



Assinaturas Magnetométricas, Gravimétricas e Gamaespectrométricas das Minas Brejuí (W), Bonfim (Au-Bi-W) e Saquinho (Fe) da Faixa Seridó (NE-Brasil)

Roberto G. de Oliveira (CPRM-SGB), Nitzschia R. R. Domingos (CPRM-SGB), Marília A. C. Rodrigues (CPRM-SGB), Edlene P. da Silva (CPRM-SGB)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Geophysical data indicated that W mineralization at the Brejuí mine is associated with voluminous granitic magmatism rich in magnetic minerals that discharged Th and U enriched fluids into metasedimentary and adjacent shear zones generally correlated with magnetic alignments. The interpretation of the gravity data shows that granite bodies are associated with negative anomalies that indicate the preservation of their magmatic chambers. The Bonfim Au-Bi-W deposit occur in NNE-SSW shear zones that have led to fluid rich in K and magnetic minerals, apparently connected with intrusions associated with negative Bouguer anomalies. The interpretation of the magnetic data indicates that the mineralization is at the intersection between shear zones in the NNE-SSW direction and faults with the ENE-WSW direction. The Fe deposit of the Saquinho is correlated with magnetic anomalies that form a trend in the NW-SE direction. The results of the magnetic data modeling revealed the existence of seven magnetic bodies potentially bearing Fe ore.

Introdução

A Faixa Seridó apresenta vocação mineira reconhecida desde 1920 e constitui a principal província mineral da Província Borborema, sendo muito importante para a economia dessa região. Neste trabalho analisamos as principais assinaturas geofísicas nas vizinhanças de depósitos minerais que ocorrem nesta faixa.

Muitas vezes o trabalho de prospecção geológica e os levantamentos geofísicos são concentrados nas proximidades das minas por causa dos custos e dos limites da área requerida. Esse procedimento, apesar de compreensível, dificulta uma visão regional que permite ao pesquisador localizar novas áreas prospectivas. Considerando a atual disponibilidade de dados aerogeofísicos com boa qualidade para reconhecimento de grandes áreas, este trabalho tem como objetivo a demonstração da utilidade desses dados na identificação de assinaturas geofísicas associadas com depósitos conhecidos e que podem permitir aos prospectores desenvolver modelos metalogenéticos e descobrir novos depósitos.

Localização e Contexto Geológico Regional

A Faixa de Dobramentos Seridó está localizada na extremidade nordeste da Província Borborema (Figura 1). Ela forma um cinturão de rochas com direção NNE-SSW composto por supracrustais neoproterozoicas constituídas por micaxistos da Formação Seridó; quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador; e paragneisses, mármore, formações ferríferas e metaultramáficas da Formação Jucurutu (Figura 1). Esse cinturão de rochas foi deformado e metamorfoseado no final do Neoproterozoico (Angelim, 2006), no ápice da Orogênese Brasileira.

A Orogênese Brasileira compartimentou as rochas em torno da Faixa de Dobramentos Seridó em três grandes domínios que representam o seu embasamento (Figura 1). No leste, o Domínio São José do Campestre é formado por complexos paleoproterozoicos constituídos por ortogneisses e migmatitos e complexos arqueanos compostos por ortogneisses graníticos, anfíbolitos, formações ferríferas, paragneisses e metaultramáficas (Angelim, 2006). No oeste, o Domínio Rio Piranhas-Seridó é formado por ortogneisses e migmatitos paleoproterozoicos (Angelim, 2006). No sul, o Domínio da Zona Transversal é composto por metassedimentos e ortogneisses formados no início do Neoproterozoico (Santos, 2002).

