

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geologia

Integração e modelagem geológico- geofísica utilizando métodos potenciais nos limites entre os terrenos Apiaí e Curitiba, no Vale do Ribeira (SP-PR).

Eduardo Pinheiro Felix

Orientador: Prof. Dr. Walter Malagutti Filho

Co-orientador: João Gabriel Motta

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

EDUARDO PINHEIRO FELIX

Integração e modelagem geológico- geofísica utilizando métodos potenciais nos limites entre os terrenos Apiaí e Curitiba, no Vale do Ribeira (SP-PR).

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2015

EDUARDO PINHEIRO FELIX

Integração e modelagem geológico- geofísica utilizando métodos potenciais nos limites entre os terrenos Apiaí e Curitiba, no Vale do Ribeira (SP-PR).

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

João Gabriel Motta (co-orientador)

Prof. Dr. Norberto Morales

Ilio Rodarte Faria Júnior

Rio Claro, 14 de Dezembro de 2015.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais José Roberto e Cláudia e minha irmã Débora, que ao longo desses seis anos me deram suporte e condições para estudar, realizar esse trabalho e concluir a faculdade em grande parte de deve a eles.

Ao meu amigo e co-orientador João Gabriel que me ajudou e orientou desde o momento da concepção desse trabalho até o momento da entrega, e que sem ele e a ajuda do orientado Prof. Dr. Walter Malagutti não seria possível realizar esse trabalho.

Gostaria de agradecer também aos meus avós, José e Terezinha que sempre me deram apoio e se orgulharam e a minha avó Osiris que não poderá presenciar um momento que ela tanto aguardou, de ver seu neto se formando.

Aos meus colegas de turma amigos de quarteirão, Mario, Campari, Itai, Cabelo, Smurf, Paraguai, Didi, Leitoa, Glauber, Soquete e Fuleco, onde convivemos e nos divertimos por grande parte da graduação. Além das amizades feitas na república mansão, Vinicius, Bala e vários outros.

Aos meus amigos Otávio (Defeito) e Victor, companheiros de toda a graduação e para todos os momentos, e a Vanessa (Cabra) amiga e companheira inseparável ao longo de todos esses anos, e hoje mais do que nunca, superando todas as adversidades que até hoje apareceram.

Resumo

A Faixa Ribeira na porção entre os estados de São Paulo e Paraná já foi alvo de extensos trabalhos de mapeamento e geologia estrutural devido ao seu arcabouço complexo, no entanto pouco explorado a partir de uma abordagem geofísica- geológica regional. A geofísica é baseada em uma abordagem indireta, medindo propriedades físicas das rochas e possibilitando expor essas propriedades na forma de imagens, e nesse trabalho foram utilizado dados aeromagnéticos disponíveis pela CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) e de gravimetria por satélite (EGM 08) para realizar uma interpretação geofísica- geológica e o modelamento crustal da porção estudada. Foi estudado o Vale do Ribeira na porção entre os estados de São Paulo e Paraná, local que apresenta diversas falhas transcorrentes separando unidades e Terrenos geológicos, entre elas podemos destacar as Zonas de Cisalhamento Lancinha, Ribeira, Morro Agudo e Quarenta-Oitava. A área de estudo ainda apresenta os Alinhamentos e intrusões básicas relacionadas ao Arco de Ponta Grossa. Foram aplicados os processamentos de Redução ao Polo (RTP) e Amplitude do Sinal Analítico (ASA) nos dados magnéticos, nos dados gravimétricos foi confeccionada a Anomalia Bouguer. Esses *grids* foram interpretados, com as zonas de cisalhamentos identificadas e foi observado que estruturas regionais e que limitam terrenos e unidades geológicas aparecem bem marcadas tanto na gravimetria como na magnetometria. Os modelos 2D foram realizados modelando os contatos Manto – Crosta inferior em torno de 35km, o contato Crosta inferior – Crosta Superior variando próximo a 12km, as rochas supracrustais sendo afetadas pelas falhas e com profundidades máximas de 3km. As intrusões básicas do Arco de Ponta Grossa afetam todas as rochas e foram modeladas como tendo origem na interface Manto-Crosta Inferior.

Palavras-chave: Faixa Ribeira; geofísica; magnetometria; gravimetria; modelamento.

Abstract

The Ribeira Belt in the portion between the states of Sao Paulo and Paraná has been the subject of extensive geological mapping and structural geology due to its complex framework, however poorly explored from a geological- geophysical perspective. The geophysics is based on an indirect approach, measuring physical properties of rocks and enabling expose these properties in form of images, and in this work was used the aeromagnetic data available by the CPRM (Brazilian Geological Survey) and gravimetry by satellite (EGM 08) to perform an geological-geophysical interpretation and crustal modeling of the study area. It was studied the Ribeira Valley in the portion between the states of Sao Paulo and Parana, shows several strike slip faults separating units and geological Terrains, among them we can highlight the respective Shear Zones: Lancinha, Ribeira, Morro Agudo and Quarenta-Oitava, the study area also shows the alignments and basic intrusions related to the Ponta Grossa Arch. It was applied the reduction to the Pole (RTP) and Analytical Signal Amplitude (ASA) in the magnetic data and in gravity data was made the Bouguer anomaly. These grids were interpreted identifying the shear zones and it was observed that regional geological structures and Terranes limits appear in both, gravity and magnetometry. The 2D models were performed modelling the mantle - lower crust contact around 35km, the lower crust - Upper Crust contact ranging near 12 kilometres, the supracrustal rocks are affected by the shear zonas and shows maximum depths of 3km. The basic intrusions of the Ponta Grossa Arch affect all rocks and were modelled as having originated in the mantle - lower crust interface.

Keywords: Ribeira Belt; geophysics; magnetometry; gravimetry; modelling.

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
1. Introdução.....	9
1.1 Justificativa	10
1.2 Objetivos.....	11
2. Métodos de Trabalho	12
2.1 Revisão bibliográfica	12
2.2 Compilação de dados	12
2.3 Tratamento dos dados: processamento	14
2.3.1 Magnetometria	14
2.3.2 Redução ao Pólo Magnético (RTP).....	14
2.3.3 Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	15
2.3.4 Gravimetria.....	15
2.3.5 Anomalia Bouguer	16
2.4 Modelagem gravimétrica	16
3. Síntese Geológica Regional.....	18
3.1 Província Mantiqueira.....	18
3.2 Cinturão Ribeira.....	19
3.3 Terreno Apiaí.....	22
3.3.1 Grupo Itaiacoca	23
3.3.2 Formação Água Clara.....	24
3.3.3 Grupo Votuverava	24
3.4 Terreno Embú	25
3.5 Terreno Curitiba.....	26
3.6 Arco de Ponta Grossa.....	27
3.7 Intrusões Alcalinas.....	28
3.8 Arcabouço Geofísico	28
4. Resultados e Discussões	31
4.1 Redução ao Pólo	31
4.2 Amplitude do Sinal Analítico	33
4.3 Anomalia Bouguer	35
4.4 Modelamento	37
5. Discussões	39

6. Conclusões e Recomendações	42
7. Referencias Bibliográficas.....	44
Apêndice 1	47

1. Introdução

A interpretação de dados geofísicos em estudos crustais possui um papel de fundamental importância, fornecendo informações de modo indireto, que seriam impossíveis de serem adquiridos em superfície. A correlação de feições observadas em dados geofísicos e estruturas conhecidas, possíveis em modelos teóricos ou em análogos de outros terrenos se torna uma importante ferramenta para um melhor entendimento da crosta, suas estruturas ou na busca por recursos minerais.

Os métodos de investigação geofísica apresentam acelerada e promissora evolução no que se refere à execução de levantamentos, tratamento e interpretações dos dados no atual estado do conhecimento (THOMSON *et al.*, 2007), desta forma representam uma boa ferramenta para estudos integrados e em grandes escalas.

A área selecionada para este trabalho se encontra no Sudeste do Estado de São Paulo, em seu limite com o Estado do Paraná, entre as cidades Capão Bonito (SP) e Castro (PR), na região geográfica do Vale do Rio Ribeira, como mostra a Figura 1.

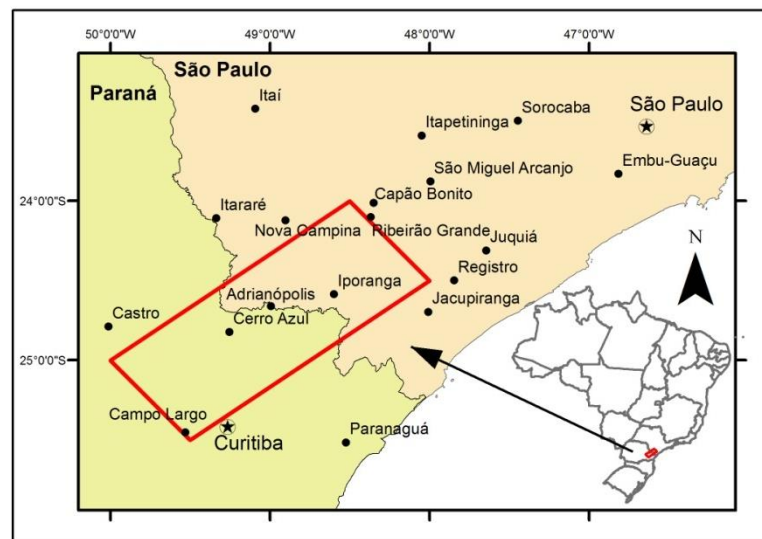


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.

Do ponto de vista geológico a região do vale do Ribeira está inserida na Província Mantiqueira, mais precisamente no Cinturão Orogênico Ribeira (HASUI, 2012), com uma evolução tectônica bastante discutida e que também hospeda diversas ocorrências minerais de metais, estas afetadas e/ou formadas no Neoproterozóico durante o ciclo Brasileiro (MISI *et al.*, 1999). No entanto, Campanha e Sadowski (1999) consideraram o Cinturão Ribeira como a região a leste do Alto Rio Grande e do cinturão Araçuaí, e que se estende ao longo da costa sudeste brasileira do Cráton Luís Alves, a sul, ao estado do Rio de Janeiro.

O Cinturão Ribeira foi afetado pela tectônica brasileira e apresenta forte componente transpressiva de direção NE-SW (HASUI, 2010), em um extenso cinturão de dobras e empurrão.

A região conta ainda com uma megaestrutura dada por feixes paralelos de diques de rochas básicas, aflorantes ou não, com direção NW-SE, denominado Arco de Ponta Grossa (FERREIRA, 1982), que corta o embasamento cristalino do Cinturão Ribeira e a Bacia Sedimentar do Paraná (SIAL *et al.*, 1987; STRUGALE *et al.*, 2007).

Esta área conta com depósitos de Chumbo com importante contribuição econômica no passado, que se encontram atualmente fora de operação e que foram previamente estudados por Daitx (1996) e de Araújo (2004), com foco na metalogenia de depósitos de Chumbo e sua distribuição espacial.

O conhecimento geofísico existente na região está registrado em diversas avaliações que utilizaram diversos métodos para a avaliação dos aspectos regionais da crosta na região como, a espessura crustal (ASSUMPCÃO *et al.*, 2013; CHULICK *et al.*, 2013; VAN DER MEIJDE *et al.*, 2013), definição dos limites tectônicos principais da região (HARALYI & HASUI, 1982; HALLINAN *et al.*, 1993; HASUI *et al.*, 1993; USSAMI *et al.*, 1993), bem como na distribuição de corpos geológicos de interesse, como por exemplo: o enxame de diques do Arco de Ponta Grossa e intrusivas alcalinas do Cretáceo (MENEZES & TRAVASSOS, 2005; FERNANDES *et al.*, 2013; MARAGONI & MANTOVANI, 2013).

A integração de dados geológicos e geofísicos constitui parte uma ferramenta importante para o entendimento do arcabouço crustal, onde podem ser interpretadas propriedades físicas que são visualizadas como feições geofísicas. Assim, interpretar dados geofísicos e geológico torna-se uma importante ferramenta para um melhor entendimento de sua posição no arcabouço regional.

1.1 Justificativa

A área de estudo está contida em um contexto estrutural relativamente conhecido, de grande complexidade estrutural e um aspecto importante a se destacar é a ausência de informações integradas entre geologia e geofísica no que se refere à trama geológica do Neoproterozóico e o arranjo entre os terrenos locais.

A existência de extensa bibliografia sobre a geologia e evolução da área, estudos geofísicos anteriores, como relacionado acima, e dados geofísicos públicos possibilitam a

interpretação geofísica balizada por esse conhecimento prévio e já consolidado do Cinturão Ribeira, de modo a obter uma interpretação atual.

1.2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo avaliar as estruturas e a geometria da crosta no limite entre os terrenos Apiaí e Curitiba por meio do processamento de dados geofísicos públicos de campo potencial, e integrar com os dados de geologia de superfície em sistema SIG, com o foco de obter um melhor entendimento do arcabouço geológico da crosta.

A geração de modelos geológico-geofísicos utilizando essas informações de modo integrado e contextualizar as unidades geológicas, do ponto de vista de suas assinaturas geofísicas observáveis.

2. Métodos de Trabalho

Para que os objetivos propostos fossem alcançados, uma extensa base de dados geológicos, geofísicos e geográficos foi compilada e analisada por intermédio de processamentos específicos para cada classe de dado, finalizando pela análise da estruturação do terreno, bem como interpretações no que se refere à evolução geotectônica da área baseadas em cartografia geofísica, modelagem de perfis geológico- geofísicos e de revisão bibliográfica.

Assim, para a execução do projeto se faz necessária uma análise integrada de geo-informação proveniente de diversas fontes e em diversas escalas, abrangendo diferentes campos do conhecimento, com produção de cartografia geológica- geofísica interpretada, sendo então o trabalho cumprido de acordo com uma metodologia específica e contando com diversas etapas, descritas a seguir.

