). 21

Figura 1.4: Limites do Cráton do São Francisco, segundo Cruz (2004), indicando a área de estudo. 22

Figura 1.5: Limites do Cráton do São Francisco sugeridos por Alkmim et al (2006), adotado como referência para nossa proposta de revisão das fronteiras no presente trabalho. 23

Figura 1.6: Mapa de localização da área de estudo 26

Figura 2.1: Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas segundo Ferreira et al., 2013. 28

Figura 2.2: Ilustração do processo de redução ao polo (RTP). Fonte: Isles e Rankin (2013). 29

Figura 3.1: Modelo digital de terreno SRTM/NASA. O retângulo preto indica a área de estudo. 37

Figura 3.2: Mapa índicedos levantamentos aeromagnéticos (Tabela1) indicando a área processada (linha pontilhada) e a área de estudo (polígono branco). 39

Figura 3.3: Mapa índicedos levantamentos gamaespectrométrico (Tabela1) indicando a área processada (linha pontilhada) e a área de estudo (polígono branco). 41

Figura 3.4: Mapa do campo magnético anômalo (CMA), com indicação da área de estudo (polígono preto) 42

Figura 3.5: Mapa das anomalias gravimétricas Bouguer do estado da Bahia, indicando a área de estudo. Fonte: Corrêa Gomes et al. (1996). 43

Figura 3.6: Mapa dos domínios litoestruturais do estado da Bahia. Adaptado de Souza et al. (2003). 44

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, indicando a área processada (tracejada) e a de estudo (branca). 48

Figura 2: Cráton do São Francisco (Alkmim 2006) indicando as áreas processadas (polígono vermelho) e a de estudo (polígono preto). BG – Bloco Gavião; BJ – Bloco Jequié e FA – Faixa Araçuaí 52

Figura 3: Mapa índice da cobertura aerogeofísica (vide Tabela 1) sobreposta a imagem do Campo Magnético Anômalo (CMA) indicando as áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono branco) 54

Figura 4: Mapa índice da composição gamaespectrométrica ternária dos levantamentos aerogeofísicos (Tabela 1) indicando a área processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono branco) 55

Figura 5: Modelo digital de terreno SRTM/NASA. O retângulo preto indica a área de estudo. 57

Figura 6: Ilustração do processo de redução ao polo (RTP). Fonte: Isles e Rankin (2013). 58

Figura 7: Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas segundo Ferreira et al., 2013. 65

Figura 8:- Modelo 3D utilizado para avaliar o desempenho dos métodos de realce. 66

Figura 9: Mapa do campo magnético anômalo (CMA). 68

Figura 10: Mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP). 68

Figura 11: Mapa do campo magnético anômalo no polo. 69

Figura 12: Métodos de realce de anomalias magnéticas utilizadas nesse trabalho: A) ASA; B) GHT; C) ISA e D) ISA-GHT 70

Figura 13: Mapas gamaespectrométricos das áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos (Anexo 1). A) contagem total (CT, μR/h); B) potássio (K, %). 73

Figura 14: Mapas gamaespectrométricos das áreas processada (polígono

pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos do Anexo 1. A) equivalente de tório (eTh, ppm); B) equivalente uranio (eU,ppm). 74

Figura 15: Mapas de composição ternária das áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos do Anexo1). A) RGB; B) CMY. 75

Figura 16: Mapa litogeofísico das áreas processadas (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto). 76

Figura 17: A) Mapa do campo magnético anômalo, CMA e B) Mapa de campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP), com indicação da área de estudo (polígono em preto). 81

Figura 18: Mapas magnéticos da área de estudo: A) CMA-200m, B) CMA-RTP-500m. 82

Figura 18 - Mapas magnéticos da área de estudo continuados para cima: C) CMA-RTP-1000m, D) CMA-RTP-2000m 83

Figura 19: – Mapas de realce de anomalias aplicados aos dados da Figura 17-B, : A) ISA-200m, B) ISA-500m. 84

Figura 19 - Mapas de realce de anomalias aplicados aos dados da Figura 18: C) ISA-1000m, D) ISA-2000m. 85

Figura 20: Mapa de interpretação magnético-estrutural da área de estudo, seguindo uma aproximação do modelo de Alkmim et al (2006). 86

Figura 21: Mapa de interpretação magnético-estrutural da área de estudo e adjacencias, sobreposto à composição ternária RGB. 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Especificações dos levantamentos aerogeofísicos na área do projeto 38

Tabela 1 - Especificações dos levantamentos aerogeofísicos 56

Tabela 2 - Parâmetros geométricos do modelo da Figura 8. 66

Tabela 3 - Parâmetros geomagnéticos do modelo da Figura 8 em Vitória da Conquista-BA e no Polo. 67

Tabela 4: - Correlação entre unidades gamaespectrométricas (Anexo 2) e geológicas (Anexo 3) 77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA 14

1.1.1 Bloco Gavião (BG) 15

1.1.2 Bloco Jequié (BJ) 16

1.1.3 Orógeno Araçuaí 18

1.1.4 Limite Sudoeste do Cratón do São Francisco 19

1.2 OBJETIVOS 24

1.3 LOCALIZAÇÃO 24

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 27

2.1 GAMAESPECTROMETRIA AÉREA 27

2.2 MAGNETOMETRIA AÉREA 27

2.2.1 Principais técnicas de realce de anomalia 27

Redução ao polo 28

a) Continuações ascendentes 29

b) Gradiente vertical (Gz) – Evjen (1936) 30

c) Gradientes horizontais (Gx; Gy) – Cordell & Grauch (1985) 30

d) Gradiente horizontal 30

e) Amplitude do sinal analítico (ASA) - Nabighian (1972), Roest et. al. (1992) 31

f) Inclinação do sinal analítico (ISA) – Miller & Singh (1994) 32

g) Gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT_ISA) – Verduzco et. al. (2004) 33

h) Theta map – Winjs et. al. (2005) 34

i) Inclinação do gradiente horizontal total (IGHT) - Cooper & Cowan (2006) 34

j) Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA_GHT) - Ferreira et. al. (2010,2013) 34

3 MATERIAL E METODOS 35

3.1 MAPAS BASE 35

3.2 COBERTURA GEOFÍSICA REGIONAL 35

3.3 PRÉ-PROCESSAMENTO 36

3.4 ARCABOUÇO GEOFÍSICO 40

4 ARTIGO 45

5 CONCLUSÃO 95

REFERÊNCIAS 96

ANEXOS 102

1 INTRODUÇÃO

Os levantamentos geológicos até então executados na região proposta, apesar de sua boa qualidade, não foram homogeneizados em termos de cartografia geológica, restando, portanto, dúvidas sobre limites e relações de contato entre importantes unidades tectono-geológicas do embasamento Pré-cambriano baiano, conhecidas como Bloco Gavião, que inclui na região restos de sequências de rochas vulcano-sedimentares do tipo *greenstone-belts* integrantes do Grupo Contendas-Mirante. O Bloco Jequié é formado principalmente por rochas granuliticas orto e paraderivadas de idade arqueana (Complexo Granulítico Jequié), além de rochas granito-gnáissicas associadas ao Complexo Itapetinga e demais feições estruturais que se destacam na região em pauta.

Desta forma, a área abrangida por essa Dissertação de Mestrado reúne características singulares no que diz respeito ao seu contexto tectono-estrutural, cuja compreensão de sua geologia é bastante dificultada pela ocorrência de uma extensa cobertura de rochas detríticas e lateríticas de idade cenozoica.

Assim, a definição e/ou o avanço do conhecimento geológico sobre limites e contatos entre as referidas unidades tectono-geológicas constitui um dos principais objetivos do estudo.

Do ponto de vista dos recursos minerais, visa, também, contribuir com o conhecimento dos conjuntos litológicos que afloram na área de estudo e que se relacionam com um potencial metalogenético favorável à ocorrência de mineralizações de cromo, níquel, sulfetos de metais-base e ouro, bem como de depósitos minerais e rochas de uso industrial. Assim, um melhor conhecimento da potencialidade metalogenética da área certamente irá torná-la mais atrativa para investimentos privados em pesquisa mineral abrindo, consequentemente, novas perspectivas de geração de emprego e renda, o que constituiria um notável retorno social da pesquisa.

1.1 Caracterização do Problema

No contexto do Cráton do São Francisco, (Figura 1.1 e 1.2), as unidades geotectônicas estão agrupadas nos denominadas Bloco Gavião e Bloco Jequié (BARBOSA, 1986; BARBOSA ET AL., 2001, 2003; BARBOSA; SABATÉ, 2002,

2004). Apresentam-se, principalmente, em terrenos arqueanos e paleoproterozóicos constituindo o embasamento do Cráton. Diversas unidades geotectônicas podem ser definidas, as quais estão deformadas e orientadas aproximadamente na direção geral N-S (BARBOSA ET AL. 2001, 2003, MACEDO, 2006). As mais importantes são as sequências vulcanossedimentares Contendas-Mirante, Umburanas e Mundo Novo (MARINHO, 1991; MASCARENHAS; SILVA, 1994; CUNHA ET AL., 1996; BASTOS-LEAL, 1998), os núcleos antigos tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG), no Bloco Gavião e migmatitos/granulitos heterogêneos com enclaves de rochas supracrustais, intrusões múltiplas, graníticas-granodioríticas, augen-granodioritos-granitos, todos granulitizados, no Bloco Jequié (MACEDO, 2006).

1.1.1 Bloco Gavião (BG)

O Bloco Gavião (MARINHO; SABATÉ, 1982) (Figura 1.1 e 1.2) é um amplo segmento crustal situado na parte oeste do embasamento do Cráton do São Francisco na Bahia, sendo largamente coberto, na sua parte norte, por metassedimentos do Meso e Neoproterozóico. É constituído por sequências supracrustais arqueanas, cujo grau de metamorfismo varia das fácies xisto-verde a anfibolito (*greenstone belts* Contendas-Mirante, Umburanas e Mundo Novo) (MARINHO, 1991; MASCARENHAS ET AL., 1998), por associações tonalíticas, trondhjemíticas e granodioríticas da fácies anfibolito, incluindo os antigos núcleos TTGs (MARTIN; SABATÉ, 1990), além de rochas de composição granítica/granodiorítica e migmatitos, equilibrada na fácies anfibolito. Os *greenstone belts* deste bloco se formaram em bacias intracratônicas (BARBOSA; SABATÉ, 2002, 2004), na crosta antiga TTG, com idades em torno de 3,3 Ga (subvulcânicas ácidas do Contendas-Mirante e basaltos toleíticos da Formação Jurema-Travessão). Estas rochas foram superpostas por komatiitos basais, basaltos toleíticos com *pillow* lavas, rochas piroclásticas e sedimentos químico-exalativos com idades próximas a 3,2 Ga. Posteriormente foram soterradas por sedimentos detríticos com idades mínimas de 3,0-2,8 Ga (MARINHO, 1991). Os TTGs faziam parte do embasamento das bacias intracratônicas antes referidas. Dois grupos foram identificados, ambos metamorfisados na fácies anfibolito, que constituem a crosta continental mais antiga da Bahia (BARBOSA; SABATÉ 2001, 2002, 2003):

O primeiro grupo (TTG de Sete Voltas/Boa Vista/Mata Verde e Tonalito de Bernarda), com idades variando entre 3,4-3,2 Ga, revelam modelos geoquímicos originados por fusão parcial de protocrosta oceânica arqueana, deixando como resíduos anfibolitos ricos em granada ou eclogitos (CORDANI; SATO; MARINHO, 1985; WILSON, 1987; MARINHO, 1991; MARTIN ET AL., 1991; NUTMAN; CORDANI, 1993).

O segundo grupo (granitoides Serra do Eixo/Mariana/Piripá), com idades entre 3,2-3,1 Ga, de origem semelhante às rochas anteriores, contudo, está associado à contaminação crustal (MARTIN ET AL., 1991; MARINHO, 1991; SANTOS-PINTO, 1996; CUNHA ET AL., 1996, BASTOS-LEAL, 1998). As rochas de composição granítica/granodiorítica e migmatitos, metamorfisadas na fácies anfibolito, exibindo idades em torno de 2,8-2,7 Ga, são interpretadas como originadas da fusão parcial da crosta continental antiga, TTG, durante o fechamento das bacias intracratônicas onde se depositaram os greenstones belts (NUTMAN; CORDANI, 1993; SANTOS-PINTO, 1996). Ainda, em torno de 2,4 Ga foram identificadas no Bloco Gavião rochas vulcânicas cálcio-alcalinas, intrusões graníticas metaluminosas (Granito Pé de Serra) e intrusões máficas–ultramáficas (*Sill* do Rio Jacaré), contíguas a filitos e grauvacas, todas associadas aos *greenstone belts* (MARINHO, 1991).

1.1.2 Bloco Jequié (BJ)

O Bloco Jequié (BJ), de idade arqueana, está situado a leste do Bloco Gavião e a oeste do Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Figura 1.1 e 1.2), sendo caracterizado basicamente por migmatitos/granulitos heterogêneos com enclaves de rochas supracrustais (basaltos e basaltos andesíticos, bandas quartzo-feldspáticas, cherts /quartzitos, kinzigitos, grafititos, formações ferríferas bandadas e rochas máficas-ultramáficas), constituindo o componente mais antigo, com idades Sm-Nd em torno de 3,0-2,9 Ga. (WILSON, 1987; MARINHO, 1991, MARINHO ET AL., 1994; MACEDO, 2006), por intrusões múltiplas, graníticas-granodioríticas (enderbitos, charno-enderbitos e charnockitos) de idades em torno de 2,8-2,7 Ga, (WILSON, 1987; ALIBERT; BARBOSA, 1992; MACEDO, 2006). Estes plutonitos granulitizados podem conter megaenclaves de migmatitos/granulitos heterogêneos mais antigos

(BARBOSA ; SABATÉ, 2001). Ainda estão presentes neste bloco augen-charnoenderbíticos-charnockíticos e domos charnockíticos.

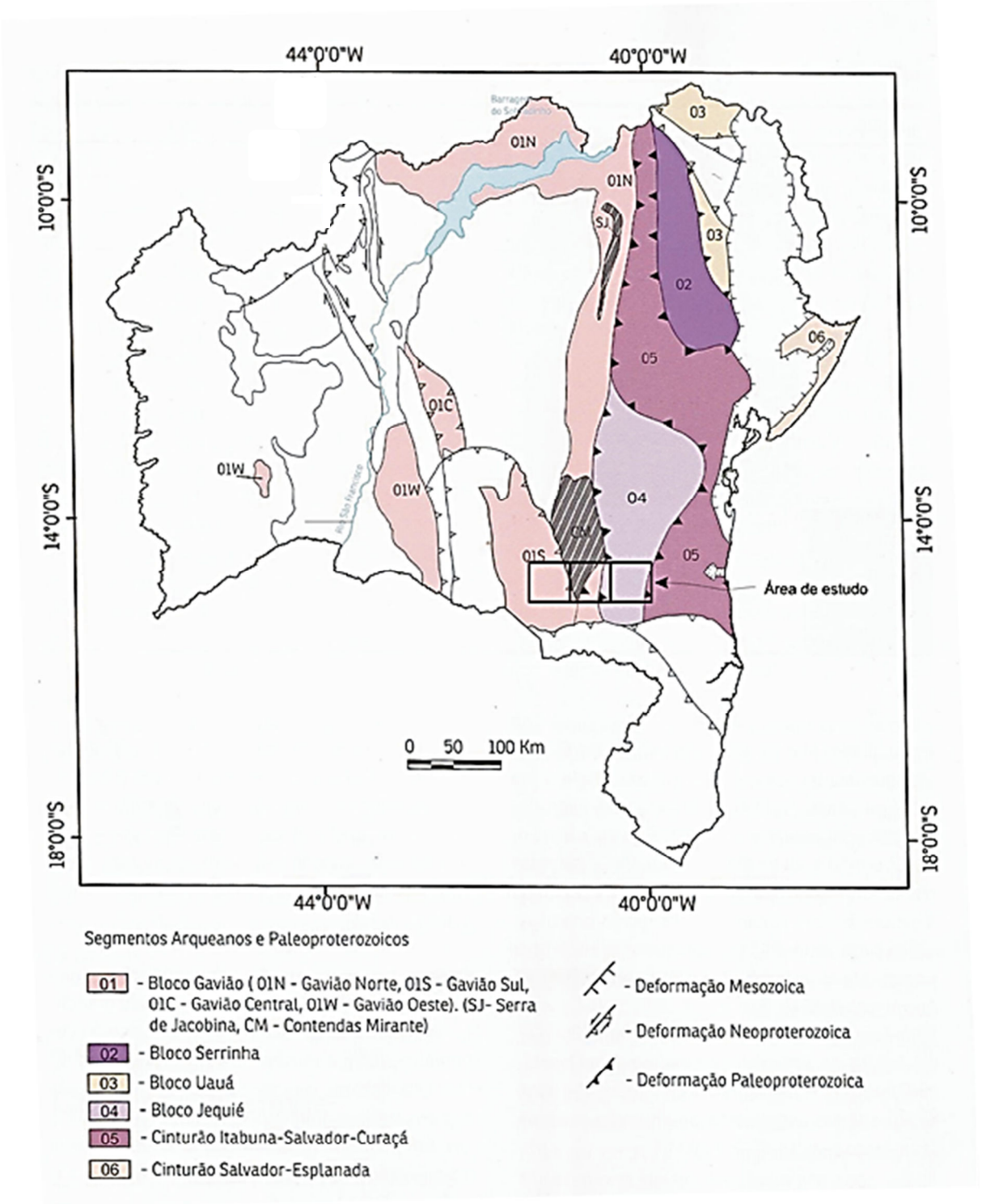


Figura 1.1: Mapa geológico simplificado do estado da Bahia indicando os domínios tectono-geocronológicos arqueanos e paleoproterozóicos e a área de estudo. Fonte: Barbosa et al. (2012).

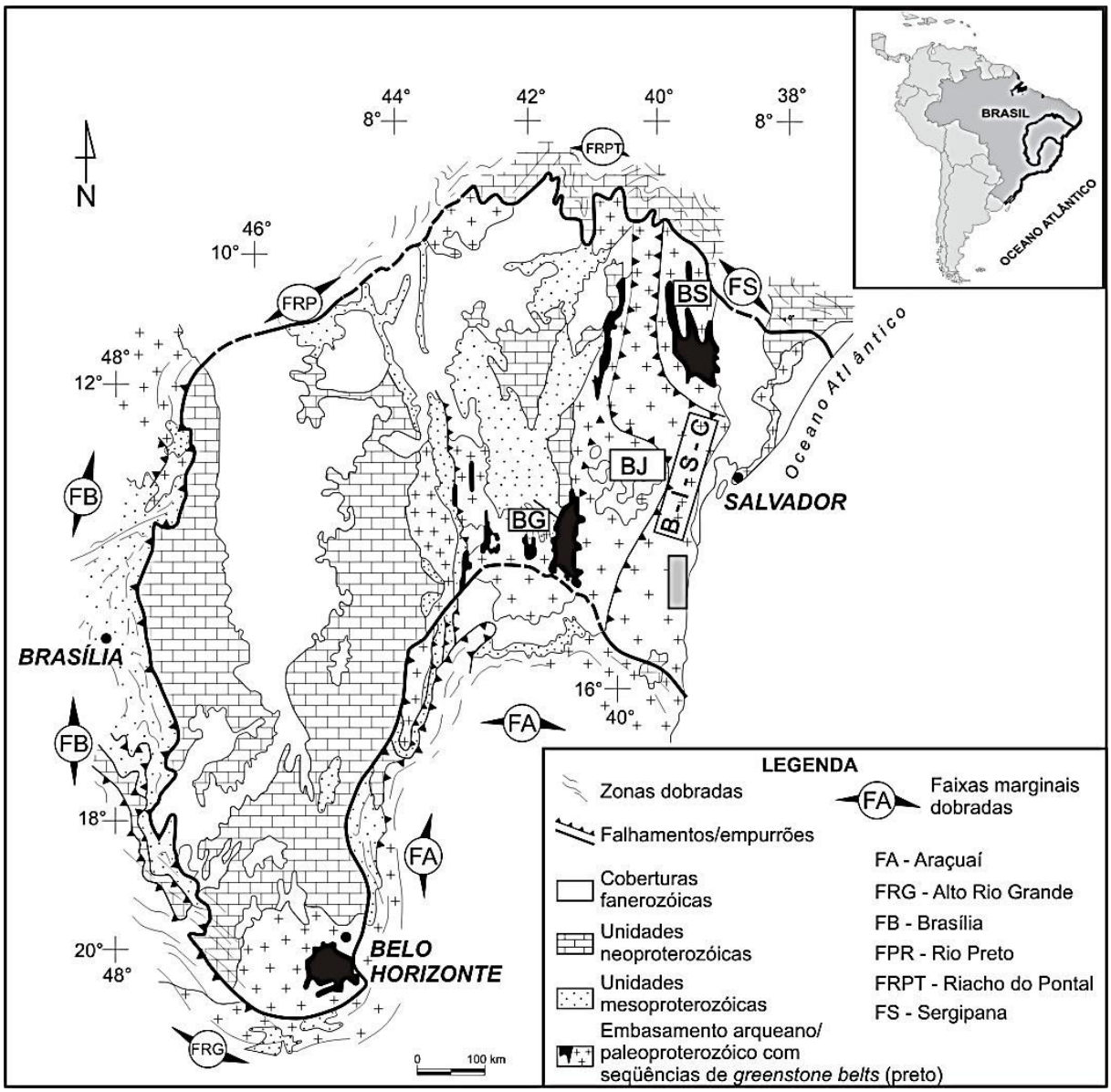


Figura 1.2: Cráton do São Francisco segundo Alkmim et al. (2006).

1.1.3 Orógeno Araçuaí

O Orógeno Araçuaí, tendo como base os principais estágios evolutivos da bacia precursora, é constituído por uma associação rudito-arenito-pelito (rifte continental) com magmatismo bimodal tipo A, associação arenito-pelito-carbonato, turbiditos areno-pelíticos de margem passiva, rochas magmáticas ofiolíticas, sedimentação pelágica e químico-exalativa do estágio oceânico. Nos estágios orogênicos houve a geração de granitóides cálcio-alcalinos de arco magmático, numa zona de subducção de litosfera oceânica ativa (pré-colisional). Na fase sin-

colisional, ocorreu espessamento crustal, fusão parcial e geração de magma tipo S, no clímax da tectônica tangencial ou “horizontal”, a geração de granitos S por fusão parcial sob descompressão adiabática, em tectônica tangencial cessante, escapes laterais, no estágio tardi-colisional, além do plutonismo tipo I e A2, em estágio pós-colisional, de colapso gravitacional.

Estes estudos constituem uma contribuição essencial para a caracterização estrutural e compreensão da história geológica destes terrenos. Contudo, os trabalhos publicados até então foram realizados predominantemente com informações provenientes de afloramentos, mapas geológicos e imagens de satélite, o que limita as interpretações a informações de superfície.

A utilização de informações obtidas pela análise de dados geofísicos é empregada com frequência e os resultados vêm se mostrando eficientes na caracterização de feições estruturais de subsuperfície. Modelos gerados a partir de dados de campos potenciais (*e.g.* magnetométricos e gravimétricos) são usualmente aplicados como métodos quantitativos, nos quais é possível estimar profundidades, posição e forma de estruturas e/ou corpos anômalos, tanto aflorantes como em profundidade.

1.1.4 Limite Sudoeste do Cratón do São Francisco

Há cerca de 40 anos (ALMEIDA, 1977), surgiam as primeiras tentativas de estabelecer os limites do Cráton do São Francisco (CSF), em especial o seguinte trecho da obra publicada na Revista Brasileira de Geociências daquele ano, onde o autor faz diversas referências aos limites do Cráton do São Francisco, algumas nas proximidades da nossa área de estudo:

> No norte de Minas Gerais e na região vizinha da Bahia, como referimos, a faixa Araçuaí descreve grande arco com concavidade voltada para sul, já observada por Mascarenhas (1973) e que bem se percebe nas imagens de radar. Os poucos conhecimentos, ora disponíveis, sobre a geologia da região não permitem apontar a posição da borda cratônica a norte da faixa de dobramentos. Certamente ela se situa a sul do Rio de Contas, pois que, a norte, já se apresenta a cobertura cratônica em Ituaçu e em Contendas do Sincorá. O Rio Pardo (PEDREIRA ET AL., 1969) possui características de uma bacia marginal desenvolvida à borda do Cráton, que ali bem caracterizado pelo magmatismo alcalino brasiliano (FUJIMORI, 1967; CORDANI ET AL., 1974) de Itaju do Colônia e de Potiraguá, assim como por idades do Pré-Cambriano Inferior de seu embasamento, determinadas por Cordani (1973).

> Esse autor indica o falhamento de Itapebi (ou falha de Planalto, af. MASCARENHAS, 1973) como o limite da faixa de dobramento do Ciclo Brasiliano com o Complexo Granítico de Jequié, embasamento do cráton. Tais considerações e a certeza que temos de que os dobramentos brasilianos não se estendem à região do Espinhaço, na Bahia, levam-nos a propor como limite convencional do cráton, nessa região, o indicado na Figura 1.3. Ele evidentemente carece de melhor definição, que só se poderá obter com o mapeamento detalhado da região.

No atual estágio de conhecimento sobre a citada região, apesar dos significativos avanços promovidos por empresas públicas, CPRM e CBPM, além de universidades (dissertações de mestrado e teses de doutoramento), desde as primeiras tentativas de estabelecer os limites do Cráton, ainda persistem sérias dúvidas sobre suas fronteiras nessa área. Nas Figuras 1.4 e 1.5, de trabalhos mais recentes, é possível observa que esses limites divergem, permanecendo portanto incertos. Os modelos apresentados não acham amparo nos dados geofísicos tratados nesta pesquisa, como veremos detalhadamente mais adiante.

No presente trabalho adotamos como referência os limites do Cráton do São Francisco sugeridos por Alkmim et al. (2006) (Figura 1.5), lembrando que tais limites são uma boa aproximação das fronteiras propostas por Almeida (1977). Por meio da interpretação dos dados de magnetometria aérea, além de dados gravimétricos terrestres, procurou-se estabelecer de forma mais precisa os limites do Cráton do São Francisco.

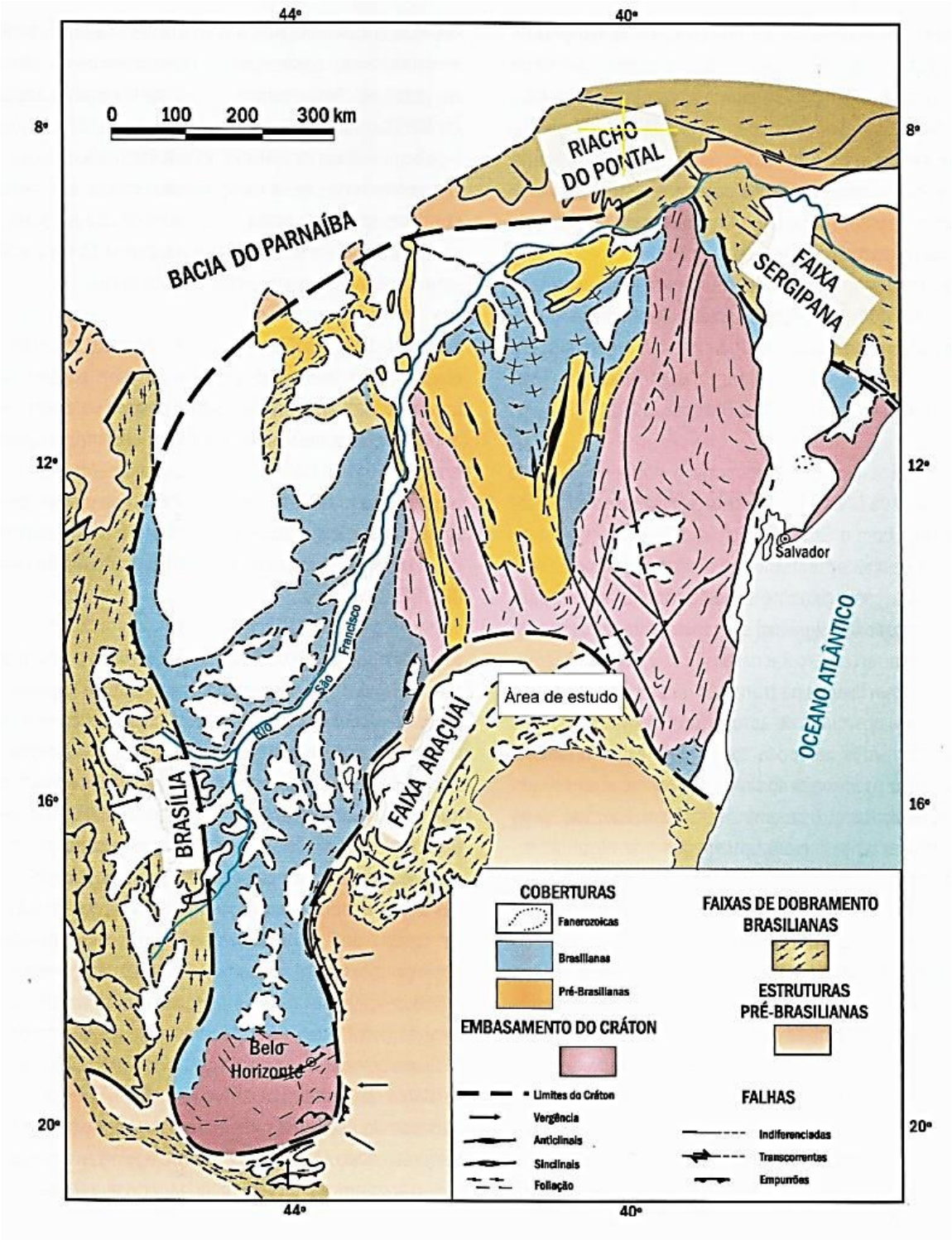


Figura 1.3: Limites do Cráton do São Francisco sugeridos por Almeida (1977), com indicação da área de estudo. Fonte: Cruz et al. (2012).