Na Faixa de Dobramentos Seridó e nos três domínios do embasamento ocorrem inúmeros corpos plutônicos intrudidos na Orogênese Brasileira. Afloram granitos porfiríticos K-calcialcalinos, granitos equigranulares finos médios K-calcialcalinos, dioritos e gabros shoshoníticos, granitos e quartzos sienitos alcalinos e granodioritos calcialcalinos (Figura 1). No Mesozoico ocorreu o Vulcanismo Rio Ceará-Mirim, com petroquímica toleítica, que aflora na forma de diques com direção leste-oeste (Mizusaki et al., 2002). O Cenozoico foi marcado por um evento de vulcanismo básico alcalino (Vulcanismo Macau) que formou derrames, soleiras e necks (Mizusaki et al., 2002); bem como, pela sedimentação de arenitos e conglomerados.

Características Geológicas e Metalogenéticas dos Depósitos de W, Au-Bi e Fe

Mina Brejuí: o W está localizado em depósitos stratabound de scheelita hospedados em horizontes de skarns ou rochas calcissilicáticas e, menos comumente, em rochas metamáfico-ultramáficas da Formação Jucurutu. Os skarns scheelitíferos possuem características texturais e composicionais muito heterogêneas. Na mina Brejuí foram identificadas três principais tipos (Angelim, 2006): i) concordantes e formados essencialmente por granada, diópsido, hornblenda, epidoto, vesuvianita, calcita e quartzo, como

acessórios a scheelita acompanhada por uma mineralogia bastante complexa; ii) discordantes, formados por um núcleo de quartzo envolvido por granada e externamente por epidoto, diopsídio e anfibólio, e como acessórios a scheelita, pirita, molibdenita, estilbita, aragonita, selenita e fluorita; iii) porosos, menos comuns e de alto teor de WO_3 , formados por quartzo, epidoto, diopsídio, granada e scheelita; caracterizados por uma grande quantidade de cavidades preenchidas por calcita, opala, chabazita, estilbita, fluorita e clorita.

Mina Bonfim: as mineralizações de Au, Bi e W têm como hospedeiras rochas calcissilicáticas, principalmente diopsíditos, que se encaixam em biotita-xistos da Formação Jucurutu, por vezes, com variações para anfibólio xistos e/ou calcoxistos, tendo a granada como principal acessório. A mineralização aurífera está relacionada com processos hidrotermais e associa-se preferencialmente ao bismuto nativo que ocorre como manchas escuras disseminadas nas porções superiores e inferiores do diopsídito, com espessuras milimétricas a centimétricas (Angelim, 2006).

Mina Saquinho: o depósito de Fe está encaixado na Formação Jucurutu. A mineralização ferrífera é constituída por camadas de hematita e/ou magnetita compacta (minério rico com alto teor de ferro, >60%), itabiritos ricos e pobres com hematita e/ou magnetita dominante (com teor de ferro entre 60% a 35%) e quartzitos ferruginosos, com baixo teor de ferro (< 35%) (Angelim, 2006).

Dados Geofísicos

Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho fazem parte de dois projetos. A porção leste foi levantada pelo Projeto Levantamento Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (LASA S.A. & Prospectors, 2008). A porção oeste pelo Projeto Levantamento Aerogeofísico Paraíba - Rio Grande do Norte (LASA S.A. & Prospectors, 2010). Estes projetos levantaram perfis magnetométricos e gamaespectrométricos com linhas de voo e controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 metros sobre o terreno.

Os dados gravimétricos foram levantados com dois Autograv CG-5 da Scintrex, com apoio em bases gravimétricas do Observatório Nacional referenciadas ao datum IGSN-71 (Fórmula Internacional da Gravidade de 1967). O levantamento das altitudes foi realizado com dois GPS geodésicos, modelo GTR-G2 fabricados pela TechGeo. As anomalias ar-livre e Bouguer (densidade da topografia igual a 2,67 g/cm³) foram calculadas com referência ao geóide (modelo MAPGEO2010). No período entre março/2013 e dezembro/2015 foram levantadas 3.114 novas estações. Os pontos de medidas foram distribuídos ao longo de estradas com espaçamento médio de 2,0 km (Domingos et al., 2017, neste congresso). No conjunto de dados utilizados foi considerada a existência prévia de outros levantamentos gravimétricos disponível em um banco de dados elaborado por Oliveira (2008).

