

Utilização da Geofísica Aerotransportada no Mapeamento Geológico-estrutural de uma Região do Rio Tapajós

Gloria Josefina Obando Erazo (*) INGEOMINAS/UnB, Roberto Alexandre Vitória de Moraes, Ph. D., UnB/IG – LGA

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

It is presented some results from processing, interpretation and integration to the geology of airborne magnetic and gamma-ray spectrometric data from the region of Rio Tapajós, States of Pará, Amazonas e Mato Grosso, Brazil, encompassing the geologic mapped sheets of Vila Mamãe Anã and Jacareacanga), at 1.250.00 scale (CPRM, 2000) and Rio Juruena (project RADAM 1975), at 1.1.000.000 scale. Many of the filtering techniques for enhancing geophysical data presentation, including composite images were used aiming to structural and lithologic mapping. Final geophysical interpretation map was integrated to the geology producing an enhanced geologic framework.

Introdução

A área de estudo localiza-se entre os estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso (Figura 1), cobrindo aproximadamente 48.879 km² e corresponde ao Bloco 1 do Projeto Aero-geofísico Tapajós.

As informações utilizadas nesse trabalho foram cedidas pela CPRM em formato digital XYZ.

O objetivo foi processar, interpretar e integrar os dados gamaespectrométricos e magnetometométricos, gerando como produtos mapas de lineamentos e de domínios magnéticos e de unidades gamaespectrométricas. No mapa geofísico integrado, as unidades diferenciadas basearam-se apenas nas propriedades geofísicas. Esse estudo foi realizado antes de se comparar os mapas geofísicos com os geológicos disponíveis. Tal procedimento visou evitar qualquer influência das interpretações existentes e verificar a utilidade dessa ferramenta.

Na geração do mapa geológico-geofísico integrado, utilizou-se o mapa geológico das folhas Vila Mamãe Anã e Jacareacanga (escala 1:250.000; CPRM, 2000), que correspondem às partes central e norte do bloco I e a folha Rio Juruena (escala 1:1.000.000; RADAM, 1975), correspondente à parte sul. Neste trabalho foram definidos lineamentos ENE e novas unidades geofísicas integradas.

Com base na amplitude do sinal analítico a região foi dividida em duas porções: i) unidades com respostas magnéticas intermediárias a alta, predominando ao norte

e ao leste; ii) unidades com baixos valores magnéticos, localizados ao sul e ao oeste do bloco.

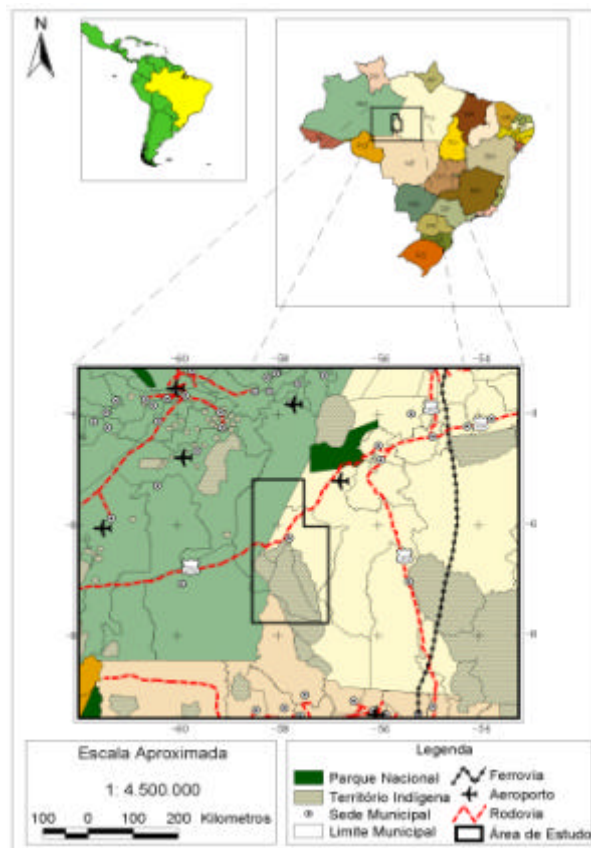


Figura 1 – Localização geográfica do Bloco 1 do Projeto Aero-geofísico Tapajós

Geologia Regional

A região corresponde a uma das províncias do Cráton Amazônico, denominada de Província Tapajós-Venturi (Tassinari et al., 1996), ou Tapajós-Parima (Santos, 2000).