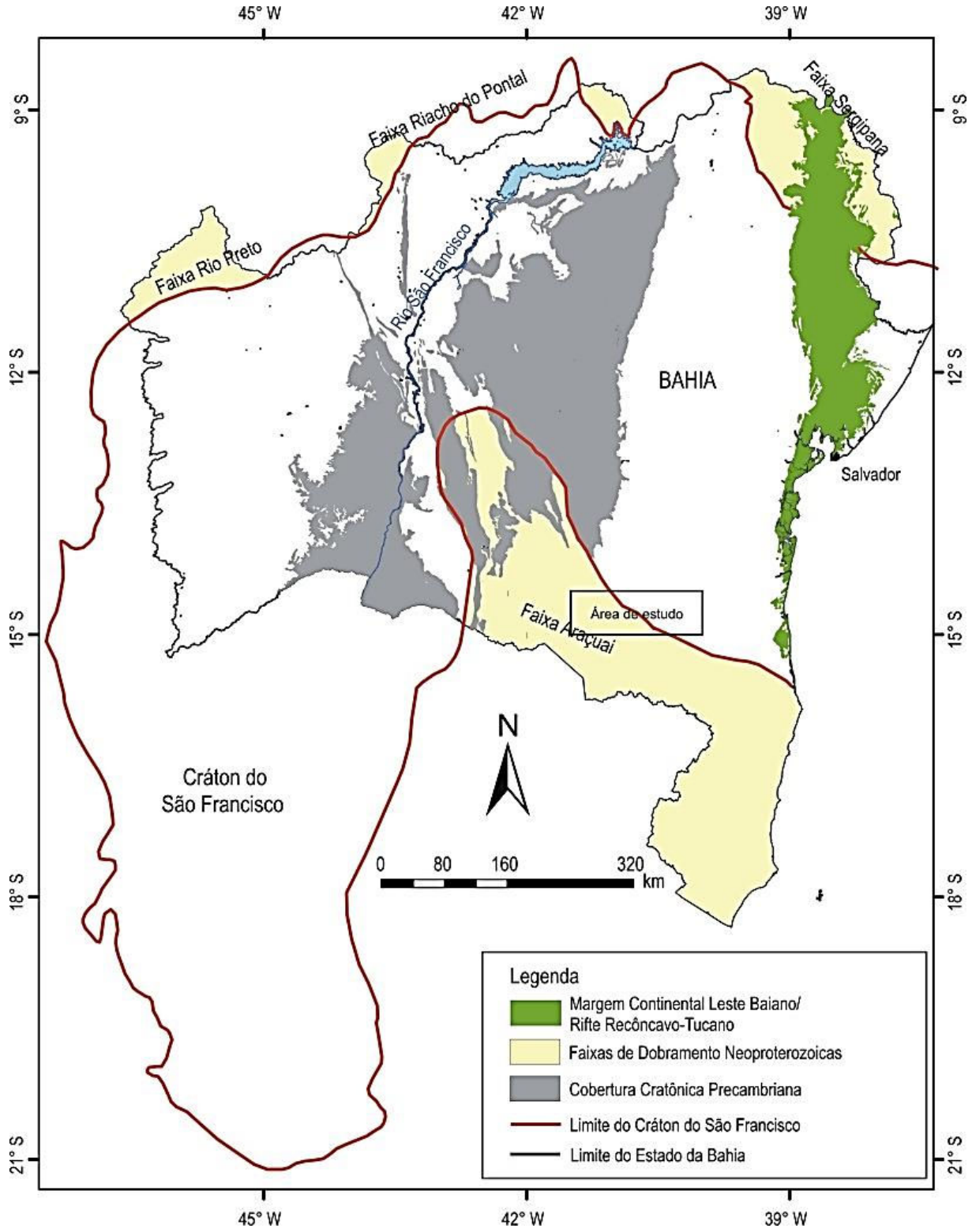


Figura 1.4: Limites do Cráton do São Francisco, segundo Cruz (2004), indicando a área de estudo.

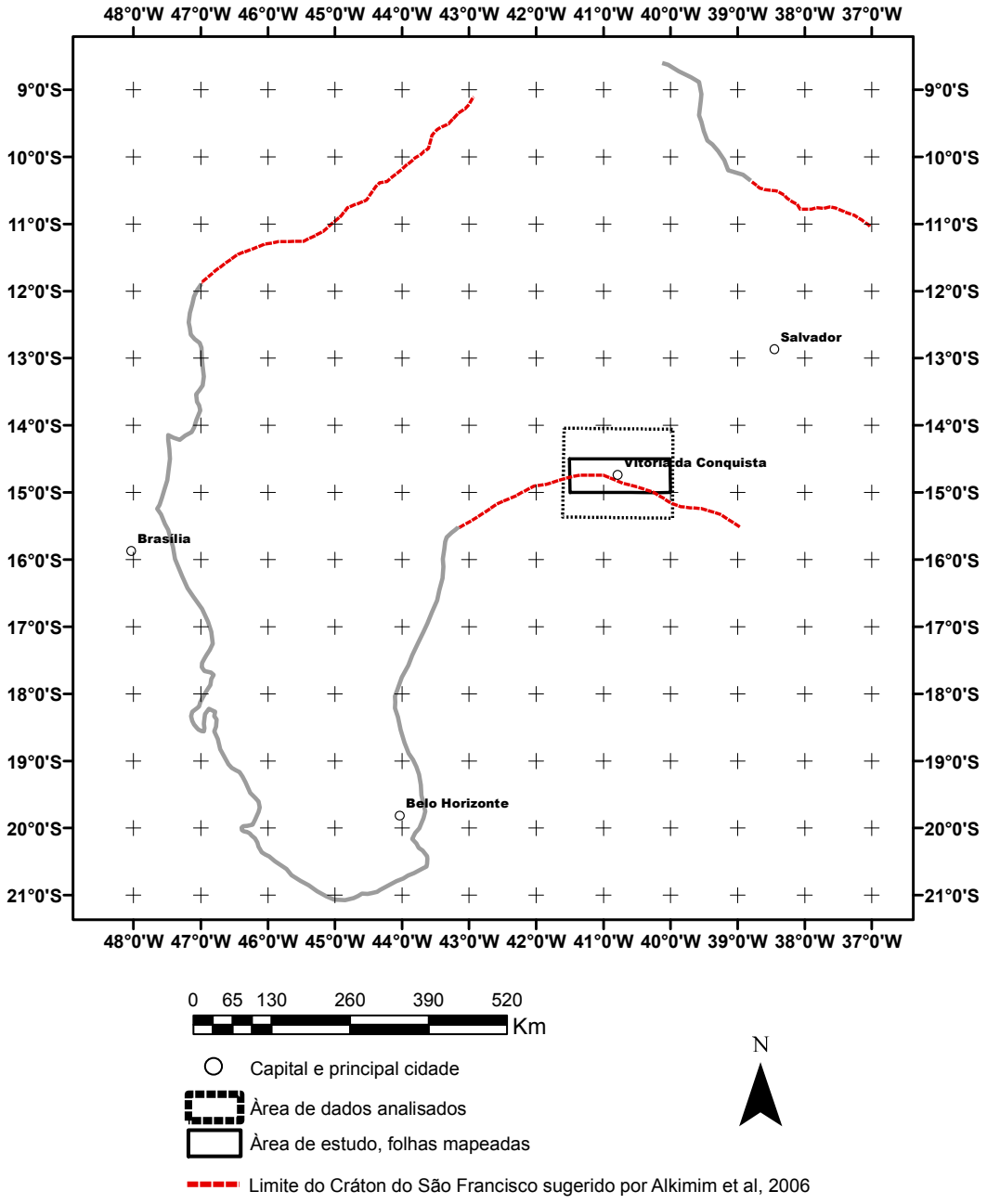


Figura 1.5: Limites do Cráton do São Francisco sugeridos por Alkmim et al. (2006), adotado como referência para nossa proposta de revisão de suas fronteiras.

1.2 Objetivos

Os objetivos principais do presente trabalho de pesquisa são:

- Atualizar mapas geológicos do estado da Bahia, com base em dados aerogeofísicos;
- Confeccionar um mapa do arcabouço estrutural com base na integração de dados geofísicos e geológicos;
- Contribuir com o conhecimento da tectônica regional, indicando as principais estruturas paleoproterozóicas e neoproterozoicas presentes na área de estudo, com base nos itens anteriores.

Como objetivos específicos estão previstos:

- Integrar, micronivelar e reprocessar os levantamentos aerogeofísicos que cobrem a área de trabalho.
- Aplicar métodos qualitativos de realce de anomalias como base para a geração de modelos geológico-geofísico-estruturais;
- Determinar a geometria das estruturas regionais e o arranjo de blocos crustais em subsuperfície, assim como seu possível prolongamento sob as coberturas cenozoicas referidas.

1.3 Localização

A área de estudo compreende uma extensão aproximada de 9.000 km^2, localizada na porção centro-sul do estado da Bahia, demarcada pelos meridianos 41°30’ e 40°00’W Gr. e pelos paralelos 14°30’ e 15°00’ S. Equivale a três folhas de 30’ x 30’, escala 1:100.000 (Anagé/SD.24-Y-A-V, Vitória da Conquista/SD.24-Y-A-VI e Poções/SD.24-Y-B-IV), Figura 1.6, que englobam parcial ou integralmente terras dos municípios de Anagé, Tremedal, Caraíbas, Vitória da Conquista, Barra do Choça, Planalto, Caatiba, Poções, Nova Canaã, Iguaí e Ibicuí.

Aspectos Fisiográficos

O clima predominante nessa região do estado varia de semiárido, tropical de altitude (Cwa) a tropical (Aw), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (SEI, 1998, Maia e Lage (2005)). O semiárido é preponderante na porção oeste da área,

definido por uma estação de poucas precipitações, sem excedente hídrico e com índices negativos (-20 a -40 %), com período chuvoso concentrando-se de outubro a janeiro, sendo que, em média, as chuvas anuais alcançam 100 mm de excedente hídrico. O tropical de altitude (Cwa) é atuante na parte central da área em foco, caracterizado por invernos secos ou pouco chuvosos e verões quentes e úmidos com chuvas de verão, apresentando temperaturas médias anuais para menos de 23°C. Já o tropical (Aw), que age na porção leste da área, distingue-se por possuir estação seca com precipitação média mensal inferior a 60 mm em pelo menos um mês por ano.

A vegetação característica da região é a caatinga. Essa cobertura vegetal gradativamente vem sendo destruída pelo homem, em virtude da crescente implantação das pastagens, pois a pecuária é a principal atividade econômica. Subordinadamente à vegetação de campos, os gerais nos altiplanos e a mata ciliar compõem a paisagem da região. Ainda, no planalto de Vitória da Conquista, podem ser encontrados trechos expressivos de remanescentes de Floresta Estacional Decidual, com predomínio de áreas cultivadas, destacando-se a cultura do café e as pastagens, que recobrem grandes extensões desse planalto.

Os solos da região são classificados como latossolos, assinalados pelo alto grau de intemperismo, normalmente profundos, bem drenados, com horizonte superficial pouco espesso, apresentando baixos teores de matéria orgânica, além de serem bastante uniformes no conjunto de suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.

A zona estudada pertence à bacia hidrográfica do rio do Contas, que corre de oeste para leste, para desaguar no Oceano Atlântico. A rede de drenagem caracteriza-se pelos afluentes desse rio, em sua maioria perenes, sendo os principais os rios Gavião e Gongogi.

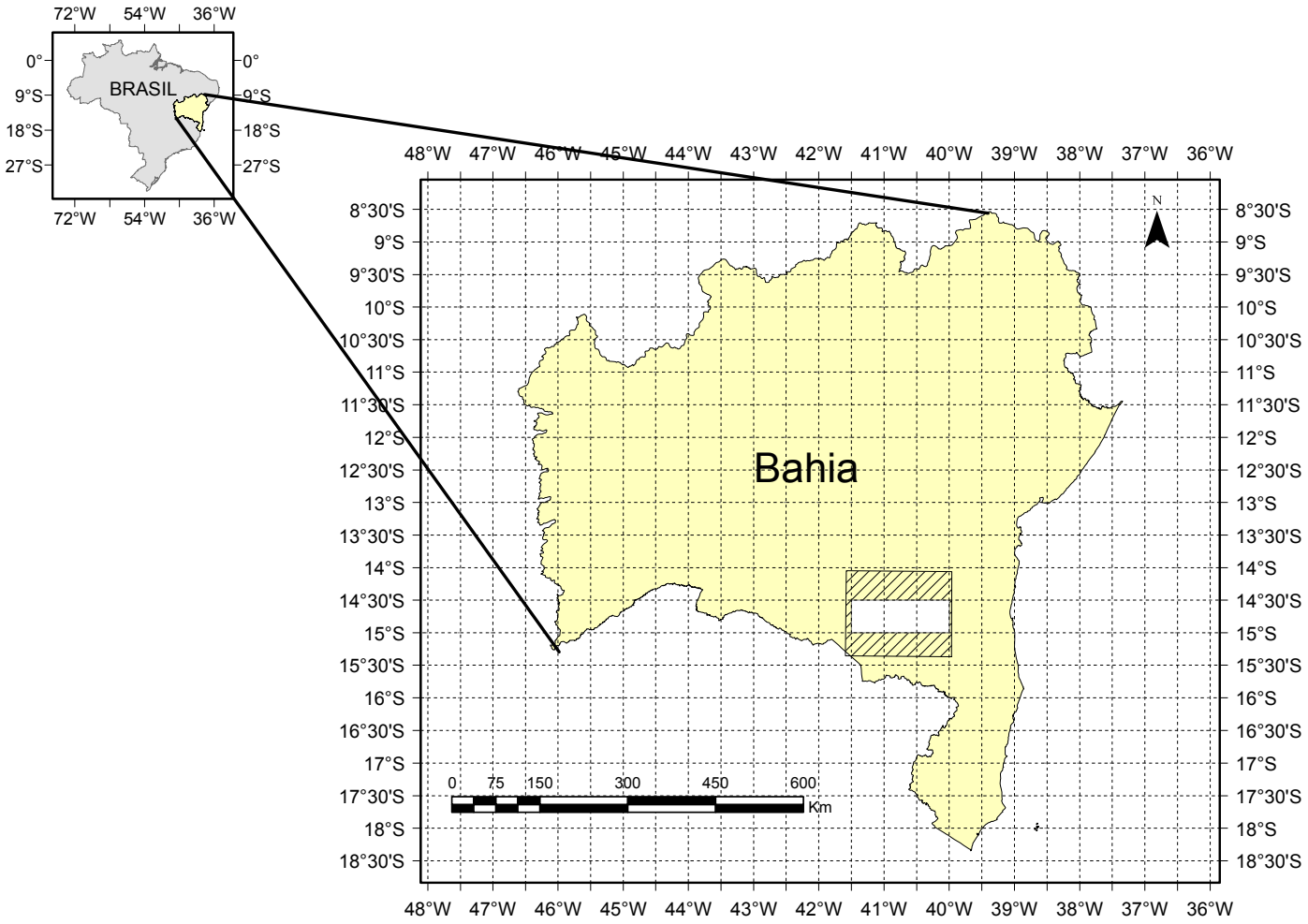


Figura 1.6: Mapa de localização da área de estudo

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gamaespectrometria Aérea

Devido à grande necessidade de uso dos combustíveis nucleares, a pesquisa por minerais radioativos tem se intensificado nas últimas décadas. O levantamento radiométrico é empregado não somente na pesquisa de elementos radioativos, como também na busca de depósitos minerais associados a zircônio e titânio, por exemplo. Atualmente os levantamentos radiométricos são de extrema utilidade no mapeamento geológico, tendo em vista que é possível relacionar litologias com os teore de tório, urânio e potássio.

Na gamaespectrometria, o instrumento utilizado é o espectrômetro de raios gama, que permite discriminar as radiações provenientes das séries do ^{232}Th, do ^{238}U e do ^{40}K.

Os princípios que regem a aplicação do método radiométrico e sua aplicação ao mapeamento geológico, são muito bem estabelecidos na literatura (RIBEIRO ET AL., 2014) e discuti-los aqui foge do escopo desse trabalho. Portanto, nos ateremos a fazer uso dessa teoria com propósitos específicos voltados ao mapeamento geológico e a pesquisa mineral.

2.2 Magnetometria Aérea

A magnetometria é um método geofísico amplamente aplicado em prospecção mineral e detecção de estruturas. Consiste em fazer uso das iterações entre do campo magnético da Terra e as propriedades magnéticas das rochas. A maior parte dos minerais formadores de rochas não são magnéticos, porém determinadas litologias contém quantidades de minerais magnéticos suficientes para gerar anomalias significativas. Assim como na radiometria, toda a base teórica para aplicação dos métodos magnéticos é muito bem estabelecida, (KEAREY, 2009).

2.2.1 Principais Técnicas de Realce de Anomalias Gravimétricas e Magnéticas

Neste item são apresentadas as principais técnicas de processamento qualitativo adotadas no presente estudo, visando o realce das anomalias magnéticas segundo Evjen (1936), Spector e Grant (1970), Cordell e Grauch (1985),

Gunn (1997), Blum (1999) e Ferreira et al (2013). e. As equações correspondentes a cada método utilizado estão representadas na Figura 2.1.

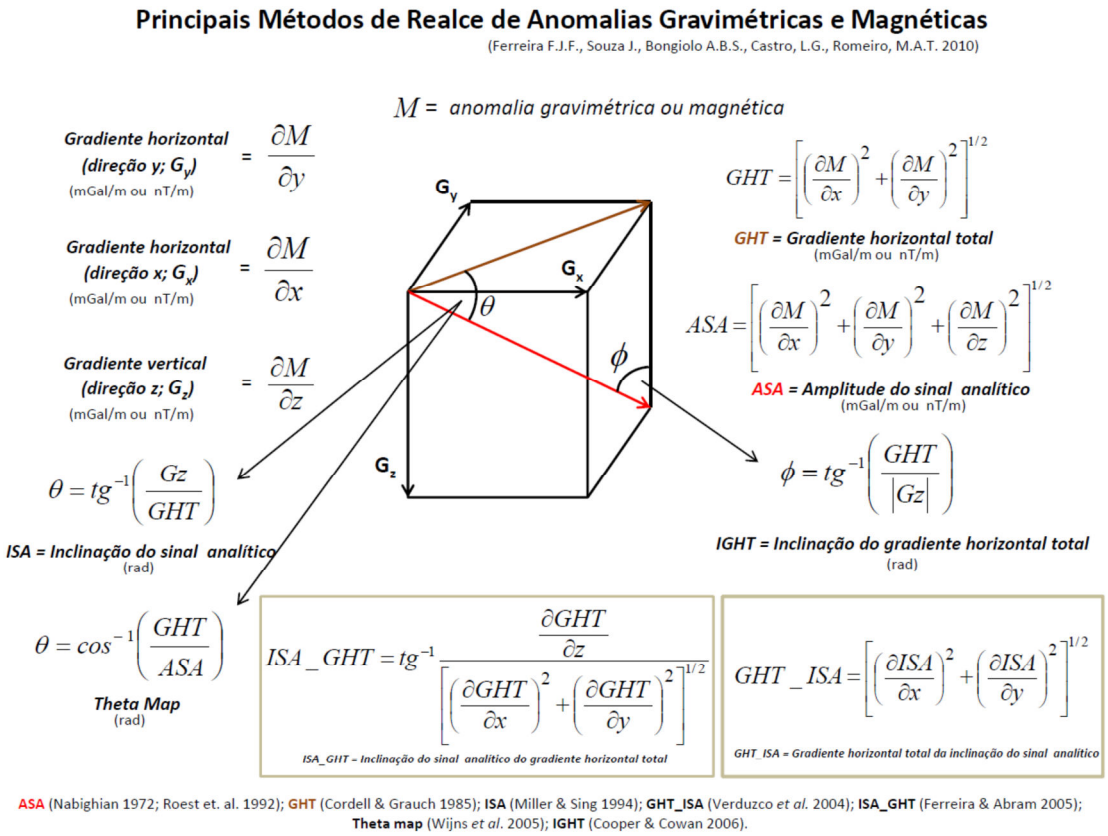


Figura 2.1: Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas segundo Ferreira et al. (2010).

Redução ao polo

Como premissa à aplicação das técnicas de realce das anomalias adotamos a redução ao polo (RTP), técnica que recalcula para o polo (I=±90^{o}), os dados do campo magnético anômalo da área de estudo, considerando somente a magnetização induzida (Figura 2.2). Cabe ressaltar que a magnetização remanente influencia o processo de RTP. A RTP transforma anomalias magnéticas dipolares

em anomalias monopolares centralizadas sobre seus corpos causativos, as quais podem simplificar a interpretação dos dados.

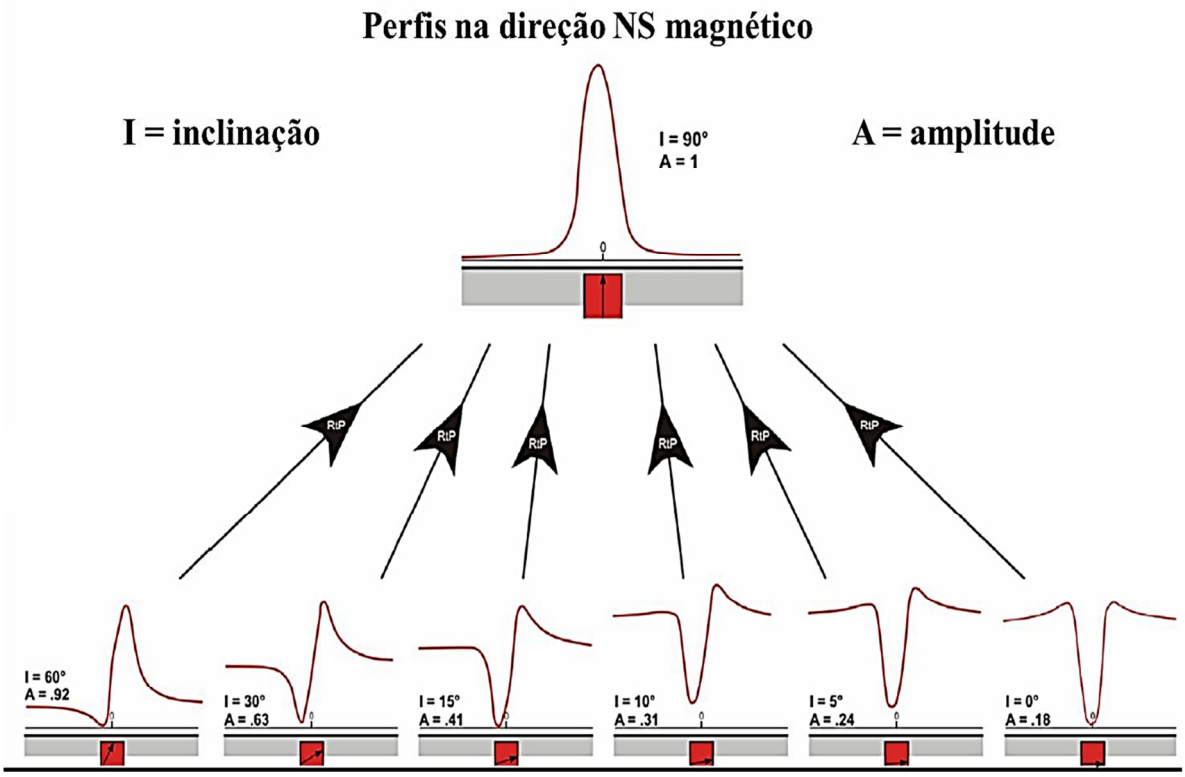


Figura 2.2: Ilustração do processo de redução ao polo (RTP). Fonte: Isles e Rankin (2013).

a) Continuações ascendentes

O procedimento de continuação ascendente simula a aquisição dos dados do campo magnético e gravimétrico a altitudes maiores do que a original (afastamento das fontes), removendo ou minimizando os sinais de fontes rasas e ruídos.

A continuação ascendente é considerada um filtro de “limpeza”, por não produzir quase nenhum efeito de borda. Efetivamente, corresponde a uma suavização e é bastante empregado para comparar dados magnéticos e gravimétricos tomados a diferentes altitudes.

b) Gradiente vertical (Gz) – Evjen (1936).

A primeira derivada vertical, ou gradiente vertical, é fisicamente equivalente à medição simultânea do campo magnético ou gravimétrico em dois pontos dispostos verticalmente e separados por uma distância qualquer. O resultado é obtido pela diferença das medidas nos mencionados pontos, dividido pela separação entre eles. Portanto, tal filtro realça as altas frequências, em detrimento das baixas, eliminado os efeitos regionais, de longos comprimentos de onda, derivados de fontes profundas. Unidades: nT/m ou mGal/m.

c) Gradientes horizontais (Gx; Gy) – Cordell e Grauch (1985).

Estes filtros possuem funções semelhantes ao anterior, sendo, entretanto, aplicados nas direções horizontais x e y. Unidades: nT/m ou mGal/m.

d) Gradiente horizontal total (GHT) – Cordell e Grauch (1985).

O cálculo das derivadas horizontais do campo magnético ou gravimétrico permite uma análise da geometria da superfície da malha regular, indicando mudanças abruptas no declive destes campos potenciais, que podem ser ocasionadas por um salto no valor médio ou pela presença de um pico nos dados. São baseados nos resultados da declividade (primeira derivada) ou na taxa da mudança do gradiente (segunda derivada).

O gradiente horizontal total de ordem zero é o vetor resultante das combinações das primeiras derivadas horizontais nas direções *x* e *y* dado pela equação a seguir:

$$\mathrm{GHT}(x,y) = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = nT/m\,; mGal/m$$

onde:$\partial M/\partial x$ e $\partial M/\partial y$ correspondem às derivadas horizontais da anomalia *M* do campo magnético ou gravimétrico.

Este processo envolve uma transformação de fase e um realce das altas frequências. A transformação de fase ressalta os picos das anomalias, localizados aproximadamente sobre as bordas de corpos espessos, e o realce da alta

frequência proporciona um estreitamento destes picos para aumentar a definição das bordas dos corpos (MILLIGAN; GUNN, 1997).

O gradiente horizontal total, em geral, é utilizado para realçar os limites dos corpos e estruturas causadoras das principais anomalias, além de funcionar como um método de separação regional-residual. O detalhamento das estruturas é maior quando se aplicam derivadas de ordens superiores, porém são realçados também os ruídos.

e) Amplitude do sinal analítico (ASA) - Nabighian (1972), Roest et al. (1992).

A amplitude do sinal analítico (ASA) é uma função relacionada às derivadas nas direções x, y e z do campo magnético. Embora não seja um parâmetro medido, a ASA é extensivamente aplicada na interpretação magnética, pois foi até recentemente considerada como completamente independente da direção de magnetização e da direção do campo da Terra (*e.g.* GUNN ; MILLIGAN, 1997). Entretanto, Li (2006) mostrou que a ASA não é completamente independente da magnetização.

Segundo Gunn (1997), os picos da ASA são simétricos e ocorrem diretamente sobre as bordas de corpos largos e diretamente sobre o centro de corpos estreitos. Ainda, as meias-larguras destes picos podem ser relacionadas com a profundidade de contatos magnéticos.

Para estruturas 2D, o método assume que a fonte apresenta magnetização uniforme e pode ser representada por seções transversais de polígonos, onde estas estruturas podem também significar a superposição de um número finito de contatos magnéticos.

A função amplitude do sinal analítico, ou seu valor absoluto pode ser expressa por um vetor adição de duas componentes reais nas direções x e y e uma componente imaginária na direção z, conforme a equação:

$$ASA(x,y) = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = nT/m\,; \frac{mGal}{m}$$

onde *M* é a anomalia do campo potencial, $\partial M/\partial z$ é a primeira derivada vertical, $\partial M/\partial x$ e $\partial M/\partial y$ são as primeiras derivadas horizontais nas direções *x* e *y*, respectivamente.

A amplitude do sinal analítico é uma função simétrica em formato de sino (*bell shaped*), com seu máximo situado exatamente sobre o topo de cada contato e sua largura relacionada diretamente com a profundidade do corpo. Como isto é verdade para qualquer ordem de derivadas do sinal (NABIGHIAN, 1974), estas propriedades podem ser utilizadas para localizar os contatos magnéticos e suas profundidades. Tais características invariáveis são vantajosas na interpretação magnética, especialmente quando a contribuição da magnetização induzida ou remanescente não pode ser distinguida (ROEST ET AL*.,* 1992; HSU ET AL*.,* 1996).

Com o processamento da amplitude do sinal analítico, ao invés da amplitude do sinal original, obtém-se uma separação mais eficiente das anomalias causadas por estruturas que estejam muito próximas entre si (DEBEGLIA E CORPEL 1997). As amplitudes de enésima ordem de derivação podem ser expressas igualmente em termos da derivada vertical ou das horizontais.

Agarwal e Shaw (1996) e Salem et al*.* (2002) já haviam demonstrado que a forma da amplitude do sinal analítico sobre fontes dipolares são dependentes da direção de magnetização. Haney et al*.* (2003), do mesmo modo, mostraram para casos 3D em geral, que a amplitude do sinal analítico não é a mesma em todas as direções, como sugerido por Roest et al*.* (1992). Como resultado, a amplitude do sinal analítico 3D não é independente da inclinação e da declinação da magnetização dos corpos nem da intensidade do campo magnético da Terra, como já referido.

f) Inclinação do sinal analítico (ISA) – Miller e Singh (1994).

A inclinação (fase) do sinal analítico de ordem zero é definida pelo ângulo formado entre os vetores imaginário e real do sinal analítico de mesma ordem, representando o quociente da primeira derivada vertical pelo gradiente horizontal total e pode ser expressa por:

$$ISA = tg^{-1}\left[\frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}}\right] \quad Unidade = radiano(rad)$$

Este filtro pode ser utilizado para detectar fontes de anomalias de campos potenciais e para prover informações sobre suas extensões horizontais. A inclinação

pode ser facilmente determinada a partir das duas derivadas horizontais e da derivada vertical. Ele tem a propriedade de ser positivo acima da fonte, cruzar o zero próximo das bordas e ser negativo fora da fonte. A inclinação do sinal analítico encerra um atributo adicional, único dentre os métodos detectores de bordas já mencionados, de responder igualmente bem para fontes rasas e profundas. Por esta razão é capaz de detectar a presença de fontes sutis profundas, as quais são frequentemente mascaradas pela profusão das respostas das fontes mais rasas, sobretudo em áreas fortemente magnetizadas.

Thurston e Smith (1997) demonstraram, a partir da teoria proposta por Nabighian (1972), que a fase do sinal analítico permite realizar estimativas sobre o mergulho e o contraste de susceptibilidade magnética das fontes causadoras de anomalias.

A aplicação da fase do sinal analítico é bastante útil, uma vez que sua amplitude pode sofrer alterações no interior de uma mesma estrutura, porém sua fase permanece constante. A comparação entre a amplitude e a fase do sinal analítico torna mais segura a interpretação de continuidade das estruturas. A interpretação isolada da fase do sinal analítico encerra muita ambiguidade, uma vez que o processamento não distingue os sinais derivados das estruturas geológicas dos ruídos, resultando em uma série de artefatos espúrios dispersos no contexto das anomalias reais.

g) Gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT_ISA) – Verduzco et al. (2004).

A aplicação do gradiente horizontal total aos dados da inclinação (fase) do sinal analítico realça feições não claramente identificadas pelos métodos anteriores. Uma das vantagens do método, segundo os autores, é sua independência da direção de magnetização e das amplitudes das anomalias, e que os resultados denotam uma melhor resolução da função no centro e sobre os limites dos corpos.

De acordo com Verduzco *et al.* (2004), a combinação da inclinação do sinal analítico e suas derivadas horizontais é altamente recomendada para mapear estruturas rasas do embasamento e alvos de exploração mineral. Sua expressão é indicada a seguir :

$$GHT_ISA = \left[\left(\frac{\partial ISA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial ISA}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = radiano\ (rad)/m$$

h) Theta map – Winjs et al. (2005).