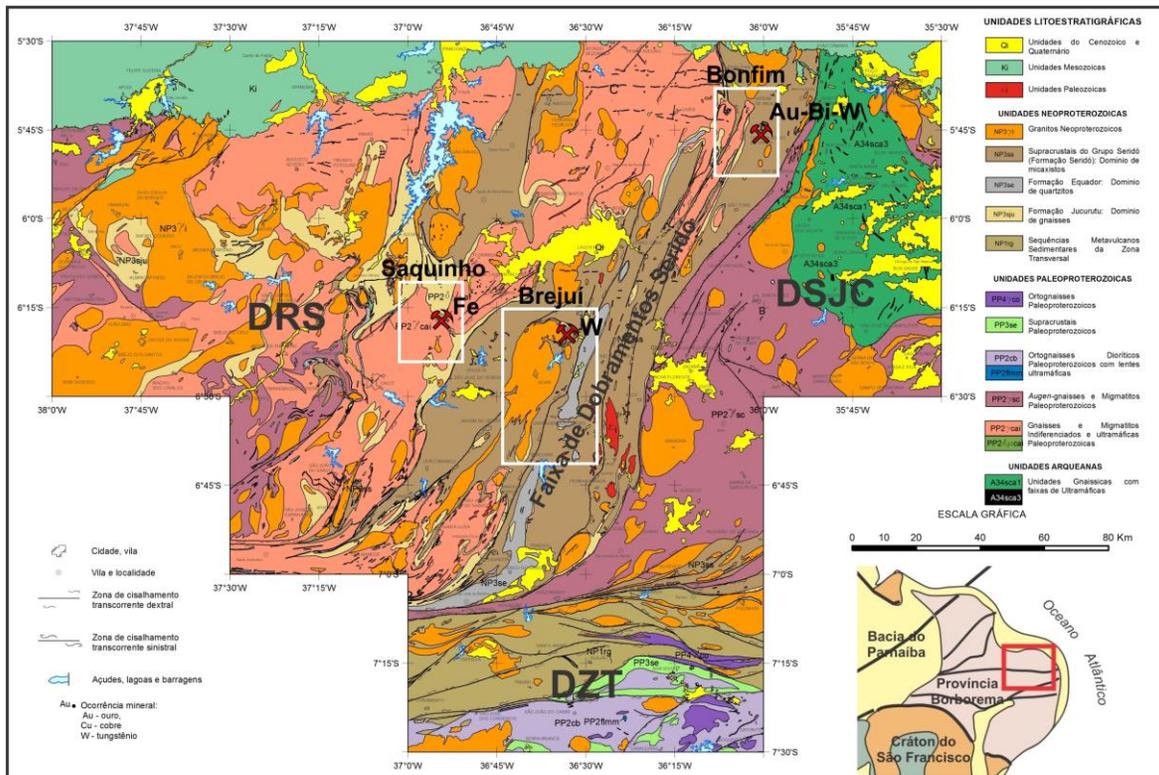


Figura 1 - Geologia simplificada da Faixa de Dobramentos Seridó e de seu embasamento com indicação dos principais domínios tectônicos e da localização das minas Brejui, Bonfim e Saquinho. Fonte: Costa et al. (2016). **DRS** - Domínio Rio Piranhas-Seridó, **DSJC** - Domínio São José do Campestre, **DZT** - Domínio da Zona Transversal.