2.1 Revisão bibliográfica

Informações geológicas em âmbito regional e local da área são importantes para a avaliação criteriosa da situação geológica envolvida, isso se faz preponderante para aplicação correta da metodologia, fazendo também parte da revisão bibliográfica necessária ao que se refere aos aspectos geológicos, estruturais e tectônicos, assim como aos trabalhos previamente desenvolvidos de cunho geofísico.

Fez-se necessária revisão bibliográfica de aspectos metodológicos acerca da utilização dos recursos geofísicos, seja em sua compilação, tratamento, filtragem e modelagem para a análise do arcabouço estrutural da área.

2.2 Compilação de dados

Consiste em reunir bancos de dados de geo- informação para a execução da análise espacial dos mesmos em sistemas de informações geográficas, além de softwares específicos de tratamento e modelagem geofísica.

Parte do trabalho compreendeu reunir dados geológicos providos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), listados a seguir na Tabela 1, visando produtos espaciais de elementos relacionados à distribuição litológica e arranjo estrutural da área.

Os dados gravimétricos foram obtidos através do EGM08 (PAVLIS *et al.*, 2012), que é um modelo esférico harmônico do campo gravitacional potencial da Terra, e consiste na compilação e obtenção de dados gravimétricos de diversos levantamentos aéreos, de satélite e

até mesmo terrestres, fornecendo dados de campo gravitacional de alta acurácia e com ampla cobertura global.

Os dados magnéticos utilizados são de dois levantamentos aéreos realizados pelo serviço geológico brasileiro (CPRM) que estão listados na tabela 1 e serão detalhados a seguir, com sua expressão em área apresentada na Figura 2. O levantamento 1025, Serra do Mar Sul, foi realizado em 1975 e possui espaçamento entre as linhas de 1000m, altura de vôo de 150 metros e intervalo de amostragem de 60m. Já o levantamento 1039 é do ano de 1978, possui espaçamento entre linhas de 1000m, altura de vôo de 150m e intervalo de amostragem de 100m (Figura 2), ambos levantamentos estão disponíveis na base de dados da da CPRM no formato digital.

Grupo	Dado	Fonte	Observações
Geologia	Notas explicativas de mapas geológicos e artigos	Diversas	Análise crítica e geração de produtos diversos.
Geofísica	Gravimetria	Pavlis <i>et al.</i> , (2012) EGM08	Obtenção de produtos geofísicos
	Aero-magnetometria	CPRM	Levantamento 1025 (Serra do Mar Sul) Levantamento 1039 (São Paulo – Rio de Janeiro)

Tabela 1 – Tipos de dados a serem utilizados no projeto de pesquisa.

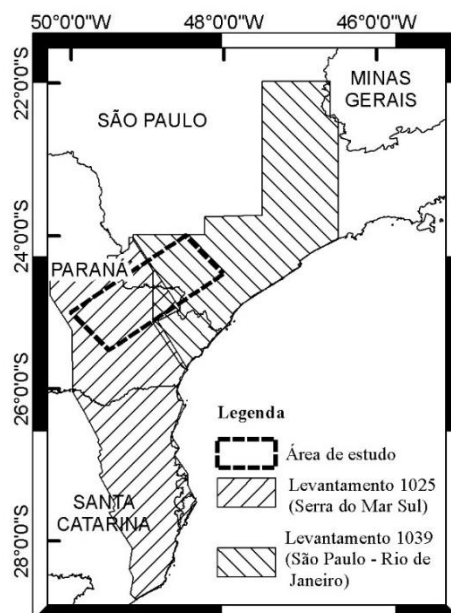


Figura 2: Localização dos levantamentos aeromagnéticos 1025 (Serra do Mar Sul) e 1039 (São Paulo Rio de Janeiro (CPRM)).

2.3 Tratamento dos dados: processamento

Após a reunião dos referidos dados de geo- informação os mesmos carecem de tratamentos e avaliações específicas para se obter produtos que se relacionem às feições geológicas procuradas, estas consideradas de importância do ponto de vista metalogênico.

Dados geofísicos receberam filtragens matemáticas apropriadas buscando o realce dos elementos geológicos de interesse para o mapeamento de feições associadas à estruturação do terreno, sendo grande a diversidade de produtos relacionados a dados gravimétricos e magnéticos, seguindo metodologia comparada entre diversas publicações clássicas e exemplos de estudos publicados como em Telford *et al.*, (1990), Blakely (1996), Nabighian *et al.* (2005a,b) e La Fehr & Nabighian (2012).

2.3.1 Magnetometria

A magnetometria é um método que mede a intensidade do campo magnético terrestre, que é formada pela soma de três componentes: o campo magnético da própria Terra, que é a maior componente do campo magnético; o campo magnético de fontes externas, como o Sol; e sua componente crustal, que está associada com o magnetismo das rochas da crosta e aqui está incluído o campo magnético induzido e remanente (NABIGHIAN *et al.*, 2005).

A medição do campo magnético é a combinação dessas três componentes, e rochas com minerais magnéticos podem ser induzidas pelo campo magnético terrestre e quando medimos esse valor obtemos a combinação do campo magnético terrestre e o campo magnético induzido pela rocha (GUNN e DENTITH, 1997), e são essas informações que nos possibilitam aplicar filtros matemáticos e gerar superfícies interpoladas dos dados, a interpolação possibilita expressar os dados na forma de imagens, que são denominadas *grids*.

Foram gerados *grids* a partir do processamento dos dados magnéticos, esses produtos balizaram a interpretação geofísica da área de estudo, e para isso foram aplicados dois filtros matemáticos: redução ao pólo magnético (RTP) e a amplitude do sinal analítico (ASA).

2.3.2 Redução ao Pólo Magnético (RTP)

O processamento de redução ao pólo magnético (*Rotation To magnetic Pole* - BARANOV e NAUDY, 1964) recalcula o campo magnético total como se o campo magnético terrestre atuasse com uma inclinação de 90°, reduzindo assim as anomalias dipolares e

centralizando as anomalias sobre sua fonte geradora, com redução dos efeitos de geração de campos magnéticos por indução magnética (CASTRO, 2015).

Seu emprego é amplo em estudos geofísicos que envolvam magnetometria em vista de sua relativa estabilidade matemática em regiões do globo em latitudes maiores que 20°, devido ao comportamento da inclinação do campo magnético terrestre ser maior e influenciar de modo menos efetivo as leituras (NABIGHIAN *et al.*, 2005).

2.3.3 Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

O processamento de amplitude do sinal analítico (ROEST, 1992) 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 (NABIGHIAN *et al.*, 2005). 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:

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

Onde M é a anomalia do Campo potencial, $\frac{\partial M}{\partial z}$ é a primeira derivada vertical, $\frac{\partial M}{\partial x}$ e $\frac{\partial M}{\partial y}$ são as primeira derivadas horizontas nas direções x e y, respectivamente.

Relacionando as derivadas (gradientes) do campo magnético nas direções x, y e z, de modo a salientar as regiões de maior gradiente de sinal, de modo independente à sua direção, auxiliando na delimitação de fontes magnéticas em mapas, e segundo Gunn e Dentith (1997), esse processamento gera um produto independente da direção de magnetização.

2.3.4 Gravimetria

A gravimetria mede a aceleração da gravidade local, de modo que quanto maior a densidade e a proximidade com os corpos maior é a aceleração da gravidade, como previsto pela lei da gravitação universal. Uma importante característica da gravidade é que a aceleração

gravitacional é acumulativa, com o somatório das atrações gravitacionais de diferentes corpos próximos ou superpostos (NABIGHIAN *et al.*, 2005).

2.3.5 Anomalia Bouguer

A correção Bouguer é realizada a partir da subtração do dado gravimétrico observado pela gravidade causada por uma massa de espessura constante de rocha, de densidade homogênea ρ , com altura h igual à cota altimétrica d a estação de leitura, que é calculada pela equação abaixo, com G representando a constante universal de Gravidade (NABIGHIAN *et al.*, 2005):

$$g_{bo} = 2 \times \pi \times \rho \times G \times h$$

O cálculo da Anomalia Bouguer leva em consideração uma densidade específica (ρ) para a quantificação do efeito gravitacional da pilha de rocha existente no local de mensuração, em que em geral o valor comum para regiões de crosta continental utilizado é o de 2.67 g/cm³ (BLAKELY, 1996), como no caso dos dados empregados.

Os dados gravimétricos utilizados são provenientes do modelo *Earth Gravitational Model* 2008 (EGM08 – PAVLIS *et al.*, 2012), com a representação do campo gravitacional terrestre em uma malha regular de 5 arcos de minuto, que compreende uma compilação de dados terrestres, marítimos e de satélite, além de conter estimações por métodos matemáticos do tipo esférico harmônico de alta ordem. Estes dados são gratuitos e podem acessados via internet atra vés da página do *International Gravity Bureau* (BGI).

2.4 Modelagem gravimétrica

A modelagem dos dados gravimétricos foi realizada utilizando o módulo GM-SYS do *software* Oasis Montaj, onde foi utilizado a modelagem direta para gerar modelos gravimétricos bidimensionais. Esse *software* contém algoritmos que simulam a resposta geofísica do modelo construído com base na geometria e nas propriedades físicas dos corpos modelados ao sinal observado na região, em que a modelagem é feita de modo iterativo, de modo a proporcionar ajuste entre as curvas (BLAKELY, 1996).

As densidades utilizadas no modelamento foram apresentadas por Telford *et al.* (1990) e sofreram pequenas adaptações para melhor de adequar à geologia local. Castro (2015)

apresentou uma tabela de densidades modificada de Telford *et al.*, (1990) apresentando os valores médios de densidade para cada litologia (Tabela 2).

Tipo de rocha	Varição (g/cm³)	Média (g/cm³)
SEDIMENTARES		
Areia (sedimento)	1.7-2.3	2
Arenito	1.61-2.76	2.35
Rxs. sedimentares (média)		2.5
ÍGNEAS		
Granito	2.5-2.81	2.64
Granodiorito	2.67-2.79	2.73
Diabásio	2.5-3.2	2.91
Basalto	2.70-3.3	2.99
Gabro	2.7-3.5	3.03
Ígnea ácidas	2.3-3.11	2.61
Ígnea básica	2.09-3.17	2.79
METAMÓRFICAS		
Xisto	2.39-2.9	2.64
Mármore	2.6-2.9	2.75
Gnaisse	2.59-3	2.8
Amfibolito	2.90-3.04	2.96
Rxs. Metamórficas (média)	2.4-3.1	2.74

Tabela 2: Densidades de rochas utilizadas como referência na modelagem. Castro (2015) e adaptado de Telford *et al.* (1990).

3. Síntese Geológica Regional

A área de estudo está contextualizada de acordo com sua posição geológica-geotectônica na região meridional do Cinturão Ribeira, porção centro-sul da Província Mantiqueira e que se estende do sul do estado de São Paulo ao Norte do estado do Paraná.

3.1 Província Mantiqueira

O cinturão Orogênico Mantiqueira apresenta-se ao longo da região costeira do Brasil, entre o sul da Bahia até o Rio Grande do Sul e adentra o Uruguai, com cerca de 3000 km de comprimento e uma extensão lateral variável de 200km no Sul e 600km a norte (HASUI *et al.*, 2010).

Esse sistema orogênico é produto da interação entre os crátons São Francisco, Paranapanema e Rio de La Prata, estes encobertos pela Bacia do Paraná (MANTOVANI E BRITO NEVES, 2005), e crátons Luís Alves e do Congo (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999). A evolução diacrônica desse sistema orogênico se desenvolveu ao longo da aglutinação do supercontinente Gondwana e envolveu rochas do Arqueano ao Mesoproterozóico e foram retrabalhadas e consolidadas no Neoproterozóico e Cambriano, incluindo adição de material crustal (HEILBRON *et al.* 2008, HASUI, 2010), durante o Ciclo Orogênico Pan Africano-Brasiliiano (ALMEIDA *et al.* 1981).

O Sistema Orogênico Mantiqueira é dividido em três cinturões tectônicos: Cinturão Araçuaí a Norte, no centro o cinturão Ribeira e na porção sul o cinturão Tijuca (HASUI, 2010), como mostra a figura 3.

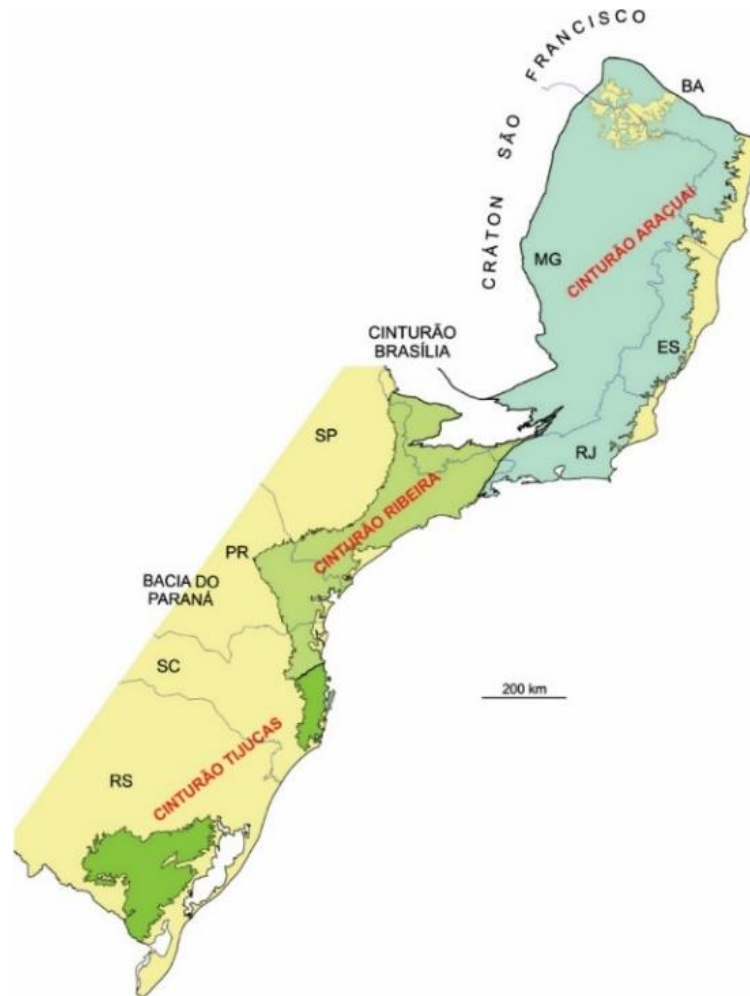


Figura 3 - A Província Mantiqueira e suas compartimentações: Cinturão Araçuai, Ribeira e Tijucas, segundo Hasui (2012).