Este método é uma ferramenta simples e efetiva para delinear contatos magnéticos e gravimétricos, posicionando as anomalias diretamente sobre suas fontes. É uma técnica resultante do quociente entre o gradiente horizontal total e a amplitude do sinal analítico, a qual intensifica os contatos magnéticos e gravimétricos de corpos 2D. Tal método é igualmente válido para dados que tenham sido reduzidos ao polo ou ao equador, mais foi desenvolvido para baixas latitudes magnéticas, nas quais o filtro de redução ao polo envolve instabilidade.

O *Theta map* é decorrente da normalização do gradiente horizontal total pela amplitude do sinal analítico, a qual introduz um controle efetivo de ganho, que apesar de perder informação das amplitudes originais das anomalias, realça as baixas amplitudes e facilita a interpretação.

$$\theta = cos^{-1}\left(\frac{GHT}{ASA}\right)\ Unidade = radianos\ (rad)$$

i) Inclinação do gradiente horizontal total (IGHT) - Cooper e Cowan (2006)

A IGHT pode ser considerada uma versão normalizada do GHT pelo valor absoluto do gradiente vertical (Gz). Ela também denota igual desempenho para fontes rasas e profundas, como o *Theta map*, os quais são complementares. Este filtro é utilizado para delimitar as bordas dos corpos magnéticos. O IGHT é definido pela equação abaixo:

$$\phi = tg^{-1}\left|\frac{GHT}{|Gz|}\right|\ Unidade = radianos\ (rad)$$

j) Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA_GHT) - Ferreira et al. (2010, 2013)

A aplicação da inclinação (fase) do sinal analítico aos dados derivados do gradiente horizontal total é recomendada para mapear estruturas e alvos de exploração mineral, realçando feições não claramente identificadas pelos métodos

anteriores. Uma das vantagens do método, segundo Ferreira et al. (2010, 2013), é que ISA_GHT denota melhor resolução dos limites dos corpos, uma vez que a ISA equaliza as amplitudes do GHT. Portanto, tal método realça simultaneamente bem as respostas de corpos posicionados em profundidades distintas.

$$ISA_GHT = tg^{-1}\left[\frac{\frac{\partial GHT}{\partial z}}{\left[\left(\frac{\partial GHT}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial GHT}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}}\right] \quad Unidade = radianos(rad)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de elevação do terreno (Figura 3.1), aeromagnetométricos (Figura 3.2) e aerogamaespectrométricos (Figura 3.3), além de mapas geológicos disponíveis em escala regional, foram integrados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), com auxílio do *sotware* ArcGis™. Estes constituem a base de dados dessa pesquisa.

3.1 Mapas base

Os mapas base utilizados no presente estudo foram:

a) mapa geológico da CPRM (2003) em escala 1:1.000.000 (Anexo 1) e

b) dados de elevação do terreno do satélite SRTM/NASA (Figura 3.1).

3.2 Cobertura geofísica regional

Tendo em vista uma abordagem multiescala, foi constituída uma base de dados geofísicos com cobertura regional, composta pela compilação de aerolevantamentos gamaespectrométricos e magnetométricos (Figura 3.2 e 3.3, respectivamente) para uma região que transpõe os limites da área de estudo.

Os dados aeromagnétométricos foram reduzidos do IGRF, nivelados a uma altura de voo de 100m e interpolados pelo método da curvatura mínima (BRIGGS 1974), a partir de células quadradas de 125m (1/4 do espaçamento entre linhas de voo).

A cobertura aeromagnética e aerogamaespectrométrica da área do estudo foi composta por dados de quatro levantamentos oriundos da Base de Dados de

Projetos Aerogeofísicos do Brasil da CPRM. Estes dados são agrupados e numerados segundo códigos de séries diferentes, de acordo com o contratante. Os levantamentos que cobrem a área de estudo e adjacências e suas especificações são apresentados na Tabela 3.1. Os mapas índices dos levantamentos são indicados nas Figuras 3.2 e 3.3.

3.3 Pré-processamento

Na etapa de pré-processamento os dados foram importados para o *software* Oasis Montaj versão 8.2, onde foram submetidos a rotinas de micronivelamento visando extração de sinais de alta frequência relativos aos ruídos decorrentes das direções de aquisição dos voos. O módulo *Magmap* foi aplicado nesta etapa.

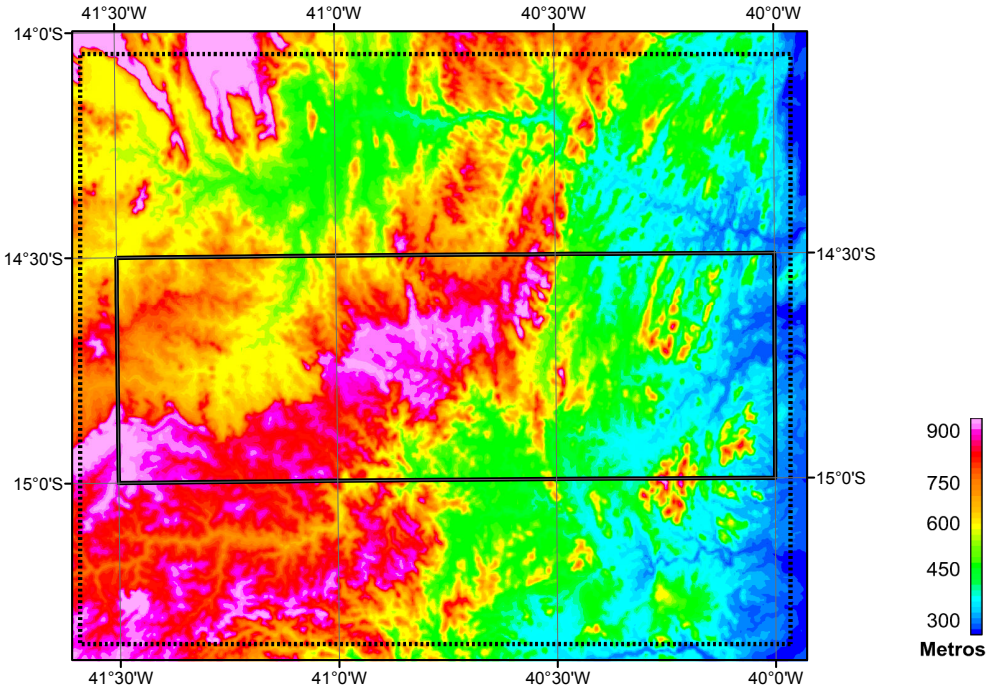


Figura 3.1: Modelo digital de terreno SRTM/NASA. O retângulo preto indica a área de estudo. Fonte: Servidor DAP, Geosoft Oassis montaj v. 8.2

Os produtos resultantes foram avaliados quanto à presença de artefatos e anomalias espúrias ao longo das linhas de voo, tendo em vista a construção de uma base magnética única. Dos dados micronivelados foi extraído o IGRF relativo a data de aquisição de cada levantamento, resultando nos mapas magnéticos anômalos, os quais foram então integrados num único conjunto de dados.

Os dados de campo magnético anômalo, resultantes do pré-processamento foram integrados por meio da aplicação da rotina de sutura do módulo *Grid knitting* do *software* Oasis Montaj versão *8.2* (GEOSOFT), na qual os conjuntos de dados são unidos por uma linha definida com base na sua sobreposição. As incompatibilidades detectadas entre os dados ao longo desta linha são ajustadas pelos valores médios dos pares correspondentes, proporcionando um ajuste suave entre as malhas.

CPRM	CONTRATANTE	PROJETO	ANO	ESPAÇAMENTO DAS LINHAS (m)	ALTURA DE VOO (m)	LINHAS (TOTAL km)	ÁREA DO PROJETO Km²
1	CBPM	Levantamento Aerogeofisico da Área Ruy Barbosa/Vitória da Conquista	2007	500	100	92.103,00	41.911,00
2	CBPM	Projeto Aerogeofísico da Área Barra da Estiva - Tremedal	2008	500	100	35.385,73	16.111,56
3	CBPM	Levantamento Aerogeofísico da Área Cândido Sales – Mascote	2009	500	100	53.831,00	24.430,00
4	CBPM	Levantamento Aerogeofísico da Área Ipirá-Ilhéus	2011	500	100	86.629,00	40.077,08
		Total				267.948,73	122.529,64

Tabela 3.1: Especificações dos levantamentos aerogeofísicos na área de estudo.

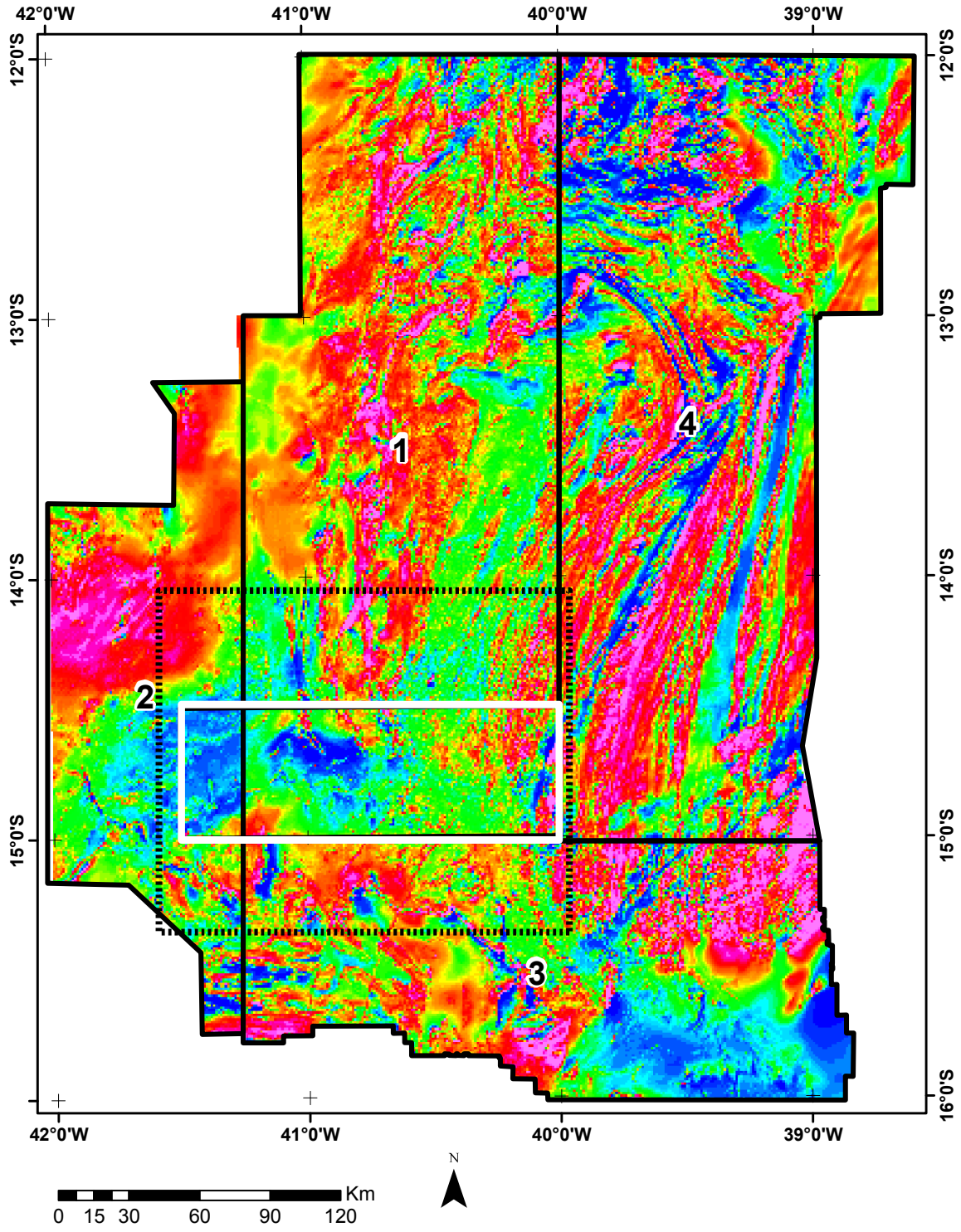


Figura 3.2: Mapa índice dos levantamentos aeromagéticos (Tabela 1) indicando a área processada (linha tracejada) e a área de estudo(polígono branco).

Nesta rotina é utilizada uma abordagem multifrequência, a qual distribui as correções nos conjuntos de dados envolvidos em função do comprimento de onda

das incompatibilidades encontradas ao longo da linha de sutura.. O mapa resultante da integração dos dados aeromagnéticos pode ser observado na Figura 3.2. O mesmo método foi utilizado para compor o mapa ternário gamaespectrométrico da Figura 3.3.

3.4 Arcabouço geofísico

No presente trabalho propõe-se uma abordagem mais detalhada sobre o limite paleoproterozóico que separa os blocos Jequié e Gavião, assim como o limite neoproterozóico do Cráton do São Francisco com a Faixa Araçuaí.

A Figura 3.4 mostra o mapa magnétco da área de estudo.

O mapa gravimétrico do estado da Bahia (Figura 3.5),foi executado pela Superintendência Regional de Salvador, da CPRM, nos termos do convênio DNPM/CPRM, a partir dos dados de 2.084 estações de campo, atingindo uma densidade de 212,4 estações/km², a leste do rio São Francisco e estações/418,0 km² a oeste.

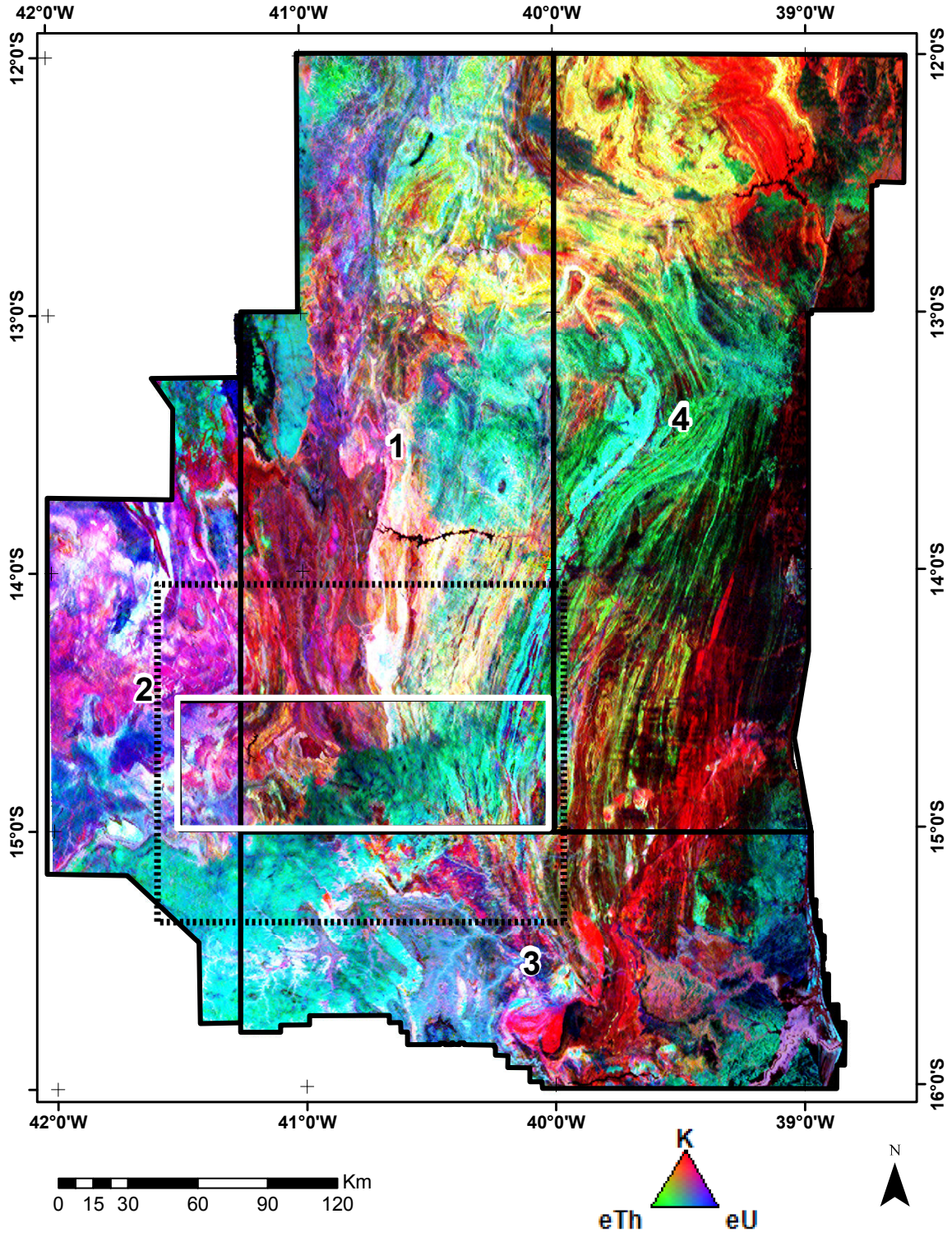


Figura 3.3: Mapa índice da composição gamaespectrométrica ternária dos levantamentos aerogeofísicos (Tabela 1) indicando a área processada (linha tracejada) e a área de estudo (polígono branco).

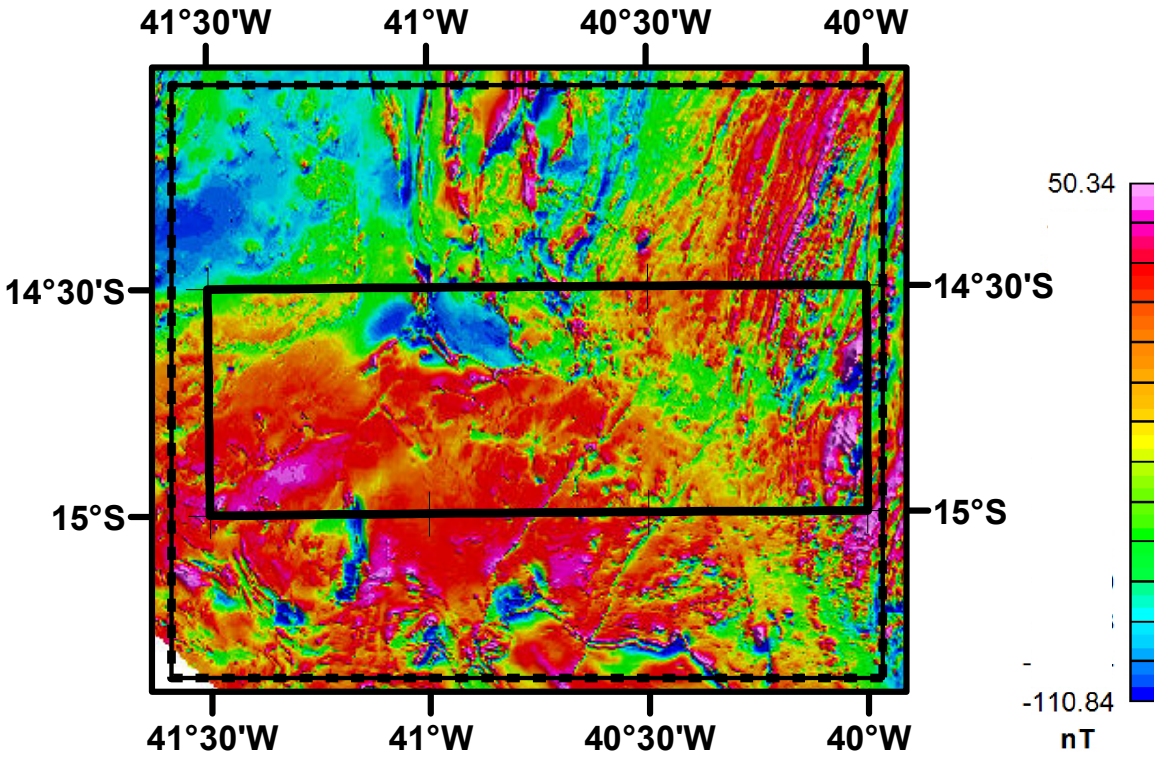


Figura 3.4: Mapa do campo magnético anômalo (CMA), com indicação da área de estudo.

O mapa Bouguer ao milionésimo mostrou, quando analisado regionalmente, os domínios descritos na Figura 3.6. Da análise regional dos dados Bouguer achamos conveniente reafirmar algumas convicções apresentadas pelos autores à época. Os dados gravimétricos permitiram o reconhecimento de megaestruturas, como a zona de sutura entre os blocos Jéquié e Gavião, a delimitação de bacias neoproterozoicas e cretáceas, os espessamentos e afinamentos crustais, as suítes graníticas e as ocorrências de rochas básicas (GOMES E MOTTA, 1980).

O mapa Bouguer constituiu um de nossos pilares, pois, através de sua interação com os dados magnéticos de alta resolução foi possível refinar o conhecimento sobre determinadas estruturas identificadas na área de estudo, a exemplo do lineamento Contendas-Jacobina, discutido pelos autores do mapa Bouguer (Figura 3.5) e presente nos dados magnéticos aqui interpretados.

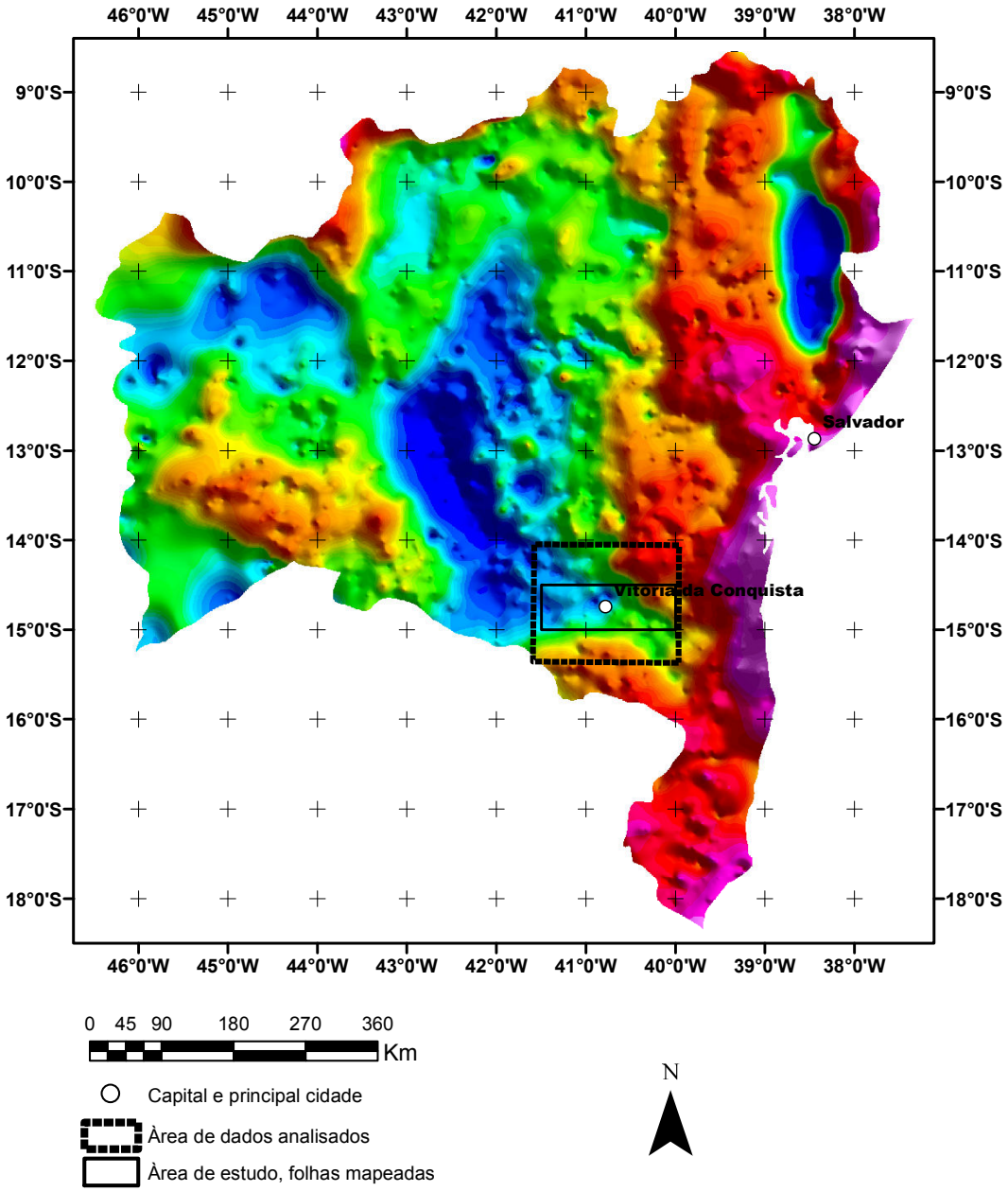


Figura 3.5: Mapa das anomalias gravimétricas Bouguer do estado da Bahia, indicando a área processada (polígono tracejado) e a área de estudo (polígono preto). Fonte: Corrêa Gomes et al. (1996).

Figura 3.6: Mapa dos domínios litoestruturais do estado da Bahia. Adaptado de Souza et al. (2003).

4 ARTIGO

ATUALIZAÇÃO DE MAPAS GEOLÓGICOS DO ESTADO DA BAHIA, NORDESTE DO BRASIL, COM BASE EM GAMAESPECTROMETRIA E MAGNETOMETRIA

UPDATE GEOLOGICAL MAPS OF THE STATE OF BAHIA, NORTHEASTERN BRAZIL BASED ON GAMMA-RAY SPECTROMETRY AND MAGNETOMETRY

Authors:

Marcos Rogerio Lima Teles
Geological Survey of Brazil, CPRM, Ulysses Guimarães Avenue, 2862, Sussuarana, Administrative Center of Bahia, Postal Code 41.213-000, Salvador, Bahia, Brazil, E-mail: marcos.teles@cprm.gov.br

Francisco José Fonseca Ferreira
Federal University of Paraná, Department of Geology, Laboratory for Research in Applied Geophysics. Cel. Francisco H. dos Santos Avenue, 100, Polytechnic Center, P.O. Box 19045, Postal Code 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil. E-mail: francisco.ferreira@ufpr.br

Eron Pires Macedo
Geological Survey of Brazil, CPRM, Ulysses Guimarães Avenue, 2862, Sussuarana, Administrative Center of Bahia, Postal Code 41.213-000, Salvador, Bahia, Brazil, E-mail: eron.macedo@cprm.gov.br

Roberto Gusmão de Oliveira
Serviço Geológico do Brasil, CPRM , Avenida Sul, 2291, CEP: 50770-011 Afogados Recife, Pernambuco, Brasil
E-mail: roberto.gusmao@cprm.gov.br
Tel.: (81) 3316-1400

UPDATE GEOLOGICAL MAPS OF THE STATE OF BAHIA, NORTHEASTERN BRAZIL BASED ON GAMMA-RAY SPECTROMETRY AND MAGNETOMETRY

ABSTRACT

A contribution in terms of quality and time to update geological maps based on airborne geophysical data (gamma-ray spectrometric and magnetic) is presented in this paper. From the radiometric maps of potassium (K), thorium (eTh) and uranium (eU) were obtained the ternary compositions (CMY and RGB standard). The making of the litho-geophysical interpretation maps included a careful assessment of radiometric units, a statistical classification of the radionuclides data and the relationship with the geological units. The interpretation of the radiometric units shown in ternary images is in concordance with the lithological types derived of the geological mapping. This methodology offers a great advantage in terms of manufacturing time and quality of geological maps, compared with conventional techniques. The magnetic data were important to design a structural framework based on highlighting anomalies methods. This enabled the verification of important geological structures in the study area, some hitherto unknown.

Keywords: gamma-ray spectrometry, magnetometry, enhancement methods, geological mapping

INTRODUÇÃO

A utilização de dados aerogeofisicos (radiométricos e magnéticos) tem sido frequente nas últimas décadas, tanto no mapeamento geológico, quanto na pesquisa mineral (ALMEIDA et al., 2003; CRÓSTA et al., 2003; SOUZA FILHO; CROSTA, 2003; SILVA et al., 2003; AMADI et al., 2012; RIBERIO et al., 2014).O mapeamento geológico convencional é extremamente dependente de campanhas de campo, o que pode ser dificultado pela carência de acessos, reservas indígenas e áreas de proteção ambiental. Nesse sentido os levantamentos aerogeofisicos desempenham um papel relevante no reconhecimento geológico, uma vez que cobrem grandes

áreas em curtos intervalos de tempo, além de apresentarem um intervalo homogêneo de amostragem.

O objetivo principal da pesquisa é apresentar os resultados de trabalhos de campo e de escritório relativos a atualização de mapas geológicos do estado da Bahia, com base na integração de dados geofísicos e geológicos. O processamento e interpretação de dados aerogeofísicos foram realizados simultaneamente às atividades de mapeamento geológico do Projeto Anagé – Poções, desenvolvido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, nas folhas Poções, Vitória da Conquista e Anagé, em escala 1:100.000. As campanhas de campo ocorreram em julho de 2014 e junho de 2015, perfazendo um total de 40 dias, entre reconhecimento da área, verificação de unidades geológicas e de anomalias radiométricas e/ou magnéticas.

Os resultados obtidos enfatizam a grande importância da utilização dos dados gamaespectométricos e magnéticos no refinamento de contatos geológicos de unidades já conhecidas, bem como na indicação de outras, além de estruturas ainda não mapeadas, contribuindo, desta forma, com a melhoria da cartografia geológica da área de estudo.

A partir dos mapas de potássio (K, %), do equivalente de tório (eTh, ppm) do equivalente de urânio (eU, ppm) e das composições ternárias nos padrões *CMY* (*cyan, magenta, yellow*) e *RGB* (*red, green, blue*), foram gerados os mapas litogeofísicos, cujas unidades radiométricas foram definidas com base em critérios estatísticos relacionados à distribuição dos elementos radioativos nas unidades geológicas. Esse método se mostrou eficiente em termos de tempo de elaboração e qualidade de mapas geológicos, se comparado com técnicas convencionais.

A aplicação de técnicas de realce de anomalias magnéticas foi importante para o reconhecimento de estruturas geológicas da área de estudo, algumas delas até então desconhecidas.

Localização da área de estudo

A área de estudo, com aproximadamente 9.000 km^2 (Figura 1), situada no Estado da Bahia, região Nordeste do Brasil, é limitada pelas seguintes coordenadas geodésicas: 40º00’00” e 41º30’00” de longitude Oeste e 14º30’00” e 15º00’00” de latitude Sul. Inserida no Planalto de Vitória da Conquista as altitudes são medianas,

na sua maioria entre 400 e 800 metros, com elevações mais expressivas localizadas (Maia & Lage, 2005).