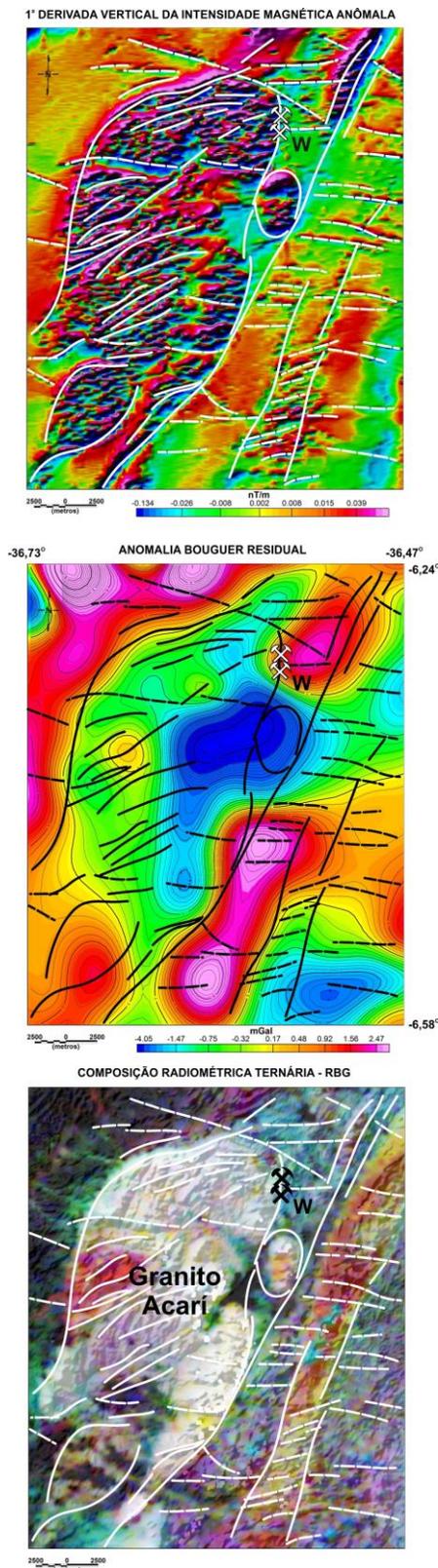


Figura 2 - Assinaturas geofísicas da região do depósito de W da mina Brejuí. Os traços sobrepostos são interpretações de alinhamentos magnéticos.

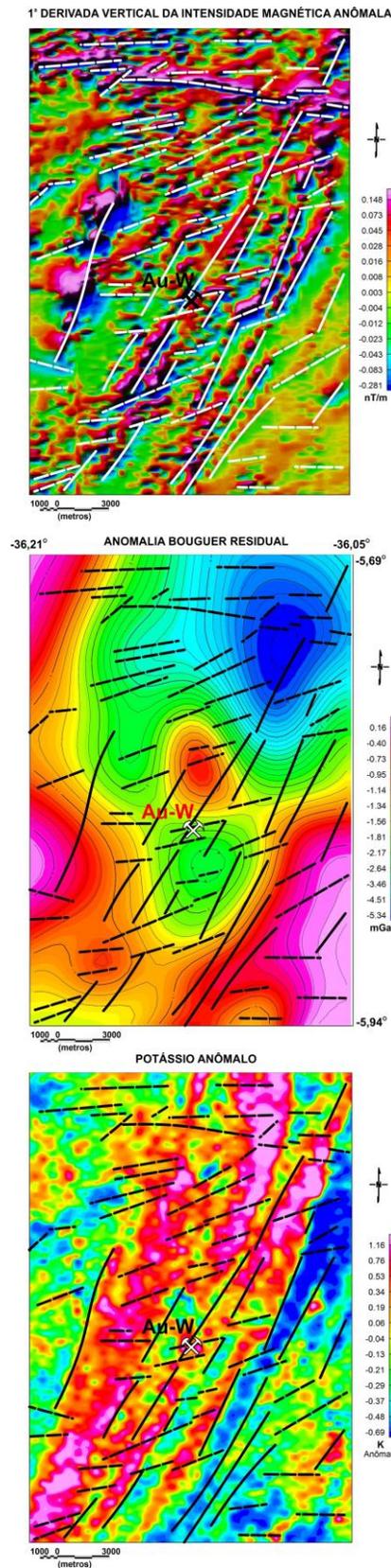
Mina Brejuí: Tungstênio (W)

Está localizada entre duas zonas de cisalhamento transcorrentes com direção NE-SW e cinemática dextral. Uma hipótese de mineralização epigenética supõe que o W é proveniente de fontes externas e transportado juntamente com os metais associados por fluidos hidrotermais de origem granítica e depositados em sítios litoestruturais. Alternativamente, existe uma hipótese singenética (Salim, 1993).

