

1.1 Introdução

Os complexos alcalinos e as rochas alcalinas, localizados no Brasil, apresentam uma enorme gama na sua variedade petrográfica, que reflete em parte as origens magmáticas distintas e processos físico-químicos diferenciados. Os tipos petrográficos encontram representantes ultramáficos a leucocráticos e essa característica reflete a variação mineralógica e, por conseguinte a densidade específica em cada rocha. Uma rocha alcalina pode ser erroneamente identificada *in situ* como sendo um granito ou peridotito, ou mesmo qualquer outro tipo de rocha devido a sua diversidade, no entanto, suas propriedades mineralógicas e físicas são distintas, principalmente no que tange às propriedades magnéticas.

A definição de rocha alcalina não é tão simples, isso ocorre devido a sua complexidade petrográfica. No entanto, o termo rocha alcalina pode ser usado nos seguintes casos (Sørensen, 1974):

1. Rochas ígneas do Atlântico ou séries alcalinas (associações, grupos e fácies).
2. Rochas ígneas com predominância em álcali-feldspato, com valores em álcalis superiores a média.
3. Rochas ígneas com feldspatóides.
4. Rochas ígneas com índice alcalino inferior a 51 (óptico).
5. Rochas ígneas com feldspatóides e ou soda piroxênios e ou anfibólios.

Shand (1922, 1933), Sørensen (1974) e Almeida em 1983, utilizaram a seguinte definição para rochas alcalinas: **“Como rochas alcalinas são entendidas as que possuem feldspatóides e/ou anfibólios ou piroxênios alcalinos. De suas associações podem participar dunitos, peridotitos, carbonatitos, rochas cálcio-alcalinas, kimberlitos, etc.”**. As rochas alcalinas possuem uma característica em comum, elas possuem baixa concentração de sílica, de tal forma que condiciona a formação de feldspatóides (foides) em comparação a formação de cristais de quartzo. Ulbrich & Gomes (1981) classificaram as rochas alcalinas do Brasil em oito tipos de associações petrográficas distribuídas em dez províncias alcalinas, sendo seu trabalho pioneiro na identificação e classificação geológica.

Na região meridional da Plataforma Sul-Americana, região na qual esse trabalho focaliza alguns exemplares há a manifestação de varias Províncias Alcalinas, como definidas por Almeida (1983). Entende-se por Província Alcalina, grupos de rochas alcalinas e associações que possuem alguma relação estrutural (“posicionamento no espaço”, alinhamentos e lineamentos), que mantêm entre si relações petrográficas e pertencem a determinados intervalos de idade. Essas rochas na sua maioria se relacionam as feições tectônicas locais, como arcos, flexuras, zonas de falhas, ou rifts.

Um dos objetivos do atual projeto foi estudar do ponto de vista geofísico o alojamento de alguns complexos alcalinos em diferentes províncias, localizadas na região meridional da Plataforma Sul-Americana. Na maioria dos casos, as rochas alcalinas formam estruturas quase-circulares, nem sempre deformadas ou

balizadas na direção das principais estruturas tectônicas locais, essas características podem mascarar um eventual registro da ação tectônica quando do seu alojamento. O seu condicionamento estrutural geralmente é verificado num cenário externo a cada corpo alcalino, ocorrendo através do agrupamento das manifestações quanto a sua posição no espaço, idade, petrografia e feições tectônicas, para verificação de alinhamentos, por exemplo.

Neste projeto o condicionamento tectônico das rochas alcalinas foi analisado através do estudo individual. No que se refere ao alojamento e, por conseguinte à distribuição de massa da rocha, o condicionamento tectônico é refletido na disposição da sua massa. Assim sendo, se houver uma falha de distensão numa determinada direção, a maior concentração de magma se dará na mesma direção, se e somente se, o evento tiver contribuído para o alojamento. Apesar de algumas intrusões apresentarem alojamentos não passivos, “intrusões ativas”, em ambiente de compressão, num sistema simplificado, o seu alojamento ocorre na direção ortogonal aos esforços resultantes, sem levar em consideração a rotação e o próprio formato do duto de percolação.

Assim sendo, podemos citar alguns parâmetros que atuam no alojamento das intrusões:

- a) viscosidade do magma.
- b) concentração de fluidos, líquidos e gases, que alteram a viscosidade e pressão do magma, resultando na maior mobilidade do seu alojamento e conseqüentemente na tortuosidade do duto. Quanto maior a concentração de fluidos maior a explosividade da erupção vulcânica (exemplo: monte Santa Elena – USA e o vulcão Krakatoa - Indonésia).

- c) Composição do magma.
- d) Cinéticos : tempo, velocidade e espaço de alojamento.
- e) Resfriamento.

A idéia de verificar se os alojamentos desses corpos apresentam algum alinhamento geométrico nas suas propriedades físicas, principalmente gravitacional (massa), que possam ser inferidas como resultantes da ação tectônica faz parte do escopo do projeto. Alguns casos estudados apresentaram informações inéditas e que contribuirão para a reformulação do modelo de alojamento e posteriormente em modelos de exploração.

As rochas alcalinas possuem características físicas inerentes, sendo estas comentadas no atual trabalho. Características magnéticas e gravitacionais são discordantes das demais rochas crustais, permitindo o seu estudo a partir das anomalias geradas. As anomalias radiométricas nem sempre são observáveis, a não ser quanto às rochas associadas, sendo citado os carbonatitos que apresentam concentrações anômalas de potássio, tório e urânio.