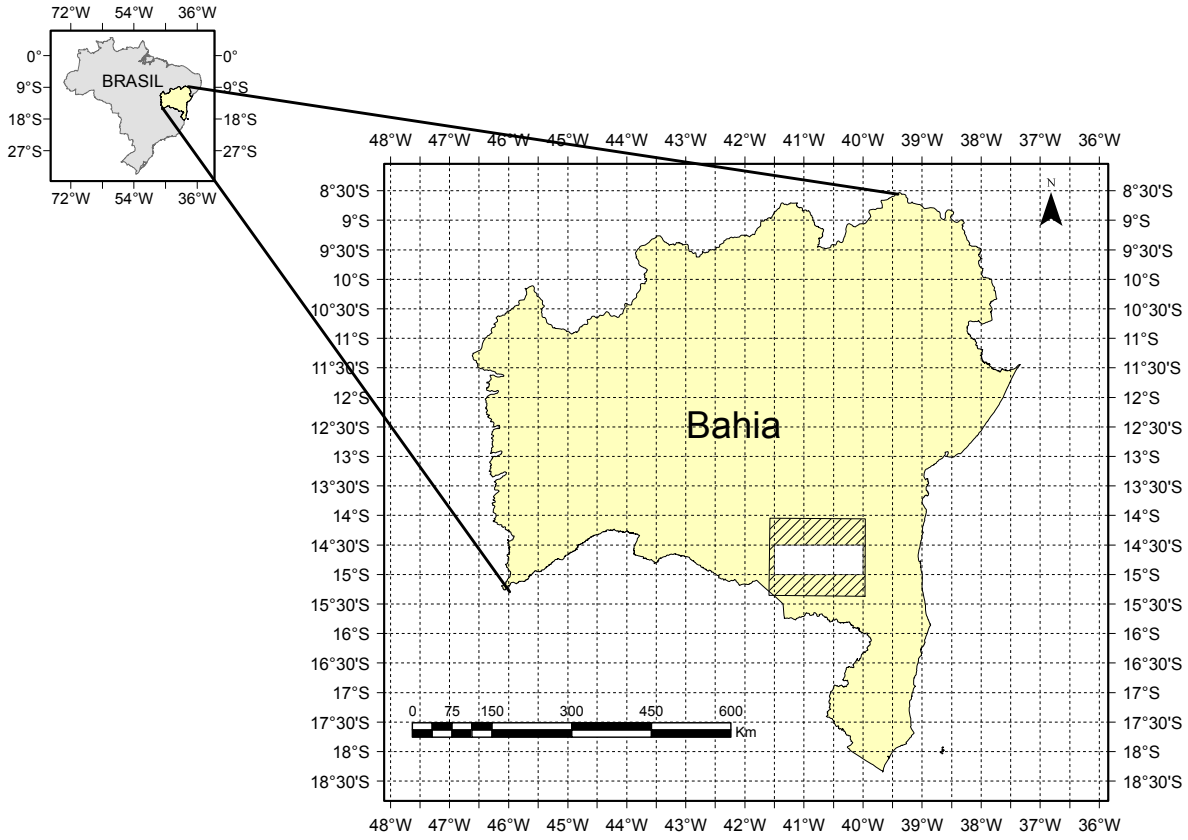


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, indicando a área processada (tracejada) e a de estudo (branca).

Contexto geológico

No contexto do embasamento do Cráton do São Francisco (Figura 2) duas grandes unidades tectônicas estão parcialmente presentes na área de estudo. Estas unidades tectono-geológicas são conhecidas na geologia da Bahia como Bloco Gavião e Bloco Jequié (Barbosa, 1986; Barbosa et al., 2001, 2003; Barbosa & Sabaté 2002, 2004). Do ponto de vista litológico, tais unidades são constituídas, principalmente, por rochas arqueanas e paleoproterozoicas com graus metamórficos distintos. Enquanto no Bloco Gavião predominam rochas metamórficas da fácies anfibolito alto, no de Jequié prevalecem rochas metamórficas da fácies granulito. Diversas unidades geotectônicas foram definidas, as quais estão deformadas e orientadas aproximadamente na direção geral N-S (Barbosa et al. 2001, 2003; Macedo, 2006). As mais importantes são as sequências vulcanossedimentares

Contendas-Mirante, Umburanas e Mundo Novo (Marinho, 1991; Mascarenhas & Silva, 1994; Cunha et al., 1996; Bastos-Leal, 1998), os núcleos antigos tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG), no Bloco Gavião, e migmatitos/granulitos heterogêneos com enclaves de rochas supracrustais, intrusões múltiplas, graníticas-granodioríticas, augen-granodioritos-granitos, todos granulitizados, no Bloco Jequié (Macedo, 2006).

a) Bloco Gavião (BG)

O Bloco Gavião (Marinho & Sabaté, 1982), indicado na Figura 2 representa um amplo segmento crustal de idade arqueana que domina a porção ocidental do embasamento do Cráton do São Francisco na Bahia, sendo largamente coberto, na sua parte setentrional, por metassedimentos de idades meso e neoproterozoica. É constituído por sequências supracrustais arqueanas, cujo grau de metamorfismo varia da fácies xisto-verde a anfibolito (*greenstone belts* Contendas-Mirante, Umburanas e Mundo Novo) (Marinho, 1991; Mascarenhas et al., 1998), por associações de rochas tonalíticas, trondhjemíticas e granodioríticas da fácies anfibolito, incluindo antigos núcleos TTGs (Martin & Sabaté, 1990), além de rochas de composição granítica/granodiorítica e migmatitos. Os *greenstone belts* que ocorrem no interior deste bloco se formaram em bacias intracratônicas (Barbosa & Sabaté, 2002, 2004) desenvolvidas na crosta antiga de natureza TTG, cujas idades giram em torno de 3,3 Ga (subvulcânicas ácidas do *greenstone* Contendas-Mirante e basaltos toleiíticos da Formação Jurema-Travessão). Com sobreposição de rochas komatiíticas basais, basaltos toleiíticos com *pillow* lavas, rochas piroclásticas e sedimentos químico-exalativos registram idades próximas a 3,2 Ga. Posteriormente, estas rochas foram soterradas por sedimentos detríticos com idades mínimas entre 3,0-2,8 Ga (Marinho, 1991). Neste contexto geológico, Barbosa & Sabaté (2001, 2002, 2003) reconheceram dois grupos de rochas metamórficas na fácies anfibolito, representativos de porção de crosta continental arqueana mais antiga da Bahia.

b) Bloco Jequié (BJ)

No contexto do Cráton do São Francisco, o Bloco Jequié (BJ) está situado a leste do Bloco Gavião e a oeste do Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Figura 2). Com idade arqueana mais antiga (Sm-Nd em torno de 3,0-2,9 Ga, Wilson, 1987; Marinho, 1991; Marinho et al., 1994; Macedo, 2006), é constituído basicamente por

migmatitos e/ou granulitos heterogêneos portadores de enclaves de rochas supracrustais (principalmente basaltos, basaltos andesíticos, bandas de rochas quartzo-feldspáticas, lentes de cherts/quartzitos, kinzigitos, grafititos, formações ferríferas bandadas e rochas máficas-ultramáficas). Em geral, o Bloco Jequié é formado por intrusões múltiplas de rochas de natureza granítica-granodiorítica (principalmente enderbitos, charno-enderbitos e charnockitos) com idades em torno de 2,8-2,7 Ga (Wilson, 1987; Alibert; Barbosa 1992; Macedo, 2006). De acordo com Barbosa e Sabaté (2001), estas rochas plutônicas granulitizadas podem conter megaenclaves dos migmatitos/granulitos heterogêneos mais antigos. Neste bloco ocorrem ainda núcleos de rochas augen-charnoenderbíticas-charnockíticas e domos charnockíticos.

c) Faixa Araçuaí (FA)

O orógeno Araçuaí é representado na área de estudo por uma associação rudito-arenito-pelito (rifte continental) com magmatismo bimodal tipo A e por associações arenito-pelito-carbonato ou turbidito-areno-pelítico (margem passiva), de sedimentação pelágica e químico-exalativa de estágio oceânico. No estágio pré-colisional ocorrem granitóides cálcio-alcalinos (arco magmático), em zona de subducção de litosfera oceânica ativa. Na fase sin-colisional sucedem granitos tipo S oriundos do clímax da tectônica tangencial ou “horizontal”, decorrentes da fusão parcial sob condições de descompressão adiabática, em tectônica tangencial cessante, com escapes laterais. No estágio tardi-colisional são registrados plutonismo dos tipos I e A2, em estágio pós-colisional de colapso gravitacional (Pedrosa-Soares et al, 2007).

Estes estudos constituem uma contribuição significativa para a caracterização estrutural e compreensão da história geológica destes terrenos. Contudo, os trabalhos publicados até então foram realizados predominantemente com informações provenientes de afloramentos, mapas geológicos e imagens de satélite, o que limita as interpretações a dados de superfície.

A utilização de informações obtidas pela análise de dados geofísicos é empregada com frequência e os resultados vêm se mostrando eficientes na caracterização de feições estruturais de subsuperfície. Modelos gerados a partir de dados de campos potenciais (*e.g.* magnetométricos e gravimétricos) são usualmente

aplicados como métodos quantitativos, nos quais é possível estimar profundidades, posição e forma de estruturas e/ou corpos anômalos em profundidade

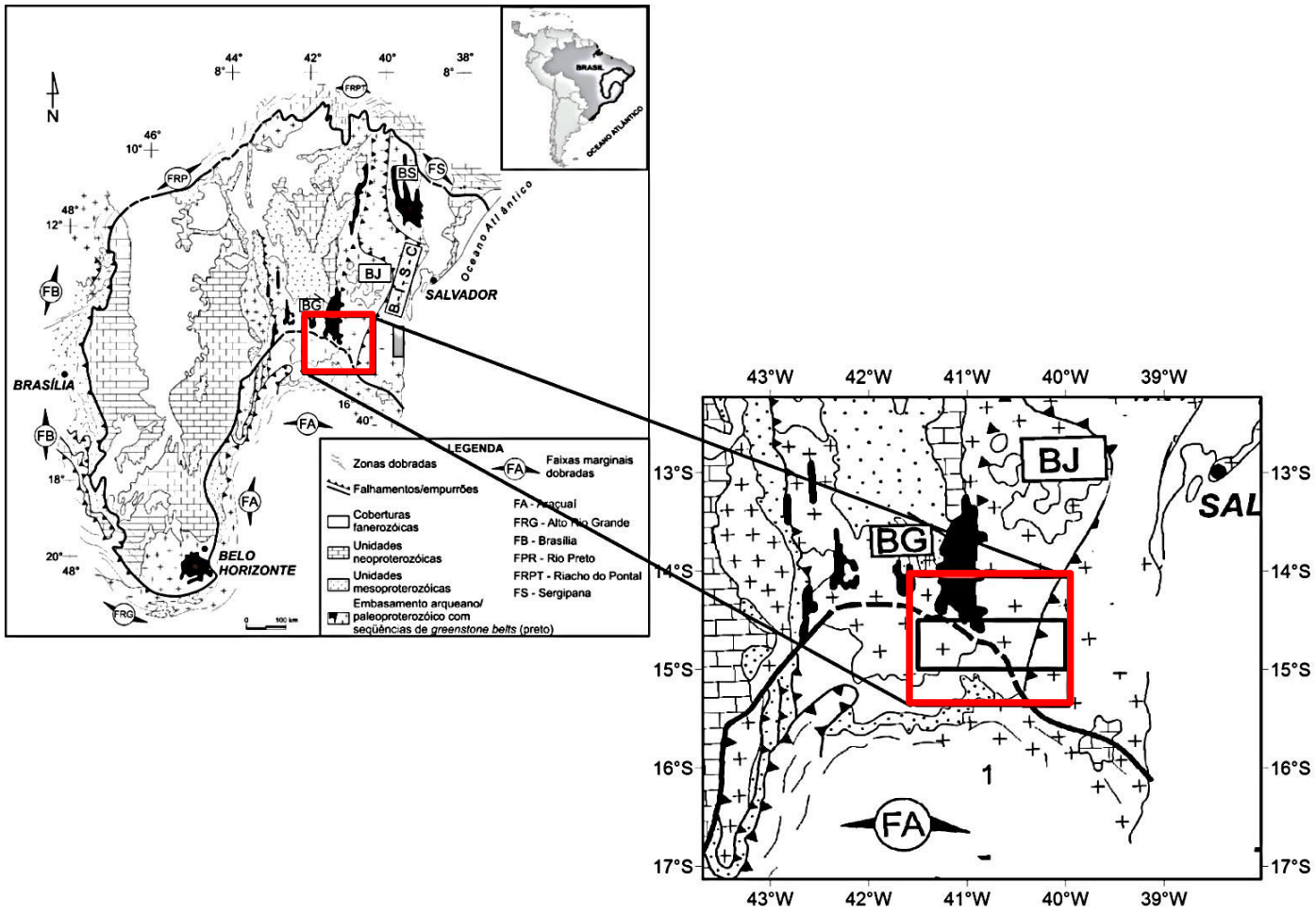


Figura 2 - Cráton do São Francisco (Alkmim et al, 2006) indicando as áreas processadas (polígono vermelho) e a de estudo (polígono preto). BG – Bloco Gavião; BJ – Bloco Jequié e FA – Faixa Araçuaí

MATERIAIS E MÉTODOS

- Materiais

Levantamentos aerogeofísicos, gamaespectrométricos e magnetométricos (Figura 3 e 4, Tabela 1), dados digitais de elevação oriundos do satélite SRTM/NASA (Shuttle Radar Topography Mission, USGS) com resolução aproximada de 30 metros (Figura 5) e mapas geológicos em escala regional (1:1.000.000) Souza, (2003), Anexo 1, constituem a base de dados dessa pesquisa, os quais foram integrados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os dados aerogeofísicos (Figura 3 e 4) integram a Base de Dados de Projetos Aerogeofísicos do Brasil da CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

- Métodos

Cobertura geofísica regional

Tendo em vista uma abordagem multiescala foi construída uma base regional de dados aerogeofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos) resultante da integração dos levantamentos (Figura 3 e 4), cujas especificações estão indicadas na Tabela 1.

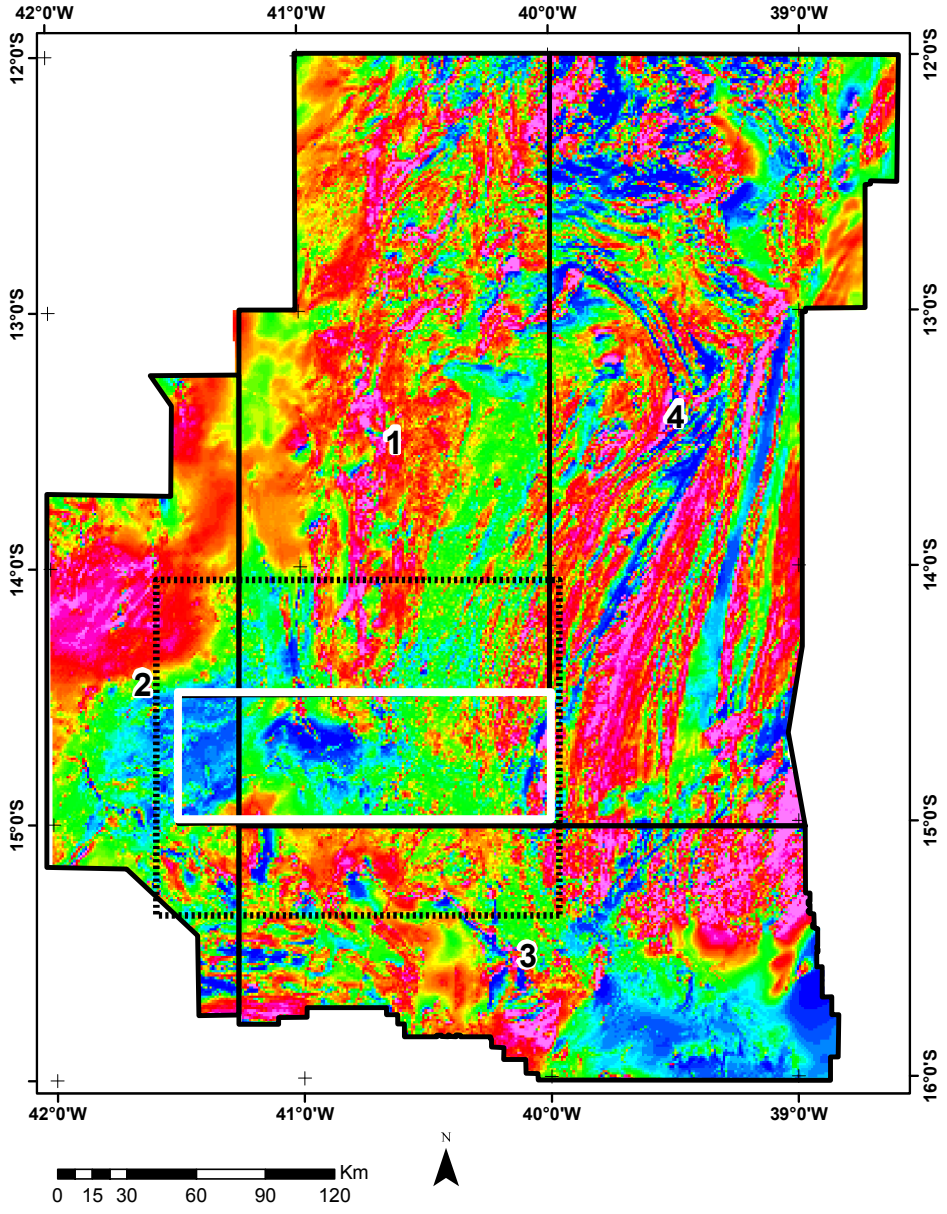


Figura 3 - Mapa índice da cobertura aerogeofísica (vide Tabela 1) sobreposta a imagem do Campo Magnético Anômalo (CMA) indicando as áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono branco).

Os dados magnetométricos brutos foram submetidos às seguintes correções: paralaxe, remoção da variação magnética diurna, nivelamento e micronivelamento dos perfis e remoção do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field* – IGRF), conforme CBPM (2007, 2008, 2009 e 2011).

Foram aplicadas as seguintes correções de rotina aos dados gamaespectrométricos: tempo morto, paralaxe, cálculo de altura efetiva de voo,

remoção do *background* da aeronave e cósmico, remoção do *background* de radônio, efeito Compton, altimétrica, além da conversão das contagens por segundo (cps) para concentrações de K, eTh e eU, conforme CBPM (2007, 2008, 2009 e 2011).

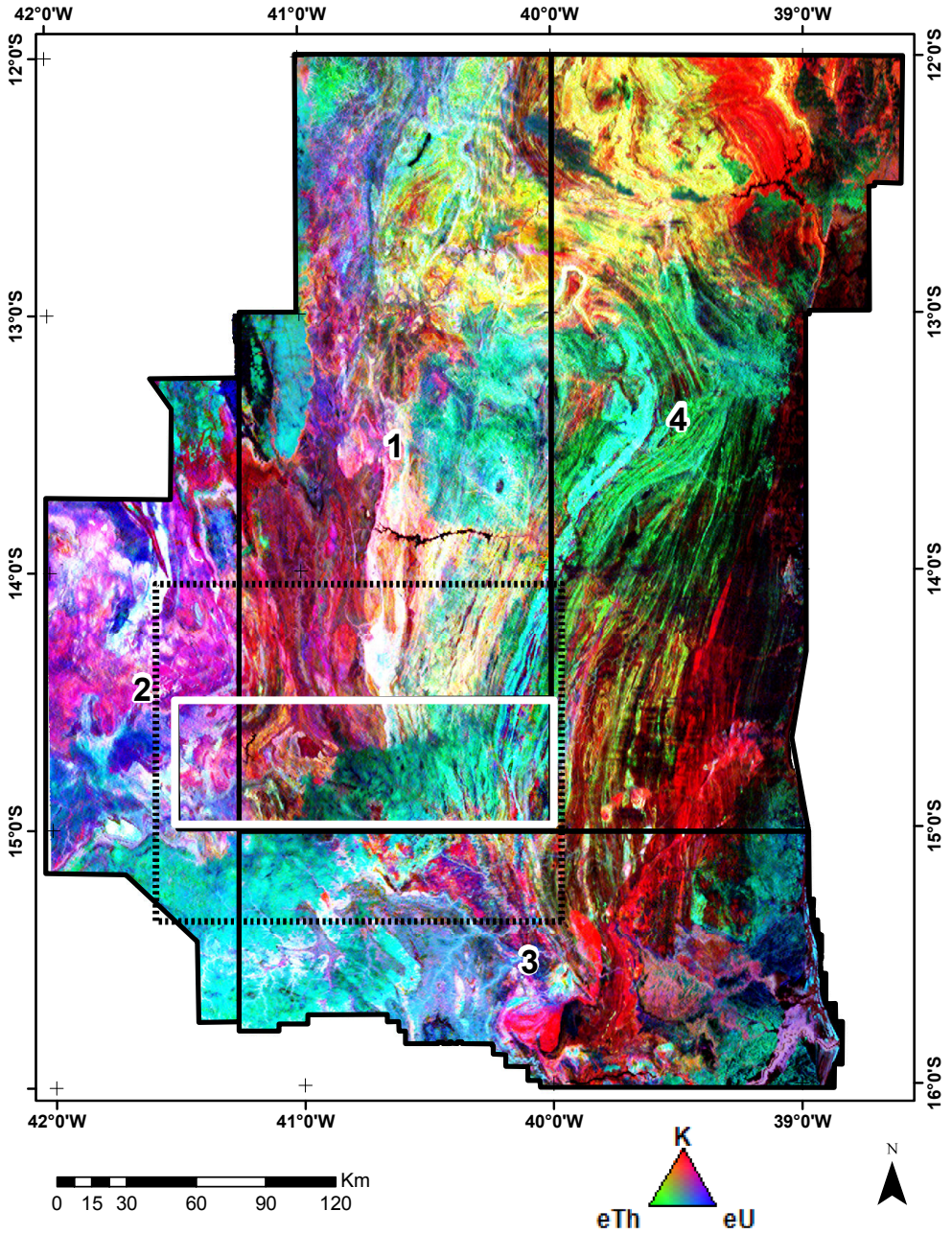


Figura 4 - Mapa índice da composição gamaespectrométrica ternária dos levantamentos aerogeofísicos (Tabela 1) indicando a área processada (linha tracejada) e área de estudo(polígono branco).

De acordo com a Tabela 1, a altura nominal e a separação das linhas de voo dos quatro aerolevantamentos foram, respectivamente de 100m e 500m, o que facilitou a integração dos dados.

CPRM	CONTRATANTE	PROJETOS	ANO	ESPAÇAMENTO DAS LINHAS (m)	ALTURA DE VOO (m)	LINHAS (TOTAL km)	ÁREA DO PROJETO km²
1	CBPM	Ruy Barbosa/Vitória da Conquista	2007	500	100	92.103,00	41.911,00
2	CBPM	Barra da Estiva/Tremedal	2008	500	100	35.385,73	16.111,56
3	CBPM	Cândido Sales – Mascote	2009	500	100	53.831,00	24.430,00
4	CBPM	Ipirá-Ilhéus	2011	500	100	86.629,00	40.077,08
						267.948,73	122.529,64

Tabela 1 - Especificações dos levantamentos aerogeofísicos.

Para construir os mapas aerogeofísicos regionais, fruto da integração dos quatro aerolevantamentos (Figura 3 e 4, Tabela 1), inicialmente os dados magnetométricos e gamaespectrométricos de cada projeto foram interpolados pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974), com células regulares de 125 X 125 metros, correspondentes a ¼ do espaçamento entre as linhas de voo. Em continuidade, as malhas resultantes foram integradas pela técnica da sutura, do módulo *Grid Knitting* do pacote Geosoft Oasis Montaj (v. 8.2). Por fim, as malhas foram recortadas para a área de interesse (polígono pontilhado da Figura 3 e 4).

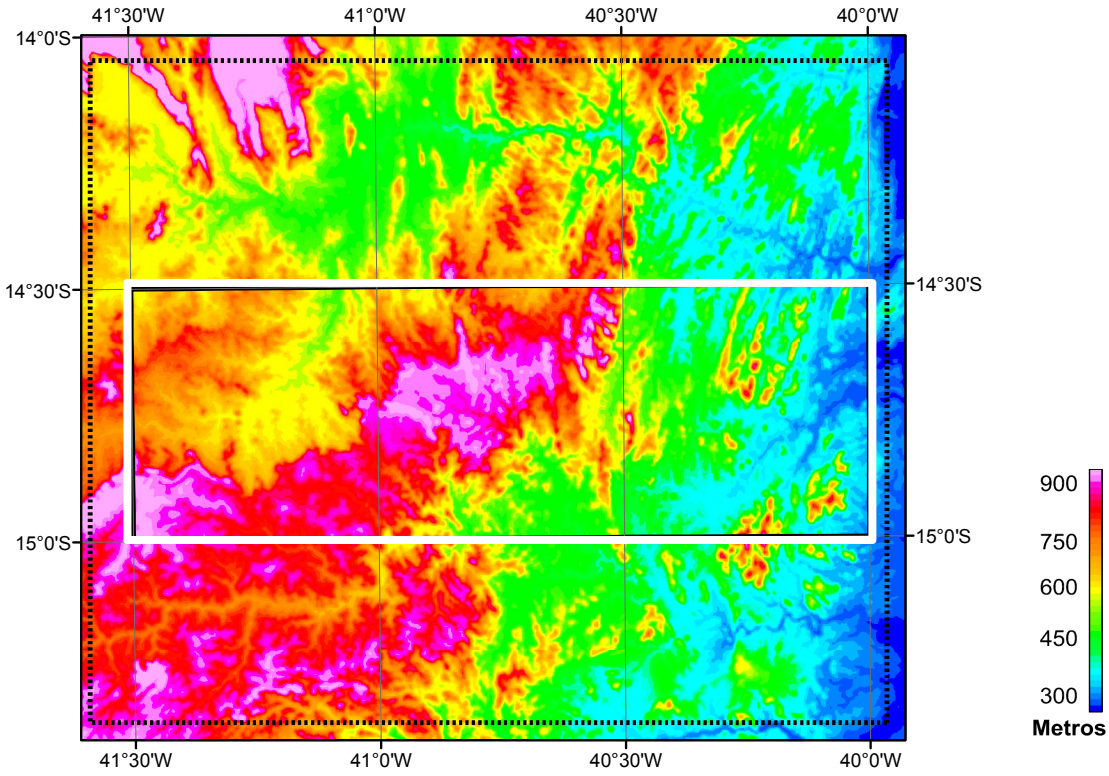


Figura 5 - Modelo digital de terreno SRTM/NASA. O retângulo branco indica a área de estudo.

Métodos de realce de anomalias magnéticas

O tratamento dos dados magnéticos segue um roteiro previamente definido, no qual aplicamos o filtro de redução ao polo aos dados do campo magnético anômalo (CMA), na sequência efetuamos as continuações ascendentes, simulando diversas alturas de voo e, finalmente, realizamos o realce de anomalias, através de vários métodos.

A figura 7 sintetiza os principais métodos de realce de anomalias de campos potenciais. Uma breve fundamentação teórica dos principais métodos de realce de anomalias é descrita abaixo:

Redução ao polo

Como premissa à aplicação das técnicas de realce das anomalias adotamos a redução ao polo (RTP), técnica que recalcula para o polo ($I=\pm 90^{o}$), os dados do campo magnético anômalo da área de estudo, considerando somente a

magnetização induzida (Figura 6). Cabe ressaltar que a magnetização remanente influencia o processo de RTP. A RTP transforma anomalias magnéticas dipolares em anomalias monopolares centralizadas sobre seus corpos causativos, as quais podem simplificar a interpretação dos dados.

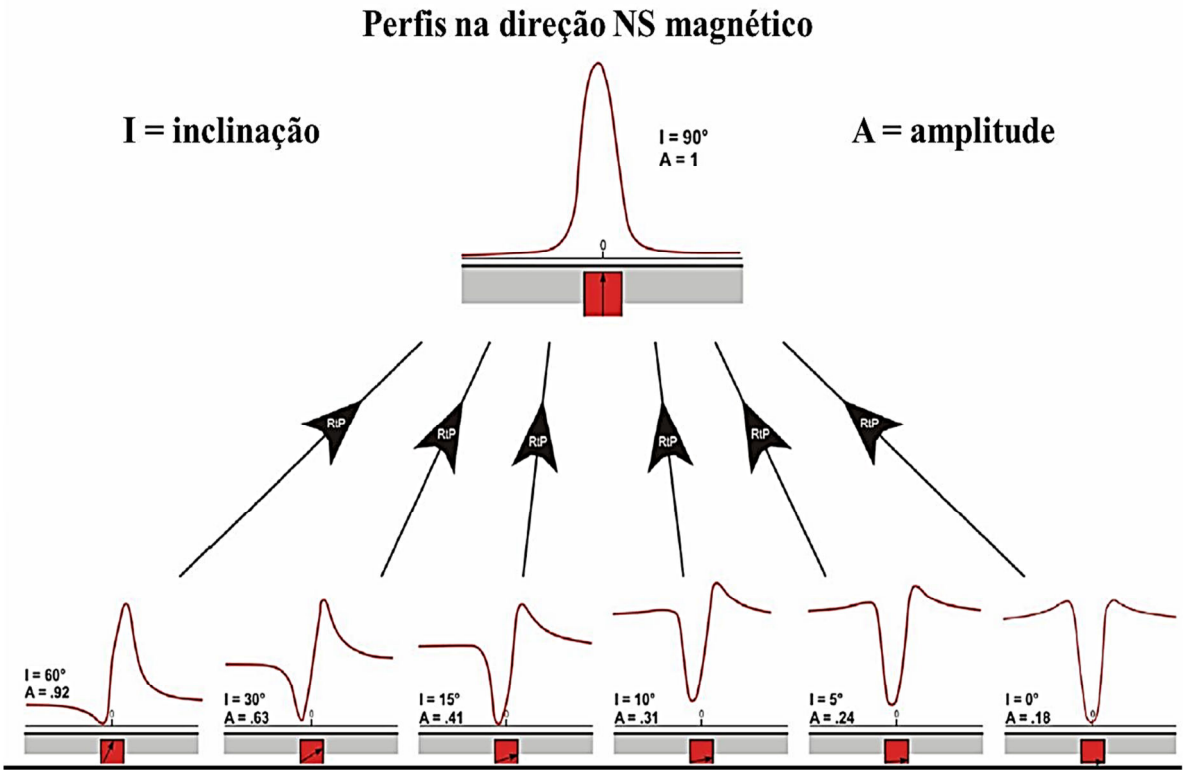


Figura 6: Ilustração do processo de redução ao polo (RTP). Fonte: Isles e Rankin (2013).

a) Continuações ascendentes

O procedimento de continuação ascendente simula a aquisição dos dados do campo magnético e gravimétrico a altitudes maiores do que a original (afastamento das fontes), removendo ou minimizando os sinais de fontes rasas e ruídos.