Os principais recursos minerais desse distrito são tungstênio, molibdênio e cobre, associados a uma assembleia cálcica de rochas da Formação Jucurutu (anfibólio-biotita-gnaisses, mármore e rochas calcissilicáticas) com intrusões de granitos e pegmatitos (granófiros). As intrusões plutônicas apresentam magnetização elevada, sugerindo uma forte correlação de origem com a crosta muito magnética na qual estão intrudidas. Nos dados magnéticos filtrados para enfatizar fontes rasas (1ª derivada vertical) se observa um padrão de interferência de alinhamentos magnéticos nas direções E-W, NE-SW e NNE-SSW, relacionados com estruturas sobrepostas no granito Acari, cuja intrusão está controlada pelas estruturas correlacionadas com os alinhamentos NNE-SSW. As direções E-W e NE-SW correspondem a fases de deformação rúptil-dúctil, enquanto a direção NNE-SSW tem correlação com zonas de cisalhamento regionais que envelopam a estruturação local. As intrusões graníticas estão correlacionadas com anomalias Bouguer negativas (Figura 2) que indicam a existência de massas graníticas expressivas com forma de balão (gota invertida) ao lado das ocorrências e depósitos de W. Pelos dados gravimétricos é possível supor que a superfície topográfica atual expõe a porção média a superior da câmara magmática original, cuja raiz está localizada na porção leste do granito de Acari.

As intrusões graníticas são enriquecidas em K, eTh e eU que resulta na cor esbranquiçada observada na composição radiométrica ternária RBG (Figura 2). Entretanto, os depósitos ocorrem em rochas enriquecidas em eTh e eU em relação ao K. Também é possível observar o enriquecimento em eTh e eU nas partes laterais e nas extremidades nordeste e sudoeste do granito Acari, sugerindo que esta intrusão injetou fluidos enriquecidos nestes elementos nas suas encaixantes.

A localização dos depósitos nas bordas de uma anomalia Bouguer negativa sugere uma forte correlação entre gradientes de densidade e mineralizações de W. A interpretação dessa correlação implica na existência de controles geológicos para a fonte e a hospedagem das mineralizações que inclui a intrusão dos granitos, o contato entre a intrusão e a encaixante e, por fim, a participação de falhas e zonas de cisalhamentos. Essas estruturas possivelmente serviram de condutos para a descarga dos fluidos enriquecidos em Th e U e empobrecidos em K. Também deve ser levada em consideração a proximidade com corpos de densidade alta como os possíveis causadores da anomalia positiva em superfície é com rochas da Formação Seridó.



Mina Bonfim:

Ouro - Bismuto-Tungstênio (Au-Bi-W)

Localiza-se em uma faixa de zonas de cisalhamento transcorrentes com direção NNE-SSW de cinemática dextral. O minério está associado com rochas calcissilicáticas, configurando escarnitos do tipo estratiforme, relacionados com biotita-granitos e pegmatitos. Os minerais de minério são formados por uma assembleia precoce (magnetita, pirrotita, calcopirita, pirita, scheelita, molibdenita e arsenopirita subordinada e uma fase tardia (bismuto, bismutinita, johansennita, calcopirita, esfalerita e ouro) (Angelim, 2006).