As unidades litoestratigráficas diferenciadas segundo a CPRM (CPRM, 2000) serão apresentadas a seguir, da base para o topo. No Paleoproterozóico estão o Grupo Jacareacanga (Pja), o Complexo Cuiú-Cuiú (Pcc), a suíte intrusiva de Parauari fácies granítica (Pp2) e fácies granodiorítica (Pp1); a Suíte intrusiva de Ingarana (Pin), a Formação Bom Jardim (Pbj). O supergrupo Uatumã que compreende o Grupo Iriri constituído pelas Formações Salustiano (Psa), e Aruri (Par) e a suíte intrusiva de Maloquinha dividida em fácies biotita (Pm1) e fácies anfibólio (Pm2); o granito Caroyal (Pca), o granito Pepita

(Ppe) e a Formação Buiçu (Pbu). No Mesoproterozóico o pluton granítico denominado Igarapé Escondido. No paleozóico entre o Devoniano e Siluriano o Grupo Jatuarana inclui a Formação Borrachudo (Dbo), a Formação Capoeiras (Dca); a Formação São Benedito ((DSsb) e a Formação Monte Alegre (Cpma). No Permo-Carbonífero a Formação Ipixuna (CPip). No Jurássico o Diabásio Periquito (Jdp). No Cretáceo a Formação Alter de Chão (Kac). No Terciário: coberturas lateríticas ou detríticas (Tdl); e por último, no Quaternário, depósitos aluvionares sub-recentes (Qa2).

As unidades definidas na folha Rio Juruena projeto RADAM (1975), indo da mais, antiga para a mais jovem são: Complexo Xingú (PEX); Grupo Beneficiente, (PEb); Formação Iriri, do antes chamado Grupo Uatumá (Tma) e a Formação Prosperança, (PEP).

Os mapas geológicos da Figura 2 mostram a diferença de detalhe entre os mapas mais novos e os antigos. O mapeamento geofísico definido neste trabalho para área é indicado por uma nomenclatura arbitrária alfanumérica mas que relaciona valores com características de respostas semelhantes.

Características das informações.

Os dados geofísicos aéreos do Bloco 1 do Projeto Tapajós foram adquiridos em duas fases, dividindo o bloco nas partes superior e inferior, totalizando 53.851 km de perfis. A altura nominal de voo foi de 100 m, sendo monitorada por radar altímetro. O posicionamento foi conseguido por DGPS. As linhas de produção possuem direção N-S, e estão espaçadas de 1 km. Estão interceptadas por linhas de controle, de direção E-W, com espaçamento de 13 km. O intervalo de tempo entre as medições foi de 0,1 s para as magnéticas e 1,0 s para as gamaespectrométricas, o que resulta em, aproximadamente, uma medição a cada 5,5 m no terreno para os dados magnéticos e 55 m para os dados gamaespectrométricos. Os primeiros foram adquiridos com o sistema aeromagnético Picodas, tendo sensor Scintrex CS-2 (resolução 0.001 nT). Na gamaespectrometria foi usado o sistema Picodas modelo PAGM. O conjunto detector foi formado por dois cristais detectores de NaI (Tl) de 1.024 polegadas cúbicas, totalizando 2.048 pol³ (33 l) de sensores voltados para baixo (*downward looking*) e dois cristais, de 256 pol³ cada, voltados para cima (*upward looking*), totalizando 512 pol³ (CPRM, 1998).

Processamento dos dados aerogeofísicos.

No processamento dos dados utilizou-se o software OASIS montaj (versão 5.0), desenvolvido pela GEOSOFT Inc. As etapas envolvidas no processamento foram:

- i) *pré-processamento* – Incluiu a avaliação das informações, verificações da consistência dos dados, posicionamento e densidade dos mesmos. A célula de interpolação utilizada (250 m) foi de um quarto do espaçamento entre linhas de voo. A interpolação foi feita com o método splines bidirecional (BiGrid™). O micronivelamento baseou-se em algoritmo proposto por Minty (1990) e implementado por Blum (1999);

- ii) *processamento* - a partir dos dados pré-processados foram elaboradas imagens de U, Th, K, CT, das razões U/Th, U/K, Th/K, e imagens compostas CMY (Ciano = U; Magenta = K; Yellow = Th) e CMY invertida. Estas foram posteriormente compostas ao modelo digital de terreno. Para a magnetometria foram obtidas imagens magnéticas transformadas (derivadas horizontais, verticais, gradientes horizontais, amplitudes e fases dos sinais analíticos de ordens 0 e 1);
- iii) *Interpretação* - na gamaespectrometria foi gerado um mapa de unidades gamaespectrométricas. Na magnetometria, mapas de domínios e de estruturas magnéticas. Os resultados mencionados foram integrados às informações geológicas existentes para produzir um mapa de integração geológico-geofísico final.