A continuação ascendente é considerada um filtro de “limpeza”, por não produzir quase nenhum efeito de borda. Efetivamente, corresponde a uma suavização e é bastante empregado para comparar dados magnéticos e gravimétricos tomados a diferentes altitudes.

b) Gradiente vertical (Gz) – Evjen (1936).

A primeira derivada vertical, ou gradiente vertical, é fisicamente equivalente à medição simultânea do campo magnético ou gravimétrico em dois pontos dispostos verticalmente e separados por uma distância qualquer. O resultado é obtido pela diferença das medidas nos mencionados pontos, dividido pela separação entre eles. Portanto, tal filtro realça as altas frequências, em detrimento das baixas, eliminado os efeitos regionais, de longos comprimentos de onda, derivados de fontes profundas. Unidades: nT/m ou mGal/m.

c) Gradientes horizontais (Gx; Gy) – Cordell & Grauch (1985).

Estes filtros possuem funções semelhantes ao anterior, sendo, entretanto, aplicados nas direções horizontais x e y. Unidades: nT/m ou mGal/m.

d) Gradiente horizontal total (GHT) – Cordell & Grauch (1985).

O cálculo das derivadas horizontais do campo magnético ou gravimétrico permite uma análise da geometria da superfície da malha regular, indicando mudanças abruptas no declive destes campos potenciais, que podem ser ocasionadas por um salto no valor médio ou pela presença de um pico nos dados. São baseados nos resultados da declividade (primeira derivada) ou na taxa da mudança do gradiente (segunda derivada).

O gradiente horizontal total de ordem zero é o vetor resultante das combinações das primeiras derivadas horizontais nas direções *x* e *y* dado pela equação a seguir:

$$\mathrm{GHT}(x,y) = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = nT/m\,; mGal/m$$

onde: $\partial M/\partial x$ e $\partial M/\partial y$ correspondem às derivadas horizontais da anomalia *M* do campo magnético ou gravimétrico.

Este processo envolve uma transformação de fase e um realce das altas frequências. A transformação de fase ressalta os picos das anomalias, localizados aproximadamente sobre as bordas de corpos espessos, e o realce da alta

frequência proporciona um estreitamento destes picos para aumentar a definição das bordas dos corpos (Milligan; Gunn, 1997).

O gradiente horizontal total, em geral, é utilizado para realçar os limites dos corpos e estruturas causadoras das principais anomalias, além de funcionar como um método de separação regional-residual. O detalhamento das estruturas é maior quando se aplicam derivadas de ordens superiores, porém são realçados também os ruídos.

e) Amplitude do sinal analítico (ASA) - Nabighian (1972), Roest et al. (1992).

A amplitude do sinal analítico (ASA) é uma função relacionada às derivadas nas direções x, y e z do campo magnético. Embora não seja um parâmetro medido, a ASA é extensivamente aplicada na interpretação magnética, pois foi até recentemente considerada como completamente independente da direção de magnetização e da direção do campo da Terra (*e.g.* Gunn & Milligan, 1997). Entretanto, Li (2006) mostrou que a ASA não é completamente independente da magnetização.

Segundo Gunn (1997), os picos da ASA são simétricos e ocorrem diretamente sobre as bordas de corpos largos e diretamente sobre o centro de corpos estreitos. Ainda, as meias-larguras destes picos podem ser relacionadas com a profundidade de contatos magnéticos.

Para estruturas 2D, o método assume que a fonte apresenta magnetização uniforme e pode ser representada por seções transversais de polígonos, onde estas estruturas podem também significar a superposição de um número finito de contatos magnéticos.

A função amplitude do sinal analítico, ou seu valor absoluto pode ser expressa por um vetor adição de duas componentes reais nas direções x e y e uma componente imaginária na direção z, conforme a equação:

$$ASA(x,y) = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = nT/m\,;\; mGal/m$$

onde *M* é a anomalia do campo potencial, $\partial M/\partial z$é a primeira derivada vertical, $\partial M/\partial x$ e $\partial M/\partial y$ são as primeiras derivadas horizontais nas direções *x* e *y*, respectivamente.

A amplitude do sinal analítico é uma função simétrica em formato de sino (*bell shaped*), com seu máximo situado exatamente sobre o topo de cada contato e sua largura relacionada diretamente com a profundidade do corpo. Como isto é verdade para qualquer ordem de derivadas do sinal (Nabighian, 1974), estas propriedades podem ser utilizadas para localizar os contatos magnéticos e suas profundidades. Tais características invariáveis são vantajosas na interpretação magnética, especialmente quando a contribuição da magnetização induzida ou remanescente não pode ser distinguida (Roest et al*.,* 1992; Hsu et al*.,* 1996).

Com o processamento da amplitude do sinal analítico, ao invés da amplitude do sinal original, obtém-se uma separação mais eficiente das anomalias causadas por estruturas que estejam muito próximas entre si (Debeglia & Corpel, 1997). As amplitudes de enésima ordem de derivação podem ser expressas igualmente em termos da derivada vertical ou das horizontais.

Agarwal & Shaw (1996) e Salem et al. (2002) já haviam demonstrado que a forma da amplitude do sinal analítico sobre fontes dipolares são dependentes da direção de magnetização. Haney et al. (2003), do mesmo modo, mostraram para casos 3D em geral, que a amplitude do sinal analítico não é a mesma em todas as direções, como sugerido por Roest et al. (1992). Como resultado, a amplitude do sinal analítico 3D não é independente da inclinação e da declinação da magnetização dos corpos nem da intensidade do campo magnético da Terra, como já referido.

f) Inclinação do sinal analítico (ISA) – Miller & Singh (1994).

A inclinação (fase) do sinal analítico de ordem zero é definida pelo ângulo formado entre os vetores imaginário e real do sinal analítico de mesma ordem, representando o quociente da primeira derivada vertical pelo gradiente horizontal total e pode ser expressa por:

$$ISA = tg^{-1}\left[\frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}}\right] \quad Unidade = radiano(rad)$$

Este filtro pode ser utilizado para detectar fontes de anomalias de campos potenciais e para prover informações sobre suas extensões horizontais. A inclinação pode ser facilmente determinada a partir das duas derivadas horizontais e da derivada vertical. Ele tem a propriedade de ser positivo acima da fonte, cruzar o zero próximo das bordas e ser negativo fora da fonte. A inclinação do sinal analítico encerra um atributo adicional, único dentre os métodos detectores de bordas já mencionados, de responder igualmente bem para fontes rasas e profundas. Por esta razão é capaz de detectar a presença de fontes sutis profundas, as quais são frequentemente mascaradas pela profusão das respostas das fontes mais rasas, sobretudo em áreas fortemente magnetizadas.

Thurston & Smith (1997) demonstraram, a partir da teoria proposta por Nabighian (1972), que a fase do sinal analítico permite realizar estimativas sobre o mergulho e o contraste de susceptibilidade magnética das fontes causadoras de anomalias.

A aplicação da fase do sinal analítico é bastante útil, uma vez que sua amplitude pode sofrer alterações no interior de uma mesma estrutura, porém sua fase permanece constante. A comparação entre a amplitude e a fase do sinal analítico torna mais segura a interpretação de continuidade das estruturas. A interpretação isolada da fase do sinal analítico encerra muita ambiguidade, uma vez que o processamento não distingue os sinais derivados das estruturas geológicas dos ruídos, resultando em uma série de artefatos espúrios dispersos no contexto das anomalias reais.

g) Gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT_ISA) – Verduzco et al. (2004).

A aplicação do gradiente horizontal total aos dados da inclinação (fase) do sinal analítico realça feições não claramente identificadas pelos métodos anteriores. Uma das vantagens do método, segundo os autores, é sua independência da direção de magnetização e das amplitudes das anomalias, e que os resultados denotam uma melhor resolução da função no centro e sobre os limites dos corpos.

De acordo com Verduzco *et al.* (2004), a combinação da inclinação do sinal analítico e suas derivadas horizontais é altamente recomendada para mapear estruturas rasas do embasamento e alvos de exploração mineral. Sua expressão é indicada a seguir :

$$GHT_ISA = \left[\left(\frac{\partial ISA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial ISA}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2} \quad Unidade = radiano\ (rad)/m$$

h) Theta map – Winjs et al. (2005).

Este método é uma ferramenta simples e efetiva para delinear contatos magnéticos e gravimétricos, posicionando as anomalias diretamente sobre suas fontes. É uma técnica resultante do quociente entre o gradiente horizontal total e a amplitude do sinal analítico, a qual intensifica os contatos magnéticos e gravimétricos de corpos 2D. Tal método é igualmente válido para dados que tenham sido reduzidos ao polo ou ao equador, mais foi desenvolvido para baixas latitudes magnéticas, nas quais o filtro de redução ao polo envolve instabilidade.

O *Theta map* é decorrente da normalização do gradiente horizontal total pela amplitude do sinal analítico, a qual introduz um controle efetivo de ganho, que apesar de perder informação das amplitudes originais das anomalias, realça as baixas amplitudes e facilita a interpretação.

$$\phi = tg^{-1}\left|\frac{GHT}{|Gz|}\right| \quad Unidade = radianos\ (rad)$$

i) Inclinação do gradiente horizontal total (IGHT) - Cooper & Cowan (2006)

A IGHT pode ser considerada uma versão normalizada do GHT pelo valor absoluto do gradiente vertical (Gz). Ela também denota igual desempenho para fontes rasas e profundas, como o *Theta map*, os quais são complementares. Este filtro é utilizado para delimitar as bordas dos corpos magnéticos. O IGHT é definido pela equação abaixo:

$$\theta = tg^{-1}\left|\frac{Gz}{GHT}\right| \quad Unidade = radianos\ (rad)$$

j) Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA_GHT) - Ferreira et al. (2010, 2013)

A aplicação da inclinação (fase) do sinal analítico aos dados derivados do gradiente horizontal total é recomendada para mapear estruturas e alvos de exploração mineral, realçando feições não claramente identificadas pelos métodos anteriores. Uma das vantagens do método, segundo Ferreira et al. (2010, 2013), é

que ISA_GHT denota melhor resolução dos limites dos corpos, uma vez que a ISA equaliza as amplitudes do GHT. Portanto, tal método realça simultaneamente bem as respostas de corpos posicionados em profundidades distintas.

$$ISA_GHT = tg^{-1}\left[\frac{\frac{\partial GHT}{\partial z}}{\left[\left(\frac{\partial GHT}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial GHT}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}}\right] Unidade = radianos(rad)$$

Os principais métodos de anomalias magnéticas estão representados na figura 6.

Magnetometria

Mapas de anomalias magnéticas são frequentemente utilizados para delinear falhas e contatos geológicos. Entretanto, sua interpretação é dificultada devido à natureza dipolar do campo geomagnético, além de encerrarem grandes variações de amplitude decorrentes de fontes com diferentes geometrias, profundidades e magnetizações. Adicionalmente, a forma das anomalias depende da direção de aquisição dos dados e da magnetização induzida, remanente, ou ambas. Desta forma, o estudo do comportamento do sinal magnético em modelos 3D tem se mostrado importante para auxiliar a interpretação de dados aeromagnéticos, em termos de cartografia geológica, estimativas de forma e profundidade das fontes e elaboração de modelos geofísicos quantitativos.

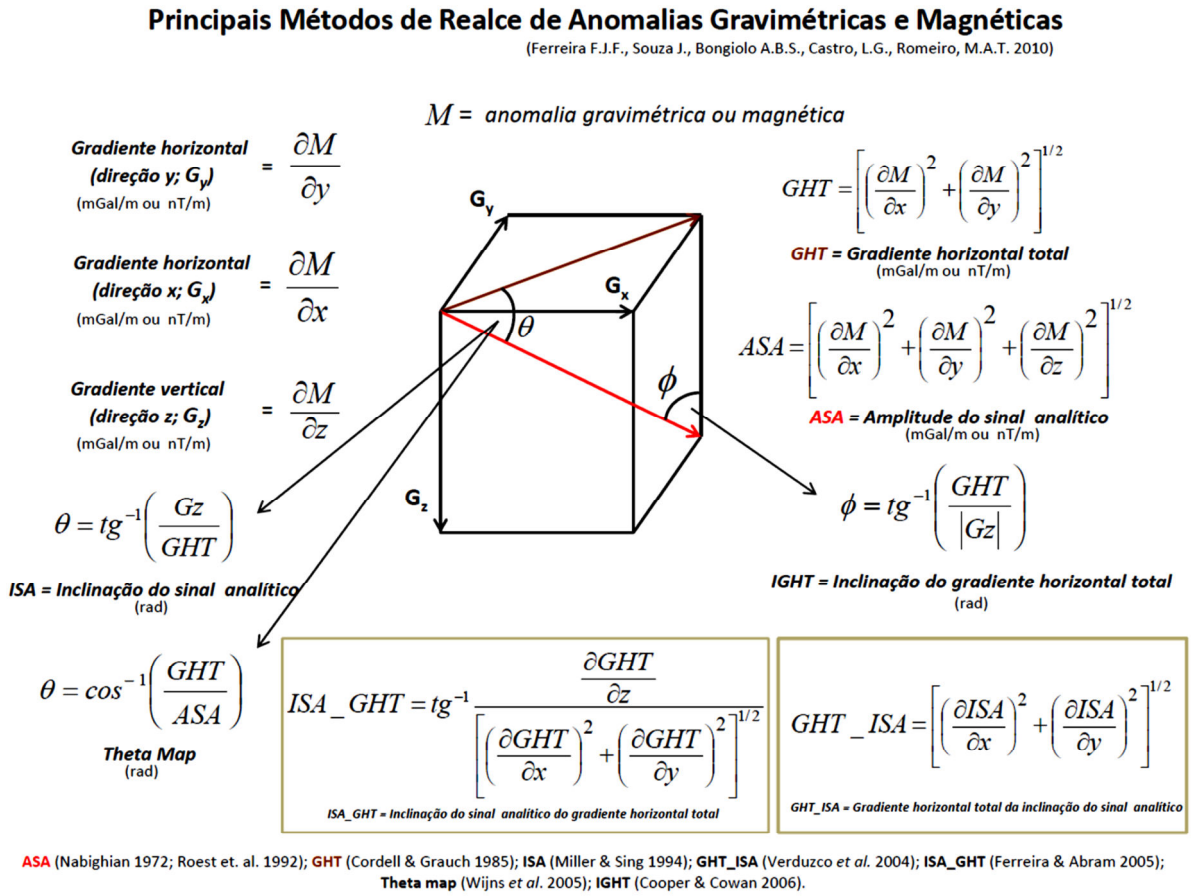


Figura 7 - Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas segundo Ferreira et al. (2010).

Modelos sintéticos

Neste item se discute o sinal magnético de modelo 3D (Figura 8, Tabela 2), composto de três prismas com as mesmas dimensões (comprimento = 10000m; largura = 800m; espessura = 10000m) e profundidades distintas do topo (P1 = 250m; P2 = 500m; P3 = 1000m), para avaliar as respostas dos métodos de realce em correspondência à variação de profundidade das fontes. Os corpos foram inseridos no ambiente geomagnético da área de estudo (Tabela 3), correspondente à data média do levantamento 1, que envolve a maior porção da área de estudo, indicado na Figura 4 (Tabela 4) (10/02/2006) e no polo (Tabela 3), para verificar o desempenho do método de redução ao polo (RTP) em baixas latitudes magnéticas.

As anomalias foram geradas com auxílio do programa GRAV_MAG_PRISM (Bongiolo et. al. 2011), considerando a magnetização induzida de 1.25 A/m no polo e de 0.5 A/m em Vitória da Conquista. A susceptibilidade dos corpos foi de 0.0276 SI.

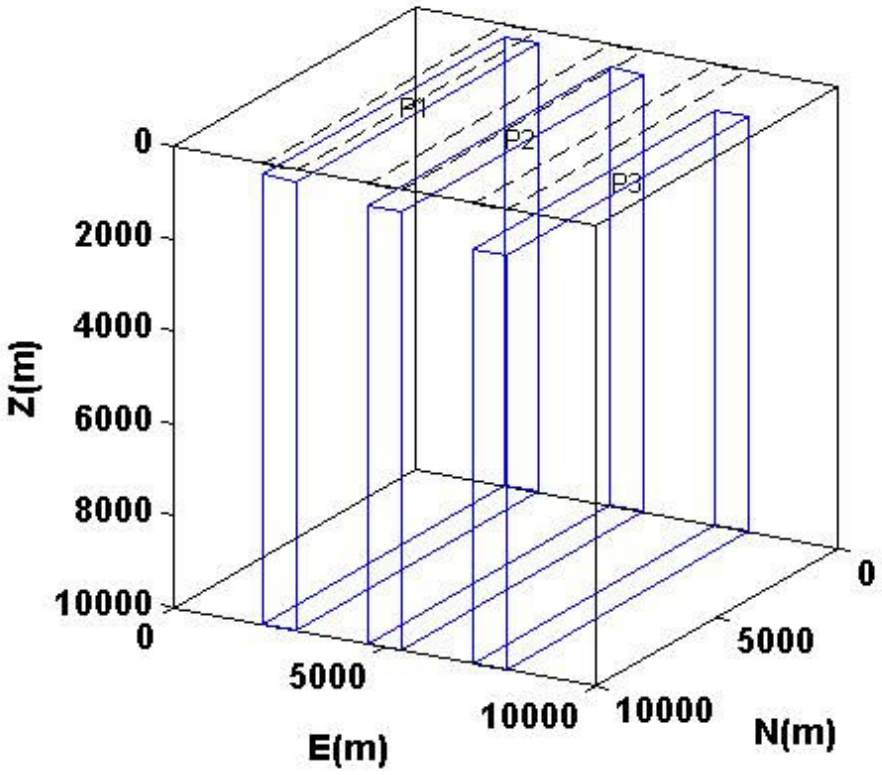


Figura 8 - Modelo 3D utilizado para avaliar o desempenho dos métodos de realce.

Localização	Prisma P1	Prisma P2	Prisma P3
X (m) X centro	2500	5000	7500
Y (m) Y centro	5000	5000	5000
Z (m) Z centro	4500	4500	4500
Profundidade	250m	500m	1000m

Tabela 2 - Parâmetros geométricos do modelo da Figura 8.

	Vitória da Conquista-BA	Polo
Latitude	14º45’00’’S	85°00’00”
Longitude	40º45’00’’W	132°36’00”
Declinação (Dº)	- 22.86	0.0
Inclinação (Iº)	- 28.81	90
Intensidade (em Tesla)	22789 x 10-9	56973 x 10-9

Tabela 3 - Parâmetros geomagnéticos do modelo da Figura 8 em Vitória da Conquista-BA e no Polo.

Os dados gerados pelo programa GRAV_MAG_PRISM (Bongiolo et. al. 2011), em Vitória da Conquista-BA e no polo, no formato ASCII, foram importados para a plataforma Oasis Montaj (Geosoft™). Tais dados foram interpolados pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974), segundo uma malha regular de 20 x 20 metros. A Figura 9 mostra o mapa do campo magnético anômalo (CMA), na qual se observa a polaridade das anomalias. Os dados da Figura 9 foram reduzidos ao polo (Figura 10) com base nos parâmetros geomagnéticos de Vitória da Conquista (Tabela 3). A comparação da Figura 9 com o mapa de anomalias no polo (Figura 11), apesar das pequenas distorções, mostra que a técnica de redução ao polo empregada (Phillips, 1997) foi satisfatória.

A aplicação dos métodos de realce sobre os dados da Figura 9 implicaria em deslocamento da posição das fontes, em função da influência da inclinação magnética da área de estudo. Portanto, tais métodos foram empregados com base nos dados reduzidos ao polo (CMA-RTP) da Figura 10 nos quais as anomalias são posicionadas diretamente sobre as fontes, facilitando a interpretação. Assim, a Figura 12 mostra os resultados da aplicação de algumas das técnicas já descritas no modelos sintético da Figura 8.

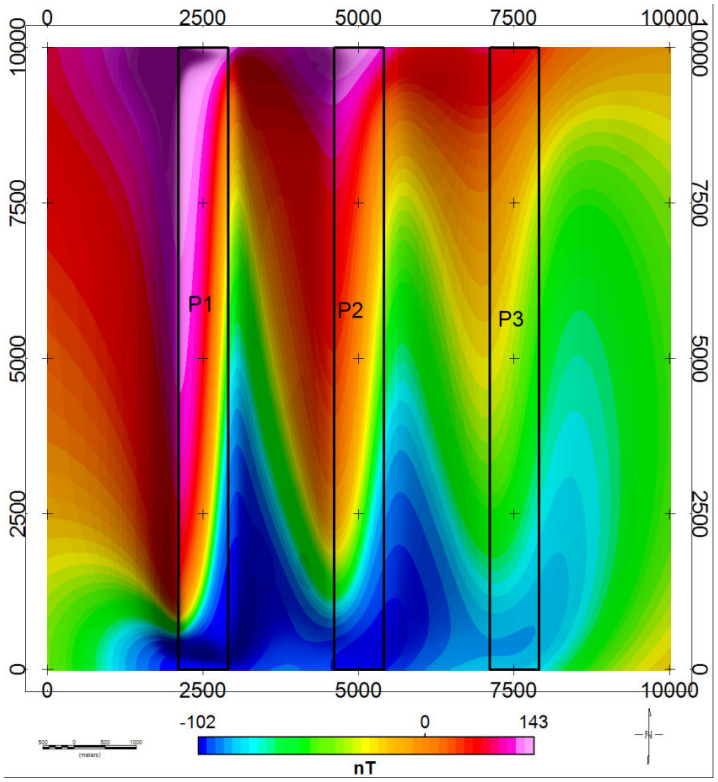


Figura 9 - Mapa do campo magnético anômalo (CMA).

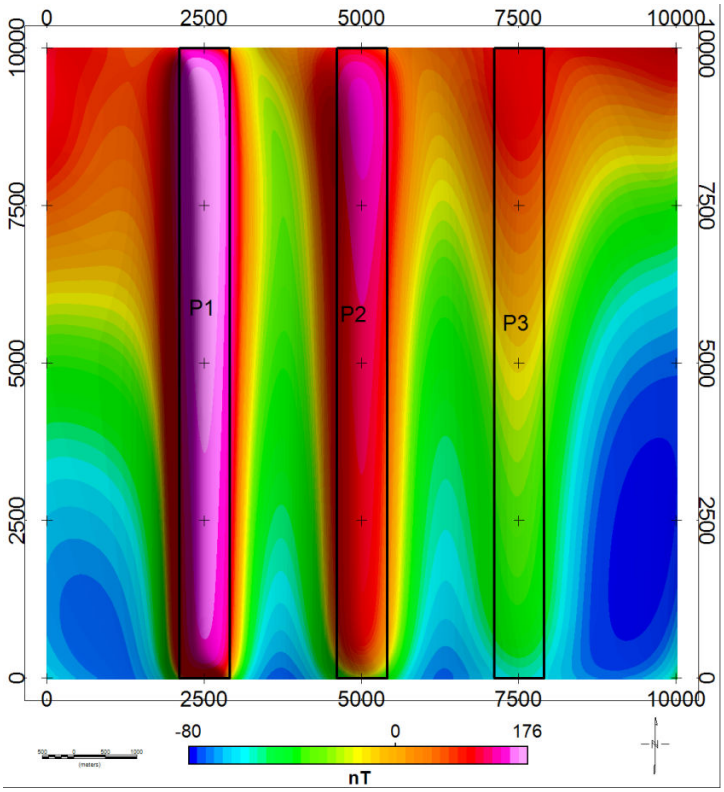


Figura 10 - Mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP).

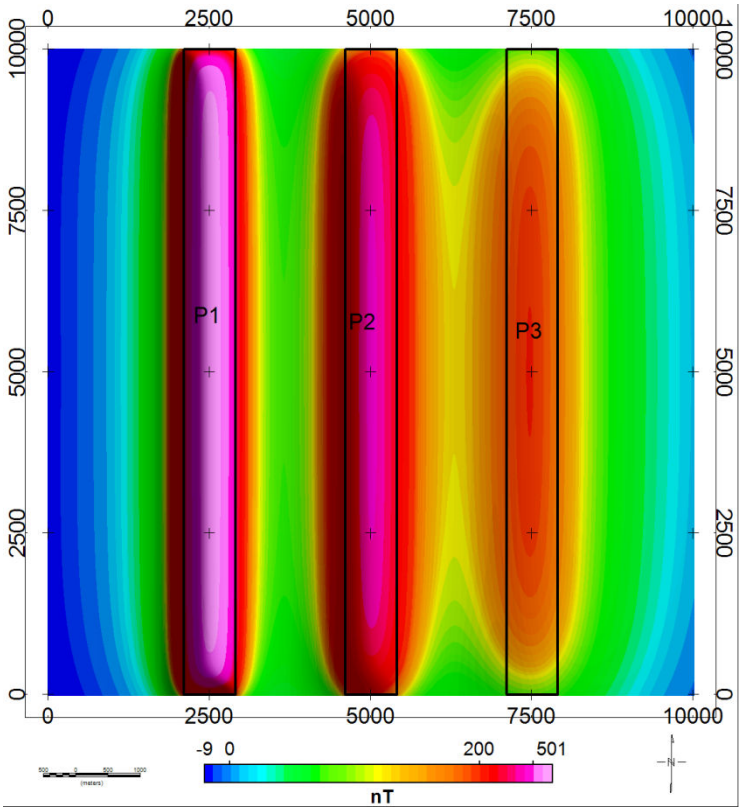


Figura 11- Mapa do campo magnético anômalo no polo.

Do experimento realizado (Figura 12), observa-se uma atenuação das amplitudes das anomalias correspondentes às fontes mais profundas (Figura 13 A e B). Em contrapartida, na Figura 13 (C e D) ressalta-se a equalização das amplitudes, denotando que as técnicas ISA e ISA-GHT são praticamente independentes da profundidade dos corpos, o que facilita a interpretação.

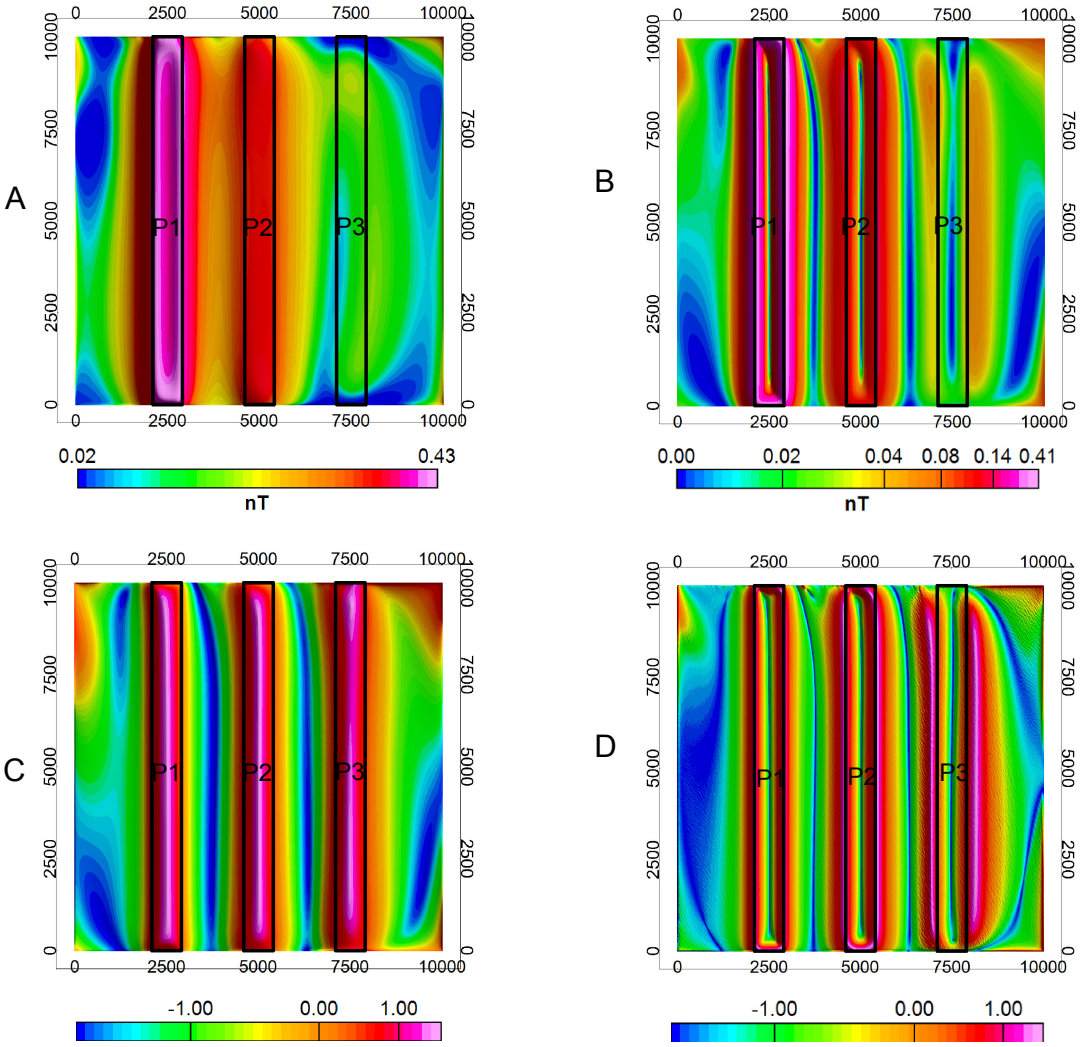


Figura 12: Métodos de realce de anomalias magnéticas utilizadas nesse trabalho: A) ASA; B) GHT; C) ISA e D) ISA-GHT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gamaespectrometria

Considerando que o mapa geológico (Anexo 1) foi confeccionado utilizando os meios convencionais para delineamento das unidades, principalmente a fotointerpretação, a sobreposição dos contatos geológicos (Anexo1) aos mapas gamaespectrométricos (Figuras 13 A, B e 14 A e B) mostrou uma série de discrepâncias entre os limites de unidades radiométricas e geológicas. O relevo peculiar de planalto (Figura 5), com variações de altitude entre 400 e 800 metros, segundo Maia e Lage (2005), facilitou o delineamento de uma unidade especifica, denominada coberturas detrito-lateríticas, sigla NQdl (Anexo 1), a qual é caracterizada por elevados teores de tório, verificada sobretudo nas imagens ternárias (Figura 15), decorrentes da sua retenção em óxidos de ferro (Becegato e Ferreira, 2005). Por ouro lado, os baixos teores de K (Figura 13B) podem ser característicos das coberturas, ou mesmo o potássio pode ter sido depletado, como decorrência de sua solubilidade, durante a evolução geomorfológica.

Mapa litogeofísico

A geologia da área de estudo é determinante para a escolha apropriada do padrão de composição ternária. De uma maneira geral é possível afirmar que o padrão CMY denota melhor desempenho quando a área de estudo encerra uma grande disseminação de tório.

Os limites das unidades radiométricas dos mapas litogeofísicos, Figura 16 e Anexo 2, foram baseados nas composições ternárias da Figura 15 as quais refletem as concentrações relativas de K, eTh e eU de cada unidade avaliada.