Nesta mina, o aspecto mais significativo nos dados magnetométricos são os expressivos alinhamentos com direção NNE-SSW e a marcante correlação das mineralizações de Au-Bi-W com estes alinhamentos (Figura 3). O conjunto de alinhamentos forma uma faixa com quase 10 km de largura e sua correlação geológica mais evidente é com zonas de cisalhamento. Esta direção principal está truncada por alinhamento com direções E-W e ENE-WSW. A primeira claramente associada ao evento de magmatismo Cretáceo Rio Ceará-Mirim. A segunda possivelmente representa também um evento de deformação rúptil-dúctil Fanerozoico ou, pelo menos, pós-orogênico. As estruturas associadas com a direção ENE-WSW, aparentemente, tem um controle estrutural importante na mina Bonfim, pois ela está localizada exatamente em um dos pontos de intersecção destes alinhamentos com os alinhamentos NNE-SSW.

A observação dos dados gravimétricos fornece evidências para a fonte dos fluidos mineralizadores. Como pode ser observada na Figura 3, a mina Bonfim está sobre uma anomalia gravimétrica negativa regionalmente importante. Apesar da região como um todo está contida dentro do negativo Bouguer, o ponto de maior amplitude da anomalia está aproximadamente 10 km a norte da mina. Esta anomalia representa um grande corpo geológico com densidade menor do que a encaixante. A correlação mais provável é com uma grande intrusão de composição granítica, cuja raiz está a 10 km a norte de Bonfim. Aparentemente, esta possível intrusão não está aflorando, o que sugere a preservação completa da câmara magmática original.

A potencialidade de mineralizações de origem hidrotermal nesta faixa de rochas deformadas na região da mina Bonfim é confirmada pelos dados de K anômalo (Figura 3). Observa-se um expressivo enriquecimento deste elemento ao longo dos alinhamentos magnéticos NNE-SSW e, em decorrência, nas zonas de cisalhamentos associadas. Este cenário de correlação de dados geológicos-tectônicos-geofísicos fornece ingredientes importantes para uma boa expectativa de mineralizações associadas com eventos hidrotermais, em que a intrusão granítica seria a fonte dos fluidos mineralizadores, que teriam sido transportados e trapeados em zonas de cisalhamentos e falhas localizadas acima da cúpula dessa possível intrusão.

Figura 3 - Assinaturas geofísicas da região do depósito de Au-Bi-W da mina Bonfim. Os traços sobrepostos são interpretações de alinhamentos magnéticos.