Entre as inconsistências marcantes, encontradas e corrigidas nas informações magnéticas, figuram o forte alinhamento em três linhas de voo (perfis de amostragem) situadas na parte inferior do bloco (respectivamente, L10671, L11201, L11458). Já nos dados gamaespectrométricos, os problemas de nivelamento mais marcantes apresentaram-se segundo linhas de amarração, entre as partes superior e inferior do Bloco 1 (T19441, canal de U) e lineamentos paralelos às linhas de voo, em alguns setores do bloco.

Interpretação dos dados aerogeofísicos.

A interpretação dos dados foi realizada em duas etapas: uma preliminar, composta pela interpretação puramente geofísica, baseada nas mudanças e nuances dos relevos mostrados nos campos magnético e gamaespectrométrico, principalmente quanto ao comportamento dos elementos U, K e Th, com relação à topografia, umidade, e vegetação, numa análise meramente de modelo geofísico, nesta etapa Estes conceitos foram aplicados para separar unidades, domínios, estruturas e para efetuar a análise e interpretação das imagens acima relacionadas.

Uma segunda etapa foi a montagem de um sistema de informação geográfica (SIG) com os diferentes temas (geologia, magnetometria e gamaespectrometria) utilizando o software ArcView, versão 3.2 (ESRI), que facilitou o traçado das estruturas, domínios e lineamentos e suas correlações mútuas para obter o mapa final.

Imagens Gamaespectrométricas.

O objetivo da geração das diferentes imagens gamaespectrométricas foi utilizá-las como uma ferramenta valiosa na realização do mapeamento geofísico.

A partir da imagem de contagem total foram definidos os domínios regionais por meio da associação de setores com valores altos, intermediários e baixos. Também foram geradas imagens iluminadas sobre modelo digital de terreno, visando salientar os aspectos estruturais e a análise da influencia de seu comportamento em relação a topografia, o que facilitou a interpretação.

As Figuras 3a, 3b, 3c e 3d correspondem ao potássio, ao urânio, ao tório, e imagem composta em CMY destes interpretada, respectivamente. Como indicado anteriormente, diversos elementos de análise para separação de unidades foram aplicados a fim de se obter o mapeamento geofísico. As unidades com respostas tendo valores aproximados em potássio, urânio, tório e contagem total, e semelhantes entre si, receberam a mesma denominação.

O método de trabalho partiu do geral para o particular. Deste modo os domínios regionais foram divididos em unidades menores.

Parte da metodologia usada já foi validada quando cotejada ao mapeamento geológico cartografado. Para as demais áreas não cobertas por trabalhos de geologia de campo, resta ainda verificações que validem as suposições feitas.

Esta forma de trabalho é aplicável principalmente as grandes áreas, com acessos limitados ou difíceis, tornando-se ferramenta útil posto que, em um tempo relativamente curto, pode ser obtida uma cartografia susceptível de ser usada em campo de forma mais orientada.

Neste caso particular, a comparação entre a interpretação geofísica e a geologia estampada nas folhas, mostrou a eficiência da primeira, como no caso de se compararem os resultados geofísicos às folhas geológicas Vila Mamãe Anã e Jacareacanga. O maior aporte de novas informações litológicas e estruturais se deu na folha Rio Juruea. No entanto, deve-se frisar que existem limitações para se diferenciar unidades geológicas adjacentes com pequeno ou nenhum contraste nas propriedades físicas mapeadas.

Imagens Magnetométricas.

As imagens magnetométricas foram uma ferramenta valiosa durante a integração dos dados, pois forneceram informações de fontes não superficiais. A integração de dados magnéticos (fontes rasas e profundas) e gamaespectrométricos (fontes superficiais) agregaram valor à interpretação.

As imagens da amplitude e da fase do sinal analítico estão nas Figuras 4a e 4b, respectivamente. Foi a partir da interpretação da primeira que foram obtidos os domínios magnéticos e da segunda, os lineamentos estruturais.