3.2 Cinturão Ribeira

O Cinturão Ribeira constitui faixa de dobramentos e empurrões com direção NE-SW que se estende ao longo de 1400km, na margem atlântica na região sudeste do Brasil, como apresenta a figura 4 (HEILBRON, *et al* 2008; HASUI, 2012). O Cinturão Ribeira se limita com o Cinturão Araçuai na região da divisa entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e se estende para sudoeste até o Paraná e leste de Santa Catarina.

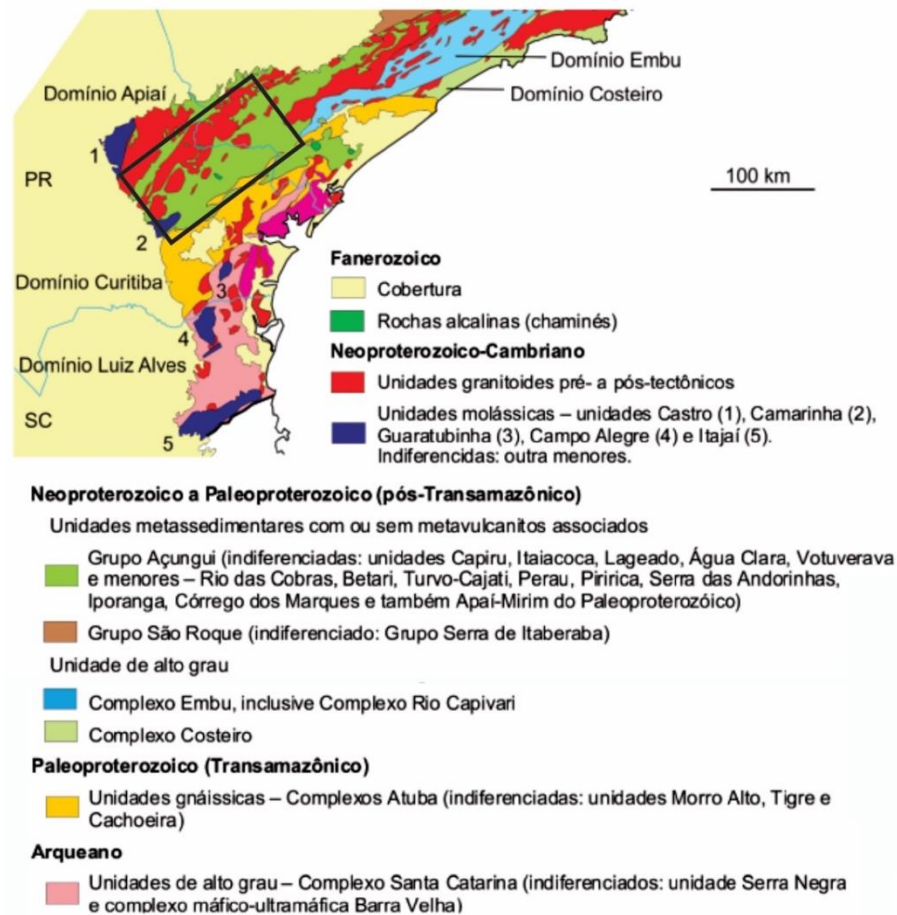


Figura 4: Mapa geológico simplificado da porção central do Cinturão Ribeira, incluindo a área de estudo (em preto). Adaptado de Hasui (2012).

Acredita-se que o estabelecimento do Cinturão Ribeira ocorreu durante o evento Pan-Africano-Brasílico (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999; HEILBRON *et al.* 2008), que se inicia no Criogeniano (entre 850 e 750 Ma) e se prolonga até o início do Ordoviciano em 485 Ma (BRITO NEVES e FUCK, 2013) no evento orogenético Pan-Africano-Brasílico.

De acordo com Heilbron *et al.* (2008) o Cinturão Ribeira foi o resultado de uma acreção diacrônica de diversos terrenos tectônicos durante a colisão oblíqua entre os crátons São Francisco, Congo e Paranapanema. E que foram justapostos em período tardio ao longo de falhas transcorrentes dextrais com direção principal NE-SW (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999).

No Cinturão Ribeira se pode individualizar os domínios Varginha, Embu, Costeiro, São Roque, Apiaí, Curitiba, Paranaguá e Luís Alves (HASUI, 2012), individualizados com base em características litológicas, estruturais, geoquímicas e geocronológicas. Para o presente trabalho são relevantes os terrenos Apiaí, Curitiba e Embu, localizados na porção meridional deste cinturão.

A zonas de cisalhamento de maior importância na região correspondem aos lineamentos Lancinha e Ribeira, que juntos compõem o Lineamento Cubatão, além dos lineamentos Morro Agudo, Quarenta-Oitava e Itapirapuã, que possuem mergulho preferencialmente para NW. Devemos destacar o Lineamento Lancinha – Cubatão, que representa o principal limite tectônico entre terrenos distintos, separando o Terreno Apiaí a norte dos Terrenos Curitiba e Luís Alves a Sul. (CAMPANHA, 2002).

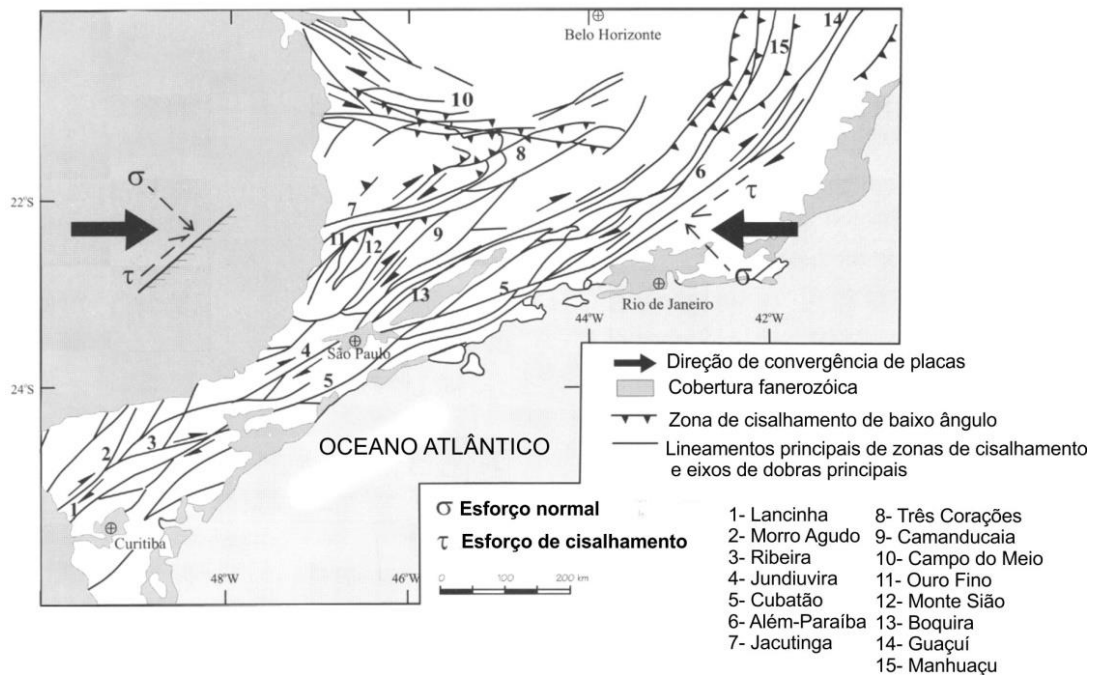


Figura 5 – Elementos de cisalhamento e cinemática da tectônica no limite entre os cinturões Ribeira e Araçuaí.

Adaptado de Ebert & Hasui (1998).

A região é caracterizada por um conjunto de rochas supracrustais de grau metamórfico baixo a médio, denominado de Supergrupo Açungui (HACKSPACHER *et al.*, 2000) e por intrusões graníticas sin- e pós-orogênicas – em relação ao ciclo Brasiliano-Pan Africano (DOS SANTOS *et al.* 2015). O embasamento dessas supracrustais é constituído por um conjunto de rochas gnáissico- migmatíticas, com intercalações variadas de metassedimentos e núcleos charnockíticos, que afloram a sul do Lineamento Lancinha (CAMPANHA, 2002).

Na região existe também o Arco de Ponta Grossa, que é uma grande estrutura que consiste em um enxame de diques afeta a região (FERREIRA, 1982) e será discutida com detalhes mais a diante.

3.3 Terreno Apiaí

O Terreno Apiaí (Figura 6) está localizado a nordeste da zona de cisalhamento Lancinha e consiste de rochas supracrustais metamorfisadas em fácies xisto verde a anfibolito, reunidas no Supergrupo Açungui (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999; FALEIROS, 2008). Essas rochas estão sobre um embasamento gnáissico e migmatítico com núcleos charnockíticos, e algumas intercalações metassedimentares de composição variada.

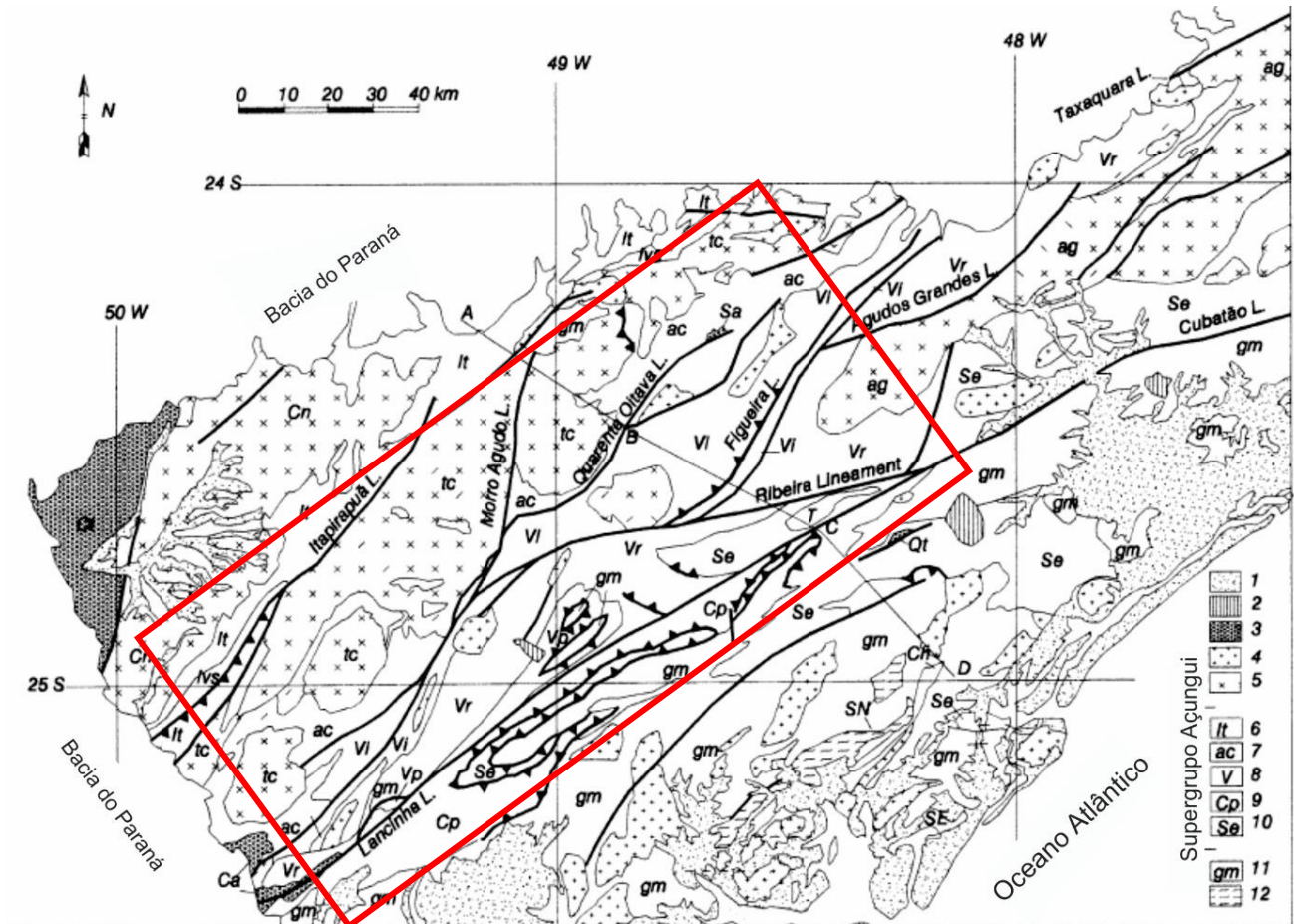


Figura 6: Principais litologias e estruturas do Terreno Apiaí: (1) Coberturas sedimentares Cenozóicas; (2) Rochas Alcalinas Mesozóicas; (3) Bacias *Pull-apart* tardias; (4) Granitos pós-tectônicos; (5) Granitos sin a pré tectônicos (Cn, Completo Cunhaporanga; Tc, Complexo três Córregos; AG Complexo Agudos Grandes); Supergrupo Açungui: (6) Grupo Itaiacoca (It); (7) Formação Águas Claras (AC); (8) Grupo Votuverava (Vl, subgrupo Lajeado; Vr, Subgrupo Ribeira; Vi, Formação Iporanga; Vp Formação Perau); (9) Formação Capiru (Cp); (10) Grupo Setuva (SE); (11) Complexo Gnáissico-migmatítico (gm); (12) Complexo Costeiro (Sn, Serra Negra; Ch Xisto Cachoeira). O retângulo vermelho indica a área de estudo. Adaptado de Campanha e Sadowsky (1999).