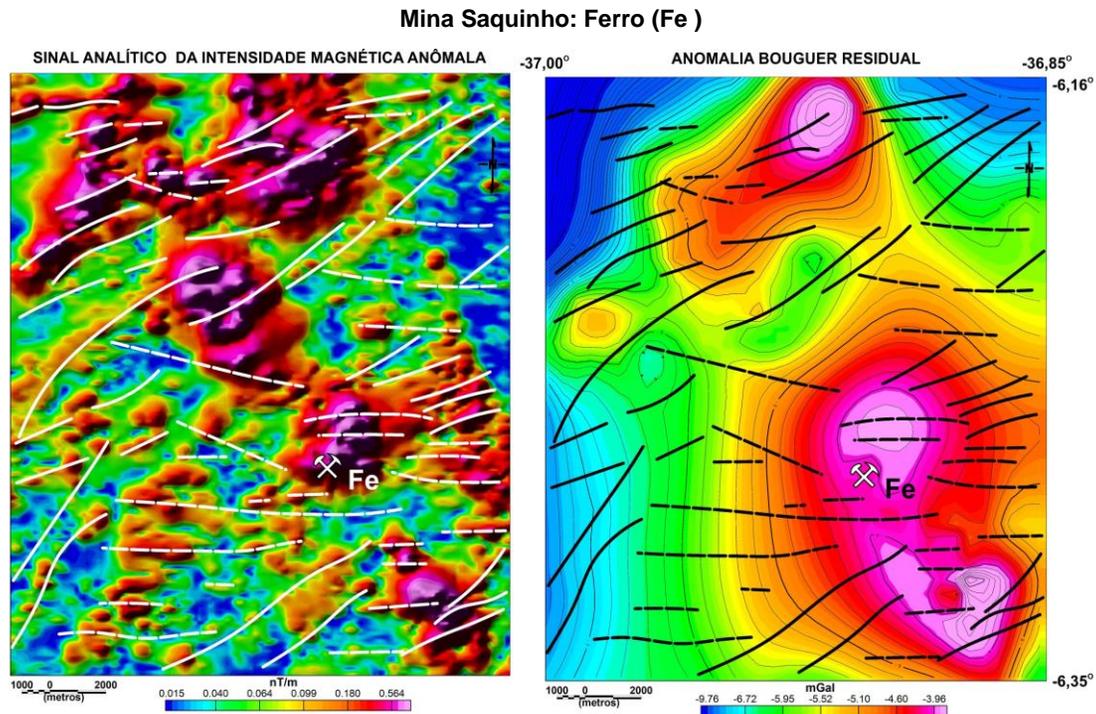


Figura 4 - Assinaturas magnéticas e gravimétricas da região do depósito de Fe da mina Saquinho. Os traços sobrepostos são interpretações de alinhamentos magnéticos.

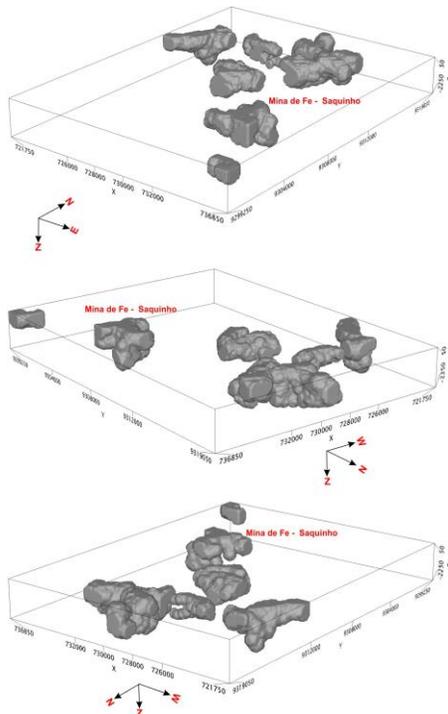


Figura 5 - Visualizações tridimensionais em diferentes perspectivas das modelagens Euler 3D (soluções com voxel) das fontes das anomalias magnéticas da região da Mina Saquinho.

Na região da mina Saquinho ocorrem cinco expressivas anomalias magnéticas, três delas alinhadas na direção NW-SE (Figura 4). A correlação principal destas anomalias é com afloramentos de formações ferríferas da Formação Jucurutu. A Figura 4 apresenta estas cinco anomalias transformadas para a amplitude do sinal analítico. A mina de Saquinho está localizada na anomalia central onde são explotados BIFs e magnetitos. Os gradientes magnéticos são muito expressivos, com valores de até 3,2 nT/m. As outras anomalias apresentam parâmetros magnéticos semelhantes, porém com valores de gradientes de até 6,0 nT/m. Estes dados indicam que as rochas magnéticas associadas com as outras quatro anomalias possivelmente tem potencialidades parecidas com a jazida de Saquinho. No sinal analítico, as anomalias possuem formas semicirculares alongadas na direção NW-SE. Estas formas são mais compatíveis com fontes magnéticas associadas com corpos intrusivos do que com camadas. Entretanto, a superposição de dobramentos com repetição de camadas pode produzir anomalias do mesmo tipo.

Foi efetuada uma modelagem Euler 3D (Mushayandebvu et al, 2001; Reid et al, 1990) dos corpos magnéticos. Os resultados da modelagem com voxel estão apresentados na Figura 5. Esta técnica permite adicionar volume para uma solução pontual. Os resultados indicam a existência de sete corpos magnéticos que se estendem até a profundidade máxima de 1900 metros. Este resultado deve ser interpretado apenas como o volume de rochas magnéticas existentes no distrito e seu potencial para descobertas de novas jazidas.