Integração e resultados.

A integração de dados conforme realizadas, a interpretação final sendo a junção dos resultados das interpretações parciais (gamaespectrometria e magnetometria) estão na Figura 5.

A) A gamaespectrometria foi utilizada na definição de unidades que respondem a profundidades de investigação superficial (< 50 cm); e a magnetometria foi utilizada para obter informações fontes a de diferentes profundidades sendo que onde aparecem contrastes entre as propriedades medidas

apresentou uma boa definição no limite das unidades, seja gamaespectrométrica ou magnética;

- B) Quando houve correlação espacial entre as assinaturas em ambos métodos, interpretou-se tratar de representação de uma unidade rasa ou aflorante, situação em que foi possível fazer uma melhor delimitação desta. Neste caso adotou-se a delimitação pela magnetometria, pois ocasiona maior certeza no traçado dos limites horizontais, já que é praticamente infetada por espalhamento superficial causado pelas drenagens em zonas de relevo. No entanto, as diferenças mais específicas dentro de um domínio são sempre melhor demarcadas na gamaespectrometria, como é o caso das unidades B3, Ma, M, e B4b.
- C) Os dados extraídos da magnetometria, que não se correlacionam com os dados gamaespectrométricos, foram correlacionados às fontes magnéticas mais profundas. Estes foram delimitados em tracejado. Exemplos desta metodologia são os domínios magnéticos M7 com a unidade gamaespectrométrica b5, na folha Jacareacanga, e o domínio magnético M5 com a unidade gamaespectrométrica ka na Folha Rio Juruea;
- D) Ao ser concluído a integração geofísica, os resultados foram cotejados à cartografia geológica obtida com controle de campo, correspondentemente às folhas Mamãe Anã e Jacareacanga e Rio Juruea. Com isto foram adicionados uma série de novos lineamentos, alguns já definidos geologicamente. A partir deste trabalho a fase do sinal analítico, mostrou orientações com alta densidade na direção ENE – WSW, as quais não haviam sido definidos para esta área em trabalhos anteriores. Os diques conseguiram ser melhor definidos, mostrando maior continuidade na sua definição. No entanto, são menos conspícuos os lineamentos mais regionais de direção NW;
- E) Segundo a CPRM (CPRM, 2000) os lineamentos NE – SW a NNE – SSW estão relacionados a um estágio compressivo 1 que gerou cavalgamento e transpressão, representado pela xistosidade de escala regional reportada pelos trabalhos de campo nos gnaisses Cuiú – Cuiú e Jacareacanga (2,15 Ga – 2,00 Ga) CPRM (2000). Os lineamentos de direção NW – SE (1,99 Ga – 1,96 Ga) correspondem a uma mudança de transporte tectônico associado à falhas transcorrentes, evidenciado pela transposição de estruturas NE – SW numa direção NW – SE. E entre 1,90 Ga e 1,60 Ga, houve intrusão de corpos de composição calco-alcalinas (Suite intrusiva de Parauari, Suite intrusiva Ingarana) e extrusões vulcânicas (Grupo Iriri), assim como intrusões de afinidade alcalina a calco-alcalina (granitóides Maloquinha, Caroyal, Pepita e Igarape escondido) cujos alinhamentos seguem a antiga direção NW – SE, indicando uma reativação de linhas de fraqueza. Os enxames de diques de direção NNE – SSW em rochas de idade paleozóica sugerem recorrência da ruptura crustal no Tapajós. Por último, entre 1,2 Ga e 1,0 Ga esforços tectônicos compressivos NW – SE nas unidades paleoproterozóicas (Suites intrusivas de Parauari, Maloquinha, e Ingarana além das

vulcânicas do grupo Iriri) aproveitaram antigas zonas de fraqueza.

Os resultados da análise com os lineamentos determinados neste trabalho mostram um conjunto de direções N20°E a N25°E com movimento sinistral junto com os de direção WNW – ESE permitem inferir uma deformação D1 com o esforço σ_1 com direção aproximada norte sul. Outro conjunto de lineamentos de direção WSW – ENE acompanhados com lineamentos subordinados N40°E N50°E permitem inferir uma deformação D2 com esforço σ_1 de direção aproximada S70°W.