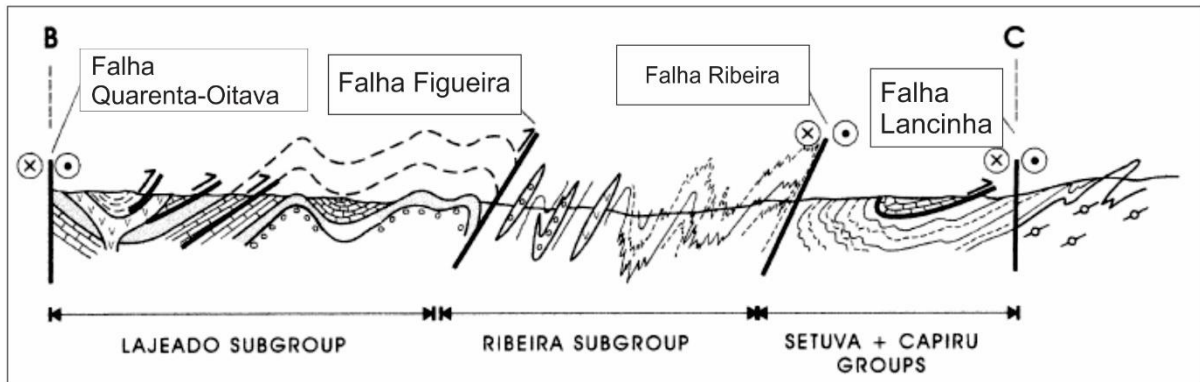


Figura 7: Perfil entre os pontos B e C do mapa mostraco acima (Figura 6), mostrando o sentido de cisalhamento e vergência das unidades da área de estudo (CAMPANHA, 2002).

No contexto das rochas granitóides sin- a pós- orogenéticas destacam-se os batólitos dos complexos graníticos Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes (SIAL *et al.* 1999). Será adotado que a região como um todo consiste de uma associação de terrenos tectono-metamórficos distintos de idades mesoproterozóicas a neoproterozóicas (HACKSPACHER *et al.* 2000), acrescidos durante o Neoproterozóico (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999). Os últimos estágios deste sistema convergente correspondem a uma colisão oblíqua, com formação de extenso sistema transcorrente dextral, fortemente marcado na área (EBERT e HASUI, 1998; CAMPANHA, 2002; FALEIROS, 2008 ; HASUI, 2010)

O Supergrupo Açungui no Terreno Apiaí é subdividido em uma série de unidades lateralmente dispostas e separadas por zonas de cisalhamento de orientação NE (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999). São reconhecidas subdivisões com empilhamento estratigráfico dentro das unidades internas do Supergrupo Açungui, porém a correlação entre essas unidades maiores é essencialmente lateral, e não vertical (CAMPANHA, 2002). As unidades serão descritas de noroeste para sudeste, de modo a respeitar a correlação lateral entre os corpos e a ausência de continuidade crono-estratigráfica entre eles.

3.3.1 Grupo Itaiacoca

Localizado na porção norte do Terreno Apiaí ocorre o Grupo Itaiacoca que apresenta uma seqüência siliciclástica e carbonática espessa e que lhe é atribuída idade neoproterozóica, com protólitos que variam de 630 Ma (SIGA JUNIOR *et al.*, 2003) até Mesoproterozóico (1100 Ma. CAMPANHA e SADOWSKY, 1999), composta por filitos, quartzitos feldspáticos, paraconglomerados, meta- básicas e uma seqüência carbonática.

As rochas do Grupo Itaiacoca segundo Campanha (2002), apresentam estruturas primárias preservadas e dobramentos formando sinformais e sinclinais de amplitude regional. A noroeste do Grupo Itaiacoca e da Zona de Cisalhamento Itapirapuã ocorre o Complexo Granítico Cunhaporanga nas rochas do Grupo Itaiacoca; o contato do Grupo Itaiacoca com Complexo Granítico Três Corregos, a sul, é definido pela Zona de Cisalhamento Itapirapuã.

3.3.2 Formação Água Clara

A Formação Água Clara apresenta uma composição variada dada por rochas carbonáticas impuras, meta-pelitos, meta-calcários e anfibolitos (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999), encontra-se recobrimdo partes do Complexo Granítico Três Córregos e possui grau metamórfico em geral mais elevado que as formações vizinhas. Apresenta intensa foliação sub-horizontal, transpondo o acamamento (CAMPANHA, 2002) e seu contato a sul com o Grupo Votuverava é marcado pelas zonas de cisalhamento Morro Agudo e Quarenta – Oitava.

3.3.3 Grupo Votuverava

As rochas que compõem a porção central e meridional do Cinturão Ribeira pertencem ao Grupo Votuverava, delimitado por contatos tectônicos a sudeste e a nordeste, em que a sudeste faz contato com o Terreno Curitiba através da Zona de Cisalhamento Lancinha e a nordeste com a Formação Água Clara, por meio da Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, e com o Complexo Granítico Três Córregos pela Zona de Cisalhamento Morro Agudo.

Internamente o Grupo Votuverava apresenta algumas estruturas de empurrão, porém as estruturas mais marcantes são a Zona de Cisalhamento Ribeira e Agudos Grandes, além da intrusão de diversos granitos pós orogênicos e sin- orogênicos, e dentre eles o de maior expressão é o Complexo Granítico Agudos Grandes.

Segundo Campanha e Sadowsky (1999) o Grupo Votuverava pode ser subdividido nos subgrupos Lajeado e Ribeira, onde o subgrupo Lajeado apresenta unidades carbonáticas e o subgrupo Ribeira é composto basicamente por rochas terrígenas.

O Subgrupo Lajeado está preferencialmente limitado a sul pela Zona de Cisalhamento Ribeira e a norte pela Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava. É composto por formações terrígenas e carbonáticas, e hospeda a intrusão básica denominada Gabro Apiaí (HACKSPACHER *et al.* 2000) e sua geocronologia do Subgrupo Lajeado é controversa, no entanto existe consenso de que os protólitos foram depositados no Mesoproterozóico, entre 1.1 e 1.4 Ga (FALEIROS, 2008).

Segundo Campanha (2002), o Subgrupo Lajeado em sua porção aflorante é dominado por uma série de anticlinais e sinclinais que variam de algumas centenas de metros a poucos quilômetros, com planos axiais inclinados e forte mergulho para NW.

No Subgrupo Lajeado estão catalogadas diversas mineralizações de Chumbo, essas mineralizações estão encaixadas nas unidades carbonáticas, metadolomitos e metacalcários, e são nitidamente discordantes na maioria dos casos segundo Daitx (1996). Essas mineralizações foram datadas por Tassinari *et al.* (1990) entre 1,1 Ga e 1,4 Ga, com predominância de valores entre 1,1 e 1,2 Ga. Daitx (1996) reconheceu que as mineralizações são fortemente estruturadas, podendo estar associadas a intersecções de fraturas e acamamento, fraturas em zonas axiais e fraturas distensionais em sistemas cisalhantes.

A sul do Subgrupo Lajeado ocorre o Subgrupo Ribeira, que é limitado pela Zona de Cisalhamento Lancinha, em contato tectônico com o Terreno Curitiba. O Subgrupo Ribeira é dividido em três formações principais por Campanha e Sadowsky (1999) e serão adotadas nesse trabalho, divididas, da base para o topo, como a seguir: Formação Perau, Sequencia vulcano-Sedimentar e Formação Iporanga.

O estilo estrutural do Subgrupo Ribeira apresenta dobras isoclinais e duas outras fases de deformação semelhantes ao Subgrupo Lajeado, o que sugere que as mesmas foram deformadas de modo conjunto (CAMPANHA, 2002). No entanto enquanto o Subgrupo Lajeado apresenta certo grau de preservação de seu empilhamento estratigráfico, o Subgrupo Ribeira apresenta uma estrutura lenticular, descontínua, com contatos tectônicos predominantes. A Formação Iporanga é composta essencialmente de sedimentos terrígenos turbidíticos e vulcânicos e Formação Perau é composta em sua base por espesso pacote de quartzitos e, no topo, por pacote de carbonato xisto (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999; FALEIROS, 2008).

3.4 Terreno Embú

A nordeste da área de estudo temos uma pequena porção pertencente ao Terreno Embú, entidade que, de acordo com Heilbron *et al.* (2008), apresenta direção Leste-Oeste, e é limitado a norte e a sul por zonas de cisalhamento e está em contato tectônico com o Terreno Apiaí, pouco documentado na literatura.

Ainda de acordo com Heilbron *et al.* (2008) o Terreno Embú é composto de duas associações, uma Paleoproterozóica composta por ortognaisses de composição granítica a tonalítica e uma segunda, metassedimentar, que não possui datações. O Terreno apresenta um registro metamórfico de 790 Ma e o contexto geodinâmico ainda não é bem entendido.

3.5 Terreno Curitiba

O Terreno Curitiba é composto pelo complexo gnáissico-migmatítico Complexo Atuba, dado por ortognaisses de fácies anfibolito superior a granulito (FALEIROS, 2008) e que é sobreposto por três seqüências metassedimentares denominadas formações Setuva, Capiru e Complexo Turvo-Cajati (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999).

O Terreno Curitiba está limitado a norte pela zona de cisalhamento Lancinha, em contato com o Terreno Apiaí e a sul pela Zona de Cisalhamento Piên, que promove contato com o Terreno Luís Alves (HEILBRON *et al.*, 2008).

O Complexo Atuba é composto principalmente por ortognaisses tonalíticos, granodioríticos e migmatíticos ricos em biotita e hornblenda, rochas submetidas a dois eventos de metamorfismo regional em fácies anfibolito alto e granulito, ocorridos respectivamente no Paleoproterozóico (2150-1800 Ma) e no Neoproterozóico (640-560 Ma) (SIGA JÚNIOR, 1995 apud FALEIROS, 2008). Segundo o mesmo autor a sul as rochas são limitadas por granitos deformados da Suíte Rio Piên e associados a rochas básicas e ultrabásicas, que são interpretados como fragmentos do assoalho oceânico obductado.

A Formação Capiru corresponde a uma seqüência de plataforma rasa (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999) e é composto por intercalações de filitos e quartzitos, carbonatos e dolomitos, com foliação em baixo angulo (FALEIROS, 2008). Campanha e Sadowsky (1999) e Faleiros (2008) concordam que essa unidade apresenta relação de aloctonia em relação ao embasamento, com suas porções fortemente imbricadas em sistemas de nappes.

A Formação Setuva compreende seqüências de mica-xistos, xistos aluminosos, paragnaisses, quartzitos e quartzo xistos, que ocorrem na região do Anticlinal do Setuva, no leste paranaense e seria recoberta em discordância angular pelas formações Capiru e Votuverava (FALEIROS, 2008).

Avançando em direção a São Paulo as formações Setuva e Capiru são incluídas no que é chamado de Complexo Turvo-Cajati (CAMPANHA e SADOWSKY, 1999), formado por micaxistos e paragnaisses de fácies xisto verde a anfibolito alto, com intercalações de rochas cálcio-silicáticas e mármore. Essa unidade reúne grande diversidade de litotipos e história evolutiva complexa (FALEIROS, 2008). Segundo Silva e Algarte (1981) *apud* Faleiros (2008) todas essas rochas teriam uma origem de idade pré-brasiliana, relacionada ao Ciclo Transamazônico, e provavelmente correlatas ao Grupo Setuva, em que foram datados eventos metamórficos brasileiros, em torno de 730Ma (FALEIROS, 2008).

3.6 Arco de Ponta Grossa

O Arco de Ponta Grossa é uma importante estrutura tectônica localizada a sul-sudeste do Brasil, na porção leste da Bacia do Paraná, caracterizado por um expressivo enxame de diques de direção aproximada de N50W e mergulho para NW e afeta as rochas do embasamento cristalino e da Bacia do Paraná (STRUGALE *et al.*, 2007).

Foram identificados quatro alinhamentos estruturais principais (figura 8) no Arco de Ponta Grossa (FERREIRA *et al.*, 1981). O limite a Norte é marcado pelo Alinhamento de Guapiara e em direção a Sul temos os alinhamentos de São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonzo e, por último o do Rio Piquiri (FERREIRA, 1982).