Como esperado, os dados gravimétricos apresentam correlação das anomalias magnéticas com anomalias Bouguer positivas (Figura 4). Apesar da baixa resolução do levantamento gravimétrico é possível verificar o aumento de massa produzido pelos corpos de formações ferríferas. Contudo, os dados demonstram a existência de anomalias positivas além das áreas de anomalias magnéticas. Isto pode indicar que parte das anomalias positivas pode ter também contribuição de outras rochas densas.

Conclusões

Os dados geofísicos indicaram que as mineralizações de W na mina Brejú estão associadas com um volumoso magmatismo granítico rico em minerais magnéticos que descarregou fluidos enriquecidos em Th e U nas encaixantes metassedimentares e nas zonas de cisalhamentos adjacentes geralmente correlacionadas com alinhamentos magnéticos. A interpretação dos dados gravimétricos demonstra que os corpos graníticos estão associados com anomalias negativas que indicam a preservação de suas câmaras magmáticas.

O depósito de Au-Bi-W da mina Bonfim está hospedado em zonas de cisalhamentos com direção NNE-SSW que conduziram fluidos ricos em minerais magnéticos e K, aparentemente conectadas com intrusões bem definidas por anomalias Bouguer negativas. A interpretação dos dados magnetométricos indica que a mineralização está na intersecção entre zonas de cisalhamentos que formam uma faixa com 10 km de largura na direção NNE-SSW e falhas rúpteis com direção ENE-WSW.

O depósito de Fe da mina Saquinho está correlacionado com anomalias magnéticas que formam um alinhamento na direção NW-SE. Os resultados das modelagens dos dados magnéticos revelaram a existência de sete corpos magnéticos potencialmente portadores de minério de Fe.

Agradecimentos

A CPRM-Serviço Geológico do Brasil pelo apoio para realização desta pesquisa.

Referências

Angelim, L.A.A. 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte, mapas, 1:500.000. CPRM/FAPERNA, Recife, 119 p.

Costa, A.P.; Cunha, A. L.C.; Cavalcante, R.; Medeiros, V. C.; Spisila, A.L.; Dantas, A.R. 2016. Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIM): Projeto Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Seridó. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 1 mapa, Escala 1:350.000.

Domingos, N.R.R., Oliveira, R.G.; Rodrigues, M.A.C.; Silva, E.P. 2017. Levantamento Gravimétrico da Faixa Seridó (NE-Brasil): Implicações para o Mapeamento Geológico e o Arcabouço Tectônico. 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.

Mizusaki, A.M.P., Thomaz-Filho, A., Milani, P., Césero, P. 2002. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 15:183-198.

Mushayandebvu, M.F., Van Driel, P., Reid, A.B., & Fairhead, J.D. 2001. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution: *Geophysics*, 66(3): 814-823.

LASA Engenharia e Prospecções S.A. & Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. 2008. Projeto Levantamento Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Relatório Final, Texto e Anexos (Mapas), Rio de Janeiro, 401p.

LASA Engenharia e Prospecções S.A. & Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. 2010. Projeto Aerogeofísico Paraíba-Rio Grande do Norte e Pernambuco-Paraíba. Texto Técnico, Rep. Fed. do Brasil, MME/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 389p.

Oliveira, R. G. 2008. Arcabouço Geofísico, Isostasia e Causas do Magmatismo Cenozoico da Província Borborema e de Sua Margem Continental (Nordeste do Brasil). Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica do CCET-UFRN, Tese de Doutorado, 415 p.

Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. & Somerton, I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, 55(1):80-91.

SALIM, José. Geologie, petrologie et geochemie des skarns a scheelite de la Mine Brejui, Currais Novos, Region du Serido, NE du Bresil. Louvain-La-Neuve, 1993. 272 p. Thèse (Docteur en Sciences) - Laboratoire de Géologie et Minéralogie, Universite Catholique de Louvain, Belgique, 1993.

Santos, E.J. 2002. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba, mapas, 1:500.000. CPRM, Recife, 142 p.