Com base nos mapas dos Anexos 1 e 2, além do apoio de campo, foi construído o mapa geológico do Anexo 3, o qual evidencia a aplicabilidade do método na detecção e delineamento de unidades geológicas através da gamaespectrometria. Por outro lado, a radiometria se mostrou vantajosa em termos de tempo de elaboração e qualidade dos mapas geológicos. A comparação dos Anexos 1 e 3 revela maior separação e melhor delineamento das unidades geológicas, além da inclusão de feições não observadas no primeiro mapa. Uma informação relevante diz respeito a legenda dos dois mapas (Anexos 1 e 3), as quais

são semelhantes, uma vez que uma unidade já mapeada permanece no mapa atual, modificando apenas seus limites. Essa observação é extremamente importante na atualização de mapas geológicos a partir de dados gamaespectrométricos e magnéticos, uma vez que a disponibilidade de informações prévias, em escalas menores, torna o trabalho mais rápido e menos oneroso numa futura atualização.

O mapa litogeofisico (Anexo 2) permitiu cartografar a continuidade da maioria das unidades da área de estudo, como exemplo temos o xisto Bate-pé, unidade mapeada com o código 222 no mapa litogeofísico e com a sigla PPbtx no mapa geológico (Anexos 1 e 2). Outra unidade que permitiu avaliar sua extensão foi a cobertura laterítica NQdl (Anexo 1), mapeada com código 121 no mapa litogeofisico (Anexo 2) e finalmente apresentada no mapa atualizado (Anexo 3) com a sigla NQd.

Outra observação pertinente à contribuição da gamaespetrometria nesse trabalho, pode ser facilmente verificada ao se analisar a diminuição da área do Complexo Itapetinga (Anexos 1, 2 e 3), como unidade A4PP2t; o mapa litogeofisico permitiu delinear com melhor precisão esta unidade, resultando numa redução significativa de sua extensão.

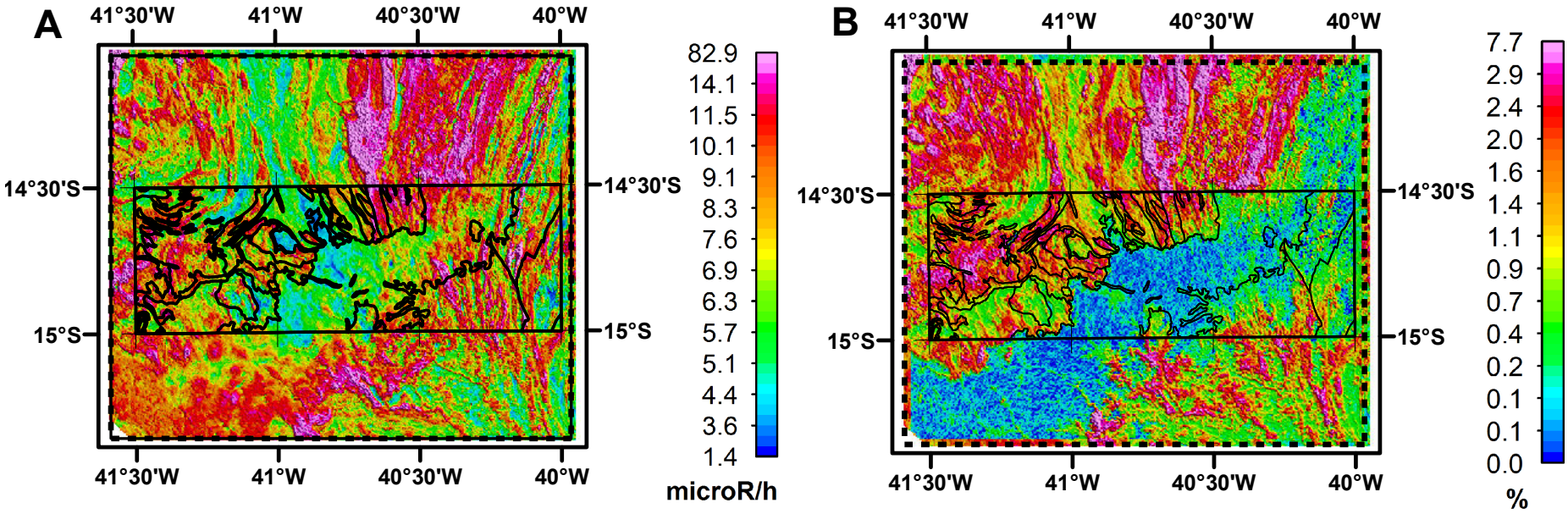


Figura 13 - Mapas gamaespectrométricos das áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos (Anexo 1). A) contagem total (CT, µR/h); B) potássio (K, %).

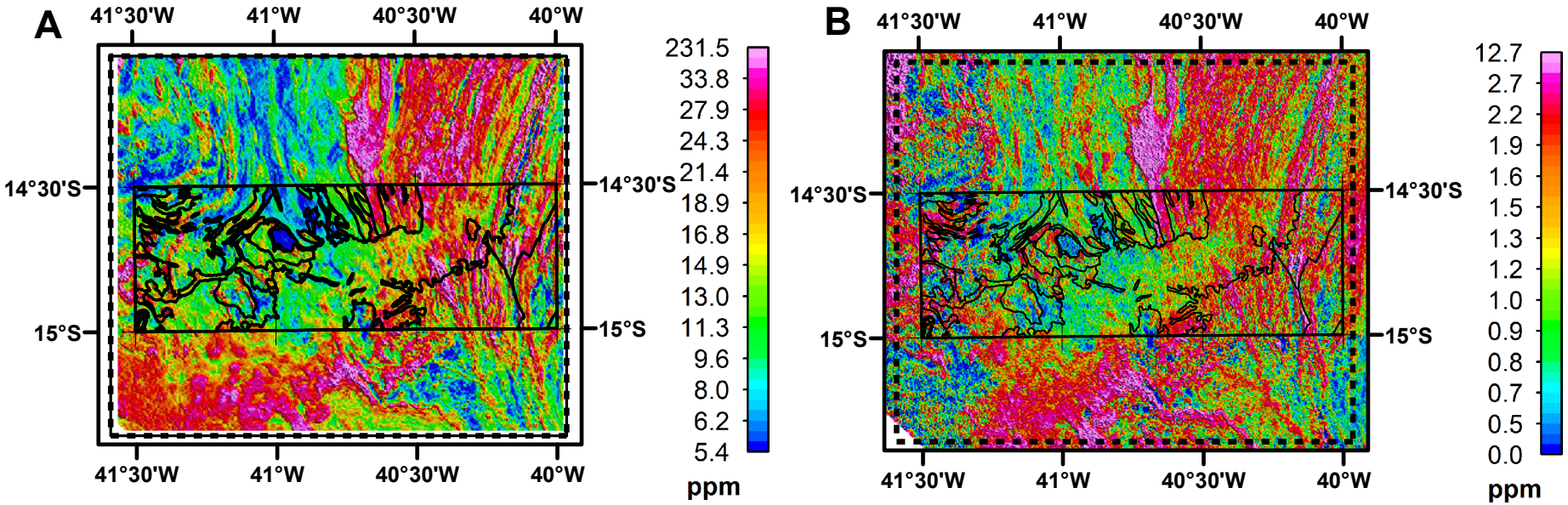


Figura 14 - Mapas gamaespectrométricos das áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos do Anexo 1. A) equivalente de tório (eTh, ppm); B) equivalente uranio (eU,ppm)

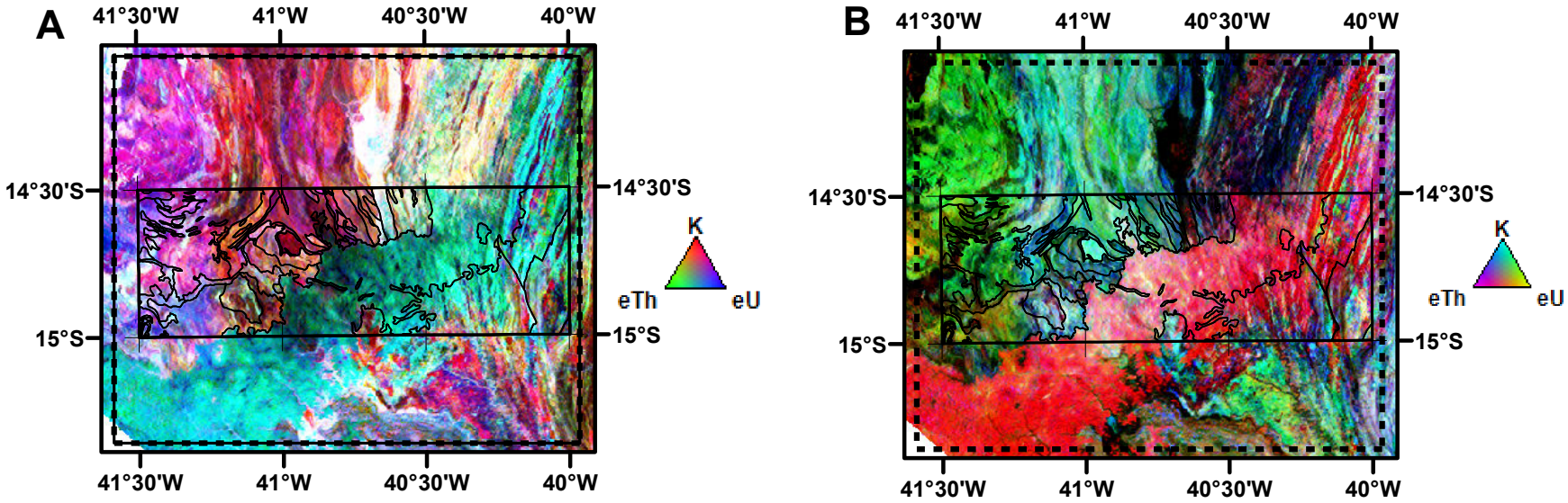


Figura 15 - Mapas de composição ternária das áreas processada (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto, com sobreposição dos contatos geológicos do Anexo1. A) RGB; B) CMY.

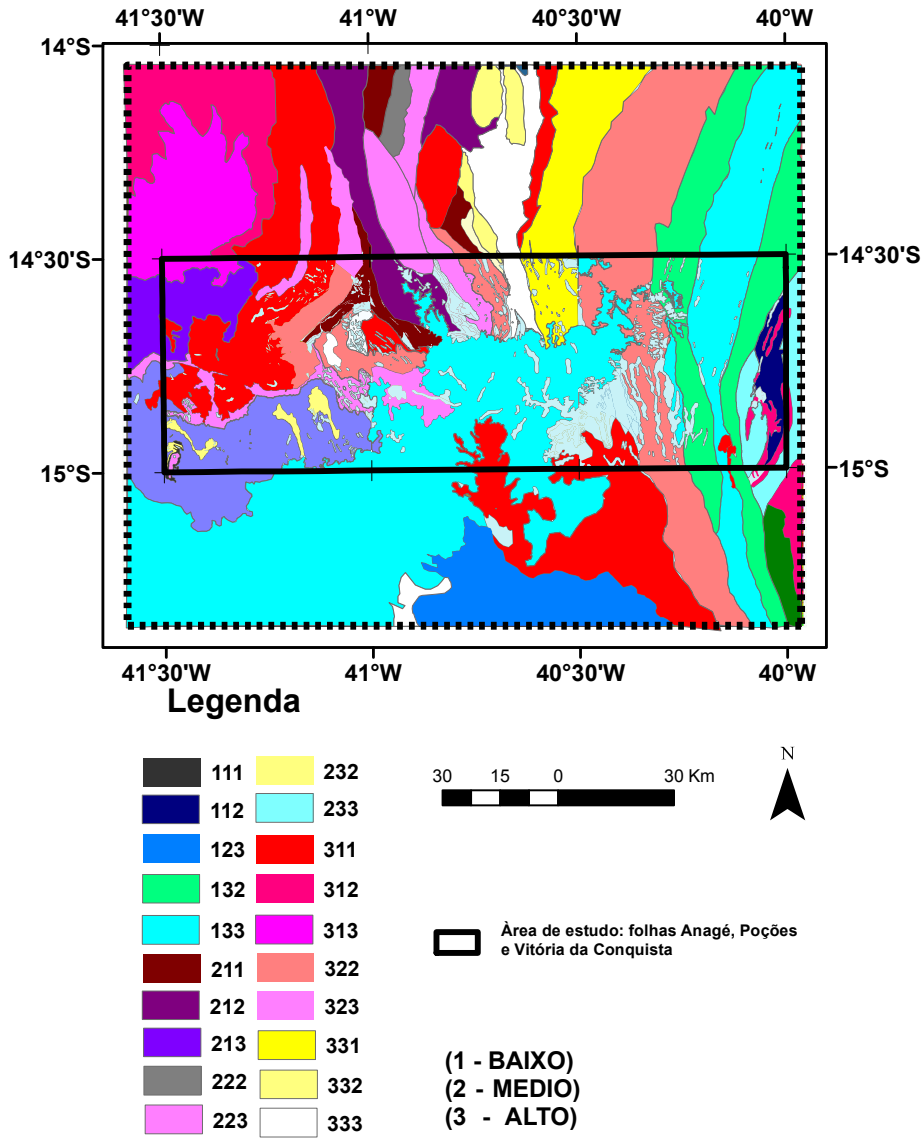


Figura 16 - Mapa litogeofísico das áreas processadas (polígono pontilhado) e de estudo (polígono preto). *a composição 111, indica que a presença dos três elementos é baixa em determinada unidade, enquanto que uma combinação 333, teríamos a abundancia máxima desses elementos numa unidade.

A tabela 4, produto da integração de dados geofísicos e geológicos, permite estabelecer uma correlação mais consistente entre unidades radiométricas e geológicas, uma vez que associa as siglas das unidades geológicas às intensidades de radiação dos três radionuclídeos (K, eTh, eU), ao mesmo tempo que a descrição das unidades possibilita revelar a associação mineralógica que produz determinada resposta nos mapas radiométricos.

Sigla	Domínio Radiométrico	Descrição
NQd	121	Coberturas detríticas: Depósitos inconsolidados a pouco consolidados, arenosos e areno-argilosos, de coloração cinza amarelado a vermelho alaranjado, com níveis de cascalho com seixos de quartzo arredondados; níveis de concreções lateríticas no contato com o substrato.
NP1_beta	211	Dique de gabro, gabronorito e diabásio, isotrópicos, de cor cinza escuro a castanho muito escuro e quando hidrotermalizados exibem tonalidade esverdeada e descamação esferoidal, em geral contém disseminações de metálicos. Localmente apresentam-se foliados até bandados.
PPbtx	222	Xisto com granada, estaurolita e/ou cianita, cinza a esverdeada, avermelhada quando alterada, granulação média a grossa. Metamorfismo fácies anfibolito.
PPbtq	*	Quartzito micáceo com magnetita e cianita, cinza a esbranquiçado, granulação média a grossa, friável ou localmente recristalizados. Metamorfismo fácies anfibolito.
PP3_ gamma_ 4pc	322	Muscovita leucogranito, biotita-muscovita granito e biotita granito, subordinadamente muscovita-leucoquartzomonzonito e muscovita tonalito, cinza-claro e creme, com tonalidade rosada, geralmente de granulação média, com porções pegmatóides, calcioalcalino de alto K, peraluminosos. (1974-1929 Ma, Rb-Sr).
PP3a	212	Metarenito cinza-claro a cinza-esbranquiçado, cinza-médio e creme, de granulação fina a média, impuro, feldspático, bem selecionado, com estratificação cruzada. Intercalação de leitos milimétricos a centimétricos escuros concentrando minerais metálicos e outros mais claros, quartzosos, e níveis conglomeráticos. (<2150 Ma U-Pb >1947 Ma Rb-Sr)
PP2_ gamma_ chi	311	Charnockitos Iguaí: Charnockitos foliados.
PP23jch	*	Charnockito, cinza-claro esverdeado, com tonalidade rosada, de granulação fina a média, retrometamorfizado. 2.096±3 Ma e 2.044±1 Ma, U-Pb SHRIMP.
A4PP2t	211	(Hornblenda)-biotita ortognaisse sienogranito a tonalítico e níveis de anfibolito e biotitito, em geral miloníticos (2674 Ma, Rb-Sr) e hornblenda-biotita ortognaisse migmatítico (2124 Ma, U-Pb)
A4PP2tq	221	Quartzito e formação ferrífera bandada.
PP1ag	311	Filito, metassiltito, metagrauvaca em intercalações, de bandas milimétricas a centimétricas, rítmicas, de tons cinza-esverdeado a verde-claro e cinza verde-escuro. Subordinadamente, lentes de metarenito feldspático fino a médio e de metarenito conglomerático. Metamorfismo da fácies xisto-verde. Idade média <2.500 Ma, Sm/Nd, TDM.
PP1am	212	Micaxisto, em alguns casos filitoso, de cor cinza a cinza-esverdeado ou verde, de granulação fina a média, por vezes grossa, ocasionalmente com magnetita; micaxisto com nódulos ou porfiroblastos de cordierita, cinza-escuro, algumas vezes esverdeado; micaxisto gnaissificado, com segregações centimétricas quartzo leitoso, pegmatito e quartzo-feldspática, concordantes (neossomas, idade Rb/Sr 2,0 Ga).

PP1amhfs	*	Rochas que apresentam caráter nodulosos, de coloração cinza-escuro, a cordierita e silimanita. Idades: 2.525±80 Ma, Pb-Pb; <2.500 Ma, TDM.
A4PP2t	211	(Hornblenda)-biotita ortognaisse sienogranitico a tonalítico e níveis de anfibolito e biotitito, em geral miloníticos (2674 Ma, Rb-Sr) e hornblenda-biotita ortognaisse migmatítico (2124 Ma, U-Pb)
A4grnc	321	Granitos de Nova Canaã: granito cinza, de granulação grossa a muito grossa, por vezes augen, com pórfiros euédricos de tamanhos variados de plagioclásio e microclina pertítica, imersos numa matriz media. Composto por quartzo, plagioclásio, hornblenda, biotita, minerais opacos, zircão e apatita.
A4gna	233	Ortognaisses de Acaraci: Ortognaisses porfiríticos granodioríticos a tonalíticos, por vezes migmatizado, cinza-claros, de granulação média a grossa, granulitizados e extensivamente reequilibrados para a fácies anfibolito, augen gnaisses
A4ii	133	Ortognaisses: ortognaisses granodiorítico, monzogranítico, tonalítico e monzonítico, calcialcalinos normais, com níveis de metagabronorito e restos de supracrustais
A34jc3	221	Hornblenda gnaisse enderbito a charnockito granulíticos, cinza-rosado, cinza-claro e creme-acinzentada, de granulação média a grossa, com agregados de minerais máficos em flocos alongados, alcalino, retrometamorfizados na fácies anfibolito
A4jc3q	111	Quartzito, cinza-claro a esverdeado, zonas de intenso cisalhamento, com cianita azul, andaluzita e silimanita subordinada. 2660±70 Ma Pb-Pb. Idade máxima de 2800 Ma, método relações de campo.
A4jo	122	Biotita-hornblenda gnaisse charnockito granulítico, retrometamorfizado na fácies anfibolito, cinza-claro a cinza-rosado, calcialcalino de baixo K, e em geral, com granada. Em raros locais com porções castanho-esverdeadas, variando de gnaisses charnoenderbito a enderbito, preservando a fácies granulito, de granulação média, por vezes fina a grossa.
A4jom	321	Biotita charnockito a charnoenderbito granulítico, mobilizado, cinza-claro a rosado, de granulação média, e em geral, com estruturas schlieren e nebulítica. Idade máxima de 2800 Ma e mínima de 2500 Ma, método relações de campo.
A4jhch	133	Hornblenda charnockito granulítico, por vezes com faialita, retrometamorfizado na fácies anfibolito, localmente com estruturas nebulítica e schlieren.
A4_ lambda_c	323	Indiviso (ferro-hastingsita)-biotita augengnaisse granítico e ortognaisse granítico alcalino, com porfiroclastos de microclina pertítica e de plagioclásio albítico. Tetonofácies fitada com porfiroclastos de microclina pertítica e de plagioclásio albítico. 2.696±5 Ma, U-Pb.
A4_ lambda_ag	332	Monzogranito predominante, granodiorito e tonalito, calcialcalinos de alto K. Cor cinza claro a rosado, granulação média a grossa, porfiríticos com cristais idiomórficos aleatórios. Tectonofácies com milonitos e porfiroclástos de feldspato com até 5 cm, nos termos augengnaisse. 2.696+8 Ma, U-Pb.
A4_ eta_mp	*	Metagranodiorito a metagranito, com biotita, granulação fina a média, por vezes porfiríticos, de cor cinza-rosada e cinza-esbranquiçada de intemperismo, calcioalcalino de médio a alto K, metaluminoso. Contatos intrusivos e por vezes transicionais, com os ortognaisses TTG. 3.161±35 Ma, Pb-Pb e 2845 Ma, U-Pb.
APmu	222	Tremolititos/actinolitos e serpentinitos.
A34gb	111	Metagabronorito e metagabro, verde-escuro a preto, de granulação fina a média. Serpentinito, metaperidotito e hiperstênio-quartzito subordinado

A34gbd	*	Metagabro-metabásico.
A34gub	111	Serpentinito a antofilita-serpentinito, tremolita-actinolita, metagabronorito e anfibolitos subordinados.
A34jc3	*	Charnockito retrometamorfizado à facies anfibolito (2660 Ma Pb-Pb).
A34jgch	*	(hyperstênio, hornblenda, biotita) Ortognaisse granulitizados charnockitícos, de cor cinza-esverdeado, bandados centimétrica a decimétricamente e com porfiroclastos de mesopertita esparsos. Presença pouco frequente de níveis de granadas intrafoliais. Granulação fina a média. Calcialcalino normal.Níveis restos de rochas supracrustais (A34jsp).
A34jg	133	(hyperstênio, hornblenda, biotita) Ortognaisse granulitizados charnockitícos a enderbíticos, reequilibrados para a facies anfibolito, de cor cinza-esverdeado, bandados centimétrica a decimétricamente e com porfiroclastos de mesopertita esparsos. Presença pouco frequente de níveis de granadas intrafoliais. Granulação fina a média.
A34jch	131	Enderbito a charnockito granulítico, bandados ou foliados, de granulação grossa, verde acinzentada. Com pórfiros centimétricos de feldspatos imersos numa matriz fina a média. Compostos de quartzo, mesopertita, microclina pertítica, plagioclásio e ortopiroxênio, além de hornblenda, clinopiroxênio, biotita, minerais opacos e zircão.
A34jsp	123	Granulitos básicos, Granulitos quartzo-feldspáticos, Cherts/Quartzitos, Grafititos, Formações Ferríferas Bandadas, Granulitos Alumino-Magnesianos/ Kinzigíticos e Rochas Máficas-Ultramáficas.
A23cj	211	Metaultramáfica, anfibolito e metabásica (toleítico). 3,3Ga, TDM Sm-Nd.
A23cjb	111	Mármore, quartzito e calcissilicática, subordinadamente xisto grafitoso, rochas quartzo-turmaliníferas, formações ferríferas bandadas, vulcanoclástica e xisto granatífero, por vezes, com estaurolita e cianita.
A23got	211	Ortognaisse tonalítico, de granulação média a grossa, por vezes com porfiroclastos de plagioclásio, parcialmente migmatizado, exibindo estruturas schlieren e nebulítica e com enclaves de anfibolito. 3,19 a 3,36 Ga, Pb-Pb.
A23gotb	222	Metaultrabásica e metabásica xistificadas e talcificadas, formações ferríferas bandadas, calcissilicáticas e paragnaisse na zona da estaurolita, não individualizados.
A23go	211	Ortognaisse migmatítico a migmatito, tonalítico-trondjemítico-granodiorítico, geralmente com estruturas estromatítica, dobrada e dictionítica e com restos de rochas supracrustais. 3,28 a 3,39 Ga, Pb-Pb.
A23gob	331	Metaultrabásica e metabásica xistificadas e talcificadas, formações ferríferas bandadas, quartzito e calcissilicáticas e mármore .
* Unidades geológicas não identificadas nos mapas radiométricos.		

Tabela 4: - Correlação entre unidades gamaespectrométricas (Anexo 2) e geológicas (Anexo 3).

Arcabouço magnético-estrutural

Para conceber o arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, inicialmente os dados do campo magnético anômalo (CMA, Figura 17 A) foram reduzidos ao polo (CMA-RTP, Figura 17 B). Um filtro de continuação ascendente foi aplicado aos dados da Figura 17 B para os seguintes níveis: 200m (CMA-RTP-200m, Figura 18 A), 500m (CMA-RTP-500m, Figura 18 B), 1000m (CMA-RTP-1000m, Figura 18 C), 2000m (CMA-RTP-2000m, Figura 18 D), com o objetivo de verificar a propagação das estruturas em profundidade e atenuar os sinais de fontes rasas e ruídos.

Após vários testes, concluímos que a Inclinação do Sinal Analítico (ISA-RTP), para diversos níveis de continuação para cima (Figura 19), se mostrou o método de realce mais apropriado para a concepção do arcabouço magnético-estrutural. Para tanto foram selecionados os mapas da Figura 19 cujos resultados são mostrados na Figura 20, em correspondência às principais unidades tectônicas que envolvem a área de estudo.

O mapa do arcabouço estrutural da Figura 20 mostra os lineamentos magnéticos, além de realçar as principais feições tectônicas que se propagam em profundidade como os limites de blocos paleoproterozóicos (Blocos Gavião e Jequié), da zona de deformação brasiliana (linha vermelha indicada na Figura 20) e de outras de cisalhamento com orientação norte-sul, internas ao Bloco Jequié e de estruturas paralelas rúpteis, preenchidas com rochas intrusivas básicas, de direção NE na referida imagem. Na Figura 21 temos a sobreposição das estruturas magnéticas ao mapa ternário, esse procedimento nos permitiu observar aspectos importantes, tais como a variação de respostas radiométricas associadas lineamentos magnéticos, e por vezes, limites radiométricos e magnéticos combinados.

O Anexo 3 é resultado da integração dos dados magnéticos e gamaespectrometricos na área de estudo, no qual foram observadas algumas coincidências entre as estruturas geofísicas e os contatos litológicos. Como exemplo citamos a zona de deformação brasiliana (linha vermelha), que apresenta tanto nos mapas radiométricos como magnéticos uma expressão muito bem delineada.

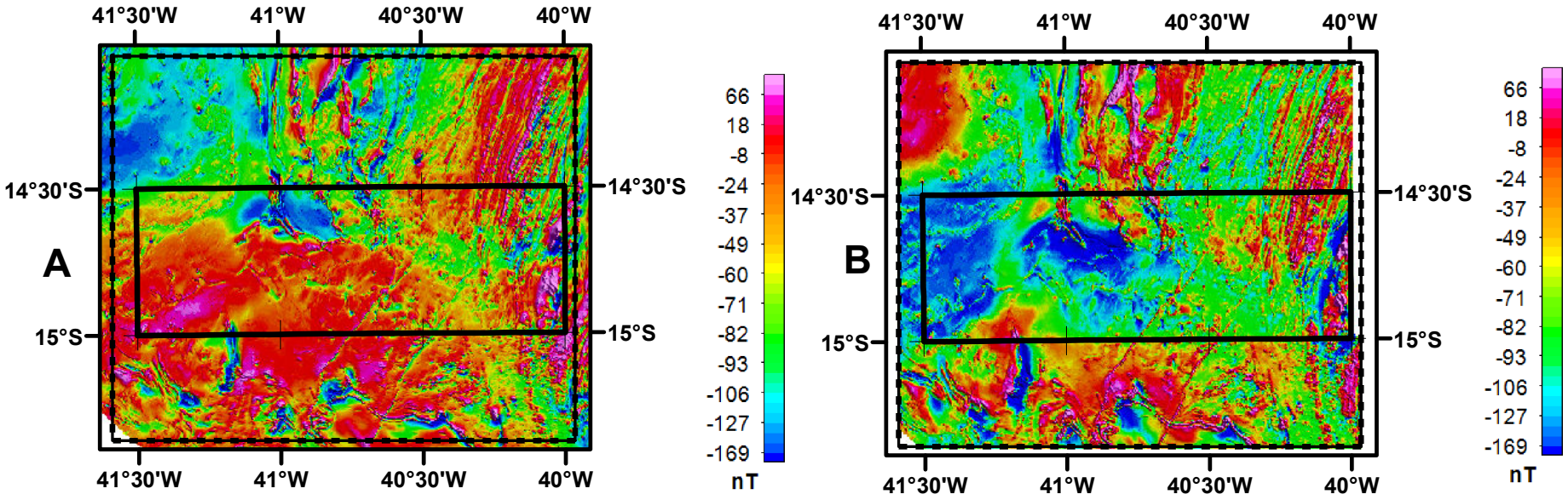


Figura 17 - A) Mapa do campo magnético anômalo (CMA) e B) Mapa de campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP), com indicação da área de estudo (polígono em preto).

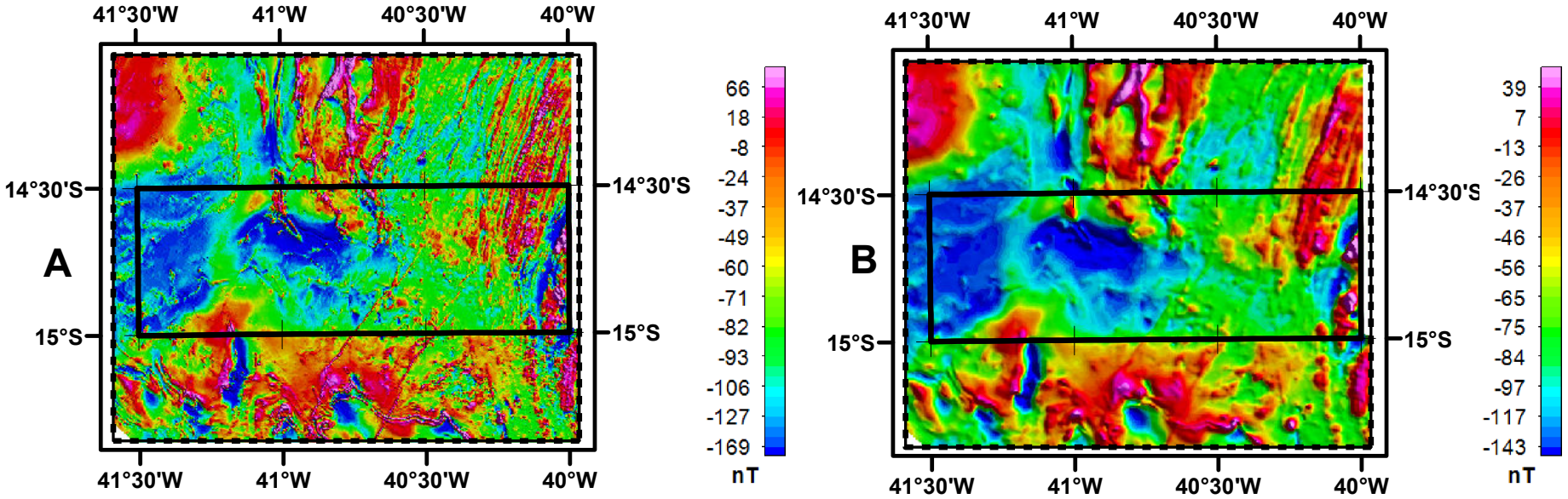


Figura 18 - Mapas magnéticos da área de estudo continuados para cima. A) CMA-200m, B) CMA-RTP-500m.