Devido ao seu alcance de investigação e resposta na delimitação lateral, os métodos potenciais apresentam destaque na investigação das intrusões magmáticas em comparação aos demais métodos, incluindo os métodos sísmicos (Vignerresse, 1995).

A gravimetria é o método que apresenta melhor resposta no modelamento e determinação de parâmetros geométricos da rocha. A sua correlação direta com a quantidade de massa e volume, é um dos fatores que favorecem o uso do método devido a sua resposta em comparação a magnetometria.

A intensidade de magnetização numa rocha nem sempre é acompanhada de um aumento na densidade da rocha, em alguns casos, podem ocorrer na natureza rochas leucocráticas com minerais magnéticos dispersos na matriz, resultando num campo magnético intenso, porém de densidade baixa. Um exemplo ocorre em Tunas-PR com álcali sienitos, que apresentam uma matriz de coloração branca com mineral de magnetita dispersa, em concentração suficiente para gerar um campo intenso. A magnetometria foi utilizada em modelamentos quando informações gravimétricas foram restritas. O campo magnético com valores intensos, formando dipolos, em corpos circulares ou quase-circulares, é uma das características físicas que identificam as rochas alcalinas, salvo algumas exceções, como no caso de Poços de Caldas, composto por rochas de baixa magnetização, Sienito e nefelina-sienito, onde apenas as bordas do corpo possuem anomalia. Esse fato decorre possivelmente devido à mineralização de elementos ferrimagnéticos.

A partir do modelo tri-dimensional foi possível verificar informações geométricas do alojamento de cada rocha alcalina, bem como, da estabilidade hidrostática da rocha, já que um corpo imerso num meio de densidade diferente gera uma força de empuxo. A força resultante sobre a rocha pode estar ou não em equilíbrio e, caso não esteja, ocorrerá um deslocamento vertical.

Portanto, o enfoque do atual projeto é analisar a resposta gravimétrica, magnetométrica com os referidos modelos conjuntamente à topografia através do projeto Radar Topography Mission (NASA, 2000) e obter informações quanto ao alojamento, falhas e alinhamentos identificáveis remotamente como complementação das informações. Imagens de satélites foram utilizadas para a

visualização das rochas alcalinas, principalmente nas frequências espectrais do infravermelho.

As rochas alcalinas que foram analisadas sobre uma geometria tridimensional. São respectivamente; **na província do Arco de Ponta Grossa**: Jacupiranga, Juquiá, “Registro”, Tunas e Pariquera-Açu; **na província Alto Paranaíba**: Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e São Gotardo; **na província Ipanema**: Ipanema; **na província Serra do Mar** : Tanguá.

Dessas rochas São Gotardo e Tunas não tiveram resposta gravimétrica esperada implicando na inexistência de anomalia gravimétrica. No entanto, observa-se a existência de anomalia magnética em ambos os casos. Tanguá contou com poucos pontos gravimétricos devido ao seu difícil acesso, porém foi possível verificar uma tendência do campo, sendo formada por um baixo gravimétrico. A rocha encaixante e alcalina apresentam contraste de densidade, sendo possível o seu estudo, a não ser da logística atual para a aquisição de dados.