O ápice da atividade tectônica se deu durante o Cretáceo, mas existem registros de atividade tectônica desde o Devoniano, influenciando até mesmo na sedimentação da Bacia do Paraná (FERREIRA, 1982, ZALÁN *et al.*, 1990 apud CASTRO, 2015)

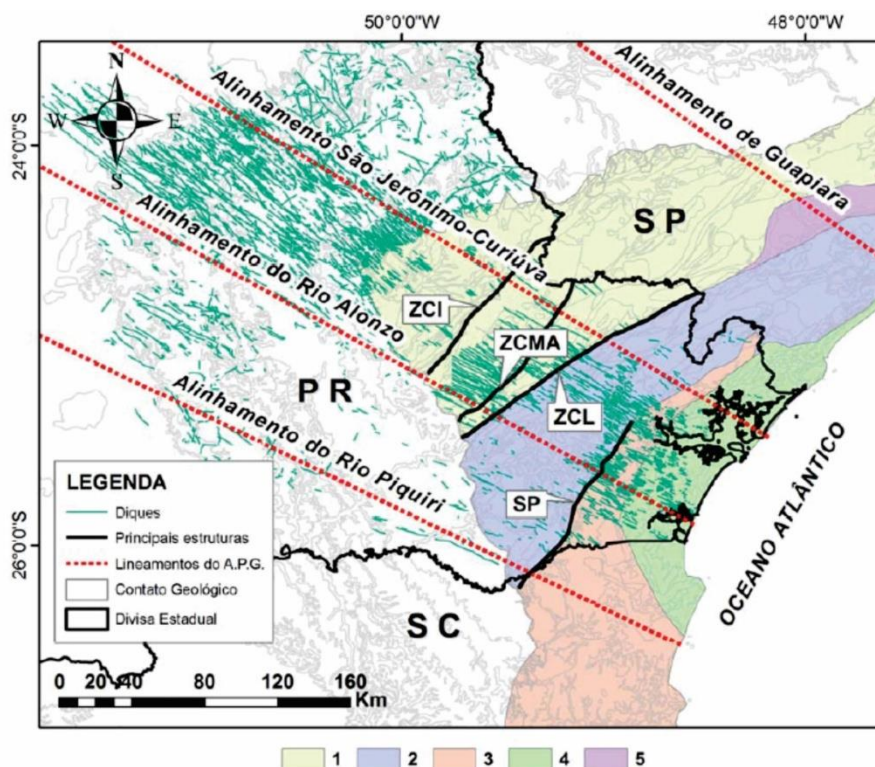


Figura 8: Compartimentação tectono-estrutural da região e localização dos alinhamentos do Arco de Ponta Grossa. Terrenos tectônicos: 1, Terreno Apiaí; 2, Terreno Curitiba; 3, Terreno Luís Alves; 4, Terreno Paranaguá; 5 Terreno Juiz de Fora. Estruturas Principais: ZCI, zona de cisalhamento Itaiprapuã; ZCMA, Zona de Cisalhamento Morro Agudo; ZCL, Zona de Cisalhamento Lancinha; SP, Sutura Piên. (CASTRO, 2015).

3.7 Intrusões Alcalinas

Na região do Arco de Ponta Grossa temos uma província de rochas alcalinas de idade correlatas e que ocorrem juntamente com os diques básicos do cretáceo presentes na área (ULBRICH & GOMES, 1981).. Uma importante intrusão alcalina presente na área é a Intrusão Alcalina Tunas, que é possui uma área de 22 km², litologias principalmente representadas por Sienitos e alcali Sienito e idades entre 110-70 Ma (CORDANI e HASUI, 1968 *apud* MARANGONI e MANTOVANI, 2013). Segundo Marangoni e Mantovani (2013) os dados geofísicos de campo potencial indicam que estes corpos alcalinos estão alojados em estruturas profundas próximas aos limites da Bacia sedimentar do Paraná e também com feições sugestivas de controle estrutural do embasamento Neoproterozóico para seu alojamento.

3.8 Arcabouço Geofísico

O arranjo estrutural e litológico da área se reflete na gravimetria e na magnetometria, oferecendo suporte para uma interpretação mais consistente do arcabouço local. Informações geofísicas são utilizadas para auxiliar na interpretação de estruturas geológicas regionais, e métodos gravimétricos e magnetométricos são amplamente utilizados e úteis para identificar discontinuidades e outras feições estruturais que apresentam gradientes substanciais de propriedades físicas.

Ao longo da evolução do conhecimento da área a gravimetria permitiu a observação de dois *trends* principais, um NW-SE e outro NE-SW que foram observados e descritos por Ferreira (1982), que estudando a região do Arco de Ponta Grossa Ferreira identificou um alto gravimétrico de direção NW-SE, e essa estrutura está associada a maior concentração de diques máficos nos alinhamentos do Arco de Ponta Grossa.

Em um trabalho posterior na região do Arco de Ponta Grossa realizado por Ferreira *et al.* (1989 *apud* CASTRO, 2015) na região do Lineamento Guapiara, foram interpretadas feições que indicam soerguimento do manto em aproximadamente 5 km e indica um total entre 15 e 20% (se não me engano) de extensão crustal para alojamento do magmatismo básico.

Posteriormente Ussami *et al.* (1993) realizou um trabalho regional abrangendo todo o Brasil, interpretando anomalias gravimétricas e correlacionando com províncias tectônicas (figura 6).

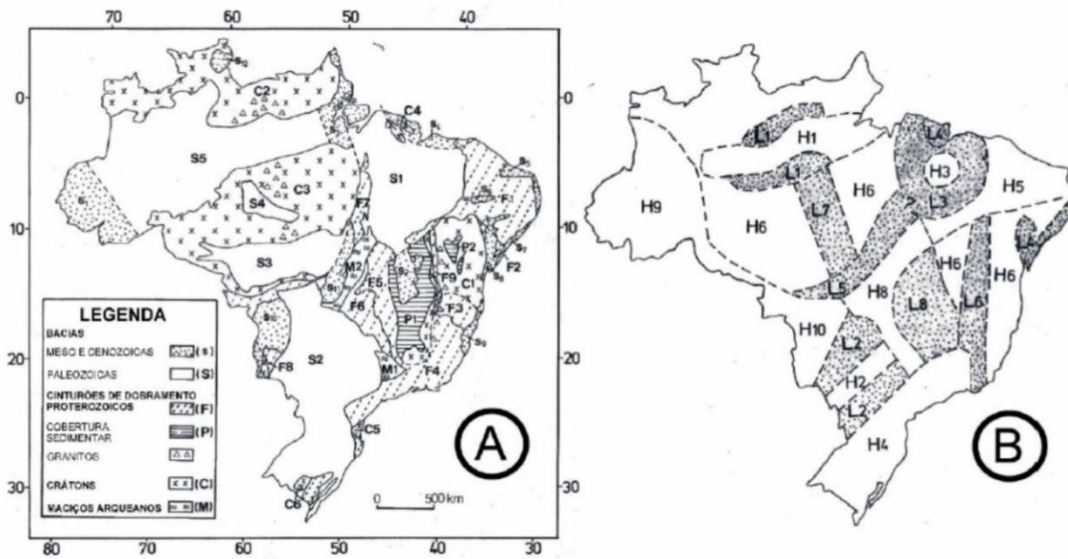


Figura 9: Mapa das maiores unidades geológicas e tectônicas do Brasil segundo Ussami *et al.* (1993). Legenda: bacias sedimentares, paleozóicas: Parnaíba (S1), Paraná (S2), Parecis-Alto Xingu (S3), Alto Tapajós (S4), Amazônica (S5). Meso-Cenozoicas: Acre (s1), São Francisco (s2), Marajó (s3), São Luís/Barreirinhas (s4), Potiguar/Pernambuco (s5), Araripe (s6), Sergipe-Alagoas (s7), Tucano/Recôncavo (s8), Espírito Santo (s9), Pantanal (s10) Bananal (s11), Boa Vista (s12). Cinturões de cavalgamento/dobramento proterozóicos: Nordeste (F1), Sergipano (F2), Araçuaí (F3), Ribeira (F4), Brasília (F5), Uruaçu (F6), Araguaia (F7), Paraguai (F8), Espinhaço (F9). Cobertura sedimentar relacionada: Bambuí (P1) e Lençóis (P2). Crátons: São Francisco (C1), Rio Branco (C2), Amazônico (C3), São Luís (C4), Luís Alves (C5), Rio de La Plata (C6). Maciços arqueanos: Guaxupé (M1) Goiás (M2). Fonte: Castro, 2015; adaptado de Ussami *et al.* (1993).

Ussami *et al.* (1993) classifica a área estudada nesse trabalho dentro de um alto gravimétrico regional de direção NE-SW (H4, na figura 9), e que se deve a uma intrusão de quantidade significativa de material manto derivado na crosta.

A segunda direção marcada pela gravimetria, de direção NE-SW, não é bem marcada em trabalhos regionais de ampla escala, no entanto Hallinan *et al.* (1993) observou anomalias gravimétricas e magnéticas associadas as estruturas brasileiras que apresentam essa direção preferencial no Escudo Sul brasileiro, essas estruturas brasileiras de direção NE-SW separam os terrenos Curitiba, Embu e Apiaí, gerando um contraste de propriedades gravimétricas e magnetométricas.

Os dados magnéticos nessa área são marcados por expressivas anomalias de direção NE-SW e correlacionadas a zonas de cisalhamento brasileiras (DA SILVA *et al.*, 2014). Essas estruturas são cortadas pelo magmatismo mesozóicos que Ferreira (1982) interpretou como sendo de corpos tabulares delgados e diques oriundos do Arco de Ponta Grossa, que geram

anomalias lineares, com alta frequência e intensidade de direção NW-SE. (DA SILVA, *et al.*, 2014).

Utilizando-se de técnicas de refração sísmica Assumpção *et al.* (2013) apresentou um mapa de espessura crustal do Brasil (Figura 10), e obtendo aproximadamente profundidades de 35 km para a região do Vale do Ribeira. Em outra abordagem e utilizando de dados sísmicos, CHULICK *et al.* (2013) produziu mapas de espessuras crustais e modelos 2D da crosta, com resultados entre 35 e 40 Km.

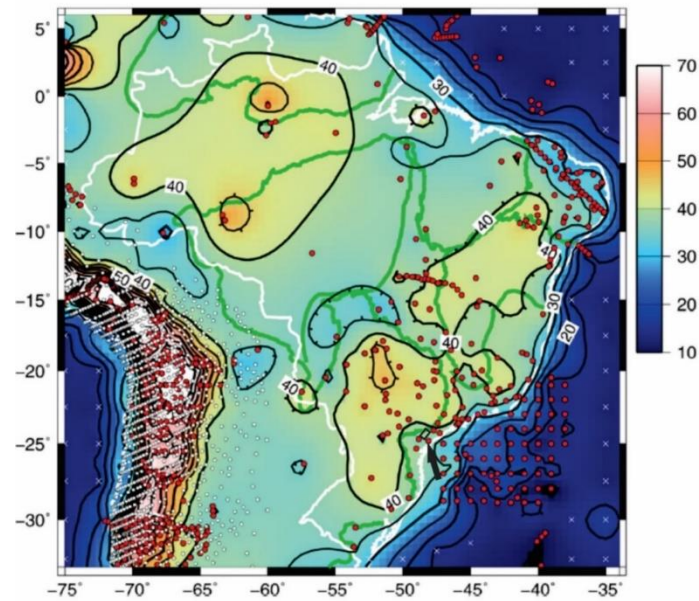


Figura 10: Mapa de espessura crustal com a área localizada entre as curvas de 30 e 40km, indicadas pela seta. Legenda em Quilômetros. Adaptado de Assumpção *et al.* (2013).

4. Resultados e Discussões

Foram aplicados os filtros matemáticos supracitados, afim de gerar os *grids* de informação geofísica para o desenvolvimento do trabalho, que são a Redução ao Pólo, Amplitude do Sinal Analítico e a Anomalia Bouguer.

4.1 Redução ao Pólo

O mapa de redução ao pólo na área de trabalho (Figura 11) apresenta valores variando de -29,3 nT (nano- Teslas) a 325.6 nT, os valores máximos são encontrados nos extremos NE e SW da área de estudo, no entanto podemos observar um domínio com anomalias significativas bem definido a SE, enquanto os valores decrescem em direção a NW até atingir seu mínimo observado. Ao observarmos *grid* em questão, algumas feições são notáveis, como as anomalias lineares de alta intensidade de direção NW-SE que podem ser associados aos enxames de diques básicos locais, e as anomalias circulares de média intensidade que podem ser associados a intrusão de corpos magmáticos magnéticos.