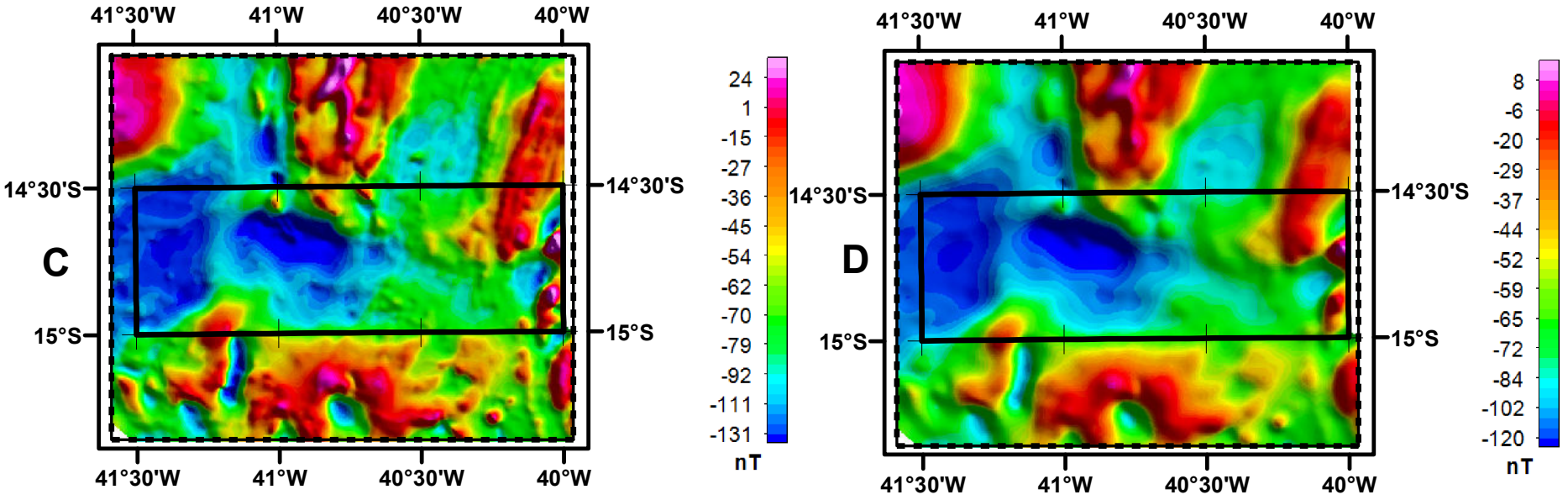


Figura 18 - Mapas magnéticos da área de estudo continuados para cima: C) CMA-RTP-1000m, D) CMA-RTP-2000m.

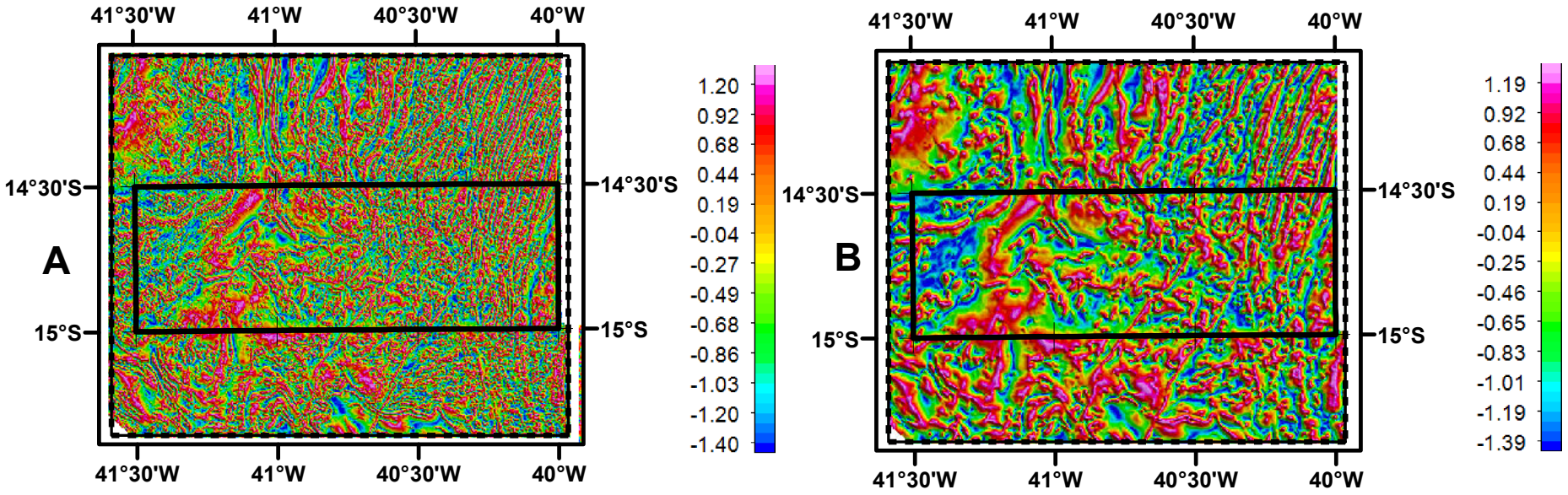


Figura 19 - Mapas de realce de anomalias aplicados aos dados da Figura 18: A) ISA-200m, B) ISA-500m.

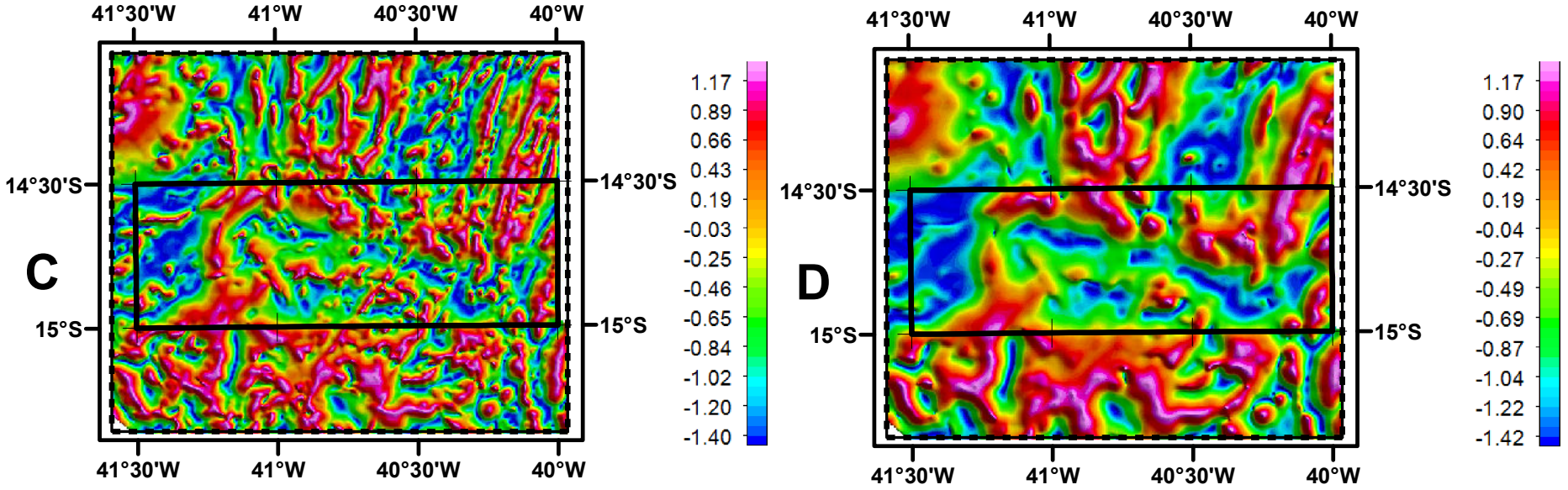


Figura 19 - Mapas de realce de anomalias aplicados aos dados da Figura 18: C) ISA-1000m, D) ISA-2000m.

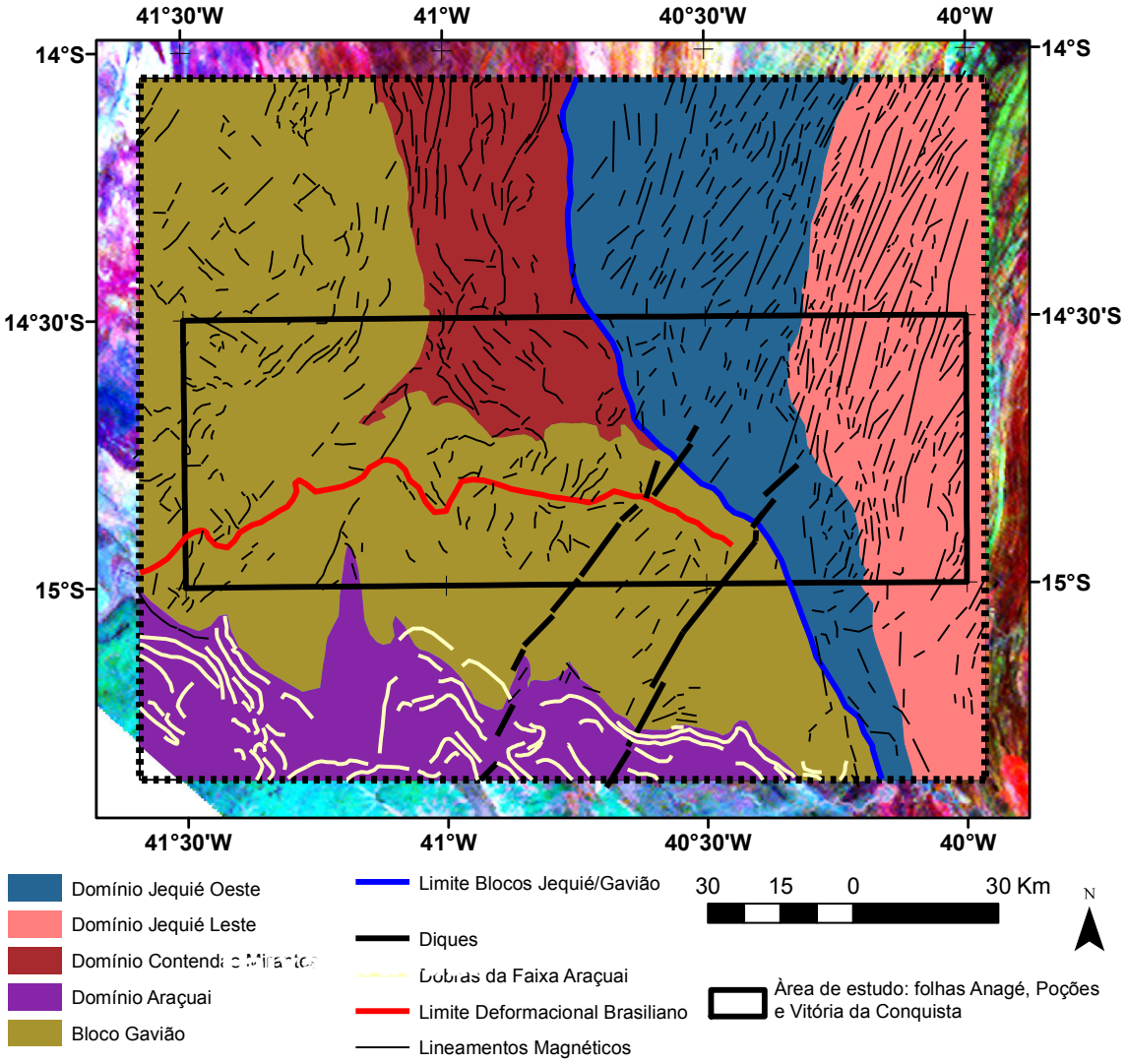


Figura 20 - Mapa de interpretação magnético-estrutural da área de estudo, seguindo uma aproximação do modelo de Alkmim et al. (2006).

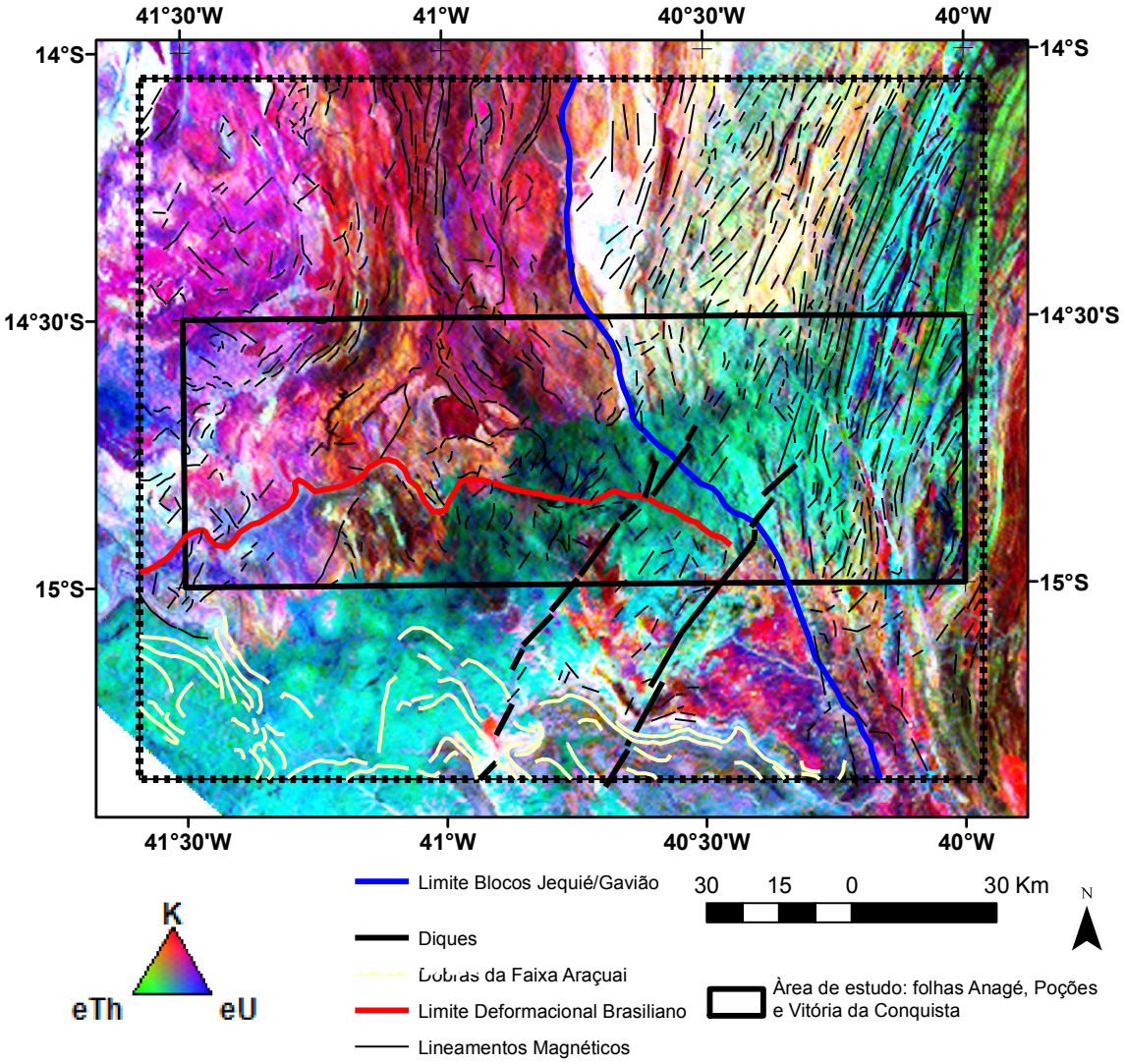


Figura 21 - Mapa de composição ternária da área de estudo e adjacências com sobreposição da interpretação magnético-estrutural da Figura 20

CONCLUSÃO

A análise dos dados e os resultados obtidos mostraram a eficácia da metodologia aplicada, comparada aos procedimentos convencionais de mapeamento geológico. A atualização dos mapas geológicos a partir dos mapas

litogeofísicos melhor definiu os limites das unidades geológicas. Apesar de seu potencial de aplicação na cartografia geológica, os mapas litogeofísicos devem ser acompanhados de verificações de campo, ao mesmo tempo em que podem ser empregados como referência para a amostragem. Uma contribuição ao conhecimento do arcabouço estrutural da área de estudo foi fornecida pelos dados magnéticos, através da utilização adequada das técnicas de realce de anomalias associadas ao filtro de redução ao polo, com ênfase para a inclinação do sinal analítico, que norteou a concepção do arcabouço magnético-estrutural. Desta forma foi possível delinear as estruturas geológicas, tanto em profundidade como próximas a superfície. As Figuras 20 e 21 sintetizaram a interpretação dos resultados obtidos, que em boa parte foram validadas em campo. Dentre as hipóteses formuladas, se destacam a continuidade do lineamento Contendas-Jacobina, o delineamento do limite de deformação brasiliana, além da identificação de grupos de litotipos que compõem o Cráton do São Francisco, em sua porção estudada no presente trabalho.

A técnica de continuação ascendente do campo magnético permitiu reconhecer anomalias similares às produzidas por dados gravimétricos, Corrêa Gomes et al. (1996), na porção meridional da área de estudo, sugestivas de espessamento crustal, o que nos levou a admitir a projeção do Cráton do São Francisco para sul, em comparação à proposta de Alkmim et al. (2006). Os dados gravimétricos e magnéticos sugerem que ainda mais a sul, as anomalias geofísicas podem refletir um assoalho de fundo oceânico pretérito, a julgar pelas elevadas intensidades magnéticas e altos gravimétricos, reflexo de litologias alta densidade. Entretanto, somente a partir de levantamentos gravimétricos de mais detalhe, tais hipóteses podem ser discutidas com maior consistência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Pesquisa e Recurso Minerais, CPRM, pela permissão de uso e publicação dos dados aerogeofisicos utilizados nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, B.N.P.; SHAW, R.K. Comment on an analytic signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies by Shuang Qin. ***Geophysical Prospecting***, v.44, p.911-914, 1996.

ALIBERT, C.; BARBOSA, J.S.F. Âges U-Pb determines à la “SHRIMP” sur des zircons du Complex de Jequié, Cráton de São Francisco, Bahia, Brésil. In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, 14., 1992, Toulouse, France. ***Abstracts***... Toulouse: Société Géologique de France, 1992. p.4.

ALKMIM, F.F. et al. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. ***Precambrian Research***, v.149, p.43-64, 2006.

ALMEIDA, T. et al. Modelo exploratório para a prospecção de depósitos de Zn-Pb utilizando dados de alta resolução espacial e espectral do sensor GEOSCAN MKII: estudo de caso no depósito Salobro, Porteirinha (MG). ***Revista Brasileira de Geociências***, v.33, n.2, p.5-16, 2003. Suplemento.

AMADI, A. N. et al. Radiometric Survey as a Useful Tool in Geological Mapping of Western Nigeria. ***Journal Of Geography And Geology***, Ontário, v. 4, n. 1, p.242-249, fev. 2012.

BARBOSA, J.S.F. ***Constitution lithologique et metamorphique de la region granulitique du sud de Bahia - Bresil***. 1986. 401f. Tese (Doutorado) - Académie de Paris, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. As Placas Arqueanas do Embasamento do Cráton e sua Colisão Paleoproterozóica. Uma síntese. In: WORKSHOP SOBRE O ORÓGENO ITABUNA-SALVADOR-CURAÇÁ, 1., 2001, Salvador. ***Geologia e o Guia de excursão***... Salvador: CBPM, 2001. p.9-28.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ P. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. A synthesis. ***Anais da Academia Brasileira de Ciências***. v.74, n.2, p.343-359, 2002.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. ***Precambrian Research***, n.133, p.1-27, 2004.

BARBOSA, J.S.F. et al. Geologia do segmento sul do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá. In: WORKSHOP SOBRE O ORÓGENO ITABUNA-SALVADOR-CURAÇÁ, 1., 2001, Salvador. ***Geologia e o Guia de excursão***... Salvador: CBPM, 2001. p.49-70.

BARBOSA, J.S.F., SABATÉ, P., MARINHO, M.M. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. ***Revista Brasileira de Geociências***, v.33, n.1, p.3-6, 2003.

BASTOS-LEAL, L.R.B. ***Geocronologia U/Pb (SHRIMP), 207Pb/206Pb, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos Terrenos Granito-Greenstone do Bloco do Gavião: implicações para a evolução Arqueana e Paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil***. 1998. 178f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BECEGATO, V.A.; FERREIRA, F.J.F. . Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. ***Revista Brasileira de Geofísica***, v.23, n.4, p.371-405, 2005.

BONGIOLO, A.B.S.; SOUZA, J.; FERREIRA, F.J.F. GRAV_MAG_PRISMA: um programa em MATLAB/OCTAVE para geração de anomalias gravimétricas e magnéticas de corpos prismáticos. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 12., 2011, Rio de Janeiro. ***Proceedings***… Rio de Janeiro: SBGf, 2011. 1 CD-ROM.

BRIGGS, I.C. Machine contouring using minimum curvature. ***Geophysics***, v.39, n.1, p.39-48, 1974.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. ***Projeto Levantamento Aerogeofísico da área de Ruy Barbosa / Vitória da Conquista***. Salvador: Microsurvey, 2007. 13v. Convênio entre a CPRM e SICM/CBPM.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. ***Projeto Aerogeofísico Barra da Estiva / Tremedal***. Salvador: Microsurvey, 2008. 13v. Convênio entre a CPRM e SICM/CBPM.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. ***Projeto Levantamento Aerogeofísico da área Cândido Sales / Mascote***. Salvador: Microsurvey, 2009. 11v. Convênio entre a CPRM e SICM/CBPM.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. ***Projeto Levantamento Aerogeofísico da área de Ipirá - Ilhéus***. Salvador: Microsurvey, 2011. 11v. Convênio entre a CPRM e SICM/CBPM.

COOPER, G.R.J.; COWAN, D.R. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. ***Computers & Geociences***, n.32, p.1585-1591, 2006.

CORDELL, L.; GRAUCH, J.S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 52., 1985, Washington. ***Expanded Abstracts***…. Washington: SEG, 1985. p.246-247.

CORRÊA-GOMES, L.C. et al. (Ed.) ***Província de Diques Máficos do Estado da Bahia***: mapa, estágio atual do conhecimento e evolução temporal. Salvador: SGM, 1996. 144p.

CRÓSTA, A.P. et al. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. ***International Journal of Remote Sensing***, v.24, n.21, p.4233-4240, 2003.

CUNHA, J.C. et al. Idade dos Greenstone belts e dos Terrenos TTGs Associados da Região do Cráton do São Francisco (Bahia, Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. ***Anais***... Salvador: SBG, 1996. v.1, p.62-65.

DEBEGLIA, N.; CORPEL J. Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. ***Geophysics***, v.62, p.87-96, 1997.

EVJEN, H.M. The place of vertical gradient in gravitacional interpretations. ***Geophysics***, n.1, p.127-136, 1936.

FERREIRA, F.J.F. et al. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 4., 2010, Brasília. ***Anais.***.. Brasília: SBGf, 2010. p.1-6.

FERREIRA, F.J.F. et al. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. Geophysics, v.78, p.J33-J41, 2013.

GUNN, P.J. Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review. ***Journal of Australian Geology & Geophysics***, v.17, n.2, p.105-113, 1997.

HANEY, M. et al. Envelopes of 2D and 3D magnetric data and their relationship to the analytical signal. Preliminar results. In: ANNUAL INTERNATIONAL SEG MEETING, 73, 2003. ***Expanded Abstracts***… p.592-595. Disponível em: <http://geophysics.mines.edu/cgem/pdf%20files/Haney%20Johnston%20Li%20Nabighian%20SEG2003.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

HSU, S.K.; SIBUET, J.C.; SHYU C.T. High-resolution detection of geological boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytical signal technique. ***Geophysics***, v.61, p.373-386, 1996.

ISLES, D.J.; RANKIN, L.R. ***Geological Interpretation of Aeromagnetic Data***. Perth: Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013.

LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. ***Geophysics***, v.71, n.2, p.L13-L16, 2006.

MACEDO, E. P. ***Petrografia, Litogeoquímica, Metamorfismo e Evolução Geotectônica dos Granulitos das Regiões de Amargosa, Brejões, Santa Inês, Jaguaquara e Itamari, Bahia, Brasil***. 2006. 336 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

MAIA, M.R.; LAGE, C.S. O Estudo Geomorfológico Como Subsidio Ao Planejamento Territorial No Município De Vitória Da Conquista - Bahia –Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 2005, São Paulo. ***Anais***... . São Paulo: USP, 2005. p.8444-8455.

MARINHO, M.M. ***La Séquence Volcano-Sédimentaire de Contendas Mirante et la Bordure Occidentalle du Bloc de Jequíe (Cráton du São Francisco, Brésil)***: un exemple de transition Archéen - Protérozoique. 1991. 388f. Tese (Doutorado) - Université Blaise Pascal, Clermond Ferrand, França.

MARINHO, M.M.; SABATÉ, P. The Contendas–Mirante volcano-sedimentary sequence and its granitic-migmatitic basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGC EVOLUTION AND METALLOGENESIS, 1982, Salvador. ***Excursion Guide***... Salvador: SBG, 1982. p.139-184.

MARINHO, M.M. et al. Geologia e potencialidade mineral da borda nordeste da faixa Contendas-Mirante e do sill do rio Jacaré, Bahia. Salvador: CBPM, 1994. 17 p. (Arquivos Abertos, 6).

MARTIN, H.; SABATÉ, P. Características geoquímicas do Maciço de Sete Voltas no Cinturão Contendas-Mirante (Bahia, Brasil): implicações na evolução petrogenética de um segmento arqueano do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. ***Boletim de Resumos***... Natal: SBG, 1990. p.188-189.

MASCARENHAS, J.F.; SILVA, E.F.A. ***Greenstone Belt de Mundo Novo***: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. Salvador: CBPM, 1994. 32p. (Arquivos Abertos, 5).

MASCARENHAS, J.F. et al. ***Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo***. Salvador: CBPM, 1998. 58p. (Arquivos Abertos, 13).

MILLER, H.G.; SINGH, V. Potential field tilt - a new concept for location of potential field sources. ***Journal of Applied Geophysics***, n.32, p.213-217, 1994.

MILLIGAN, P.R.; GUNN, P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. ***AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics***, v.17, n.2, p.63-75, 1997.

NABIGHIAN, M.N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation. ***Geophysics***, n.37, p.507-517, 1972.

NABIGHIAN, M.N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. ***Geophysics***, v.39, n.1, p.85-92, 1974.

PEDROSA-SOARES, A.C. et al. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. ***Geonomos***, v.15, n.1, p.1-16, 2007.

PHILLIPS, J.D. ***Potential-Field Geophysical Software for the PC***: version 2.2. Washington: USGS, 1997. p.97-725. USGS open-File Report.

ROEST, W.R.J.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. ***Geophysics***, n.57, p.116-125, 1992.

SALEM, A. et al. Analytic signal approach and its applicability in environmental magnetic investigations. ***Journal of Applied Geophysics***, v.49, p.231-244, 2002.

SILVA, A.M. et al. Application of airborne geophysical data to mineral exploration in the uneven exposed terrains of the Rio das Velhas Greenstone Belt. ***Revista Brasileira de Geociências***, v.33, n.2, p.17-28, 2003. Suplemento.

SOUZA FILHO, C.R.; CRÓSTA, A.P. Geotecnologias aplicadas à geologia. ***Revista Brasileira de Geociências***, v.33, n.2, p.1-4, 2003. Suplemento.

SOUZA, J.D. et al. ***Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia***: Sistema de Informações Geográficas-SIG e Mapas. Versão 1.1. Salvador: CPRM, 2003. 1 CD-ROM.

THURSTON, J.B.; SMITH, R.S. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using SPI (TM) method. ***Geophysics***, v.62, p.807-813, 1997.

VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, J.D.; GREEN, C.M. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. ***The Leading Edge***, v.23, n.2, p.116-119, 2004.

WILSON, N. ***Combined Sm-Nd, Pb/Pb and Rb-Sr geochronology and isotope geochemistry in polymetamorphic precambrian terrains***: examples from Bahia Brazil and Channel Island U.K. 1987. 150f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Oxford, Reino Unico, 1987.

WINJS, C.; PEREZ, C.; KOWALCZYK, P. Theta Map: edge detection in magnetic data. ***Geophysics***, v.70, p.L39-L43, 2005.

5 CONCLUSÃO

Considerando que a maioria dos métodos de realce utilizados depende da latitude magnética, sua aplicação em modelos sintéticos 3-D mostrou que melhores respostas são obtidas quando os dados são previamente reduzidos ao polo, orientando desta forma o processamento dos dados reais.

Foi possível comprovar a eficácia do método da inclinação do sinal analítico (ISA), o qual equaliza as amplitudes através de máximos e os posiciona diretamente sobre eixos das fontes, sendo praticamente independente de suas profundidades. Em função destes atributos o método se mostrou eficiente no traçado de lineamentos, facilitando a interpretação qualitativa.

A aplicação de tal método à base de dados continuada para cima para diversas altitudes proporcionou o traçado da infraestrutura magnética da área de estudo, a qual guarda significativa semelhança com padrão de anomalia gravimétrica associada à borda do assoalho da Faixa Araçuai.

A partir da análise das composições ternárias foi possível delimitar, mesmo com forte influência da cobertura cenozoica torífera, o limite dos blocos Gavião e Jequié.

Foi possível verificar tanto nos dados magnéticos como gamaespectrométricos toda extensão das zonas de deformação brasiliana área de estudo.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, B.N.P., SHAW, R.K. Comment on an analytic signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies by Shuang Qin. ***Geophysical Prospecting***, v.44, p.911-914, 1996.

ALIBERT, C.; BARBOSA, J.S.F. Âges U-Pb determines à la "SHRIMP" sur des zircons du Complex de Jequié, Cráton de São Francisco, Bahia, Brésil. In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, 14., 1992, Toulouse, France. ***Abstracts***... Toulouse: Société Géologique de France, 1992. p.4.

ALKMIM, F.F. et al. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. ***Precambrian Research***, v.149, p.43-64, 2006.

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. ***Revista Brasileira de Geociências***, São Paulo, v.7, n.4, p.349-361, 1977

BARBOSA, J.S.F. ***Constitution lithologique et metamorphique de la region granulitique du sud de Bahia - Bresil***. 1986. 401f. Tese (Doutorado) - Académie de Paris, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. As Placas Arqueanas do Embasamento do Cráton e sua Colisão Paleoproterozóica. Uma síntese. In: WORKSHOP SOBRE O ORÓGENO ITABUNA-SALVADOR-CURAÇÁ, 1., 2001, Salvador. ***Geologia e o Guia de excursão***... Salvador: CBPM, 2001. p.9-28.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ P. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. A synthesis. ***Anais da Academia Brasileira de Ciências***. v.74, n.2, p.343-359, 2002.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. ***Precambrian Research***, n.133, p.1-27, 2004.