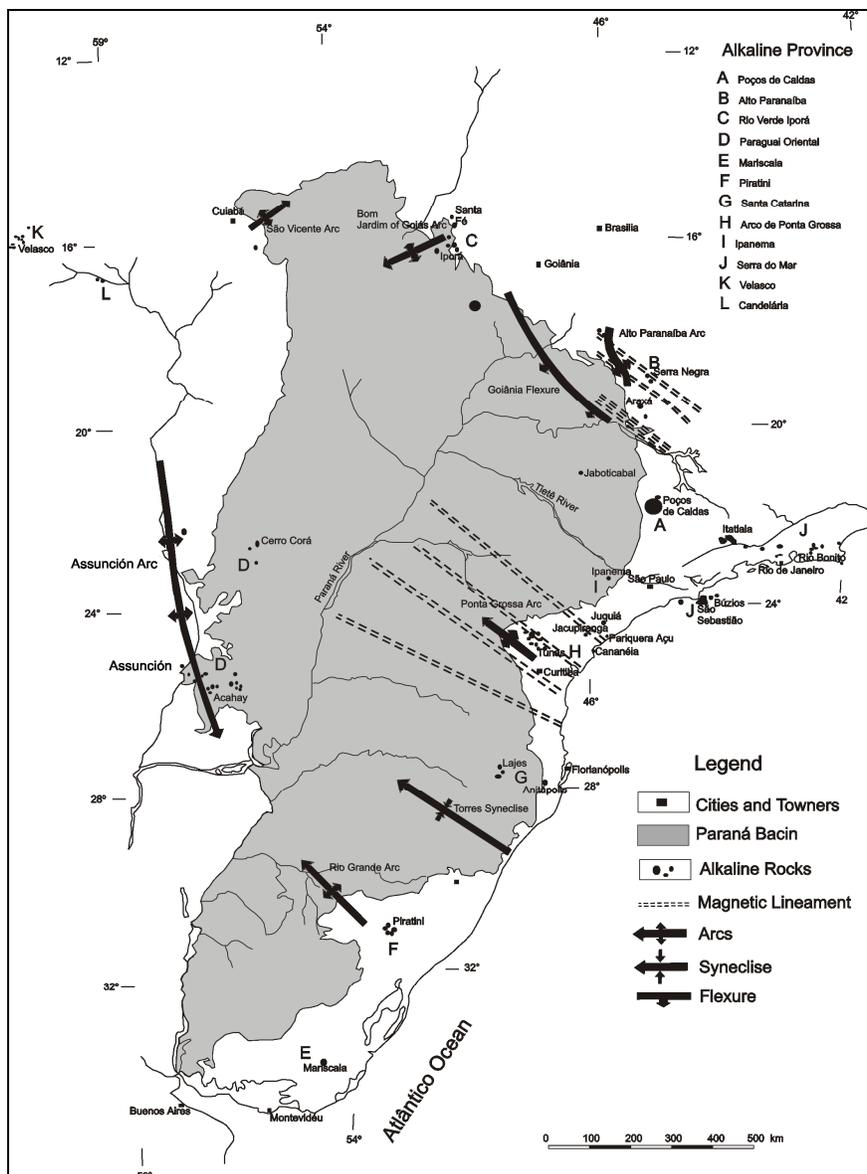


Figura I. 1. Mapa de localização dos Complexos Alcalinos (Almeida, 1983) ao qual foi adicionado o complexo alcalino de Paríquera – Açú.

1.2 Breve histórico

Os complexos alcalinos de Jacupiranga, Juguá, Registro e Paríquera Açú já faziam parte do banco de dados gravimétricos do IAG/USP, estando localizados no Domínio Apiaí inserido no Vale do Ribeira, porção Sudeste do Estado de São Paulo. Na Figura I. 2 observa-se o mapa anômalo Bouguer dos complexos. A

provincia tectônica do Arco de Ponta Grossa, é representada no Domínio Apiaí pelo lineamento Guapiára que corresponde ao enxame de intrusões magmáticas na forma de diques orientados preferencialmente segundo NW. As intrusões alcalinas estão alojadas dentro e nas bordas do alinhamento Guapiára, sendo sua resposta mais proeminente observada através dos dados aeromagnéticos do Levantamento São Paulo – Rio de Janeiro, sub-áreas 3 e 4, Figura I. 3.

Jacupiranga, Juquiá e Pariquera-Açu apresentam modelos gravimétricos com geometria tridimensional, enquanto que, Registro foi modelado através dos dados aeromagnéticos da CPRM e magnetometria terrestre, e gravimetria em perfil respectivamente com geometria 3D e 2.5D. O complexo alcalino de Tunas, localizado no Estado do Paraná que está inserido no lineamento São Jerônimo - Curiúva do Arco de Ponta Grossa, foi modelado somente através dos dados aeromagnéticos da CPRM, na geometria 2.5D. Desses apenas os modelos gravimétricos podem ser utilizados efetivamente no escopo do projeto. Os demais modelos apresentam restrições nas conclusões a respeito da atuação tectônica, sendo utilizado como uma estimativa do volume de magma oriundo do alojamento. O volume também apresenta as suas incertezas, principalmente no que se refere a densidade usada no modelo. A modelagem conjunta de dados gravimétricos e magnéticos, em alguns casos, estabeleceu informações mais completas do formato da intrusão.