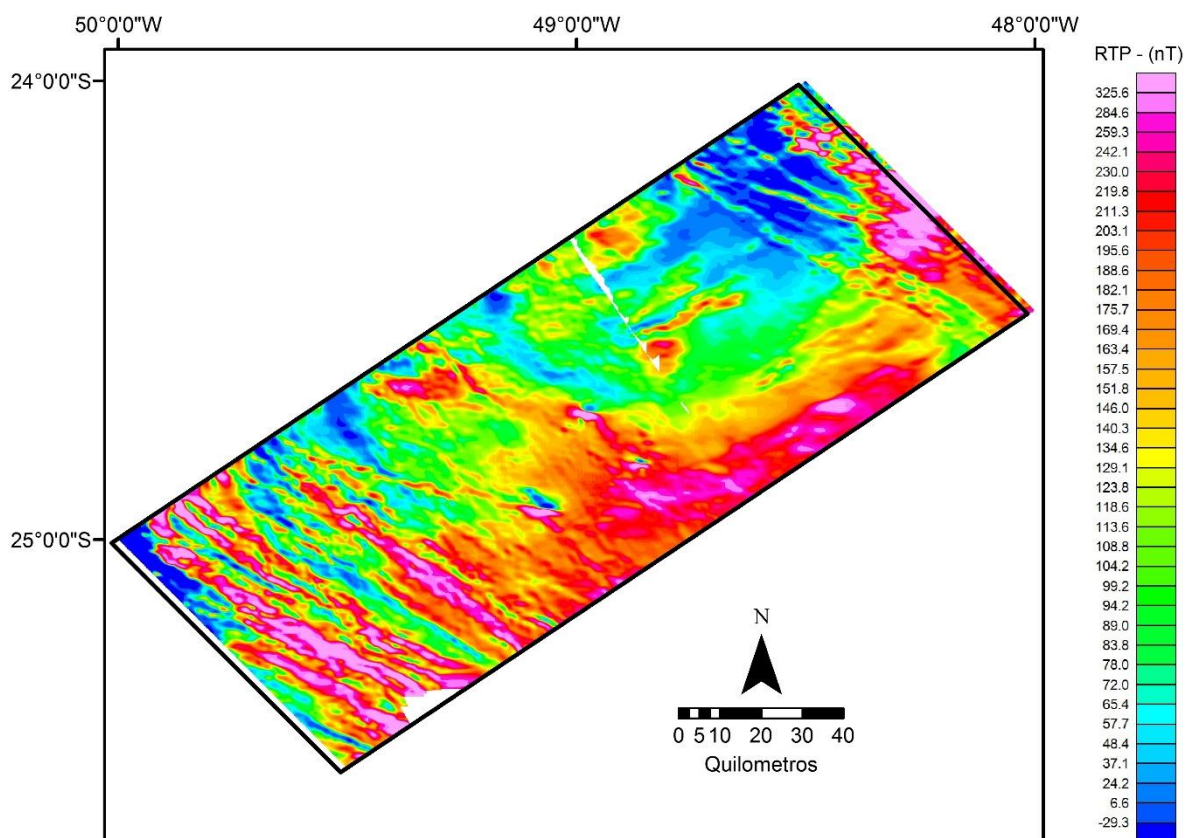


Figura 11: Mapa geofísico de redução ao pólo magnético (RTP) na área de estudo.

Associando as diversas informações fornecidas pelo *grid* com o conhecimento geológico local, foi realizada uma interpretação geológica- geofísica local (Figura 12), com a delimitação dos principais lineamentos, unidades geofísicas e intrusões magmáticas.

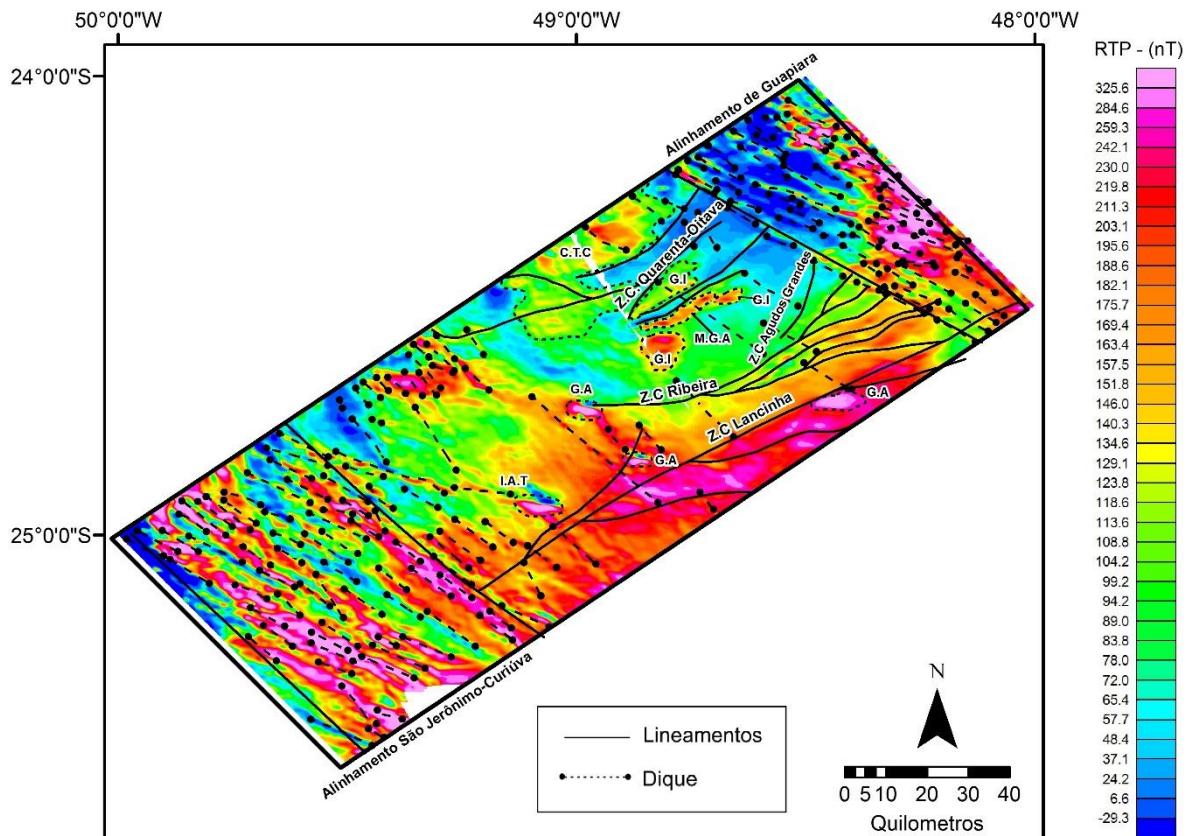


Figura 12: Interpretação geológica-geofísica no mapa de campo magnético anômalo reduzido ao pólo (RTP) na área de estudo, com os principais lineamentos, estruturas e corpos intrusivos mapeados destacados. *Legenda: C.T.C.: Complexo Três Córregos; I.A.T.: Intrusiva Alcalina Tunas; G.A.: Granitos tipo-A; G.I.: Granito tipo-I; M.G.A.: Metagabro de Apiaí.*

Observando o *grid* interpretado (Figura 12), diversas feições se destacam, os alinhamentos de São Jerônimo-Curiúva e de Guapiara se destacam pelo intenso enxame de diques básicos de direção NW-SE, que possuem uma resposta magnética de alta intensidade. O Complexo Três Córregos se destaca por apresentar anomalias com uma rugosidade moderada, com núcleos mais magnéticos que suas bordas.

As intrusivas, Granitóides tipo-A e Intrusiva Alcalina Tunas, por possuírem uma afinidade alcalina, apresentam uma resposta magnética de alta intensidade e estão dispostos ao longo de importantes falhas regionais, como a Zona de Cisalhamento Lancinha e Ribeira.

O Metagabro de Apiaí se apresenta como um corpo delgado, metamorfozado e

deformado, de moderada-alta intensidade magnética encaixado em rochas com resposta menos pronunciada.

As Zonas de Cisalhamento interpretadas separam domínios geofísicos e geológicos distintos, a Zona de Cisalhamento Lancinha separa as rochas do Terreno Curitiba, com anomalias em torno de 230 a 320 nT, das rochas do Terreno Apiaí, com valores inferiores a 230 nT. A zona de Cisalhamento Ribeira separa um domínio de média-alta intensidade, de 170 a 200 nT, de um domínio de média-baixa intensidade, menores que 110 nT. Localizada mais a norte, apenas um trecho da falha Quarenta-Oitava pode ser observado no mapa de campo magnético reduzido ao pólo, que aparece interceptando o Complexo Três Córregos.

4.2 Amplitude do Sinal Analítico

Aplicando filtro de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) sobre o mapa de campo magnético anômalo reduzido ao pólo (RTP) foi obtido um produto (Figura 13) com grande riqueza de detalhes quanto à distribuição dos corpos magnetizados na região, com contrastes expressivos e delimitando muito bem as diversas estruturas presentes na região.

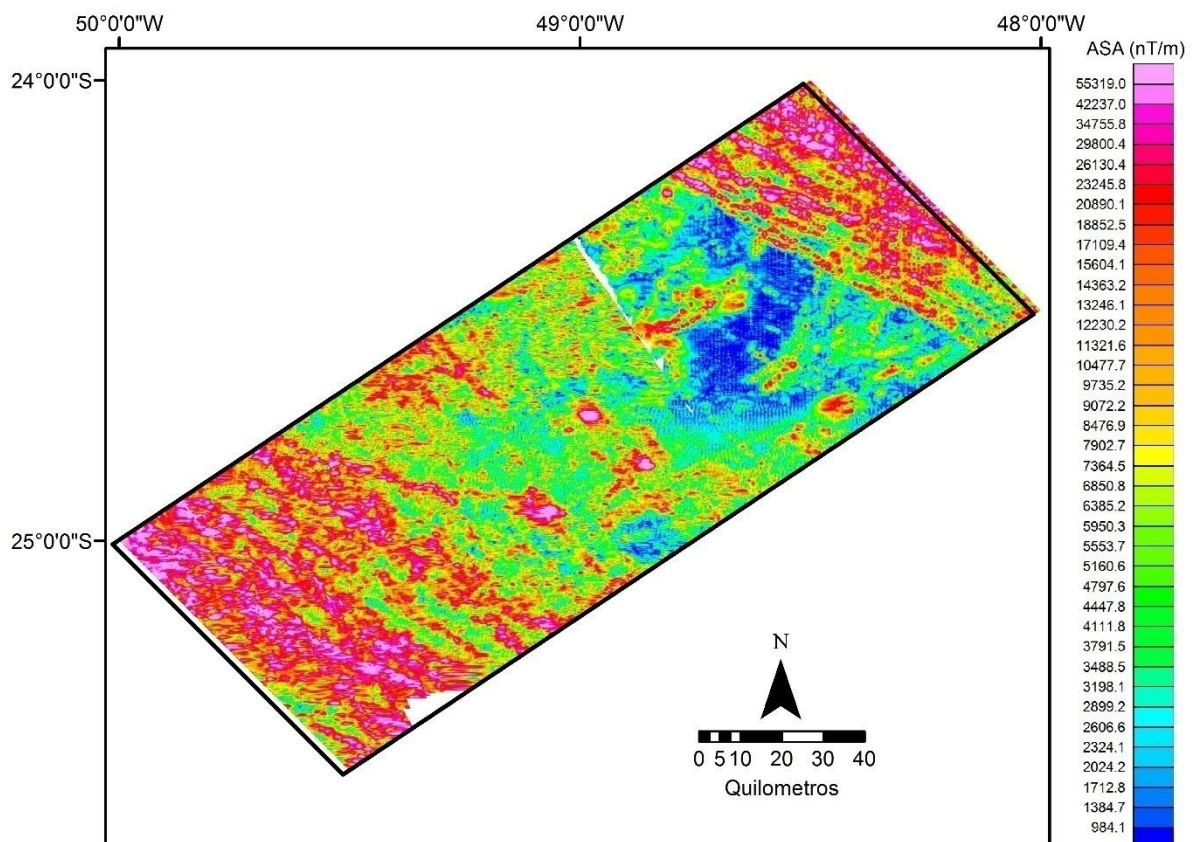


Figura 13: Grid de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo.

As intrusões granitóides tipo-A e a intrusão alcalina Tunas aparecem com grande destaque e bem delimitadas, as intrusões granitóides tipo-I e o Complexo Três Córregos aparecem com uma intensidade moderada, mas com uma textura rugosa característica, possibilitando com certa precisão a delimitação dos corpos.

4.3 Anomalia Bouguer

A Anomalia Bouguer da área de estudo (Figura 15) apresenta uma amplitude que varia de -108.83 mGal a -19.27 mGal, onde os maiores valores são encontrados a sudoeste da área estudada e os menores à nordeste. Outra separação pode ser feita no eixo sudeste-noroeste, onde temos maiores valores na porção sudoeste da área e uma redução desses valores para noroeste.

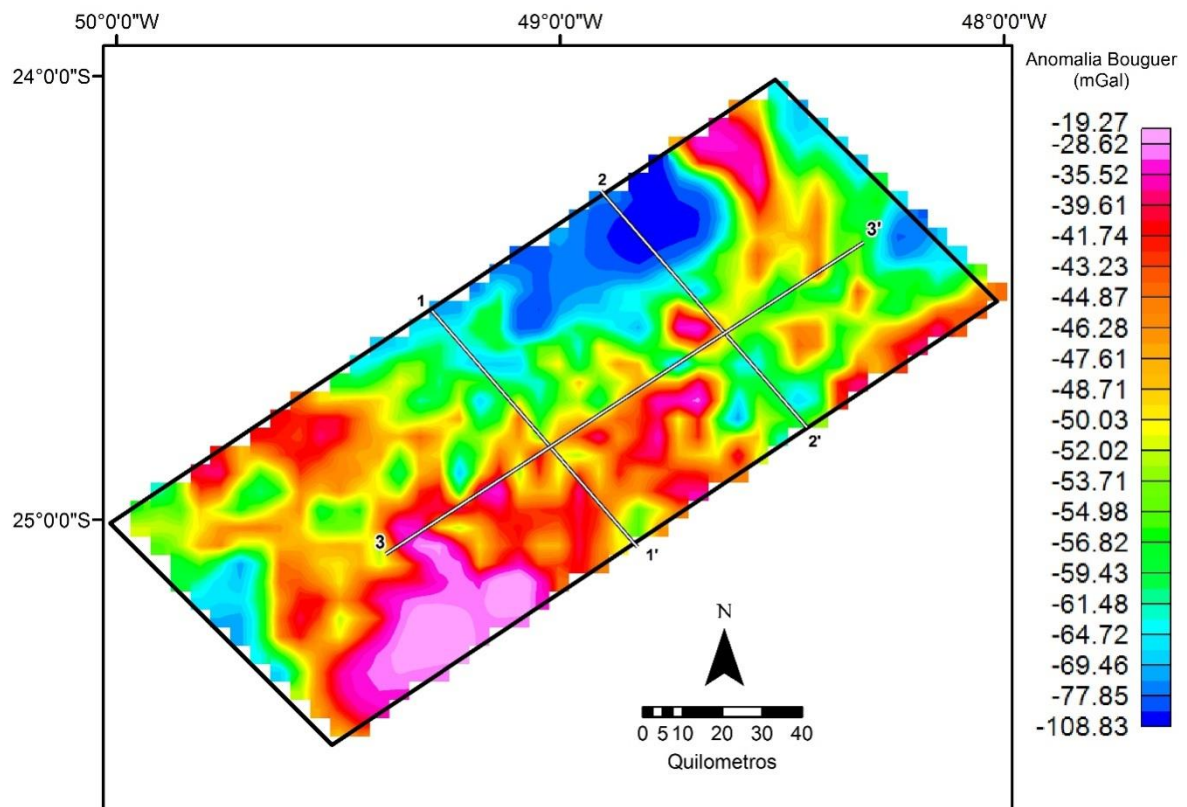


Figura 15: Grid de Anomalia Bouguer da área de estudo, com a posição dos perfis 1, 2 e 3.