BARBOSA, J.S.F. et al. Geologia do segmento sul do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá. In: WORKSHOP SOBRE O ORÓGENO ITABUNA-SALVADOR-CURAÇÁ, 1., 2001, Salvador. ***Geologia e o Guia de excursão***... Salvador: CBPM, 2001. p.49-70.

BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M.M. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. ***Revista Brasileira de Geociências***, v.33, n.1, p.3-6, 2003.

BARBOSA, J.S.F.; CRUZ, S.C.P.; SOUZA,J.S. Terrenos Metamórficos do Embasamento. In: BARBOSA, J.S.F; MASCARENHAS, J.F.; CORRÊA-GOMES, L.C.; DOMINGUEZ, J.M.L.; SOUZA, J.S. (Ed). ***Geologia da Bahia***: pesquisa e atualização. Salvador: CPBM; UFBA, 2012. v.1, p.101-102.

BASTOS-LEAL, L.R.B. ***Geocronologia U/Pb (SHRIMP), 207Pb/206Pb, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos Terrenos Granito-Greenstone do Bloco do Gavião***: implicações para a evolução Arqueana e Paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil. 1998. 178f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BLUM, M.L.B. ***Processamento e Interpretação de dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional a à Prospecção Mineral***. 1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

BRIGGS, I.C. Machine contouring using minimum curvature. ***Geophysics***, v.39, n.1, p.39-48, 1974.

COOPER, G.R.J.; COWAN, D.R. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. ***Computers & Geociences***, n.32, p.1585-1591, 2006.

CORDANI, U.G. ***Evolução geológica pré-cambriana da faixa costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória***. 1973. 98f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

CORDANI, U.G. et al. Idades radiométricas das rochas alcalinas do Sul do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. ***Anais***... Porto Alegre: SBG, 1974. v.6, p.253-259.

CORDANI, U.G.; SATO, K.; MARINHO, M.M. The geologic evolution of the ancient granite-grenstone terrane of central-sourthen Bahia, Brazil. ***Precambrian Research***, v.27, p.187-213, 1985.

CORDELL, L.; GRAUCH, J.S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 52., 1985, Washington. ***Expanded Abstracts***…. Washington: SEG, 1985. p.246-247.

CORRÊA-GOMES, L.C. et al. (Ed.) ***Província de Diques Máficos do Estado da Bahia***: mapa, estágio atual do conhecimento e evolução temporal. Salvador: SGM, 1996. 144p.

CUNHA, J.C. et al. Idade dos Greenstone belts e dos Terrenos TTGs Associados da Região do Cráton do São Francisco (Bahia, Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. ***Anais***... Salvador: SBG, 1996. v.1, p.62-65.

CRUZ, S.C. ***A interação tectônica entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí***. 2004. 214f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - Escolas Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.

CRUZ, S.C.P. et al. Orógeno Araçuaí. In: BARBOSA, J.S.F. et al. (Ed.). ***Geologia da Bahia***: pesquisa e atualização. Salvador: CPBM; UFBA, 2012. v.2, p.131-178.

DEBEGLIA, N.; CORPEL J. Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. ***Geophysics***, v.62, p.87-96, 1997.

EVJEN, H.M. The place of vertical gradient in gravitacional interpretations. ***Geophysics***, n.1, p.127-136, 1936.

FERREIRA, F.J.F. et al. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 4., 2010, Brasília. ***Anais***... Brasília: SBGf, 2010. p.1-6.

FERREIRA, F.J.F. et al. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. ***Geophysics***, v.78, p.J33-J41, 2013.

FUJIMORI, S. ***Rochas alcalinas do sul do Estado da Bahia***. Rio de Janeiro: DNPM, 1967. 11p. (Série Notas Preliminares e Estudos, 141).

GOMES, R.A.A.D.; MOTTA, A.C. ***Projeto levantamento gravimétrico no estado da Bahia***: relatório final. Texto e mapas. Salvador: CPRM, 1980. 4v.

GUNN, P.J. Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review. ***Journal of Australian Geology & Geophysics***, v.17, n.2, p.105-113, 1997.

GUNN, P.J.; MILLIGAN, P.R. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. ***Journal of Australian Geology & Geophysics***, v.17, n.2, p.63-75, 1997.

HANEY, M. et al. Envelopes of 2D and 3D magnetric data and their relationship to the analytical signal. Preliminar results. In: ANNUAL INTERNATIONAL SEG MEETING, 73, 2003. ***Expanded Abstracts***… p.592-595. Disponível em: <http://geophysics.mines.edu/cgem/pdf%20files/Haney%20Johnston%20Li%20Nabighian%20SEG2003.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

HSU, S.K.; SIBUET, J.C.; SHYU C.T. High-resolution detection of geological boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytical signal technique. **Geophysics**, v.61, p.373-386, 1996.

ISLES, D.J.; RANKIN, L.R. ***Geological Interpretation of Aeromagnetic Data***. Perth: Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. ***Geofisica de exploração***. Tradução de Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438 p.

LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. **Geophysics**, v.71, n.2, p.L13-L16, 2006.

MACEDO, E. P. **Petrografia, Litogeoquímica, Metamorfismo e Evolução Geotectônica dos Granulitos das Regiões de Amargosa, Brejões, Santa Inês, Jaguaquara e Itamari, Bahia, Brasil**. 2006. 336 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

MAIA, M.R.; LAGE, C.S. O Estudo Geomorfológico Como Subsidio Ao Planejamento Territorial No Município De Vitória Da Conquista - Bahia –Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 2005, São Paulo. **Anais.**.. . São Paulo: USP, 2005. p.8444-8455.

MARINHO, M.M. ***La Séquence Volcano-Sédimentaire de Contendas Mirante et la Bordure Occidentalle du Bloc de Jequíe (Cráton du São Francisco, Brésil)***: un exemple de transition Archéen - Protérozoique. 1991. 388f. Tese (Doutorado) - Université Blaise Pascal, Clermond Ferrand, França.

MARINHO, M.M., SABATÉ, P. The Contendas–Mirante volcano-sedimentary sequence and its granitic-migmatitic basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGC EVOLUTION AND METALLOGENESIS, 1982, Salvador. ***Excursion Guide***... Salvador: SBG, 1982. p.139-184.

MARINHO, M.M. et al. ***Geologia e potencialidade mineral da borda nordeste da faixa Contendas-Mirante e do sill do rio Jacaré, Bahia***. Salvador: CBPM, 1994. 17 p. (Arquivos Abertos, 6).

MARTIN, H.; SABATÉ, P. Características geoquímicas do Maciço de Sete Voltas no Cinturão Contendas-Mirante (Bahia, Brasil): implicações na evolução petrogenética de um segmento arqueano do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. ***Boletim de Resumos***... Natal: SBG, 1990. p.188-189.

MARTIN, H. et al. Un segment de croute continentale d'age Archéean ancien (3.4 milliards d'années): le Massif de Sete Voltas (Bahia-Brésil). ***Comptes Rendus de l' Académie des Sciences***, n.313, Série II, p.531-538, 1991.

MASCARENHAS, J.F. A geologia do centro leste do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1973, Aracaju. ***Resumo das Comunicações***... Aracaju: SBG, 1973. p.35-66.

MASCARENHAS, J.F.; SILVA, E.F.A. ***Greenstone Belt de Mundo Novo***: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. Salvador: CBPM, 1994. 32p. (Arquivos Abertos, 5).

MASCARENHAS, J.F. et al. ***Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo***. Salvador: CBPM, 1998. 58p. (Arquivos Abertos, 13).

MILLER, H.G.; SINGH, V. Potential field tilt - a new concept for location of potential field sources. ***Journal of Applied Geophysics***, n.32, p.213-217, 1994.

MILLIGAN, P.R.; GUNN, P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. ***AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics***, v.17, n.2, p.63-75, 1997.

NABIGHIAN, M.N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation. ***Geophysics***, n.37, p.507-517, 1972.

NABIGHIAN, M.N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. ***Geophysics***, v.39, n.1, p.85-92, 1974.

NUTMAN, A.P.; CORDANI, U.G. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Archean gnaisses, São Francisco Cráton, Bahia. ***Precambrian Research***, v.63, n.3-4, p.179-188, 1993.

PEDREIRA, A.J.; SOUTO, P.G.; AZEVEDO, H. Metassedimentos do grupo Rio Pardo - Bahia - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., 1969, Salvador. ***Anais***... Salvador: SBG, 1969. p.87-99.

RIBEIRO, V.B.; MANTOVANI, M.S.M.; LOURO, V.H.A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações nomapeamento geológico. Terrae Didática, São Paulo, v.1, n.10, p.29-51, 2014.

ROEST, W.R.J.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. ***Geophysics***, n.57, p.116-125, 1992.

SALEM, A. et al. Analytic signal approach and its applicability in environmental magnetic investigations. ***Journal of Applied Geophysics***, v.49, p.231-244, 2002.

SANTOS PINTO, M.A. ***Le recyclage de la croûte continentale Archéene***: exemple du Bloc du Gavião - Bahia, Brésil. 1996. 193f. (Memoires de Geosciences - Rennes, 75). Tese (Doutorado) - l'Université de Rennes, Rennes, França.

SOUZA, J.D. et al. ***Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia***: Sistema de Informações Geográficas-SIG e Mapas. Versão 1.1. Salvador: CPRM, 2003. 1 CD-ROM.

SPECTOR, A.; GRANT, F.S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. ***Geophysics***, v.35, 2, p.293-302, 1970.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. ***Atributos climáticos do Estado da Bahia***. Salvador: SEI, 1998. 85p. (Série Estudos e Pesquisas, 38).

THURSTON, J.B.; SMITH, R.S. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using SPI (TM) method. ***Geophysics***, v.62, p.807-813, 1997.

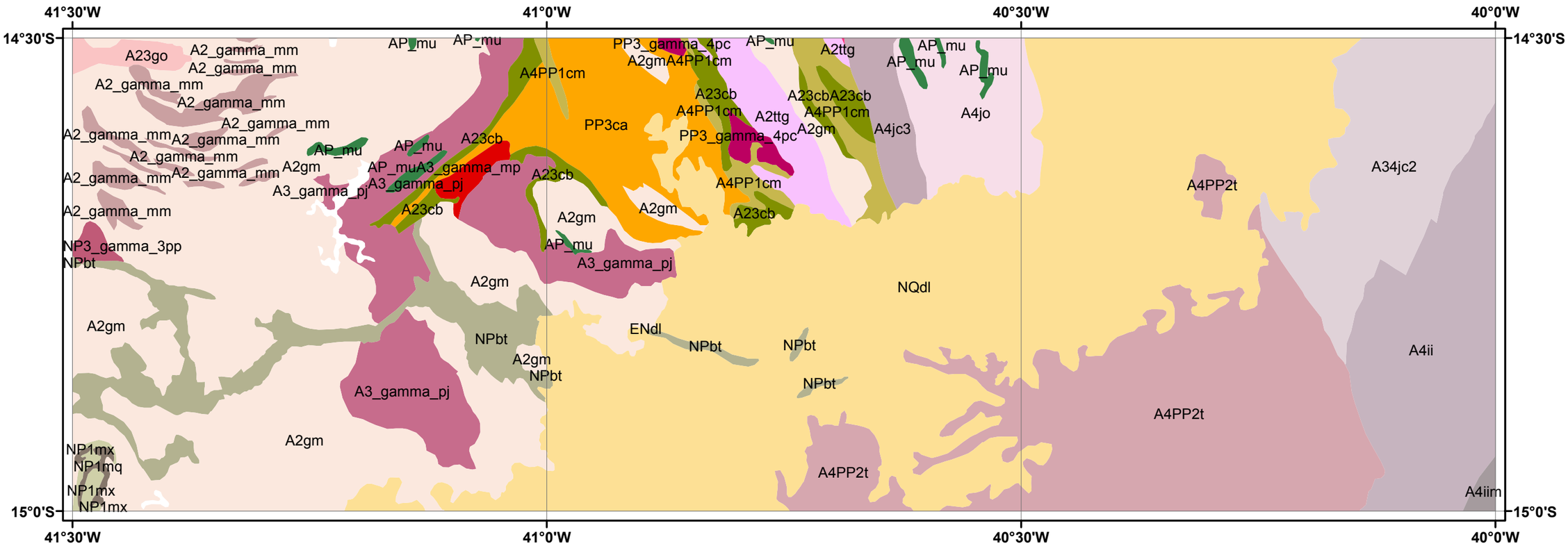
VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, J.D.; GREEN, C.M. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. ***The Leading Edge***, v.23, n.2, p.116-119, 2004.

WILSON, N. ***Combined Sm-Nd, Pb/Pb and Rb-Sr geochronology and isotope geochemistry in polymetamorphic precambrian terrains***: examples from Bahia Brazil and Channel Island U.K. 1987. 150f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Oxford, Reino Unico, 1987.

WINJS, C.; PEREZ, C.; KOWALCZYK, P. Theta Map: edge detection in magnetic data. ***Geophysics***, v.70, p.L39-L43, 2005.

ANEXOS

ANEXO1



Mapa geologico da área de estudo (SOUZA *ET AL,* 2003)

LEGENDA

Neógeno - Quaternário (1,75 - 0,01 Ma)
Formações Superficiais Cenozóicas

NQdl — Coberturas detrito-lateríticas: areia com níveis de argila e cascalho e crosta larerítica.

NEOPROTEROZÓICO

Toniano - Criogeniano (1000-650 Ma)

NPbt — Xistos do Bate Pé-Tremendal

Criogeniano (850-650 Ma)

Faixa de Dobramentos Araçuaí
Grupo Macaúbas

NP1mx — Quartzito às vezes com granada

NP1mq — Granada micaxisto, com níveis de quartzito/metarenito/metarcóseo.

PALEOPROTEROZÓICO

Orosiriano (2050-1800 Ma)
Granitóides Tardi a Pós-Tectônicos

PP3γ4pc — **Região de Iramaia e Contendas Mirante** (1974-1929 Rb-Sr)

Grupo Contendas Mirante

PP3ca — **Formação Areião:** (2150 Ma U-Pb, 1947 Ma Rb-Sr)

NEOARQUEANO - PALEOPROTEROZÓICO (Sideriano) (2800-2300 Ma)

A4PP1cm — **Formações Rio Gavião e Mirante:** filito e metagrauvaca; xisto localmente migmatizado (2012 Ma Rb-Sr) com intercalações de metabasalto e metandesito (2509-2490 Ma Pb-Pb) e metarcóseo.

Grupo Contendas Mirante

NEOARQUEANO - PALEOPROTEROZÓICO (Riaciano) (2800-2050 Ma)

Complexo Itapetinga

A4PP2t — (Hornblenda)-biotita ortognaisse e níveis de anfibolito e biotitito, em geral milonítico (2674 Ma Rb-Sr) e hornblenda-biotita ortognaisse migmatítico (2124 Ma U-Pb)

NEOARQUEANO (2800-2500 Ma)

A4iim — Ortognaisse granodiorítico, monzogranítico, tonalítico e monzonítico, calcioalcalinos normais. miloníticos.

A4ii — Ortoganisses granodioríticos, monzogranítico, tonalítico e monzonítico, calciolacalinos normais, com níveis de metagabronorito e restos de rochas supracrustais.

Complexo Jequié

A4jo — Biotita-hornblenda ortognaisse às vezes migmatizado.

MESOARQUEANO - NEOARQUEANO (3200-2500 Ma)

Complexo Jequié

A34jc2 — Enderbito e charnockito (baixo Ti) (2810 Ma U-Pb) e hornblenda Enderbito a charnockito (alto Ti) (2683 Ma U-Pb, 2047 Ma U-Pb)

MESOARQUEANO (3200-2800 Ma)

Granitóides

A3γmp — **Malhada das Pedras** (2839 Ma Rb-Sr) e **Serra dos Pombos** (2845 Ma U-Pb) : biotita metagranodiorito porfirítico.

A3γpj — **Anajé e Lagoa do Morro:** ortoganisse granodiorito Porfiroclástico (3184 Ma U-Pb 2025 Ma Pb-Pb)

PALEOARQUEANO - PALEOPROTEROZÓICO (3600-1600 Ma)

APμ — Corpos Máficos-Ultramáficos Indiferenciados

PALEOARQUEANO - MESOARQUEANO (3600-2800 Ma)

Grupo Contendas Mirante

A23cb — Formações Barreiro d'Anta e Jurema-Travessão: rocha metapiroclástica ácida, metagrauvaca, metapelito, metachert, formação ferrífera e metarriolito subvulcânico (3304 Ma U-Pb 3440-3330 Ma TDM); metavulcanitos máfico e félsico (3010 Ma Pb-Pb 3300/3000-2900 Ma TDM)

PALEOARQUEANO (3600-3200 Ma)

A2γmm — Granitóide Mariana: ortognaisse monzogranítico a tonalítico (3259 Ma Pb-Pb).

Complexo Gavião

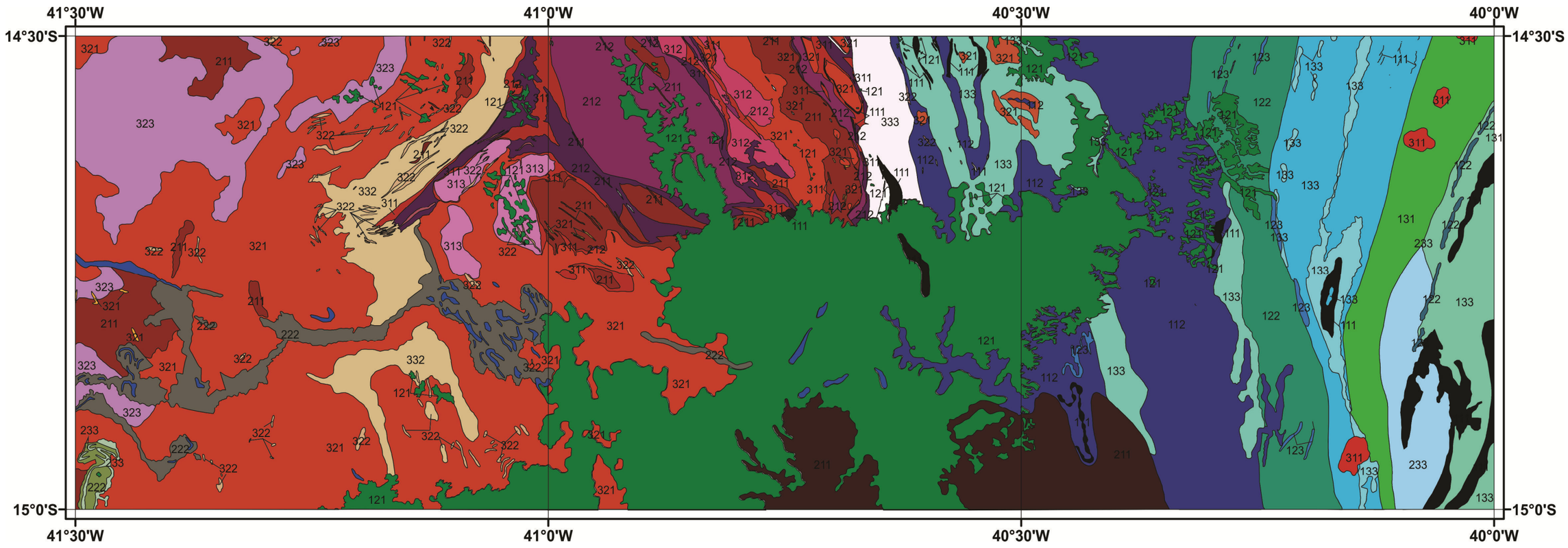
Complexo Mairi

A2ttg — **Domos de Sete Voltas, Boa Vista/Mata Verde e Corpos de Bernarda e Aracatu:** Ortognaisse tonalítico-trondhjemítico-granodiorítico (3403 Ma U-Pb 3240 Ma Pb-Pb).

A2gm — Ortognaisse migmatítico, tonalítico-trondhjemítico-granodiorítico com enclaves máfico e ultramáfico (3300 Ma U-Pb 2912 Ma Pb-Pb).

Legenda do mapa geológico da área de estudo (SOUZA *ET AL*, 2003)

ANEXO2

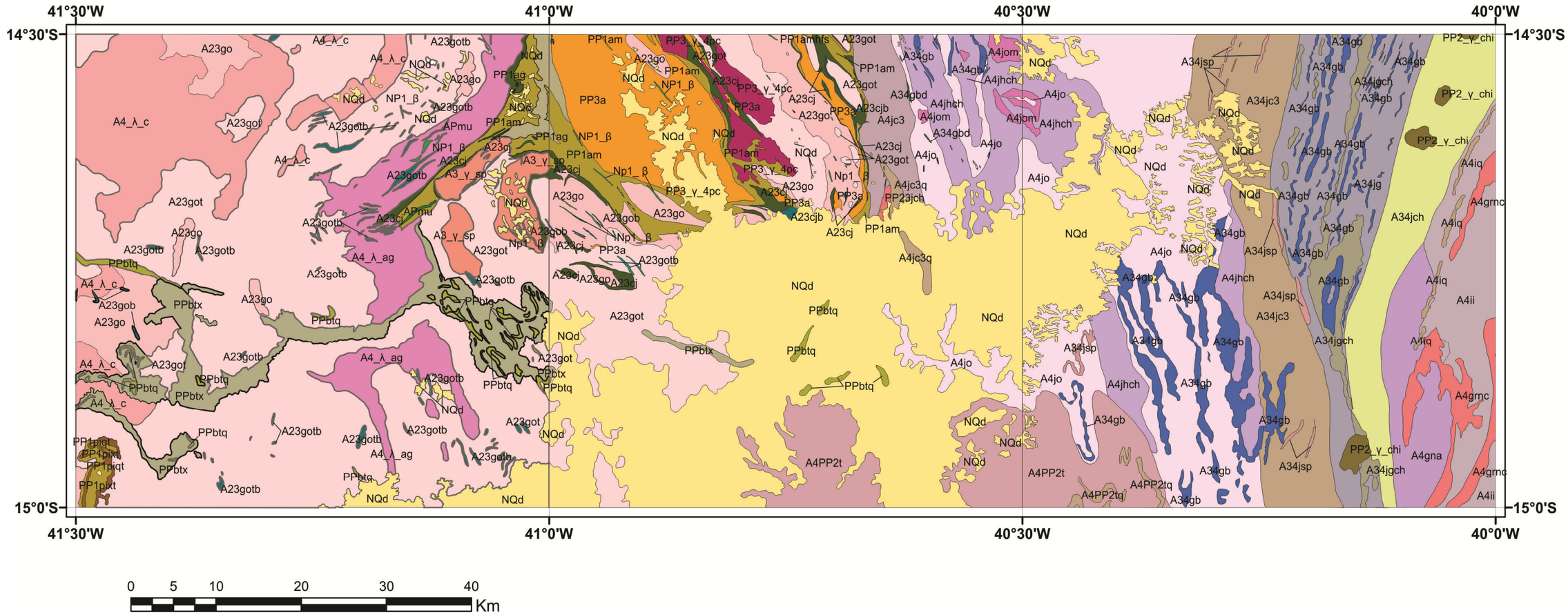


PADRÃO DE COR	R	G	B
ELEMENTOS	K	Th	U

VALORES	1	2	3
TEORES	BAIXO	MÉDIO	ALTO

Mapa litogeofísico da área de estudo.

ANEXO3



Mapa geológico atualizado da área de estudo

LEGENDA

Neógeno - Quaternário (1,75 - 0,01 Ma)

Formações Superficiais Cenozoicas

NQd — **Coberturas detríticas:** Depósitos inconsolidados a pouco consolidados, arenosos e areno-argilosos, com níveis de cascalho com seixos de quartzo arredondados; níveis de concreções lateríticas no contato com o substrato.

NEOPROTEROZOICO
Toniano - Criogeniano (1000-650 Ma)

Rochas Intrusivas Máficas

NP1ξ — Dique de gabro, gabronorito e diabásio. Localmente apresentam-se foliados até bandados.

PALEOPROTEROZOICO
Orosiriano (2050-1800 Ma)

Xistos Bate Pé-Tremedal

PPbtx — Xisto com granada, estaurolita e/ou cianita.

PPbtq — Quartzito micáceo com magnetita e cianita.

Granitoides Tardi a Pós-Tectônicos

PP3γ3-4pc — Muscovita leucogranito, biotita-muscovita granito e biotita granito, subordinadamente muscovita-leucoquartzomonzonito e muscovita tonalito. (1974-1929 Ma, Rb-Sr).

Formação Areião

PP3a — Metarenito com intercalação de leitos milimétricos a centimétricos de minerais metálicos e outros quartzosos, e níveis conglomeráticos. (<2150 Ma U-Pb >1947 Ma Rb-Sr)

Riaciano-Orosiriano (2300-1800 Ma)

PP2γ2chl — **Charnockitos Iguaí:** Charnockitos foliados.

PP23jch — Charnockito retrometamorfizado. 2.096±3 Ma e 2.044±1 Ma, U-Pb SHRIMP.

Complexo Itapetinga

A4PP2t — (Hornblenda)-biotita ortognaisse sienogranito a tonalítico e níveis de anfibolito e biotitito (2674 Ma, Rb-Sr) e hornblenda-biotita ortognaisse migmatítico (2124 Ma, U-Pb)

A4PP2tq — Quartzito e formação ferrífera bandada.

Sideriano (2500-2300 Ma)

Grupo Angico
Formação Rio Gavião

PP1ag — Filito, Metassiltito, metagrauvaca em intercalações. Subordinadamente, lentes de metarenito feldspático e de metarenito conglomerático. Idade média <2.500 Ma, Sm/Nd, TDM.

Formação Mirante

PP1am — Micaxisto, em alguns casos filitoso; micaxisto com nódulos ou porfiroblastos de cordierita; micaxisto gnaissificado (neossomas, idade Rb/Sr 2,0 Ga). Localmente encerrado por metarenito fino (metachert) individualizado de anfibolito e/ou metabasito.

PP1amhfs — Rochas que apresentam caráter nodulosos. Idades: 2.525±80 Ma, Pb-Pb; <2.500 Ma, TDM.

NEOARQUEANO - PALEOPROTEROZÓICO (Riaciano) (2800-2050 Ma)

Complexo Itapetinga

A4PP2t — (Hornblenda)-biotita ortognaisse sienogranitico a tonalítico e níveis de anfibolito e biotitito (2674 Ma, Rb-Sr) e hornblenda-biotita ortognaisse migmatítico (2124 Ma, U-Pb)

NEOARQUEANO (2800-2500 Ma)

Complexo Ibicuí-Ipiaú

A4grnc — Granitos de Nova Canaã: granito, por vezes *augen.*

A4gna — Ortognaisses de Acaraci: Ortognaisses granodioríticos a tonalíticos, por vezes migmatizado, granulitizados, augen gnaisses

A4ii — Ortognaisses granodiorítico, monzogranítico, tonalítico e monzonítico, com níveis de metagabronorito e restos de supracrustais

A4iq — Quartzitos e Formações Ferríferas Bandadas

Complexo Jequié

A34jc3 — Hornblenda gnaisse enderbito a charnockito granulíticos. Localmente ocorrem enclaves de gnaisses finos associados a biotititos e anfibolitos em zonas de retrometamorfismo.

A4jc3q — Quartzito, zonas de intenso cisalhamento. 2660±70 Ma Pb-Pb. Idade máxima de 2800 Ma, método relações de campo.

A4jo — Biotita-hornblenda gnaisse charnockito granulítico, variando de gnaisses charnoenderbito a enderbito, preservando a fácies granulito.

A4jom — Biotita charnockito a charnoenderbito granulítico. Idade máxima de 2800 Ma e mínima de 2500 Ma, método relações de campo.

A4jhch — Hornblenda charnockito granulítico com feições migmatíticas.

Rochas Granitoides

Suíte Caraguataí

A4λc — (Ferro-hastingsita)-biotita augengnaisse granítico e ortognaisse granítico alcalino. 2.696±5 Ma, U-Pb.

Suíte Anagé

A4λag — Monzogranito predominante, granodiorito e tonalito. 2.696+8 Ma, U-Pb.

Suíte Serra dos Pombos

A4γ3-mp — Metagranodiorito a metagranito. 3.161±35 Ma, Pb-Pb e 2845 Ma, U-Pb.

PALEOARQUEANO - PALEOPROTEROZOICO (3600-1600 Ma)

APμ — Tremolititos/actinolitos e serpentinitos.

MESOARQUEANO - NEOARQUEANO (3200-2500 Ma)

A34gb — Metagabronorito e metagabro. Serpentinito, metaperidotito e hiperstênio-quartzito subordinado

A34gbd — Metagabro, metadiabásio.

A34gub — Serpentinito a antofilita-serpentinito, tremolita-actinolita, metagabronorito e anfibolitos subordinados.

A34jc3 — Charnockito retrometamorfizado à facies anfibolito (2660 Ma Pb-Pb).

A34jgch — Ortognaisse granulitizados charnockitícos. Níveis restos de rochas supracrustais (A34jsp).

A34jg — Ortognaisse granulitizados charnockitícos a enderbíticos. Níveis restos de rochas supracrustais (A34jsp).

A34jch — Enderbito a charnockito granulítico.(2.810 Ma U-Pb e 2.715±5 Ma U-Pb).

A34jsp — Granulitos básicos, Granulitos quartzo-feldspáticos, Cherts/Quartzitos, Grafititos, Formações Ferríferas Bandadas, Granulitos Alumino-Magnesianos/ Kinzigíticos e Rochas Máficas-Ultramáficas.

PALEOARQUEANO - MESOARQUEANO (3600-2800 Ma)

Complexo Contendas Mirante
Formação Jurema-Travessão

A23cj — Metaultramáfica, anfibolito e metabásica. 3,3Ga, TDM Sm-Nd.

A23cjb — Mármore, quartzito e calcissilicática, subordinadamente xisto grafitoso, rochas quartzo-turmaliníferas, formações ferríferas bandadas, vulcanoclástica e xisto granatífero.

PALEOARQUEANO (3600-3200 Ma)

Complexo Gavião

A23got — Ortognaisse tonalítico parcialmente migmatizado e com enclaves de anfibolito. 3,19 a 3,36 Ga, Pb-Pb.

A23gotb — Metaultrabásica e metabásica, formações ferríferas bandadas, calcissilicáticas e paragnaisse, não individualizados.

A23go — Ortognaisse migmatítico com restos de rochas supracrustais. 3,28 a 3,39 Ga, Pb-Pb.

A23gob — Metaultrabásica e metabásica xistificadas e talcificadas, formações ferríferas bandadas, quartzito e calcissilicáticas.

Legenda do mapa geológico atualizado da área de estudo