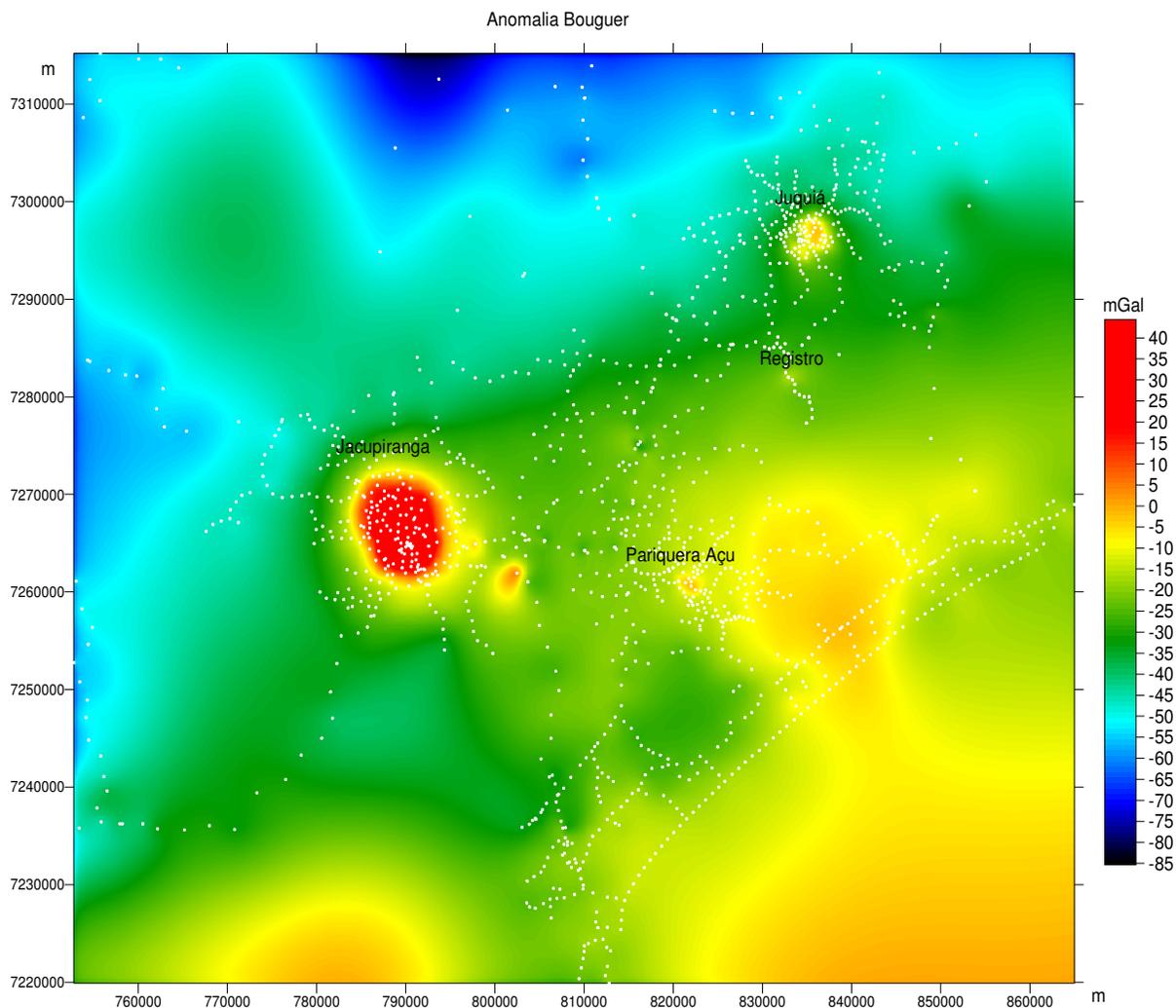


Figura I. 2. Anomalia Bouguer da faixa compreendida pelo lineamento Guapiára. Os complexos alcalinos possuem magnitude anômala com formato aproximadamente circular, estando representados no mapa com seus respectivos nomes. Os pontos na cor branca representam as estações gravimétricas. A alcalina de Cananéia (Souza, 1995) apresenta campo anômalo inexpressivo em comparação as demais, não estando representada no mapa.

A possível alcalina de Registro segundo Ferreira apresentava apenas dados aeromagnéticos e, atravessando o corpo, foi feito um único perfil gravimétrico, devido a dificuldade de acesso. Apesar das dificuldades do acesso,

realizaram-se três perfis sísmicos no local obtendo-se importantes conclusões a respeito desse corpo anômalo e um perfil magnético terrestre sobre o corpo. Existem fortes indícios de se tratar de uma intrusão alcalina, ao analisarem-se os dados sísmicos em complemento aos demais métodos empregados.