Com base nos conhecimentos geológicos da região foi realizada uma interpretação sobre o grid geofísico, destacando as estruturas e unidades geológicas já conhecidas na literatura e que podem ser observadas, tais como estruturas lineares, corpos graníticos e diques de diabásio.

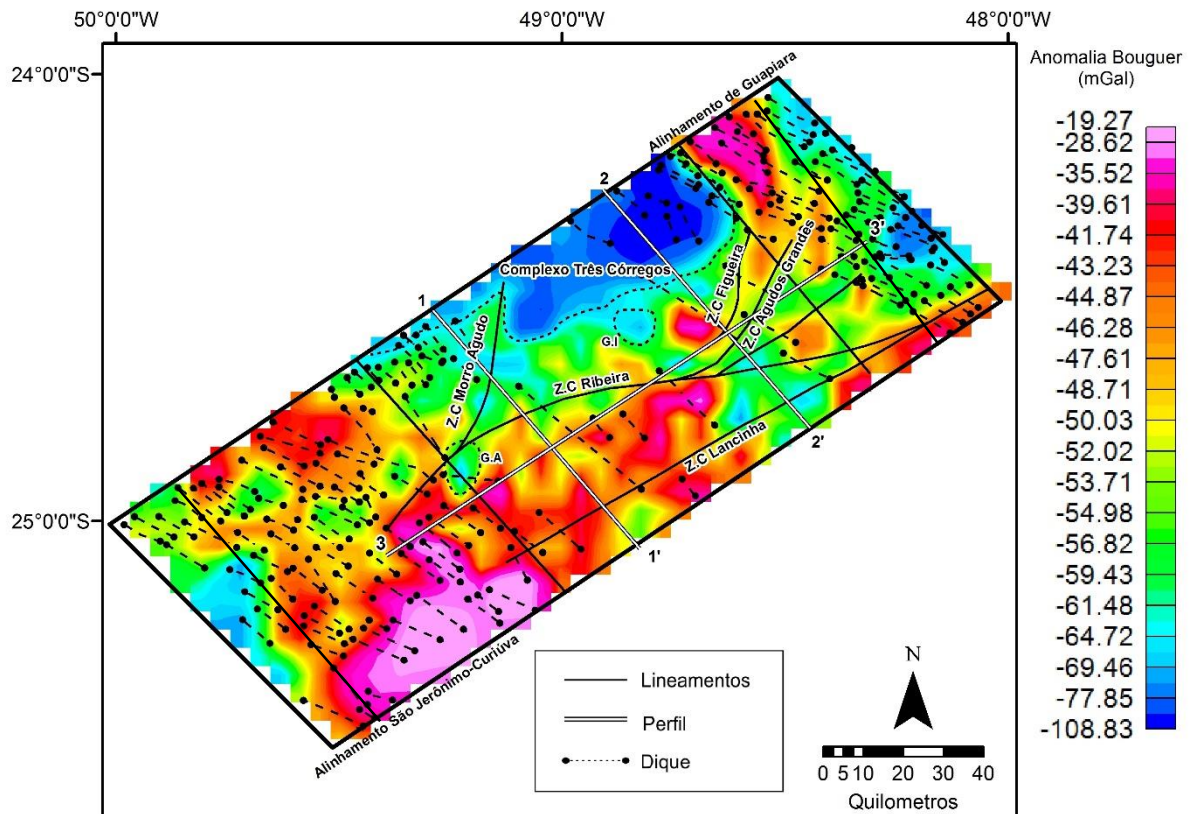


Figura 16: Anomalia Bouguer interpretada, com destaque para os perfis 1, 2 e 3. Com os diques básicos interpretados pela magnetometria. *Legenda: G.I: Granito tipo-I; G.A: Granito tipo-A.*

No mapa de anomalia Bouguer interpretado podemos observar que o alto gravimétrico a sudoeste e de direção NW-SE está associado ao enxame de diques do Alinhamento de São Jerônimo-Curiúva, a região onde observamos os máximos de -19.27 mGal estão associados a rochas gnáissicas do Terreno Curitiba, que apresentam densidade mais elevada quando comparada com as rochas ao seu redor. A Nordeste onde observamos os menores valores de Anomalia Bouguer estão as rochas do Complexo Três Córregos, que compreende um complexo granítico e consequente espessamento da crosta. Podemos observar outras estruturas semicirculares, G.I e G.A, associadas a baixos gravimétricos e que estão correlacionadas a intrusões graníticas pelo mesmo motivo.

Ao interpretarmos os dados gravimétricos foi possível observar quatro lineamentos principais e que dividem domínios importantes. A Zona de cisalhamento separa o Terreno Curitiba do Terreno Apiaí e é identificada por um contraste entre as rochas de maior densidade do Terreno Curitiba das de menor densidade do Terreno Apiaí, ao longo de zonas de anomalia Bouguer descontínuas.

A Zona de Cisalhamento Ribeira talvez seja o lineamento mais expressivo do ponto de vista gravimétrico, possuindo uma intrusão granítica tipo-A associada a ela, e apresenta valores

de anomalia mais altos a Sul da Zona de Cisalhamento, enquanto que a norte temos uma gradativa redução dos valores. A Zona de Cisalhamento Morro Agudo é caracterizada por valores medianos, em torno de -59mGal, e aparece deslocando o Complexo Três Córregos. As Zonas de Cisalhamento Agudos Grandes e Figueira possuem uma menor expressão, mas ainda são visíveis na gravimetria, ambas são caracterizadas por valores de medianos de anomalia gravitacional.

4.4 Modelamento

Foram construídos três modelos gravimétricos bidimensionais que podem ser visualizados no apêndice 1, e para a sua confecção foram usadas além da anomalia Bouguer as informações magnetométricas (mapa de campo magnético anômalo reduzido ao pólo) para orientar a disposição das estruturas e corpos intrusivos, devido a ausência de quantificação das propriedades magnéticas das rochas da área de estudo.

Como podemos observar na Figura 16, o perfil 1 possui direção NW-SE e corta as zonas de cisalhamento Morro Agudo, Quarenta- Oitava, Ribeira e Lancinha, além de outras indiscriminadas. O modelo gravimétrico mostra a interface manto – crosta inferior em aproximadamente 35km, e o contato crosta inferior – Superior em aproximadamente 10km, as unidades supracrustais não avançam para além de 3 a 4km de profundidade. O granitóide tipo-A foi modelado com profundidade de 5km, o Complexo Três Córregos está associado a um baixo gravimétrico, como pode ser visto na linha de anomalia Bouguer observada, com valores máximos em torno de -64 mGal e foi modelado em sua porção mais profunda ao redor de 10km.

O perfil 2 está posicionado 50km a NE paralelamente ao perfil 1 e possui , e intercepta as zonas de cisalhamento Quarenta-Oitava, Figueira, Agudos Grandes, Ribeira e Lancinha. O modelo mostra o contato Manto – Crosta Inferior próximo a 35Km e o contato Crosta Inferior – Superior variando entre 12 e 9km, as unidades supracrustais foram mantidas em torno de 3km. Nesse perfil é interceptado um número maior de unidades supracrustais, mas isso não se reflete na linha de anomalia Bouguer observada, no entanto na linha CMA-RTP tem um comportamento mais irregular, e como não se tem muitos diques básicos mapeados e nem observados no *grid* RTP esses picos e vales observados nas linhas se devem a zonas de cisalhamentos e os contatos entre as diversas unidades geológicas, que muitas vezes se dão por zonas de cisalhamento de menor expressão.

Entre as rochas intrusivas temos dois granitos que foram modelados com profundidades entre 5 e 6km, o Complexo Três Córregos está representado nesse perfil com profundidade máxima de 6,5km.

Perpendicular aos perfis 1 e 2 foi realizado um terceiro perfil (perfil 3), longitudinalmente na área de estudo, perfil 3 está paralelo às principais zonas de cisalhamento que foram interpretadas nos perfis anteriores e cruza com as Zonas Morro Agudo, Ribeira e Agudos Grandes, e também intercepta as intrusões básicas do Arco de ponta grossa. O modelo apresenta a interface Manto – Crosta inferior próximo a 35 km, e o contato Crosta inferior – superior em ao redor de 12 km, as unidades supracrustais apresentam a mesma espessura que nos outros dois modelos, as densidades utilizadas estão indicadas na legenda do apêndice 1.

Nesse perfil as linhas de Anomalia Bouguer e CMA-RTP observadas apresentam-se com uma irregularidade maior, com diversos picos e vales, refletindo a maior quantidade de diques básicos intrudidos e as zonas de cisalhamento que são interceptadas. São cruzadas nesse perfil granitóides tipo-A, granitóides tipo-I e a Intrusão Alcalina Tunas, essa ultima com um reflexo bem marcado por um pico na magnetometria.

5. Discussões

Observando os *grids* expostos acima podemos perceber que a Redução ao Polo (RTP) se mostrou muito eficiente para delimitar o limite entre os Terrenos Apiaí e Curitiba, assim como as principais zonas de cisalhamento. Com a redução ao polo foi possível também delimitar o Alinhamento de Guapiara e o Alinhamento São Jerônimo-Curiúva, e para uma análise regional com foco na geometria das principais estruturas, terrenos e complexos magmáticos foi bastante eficaz.

O *grid* de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) possibilitou destaque das estruturas lineares e corpos intrusivos, mostrando uma quantidade maior de zonas de cisalhamentos e diques do que a Redução ao Polo, além de que a Intrusão Alcalina Tunas e as intrusões granitóides tipo-I e tipo-A mostraram seus contornos bem delimitados.

O contraste entre as texturas no mapa de ASA foi bastante eficiente para identificar diferentes domínios geofísicos, e foi usado esse critério a fim de identificar e delimitar corpos magmáticos como diques e intrusões alcalinas e granitóides (ex: Complexo Três Córregos); assim, para análise estrutural a utilização da ASA é altamente recomendada nesta região.

Na interpretação da Anomalia Bouguer foi observado um número menor de zonas de cisalhamento e não se mostrou muito eficaz na delimitação de corpos intrusivos, no entanto com ela é possível delimitar domínios regionais, como os Terrenos Curitiba e Apiaí. O Complexo Três Córregos, assim como outras intrusões de médio porte, se manifestam como anomalias negativas à sua densidade inferior em relação à densidade de cálculo da Bouguer, e para esse fim a gravimetria foi bastante eficiente. Os dados utilizados foram obtidos a partir de um satélite, e devido a isso representa melhor as estruturas profundas que as rasas.

Analisando os *grids* de RTP, ASA e Anomalia Bouguer conjuntamente e correlacionando-os com os modelos geofísicos 2D elaborados temos que a Zona de Cisalhamento Lancinha, que é uma zona de sutura entre os Terrenos Apiaí e Curitiba, é uma estrutura que aparece bem marcada tanto na gravimetria e como na magnetometria e põe rochas de diferentes terrenos com diferentes propriedades físicas lado a lado, resultando assim numa estrutura facilmente reconhecível por métodos geofísicos. Outra estrutura que é observada em todos os *grids* e nos três perfis é a Zona de Cisalhamento Ribeira, como podemos ver nos perfis essa zona de cisalhamento dextral justapõe as rochas do Grupo Votuverava e do Subgrupo Lajeado.

Quando analisamos os valores das curvas de Anomalia Bouguer e RTP nos perfis, vemos que essa Zona de Cisalhamento separa dois domínios gravimétricos, onde a SE temos

os maiores valores de Anomalia Bouguer e que estão provavelmente associadas às rochas gnáissicas do embasamento de maior densidade, expostas no Terreno Curitiba.

A noroeste da Zona de Cisalhamento Ribeira ocorre a Zona de Cisalhamento Quarenta-Oitava, que aparece discretamente no *grid* RTP, e com maior contraste no *grid* de ASA. Essa Zona de cisalhamento separa as rochas do Subgrupo Lajeado das rochas magmáticas do Complexo Três Córregos e de outras intrusões tardi- orogênicas.

Entre as Zonas de Cisalhamento Quarenta-Oitava e Ribeira temos duas outras, a Zona de Cisalhamento Agudos Grandes e Figueira. Essas estruturas são visíveis nos grids de Anomalia Bouguer e ASA, já na RTP apenas a Agudos grandes é identificável, analisando os perfis temos que essas estruturas geram uma repetição entre as rochas da Formação Iporanga e do Grupo Votuverava.

Ao comparamos os três modelos geológicos-geofísicos elaborados nesse trabalho com o perfil geológico (Figura 7) mostrados por Campanha (2002), temos que a disposição lateral entre as unidades geológicas foram confirmadas, respeitando as diferenças na escalada de trabalho, e as zonas de cisalhamento com direção NE-SW e movimento dextral de acordo com o Sistema Transcorrente Paraíba do Sul (CAMPANHA, 2002).