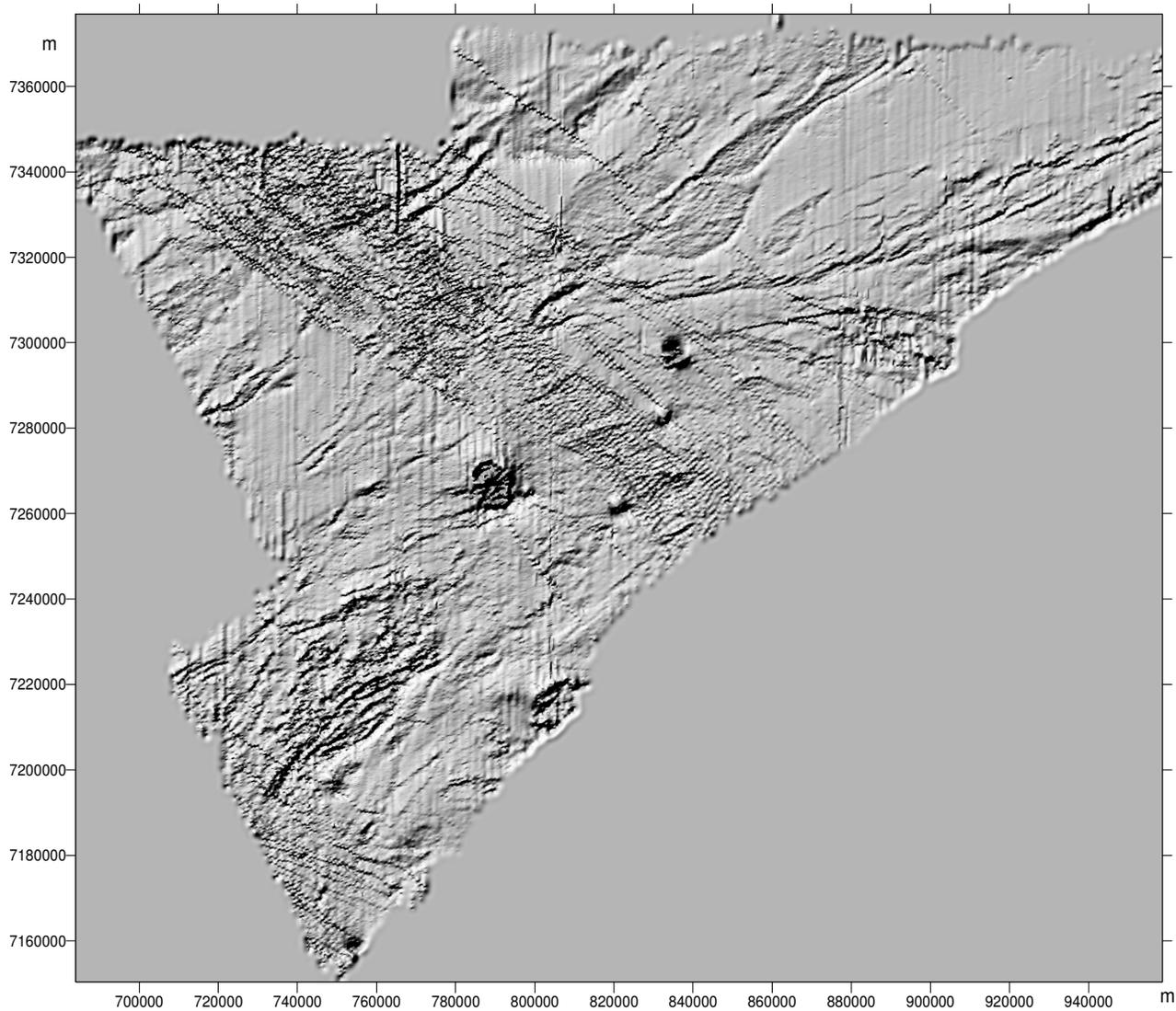


Figura I. 3. Levantamento aeromagnético da CPRM, os alinhamentos na direção NW são diques máficos a ultramáficos que compõem o lineamento Guapiára.

A aquisição dos dados gravimétricos no complexo alcalino de Tunas foi realizada pelo IAG-USP no início de 2001, formando uma rede de 90 estações, em escala de semidetalhe, que foram anexadas a outras estações pré-existentes no local. Após a redução dos dados verificou-se que o complexo não apresenta magnitude anômala equivalente às demais alcalinas já estudadas, devido provavelmente ao baixo contraste de densidade com as rochas encaixantes. Possíveis explicações para o fato foram analisadas, como por exemplo, o mal funcionamento do gravímetro, barômetros descalibrados e, até mesmo, a remota possibilidade de não se ter coletado os dados sobre o complexo alcalino, fato esse descartado pois in situ observou-se visivelmente a existência de intrusões magmáticas em correlação ao observado no mapa geológico de Tunas, que fora confeccionado por Fuck (1972).

Os complexos de Serra Negra e Salitre I e II, inseridos na província Alto Paranaíba, localizados em Patrocínio-MG, foram os seguintes corpos a serem estudados, tendo sido a aquisição de dados finalizada em agosto de 2002. As intrusões foram analisadas e modeladas em conjunto devido à sua sobreposição geográfica. A região é coberta pelo levantamento aerogeofísico da CPRM, realizada através do convênio Brasil-Alemanha (1975), e engloba a região dos Complexos Alcalinos de Serra Negra e Salitre I e II (Figura I. 4). Na aquisição gravimétrica a prioridade foi isolar o complexo de Serra Negra, no entanto, observou-se que ambos os complexos compõem um único bloco gravitacional. Não é possível isolar o campo gravitacional para cada alcalina sem a degradação do sinal ou mesmo sem interferência nas intrusões ao redor, que compõem corpos distintos tanto do ponto de vista geológico como magnético (vide Machado, 1991

;Convênio Brasil-Alemanha). Na Figura I. 5 visualiza-se anomalia Bouguer das referidas alcalinas com dados do IBGE e IAG/USP.