A profundidade modelada da Moho foi mantida próximo de 35 km baseando-se em Assumpção *et al.* (2013) , variando entre 33 e 37 km, já o contato entre a crosta inferior e superior é apresenta-se de forma mais irregular, com variações entre 9 e 12km de profundidade.

Talvez a feição mais destoante na área de estudo seja os Alinhamentos do Arco de Ponta Grossa e seu enxame de diques básicos, que podem ser vistos nos *grids* e nos perfis. O enxame de diques a nordeste, denominado de Alinhamento de Guapiara está bem delimitado no mapa de ASA, já no RTP é possível identificar alguns diques, mas não estão tão bem marcados como no mapa de ASA uma vez que esse filtro matemático amplia os contrastes de magnetização evidenciando mesmo os diques com magnetização mais baixa. Quando analisamos a Anomalia Bouguer vemos um alto gravimétrico na região de ocorrência dos diques (interpretados e mapeados), mas que não necessariamente segue o *trend* dos diques inferidos por magnetometria, indicando talvez uma fonte mais profunda para esses diques.

O Alinhamento de São Jerônimo-Curiúva aparece de maneira mais expressiva na área de trabalho, e é muito visível nos três *grids* e foi representado de maneira esquemática, assim como o Alinhamento de Guapiara, no perfil 3. O extenso enxame de diques aparece como um alto magnético e um alto gravimétrico, e quando comparamos a direção dos diques inferidos com a anomalia gravimétrica temos uma melhor correlação do que quando comparado ao Alinhamento de Guapiara.

Das Zonas de Cisalhamento e Alinhamentos aqui expostos e discutidos mostram que as tramas magnéticas preponderantes na área são as correlacionadas ao Neoproterozóico, do sistema transcorrente Paraíba do Sul de direção NE-SW (CAMPANHA, 2002) e as associadas ao Arco de Ponta Grossa de direção NW-SE (STRUGALE *et al*, 2007), e é importante frisar que as estruturas observadas depende da escala de aquisição dos dados e da sensibilidade dos equipamentos utilizados.

As rochas intrusivas da área se dividem em Granitóides tipo-I, Granitóides tipo-A e intrusivas alcalinas, a destacar a intrusiva alcalina Tunas. Esses granitóides e alcalinas são intrusões pós-orogênicas, logo mais novas que a orogenia brasileira (ULBRICH & GOMES, 1981), e podemos correlacionar essas intrusões às zonas de cisalhamento e falhas da área, vide os *grids* interpretados. Uma das possíveis razões para tal seria a utilização das zonas de cisalhamento e falha como zonas de fraqueza na qual as intrusões de utilizaram para se alojar.

6. Conclusões e Recomendações

Com base dos resultados apresentados anteriormente e o desenvolvimento deste trabalho foi possível constatar a relevância da geofísica, em especial a aerogeofísica para estudos de escalas regionais e de interpretação de estruturas e geometria da crosta.

A análise integrada de métodos magnéticos e gravimétricos possibilitou interpretação acerca das principais estruturas e domínios geológicos, enquanto a modelagem permitiu uma melhor visualização do arcabouço e geometria em profundidade na região do Vale do Ribeira estudada.

Considerando os resultados podemos observar a relevância de cada *grid* para a elaboração das interpretações geofísicas e dos modelos geológicos. A redução ao polo (RTP) se mostrou extremamente importante, inicialmente por reduzir o efeito dipolar das anomalias, e por possibilitar a separação entre os Terrenos Apiaí e Curitiba, e separar as rochas do Grupo Votuverava, a SE da Zona de Cisalhamento Ribeira, das rochas do Subgrupo Lajeado, a NW da zona citada anteriormente.

Algumas intrusões graníticas e a Intrusão Alcalina Tunas apresentaram-se bem definidas, as intrusões básicas associadas aos alinhamentos de Guapiara e São Jerônimo-Curiúva estão bem delimitadas e fortemente marcadas por alto magnéticos de direção NW-SE.

Ao observarmos o *grid* de Amplitude do Sinal Analítico temos uma grande quantidade de lineamentos magnéticos e estruturas marcadas, assim se mostrando muito útil para realizar interpretações estruturais e delimitar intrusões e alinhamentos. No *grid* de ASA foi onde foram observadas um maior número de Zonas de Cisalhamento e corpos magmáticos intrusivos, os Alinhamentos e Guapiara e de São Jerônimo-Curiúva mostraram uma grande quantidade de diques básicos e seus limites se mostraram bem delimitados.

O mapa de Anomalia Bouguer apresenta feições menos detalhadas, mais segmentadas, mas podemos observar o arcabouço regional, delimitando os Terrenos Curitiba e Apiaí, a extensão do Complexo Três Córregos e outras intrusões magmáticas, e o alto gravitacional associado aos Alinhamentos de Guapiara e São Jerônimo-Curiúva.

Os três modelos gravimétricos permitiram identificar a profundidade do contato Crosta-Manto e Crosta inferior-superior, assim como a influência dos diques básicos nas anomalias gravimétricas da área estudada. Observando os modelos vemos a disposição entre as unidades geológicas locais que se dão por justaposição devido a zonas de cisalhamento dextrais, não havendo um empilhamento horizontal dessas unidades supracrustais.

Com os produtos e discussões apresentados temos uma simplificação das estruturas regionais e arcabouço crustal da porção estudada do Vale do Ribeira, para um maior detalhamento dos contatos em profundidade é recomendado realizar um levantamento gravimétrico terrestre, e no sentido de melhorar a visualização e entendimento dessa área tão complexa a elaboração mais um modelo tridimensional.

7. Referencias Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 1-19, 1981
- ASSUMPCÃO, M., BIANCHI, M., JULIÁ, J., DIAS, F. L., FRANÇA, G. S., NASCIMENTO, R., DROUET, S., PAVÃO, C. G., ALBUQUERQUE, D. F., LOPES, A. E. V. Crustal thickness map of Brazil: data compilation and main features. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 43, p. 74-85, 2013.
- BARANOV, V., NAUDY, H., Numerical calculation of the formula of Reduction to the Magnetic Pole. **Geophysics** 29, 67–79, 1964.
- BLAKELY, R. J. **Potential Theory in Gravity & Magnetic applications**. First edition. Cambridge: Cambridge University Press, 435p.1996.
- CAMPANHA, G. A. C. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira. Habil. 2002.** Tese de Doutorado. thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, p 105.
- CAMPANHA, G. A. C.; SADOWSKI, G. R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apirai Domain). **Precambrian Research**, v. 98, n. 1, p. 31-51, 1999.
- CASTRO, Luis Gustavo de. Arcabouço geofísico estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira e regiões adjacentes. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. p 189.
- CHULICK, G. S., DETWEILER, S., MOONEY, W. D. Seismic structure of the crust and uppermost mantle of South America and surrounding oceanic basins. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 42, p. 260-276, 2013.
- DAITX, E. C. **Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo-Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR).** 1996. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Área de Concentração em Geologia Regional.
- DA SILVA, M. G.; NETO, M. B. R.; JOST, H. KUYUMJIAN R. M. Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. Belo Horizonte, CPRM, 589p., 2014.
- DE ARAÚJO, C. C.; MACEDO, A. B. Geoprocessamento de dados geológicos para mapeamento de favorabilidade para cobre, chumbo e zinco no Vale do Ribeira (SP-PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 3, p. 317-328, 2004.
- DOS SANTOS, Telmo M. Bento; TASSINARI, Colombo CG; FONSECA, Paulo E. Diachronic collision, slab break-off and long-term high thermal flux in the Brasiliano–Pan-African orogeny: Implications for the geodynamic evolution of the Mantiqueira Province. **Precambrian Research**, v. 260, p. 1-22, 2015
- EBERT, H.D., HASUI, Y., 1998. Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of southeast Brazil. *Geol. Soc. London*,
- FALEIROS, F. M. **Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR).** 2008. Tese de Doutorado. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS.

- FERNANDES, M. A.; MALAGUTTI FILHO, W.; DOURADO, J. C.; MOREIRA, C.A.. Modelagem gravimétrica no Lineamento Guapiara, sul do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, v. 34, n. 1, p. 69-77, 2013.
- FERREIRA, F. J. F. Alinhamentos estruturais-magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. **Geologia da Bacia do Paraná: Reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos. São Paulo, Consórcio CESP-IPT**, p. 144-166, 1982.
- FERREIRA, F. J. F.; R. A. V. MORAES; M. P. FERRARI; R. B. VIANNA. Contribuição ao estudo do Alinhamento Estrutural do Guapiara. In: Simpósio Regional de Geologia, SBG Curitiba, Atas..., p. 226-240, 1981
- GUNN, P. J.; DENTITH, M. C. Magnetic responses associated with mineral deposits. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 145-158, 1997.
- HACKSPACHER, P. C. et al. Evidence of Neoproterozoic backarc basin development in the central Ribeira Belt, southeastern Brazil: new geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui Groups. **Brazilian Journal of Geology**, v. 30, n. 1, p. 110-114, 2000.
- HALLINAN, S.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKY, W.; BRAGGION, I. Estrutura do Escudo Sul-Brasileiro: Uma revisão Através de dados Gravimétricos e Magnetométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 3, p. 201-214, 1993.
- HARALYI, N., L. E. & HASUI, Y. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, n. 1-3, p. 160-166, 1982.
- HASUI, Y., HARALYI, N., L. E., COSTA, J. B.S. Megaestruturação pré-cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. **Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 7-31, 1993.
- HASUI, Y. A grande colisão Pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.
- HASUI, Y. Sistema orogênico Mantiqueira. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M., Bartorelli, A., **Geologia do Brasil**, primeira edição. São Paulo, Beca Editora, 2012. Capítulo 15, p. 331-374.
- HEILBRON, M. *et al.* Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 294, n. 1, p. 211-237, 2008.
- LA FEHR, T. R. e NABIGHIAN, M. N. **Fundamentals of gravity exploration**. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2012. 198 p. (Geophysical monograph series: number 17).
- MANTOVANI, M. S. M.; DE BRITO NEVES, B. B. The Paranapanema Lithospheric Block: Its Importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) Supercontinent Theories. **Gondwana Research**, v. 8, n. 3, p. 303-315, 2005.
- MARANGONI, Y. R. & MANTOVANI, M. S. M. Geophysical signatures of the alkaline intrusions bordering the Paraná Basin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 41, p. 83-98, 2013.
- MENEZES, P. T.L.; TRAVASSOS, J. M. EM modeling of the central–northern portion of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, Brazil. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 150, n. 1, p. 145-158, 2005.

- MISI, A., Geological and Isotopic Constraints on the Metallogenic Evolution of the Proterozoic Sediment-Hosted Pb-Zn (Ag) Deposits of Brazil. *Gondwana Res*, 1999.
- NABIGHIAN, M. N.; ANDER, M. E.; GRAUCH, V. J.; HANSEN, R. O., LAFEHR, T. R.; LI, Y.; PEIRCE, J. W.; PHILLIPS, J. D.; RUDER, M. E. Historical development of the gravity method in exploration. *Geophysics*, v. 70, n. 6, p. 63ND–89ND, 2005b.
- NABIGHIAN, M. N.; GRAUCH, V. J.; HANSEN, R. O., LAFEHR, T. R.; LI, Y.; PEIRCE, J. W.; PHILLIPS, J. D.; RUDER, M. E. The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, v. 70, n. 6, p. 33ND-61ND, 2005a.
- PAVLIS, N. K.; HOLMES, S. A.; KENYON, S. C.; FACTOR, J. K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, v. 117, n. B4, 2012.
- ROEST, W.R., Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics* 57, 116, 1992.
- SIAL, A. N.; OLIVEIRA, E. P.; CHOUDHURI, A. Mafic dyke swarms of Brazil. *Geological Association of Canada Special Paper*, v. 34, p. 467-481, 1987.
- SIAL, A N., DALL'AGNOL, R., FERREIRA, V.P., NARDI, L.V.S., PIMENTEL, M.M., WIEDEMANN, C.M., Precambrian granitic magmatism in Brazil. *Episodes* 22, 191–198, 1999.
- SIGA JUNIOR, OSWALDO, *et al.* "U-Pb (Zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications." *Geologia USP. Série Científica* 3 (2003): 39-49.
- SILVA, A.T.S.F., ALGARTE, J.P., Contribuição à geologia da Sequencia Turvo-Cajati entre os Rio Partdo e Pariquera-Açu, estado de São Paulo, I – Litologia e Petrografia. Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia, SBG, Curitiba, PR, volume 1:109-119, 1981.
- STRUGALE, M. ROSTIROLLA, S. P.; MANCINI, F.; PORTELA FILHO, C. V.; FERREIRA, F. J. F.; DE FREITAS, R. C. Structural framework and Mesozoic–Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 24, n. 2, p. 203-227, 2007.
- TASSINARI, C. C. G. et al. Aplicação dos isótopos de Pb e Sr na determinação da natureza das fontes das mineralizações de chumbo do vale do Ribeira-SP e PR. In: **36 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**. Natal: SBG, 1990.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. Cambridge: Cambridge university press, 1990.
- THOMSON, S., FOUNTAIN, D. & WATTS, T. Airborne Geophysics – evolution and revolution. Plenary Session: The Leading Edge. **Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration**, Milkereit, B. p. 19-37. 2007.
- ULBRICH, H. H. G. J.; GOMES, C. B. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1, p. 135-154, 1981.
- USSAMI, N., DE SÁ, N. C., MOLINA, E. C. Gravity map of Brazil 2. Regional and residual isostatic anomalies and their correlation with major tectonic provinces. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, n. B2, p. 2199-2208, 1993.
- VAN DER MEIJDE, M.; JULIÀ, J.; ASSUMPÇÃO, M. Gravity derived Moho for South America. *Tectonophysics*, v. 609, p. 456-467, 2013.

Apêndice 1