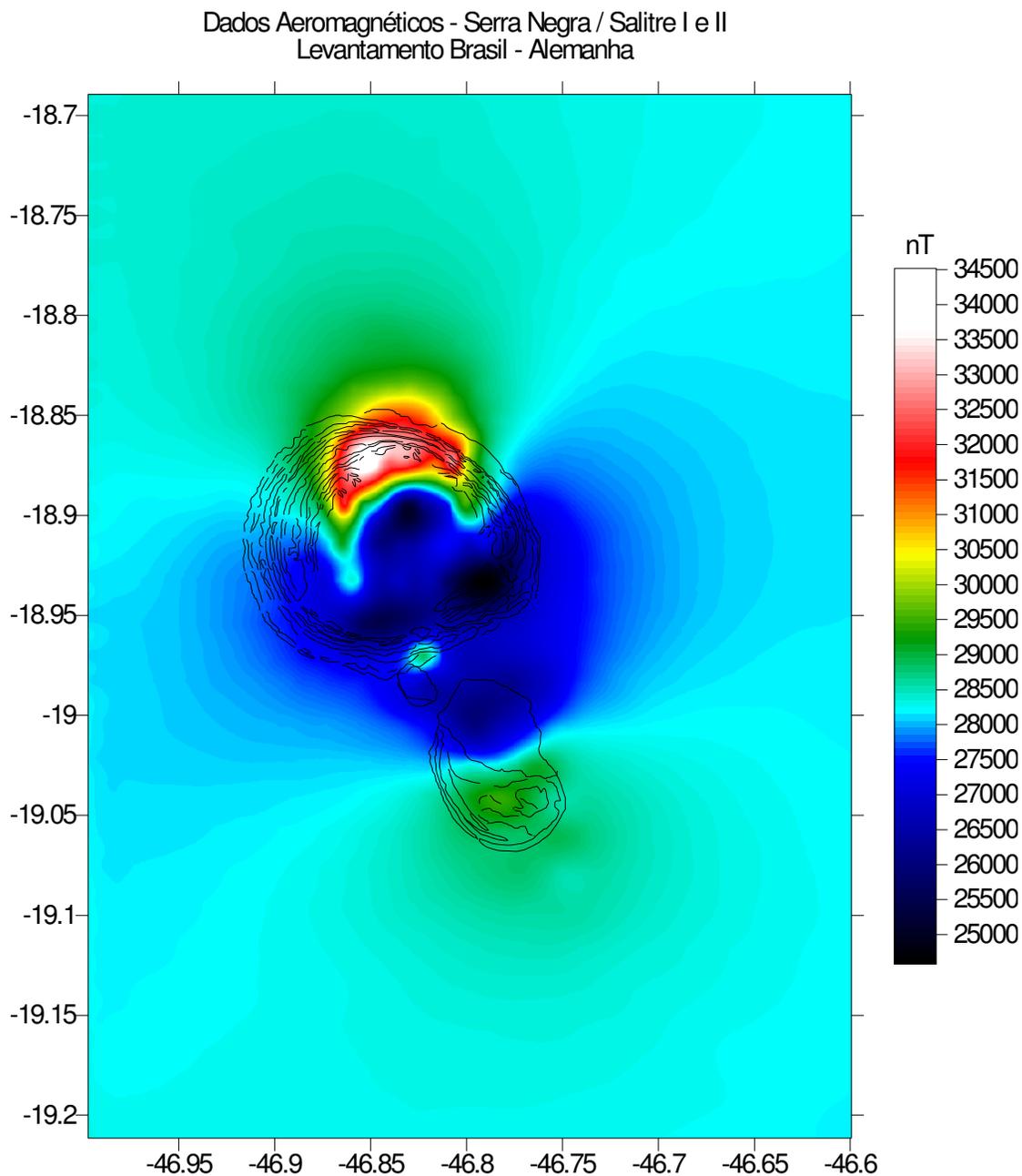


Figura I. 4. Mapa de anomalia magnética do Levantamento aéreo Brasil – Alemanha, corrigido do IGRF, dos Complexos Alcalinos de Serra Negra e Salitre I e II. As linhas na cor preta representam o contato geológico e os domeamentos da rocha encaixante.

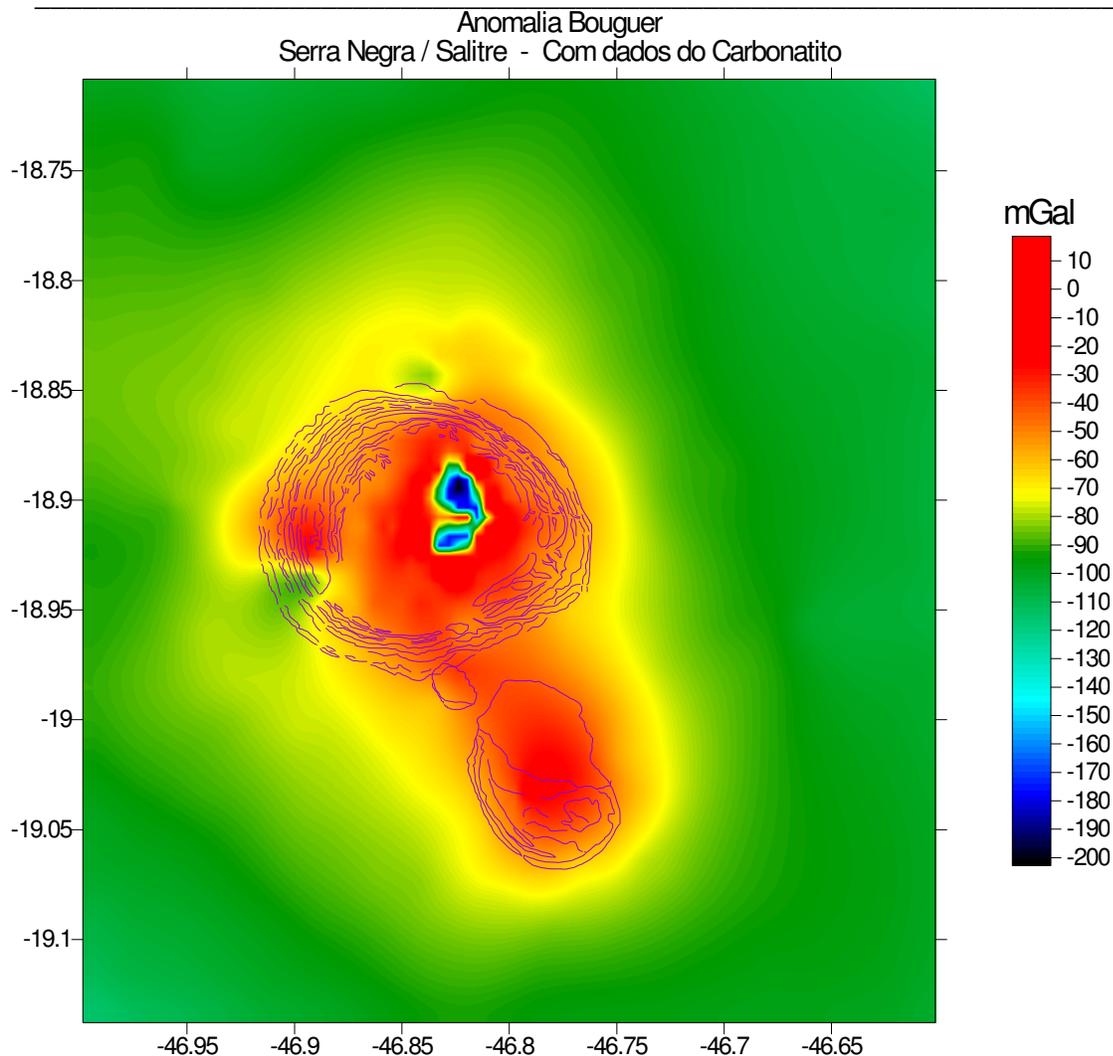


Figura I. 5. Anomalia Bouguer dos Complexos Alcalinos de Serra Negra e Salitre I e II com dados sobre o carbonatito de Serra Negra (baixo gravimétrico em azul). As linhas em roxo representam o contato geológico e os domeamentos da rocha encaixante. A estrutura circular de maior raio é a alcalina de Serra Negra. A sul de Serra Negra a menor estrutura semi-circular é Salitre II e a outra, mais ao sul, com formato “elíptico”, Salitre I.

Visou-se estudar pelo menos um único caso de afloramento alcalino na província Costeira. A intrusão alcalina eleita foi Tanguá, localizada no Estado do Rio de Janeiro, devido a sua idade 67 Ma, Cretáceo Superior, e a seu possível vínculo com tectonismo recente em comparação as alcalinas das províncias do

Arco de Ponta Grossa e Alto Paranaíba. As alcalinas de Jacupiranga e Juquiá apresentam idades entre 130 e 127 Ma (Ulbrich & Gomes, 1981), Pariquera Açu 92 Ma (Morbidelli et al, 2000) respectivamente associadas aos períodos Jurássico e Cretáceo. Já Serra Negra e Salitre I e II possuem idades em torno de 80, 87 e 83 Ma (Mariano & Marchetto, 1991). As idades mencionadas foram obtidas por K-Ar.

A aquisição dos dados gravimétricos de Tanguá ocorreu em abril de 2002, em condições climáticas inóspitas. O único acesso à alcalina também estava impedido devido a desmoronamentos recentes. Foi possível apenas locar três estações de medida sobre a alcalina, as demais foram realizadas ao redor da intrusão e no contato geológico, na tentativa de caracterizar o campo anômalo. Tanguá se caracteriza por uma tendência anômala Bouguer negativa (Figura I. 6), juntamente com a região ao seu redor, que consiste num graben de direção NW. Datações potássio-argônio revelam uma idade de 67M anos para o maciço. Não foi realizado o modelo 3D.

Após Tanguá realizou-se a aquisição de dados gravimétricos sobre a alcalina de São Gotardo, que apresenta um intenso campo magnético dipolar nos dados aéreos do Convênio Brasil-Alemanha. O levantamento foi realizado nas coordenadas da anomalia magnética. A resposta gravimétrica foi confirmada como sendo inexpressiva, não apresentando níveis anômalos. A localização da alcalina é confirmada apenas através de clastos de carbonatitos (Hasui, 1967) encontrados preteritamente nas proximidades do município de São Gotardo – MG, sendo que os clastos, do tipo conglomerados possuem indicio de pouco transporte.

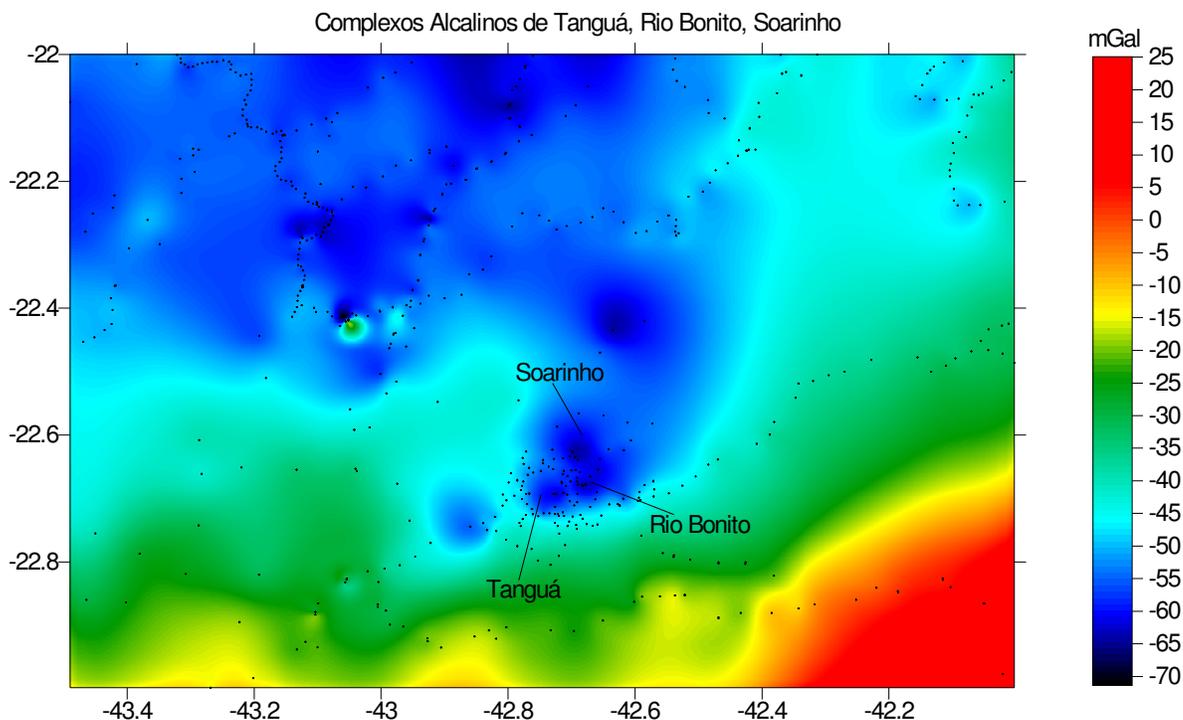


Figura I. 6. Anomalia Bouguer dos complexos alcalinos de Tanguá, Rio Bonito e Soarinho. O campo resultante é composto por baixo gravimétrico, como no caso de Poços de Caldas. O alto Bouguer situado na porção SE do mapa é resultante do afinamento litosférico.

Finalizado São Gotador realizou-se a aquisição de dados gravimétricos no complexo alcalino de Ipanema, 123 Ma (Ulbrich & Gomes, 1981), localizado no município de Iperó, Estado de São Paulo. O complexo se caracteriza por um alto topográfico referente a Serra de Araçoiaba. Este complexo alcalino já havia sido estudado a partir de dados geofísicos por (Davino, 1965) sendo o gravimétrico o método principal de investigação. Uma nova aquisição fez-se necessária, devido ao equipamento utilizado por Davino, um gravímetro do tipo **Nörgaard**, de precisão muito inferior ao do **Lacoste & Romberg**. O campo gravimétrico

observado apresenta as mesmas tendências, porém as magnitudes na escala **mGal** possuem discordâncias. Essa diferença na magnitude resultaria num modelo subestimado quanto à máxima profundidade da intrusão.

A última aquisição de dados ocorreu no início de 2005, sendo o complexo de Araxá modelado no formato 3D. O campo gravimétrico verificado é de uma anomalia intensa e positiva, comparável àquele de rochas máficas – ultramáficas e portanto semelhante ao sinal das intrusões na província alcalina do Alto Paranaíba e do Arco de Ponta Grossa. Araxá como será verificado no decorrer do texto, não apresentou resposta na delimitação do carbonatito, sendo seu sinal aquele de alto anômalo, característica de rochas máficas-ultramáficas. Hasui & Cordani (1968), usando o método K/Ar em biotitas recomendam uma idade de 89 Ma para o complexo alcalino de Araxá, sendo de idade contemporânea das demais rochas da província Alto Paranaíba.

1.3 Referência

Almeida F.F.M., 1983. Relações tectônicas das Rochas Alcalinas Mesozóicas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana. Revista Brasileira de Geociências, vol. 13 p.139-158.

Fuck, R.A., 1972. Geologia do maciço de Tunas, Paraná, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 82p.

Hasui, Y., 1967. Geologia das formações Cretáceas do Oeste de Minas Gerais. Tese de Doutorado, Dep. de Eng. De Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Hasui, Y. & Cordani, U.G., (1968). Idades potássio Argônio de Rochas dos maciços intrusivos mesozóicos do oeste mineiro e sul de Goiás. Resumo das comunicações, pág. 5 XXII Congr. Bras. Geol., Belo Horizonte.

Machado, de D.L.M.J, 1991. Geologia e Aspectos Metalogenéticos do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão II (GO). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Geociências – Campinas-SP, 1-101p.

Mariano, A.N., Marchetto, M., 1991. Serra Negra and Salitre – Carbonatite Alkaline Igneous Complex. Fifth International Kimberlite Conference. Field Guide Book, Chapter 10, p. 75-79.

Morbidelli, L., Gomes, C.B., Brotzu, P., Acquarica, S.D´ Garbarino, C., Ruberti, E., Traversa, G., 2000. The Pariquera Açú K- alkaline complex and southern Brazil lithospheric mantle source characteristics. Journal of Asia Earth Sciences, 18, p 129-150.

NASA, 2000. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Shand, S.J., 1922. The problem of the alkaline rocks. Proc. Geol. Soc. S. Afr., XXV, xix-xxxiii.

Shand, S.J., 1933. Zusammensetzung und Genesis der Alkaligesteine Sudafrikas. Mineralog. Petrogr. Mitt., 44, 211-16.

Souza, L.A.P., 1995. A Planície Costeira Cananéia-Iguape, Litoral Sul do Estado de São Paulo: Um exemplo de utilização de métodos geofísicos no estudo de areias costeiras. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, Teses, pp1-207.

Sørensen H. 1974. The alkaline rocks. John Wiley & Sons, 622pp.

Ulbrich, H.H.G.J., Gomes, C.B., 1981. Alkaline Rocks From Continental Brazil. Earth-Science Reviews, 17, p. 135-154.

Ulbrich, H.H.G.J., Gomes, C.B., 1981. Alkaline Rocks From Continental Brazil. Earth-Science Reviews, 17, p. 135-154.

Vignerresse, JL, 1995. Control of Granite Emplacement by Regional Deformation. Tectonophysics, 249 (3-4): 173-186.