Os lineamentos da fase do sinal analítico N30 – N40E truncam parcialmente os de direção N65° – 45°W podendo corresponder a uma reativação de alguma das deformações D1 ou D2. Também pode ser determinado a partir dos lineamentos determinados na folha Juruena um conjunto de direção N45°W e um outro de direção N30° – 40°E, sendo que os últimos truncam parcialmente os de direção N45°W, o que sugere um esforço σ_1 de direção aproximada E – W.

É importante indicar a presença de uma região sinuosa que se apresenta de sul a norte, de largura variável (5 – 25 km no setor norte e até 45 km no setor sul) observada na imagem da amplitude do sinal analítico com valores de $1,5 \times 10^{-6}$ nT/m, que representam valores altos dentro da área. Nesta região foi possível definir por contraste nas respostas, os corpos intrusivos Caroyal, Pepita e a formação Salustiano.

Conclusões

Os mapas transformados de fase e amplitude do sinal analítico apresentaram o melhor utilidade na diferenciação de lineamentos e domínios magnéticos.

Os passos expostos na interpretação geofísica constituem-se num método de trabalho capaz de permitir uma diferenciação de litotipos sempre que as propriedades físicas medidas sejam contrastantes.

Na interpretação geofísica da folha Ro Juruena foi assinalado um prolongamento da suíte intrusiva Parauari (Pp1 = B5) Grupo Cuiú, Cuiú (Pcc = K1T) da Formação Capoeiras (Dca = B1), e da Formação São Benedito (DSsb = V4). Também foram definidas as unidades (K4) e (K1) e (K3c) caracterizadas por possuir importante conteúdo de potássio; a unidade U1 e U1a com importante conteúdo de urânio; e também as unidades (C4), (C2) e o corpo (Ka).

Os lineamentos de direção WSW – ENE na área conseguiram ser melhor caracterizados geofisicamente. Por sua vez, foi definido um evento D1 com σ_1 aproximado N – S e um evento D2 com σ_1 aproximado S70°W. Por último, um evento denominado D3 com σ_1 , com direção aproximada E – W foi definido a partir dos lineamentos interpretados na folha Rio Juruena.

É importante enfatizar a região fortemente magnética, conforme mostra a amplitude do sinal analítico, que contrastam com os valores observados sobre os granitos

Caroyal e Pepita, além dos riolitos e dacitos da Formação São Salustiano.

Referências

- Blum, M. L. B., 1999, Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral: Brasília, Brasil, Tese de Doutorado No 30, Instituto de Geociências, UnB.
- CPRM, 1998, Projeto aerogeofísico Província do Tapajós: Rio de Janeiro, RJ, CPRM, 33p.
- CPRM, 2000, Projeto especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21V-D): Manaus, AM, CPRM, 60p.
- CPRM, 2000, Projeto especial Província Mineral do Tapajós - Geologia e recursos minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B): Manaus, AM, CPRM, 60p.
- GEOOSOFT 2000. Mapping and Processing System, Magmap – User Guide: Canadá, Geosoft, Inc.
- Minty, B. R. S., 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data: *Expl. Geoph.* **22**, 591-592.
- Santos, D. B., Fernandes P. E. C. A., Dreher, A. M., Cunha, F. M. B. da, Basei, M. A. S., Teixeira, W., 1975. Geologia *In*: BRASIL, DNPM, Projeto RADAM, Folha SB.21 Tapajós: Rio de Janeiro, RJ (Levantamento de Recursos Naturais, 7).
- Santos, J. O. S., Hartaman L. A., Gaudete, H. B.; Groves, D. I.; Mcnaughton, N. J. e Fletcher, I. R., 2000, A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology – Gondwana Research: artigos focados na tese de doutorado de Santos, J. O. S. (No prelo)
- Tassinari, C. C. G., 1996, O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil - Revisão dos dados isotópicos: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência. 139p.

Agradecimentos

O presente trabalho é uma síntese da dissertação de mestrado da primeira autora. Como tal deseja agradecer à CAPES pelo apoio financeiro, à CPRM pelo fornecimento dos dados, à INGEOMINAS por permitir a seus estudos no Brasil, aos professores Roberto A. V. Moraes (orientador), Augusto C. B. Pires, José de Araújo Filho e Cristina Wiedman, a Paulo Parro, Marcelo Blum, Rodrigo Borges, Rodrigo Fuck, Joselisa Chaves, Claudia Arantes e demais colegas do IG pela colaboração recebida.

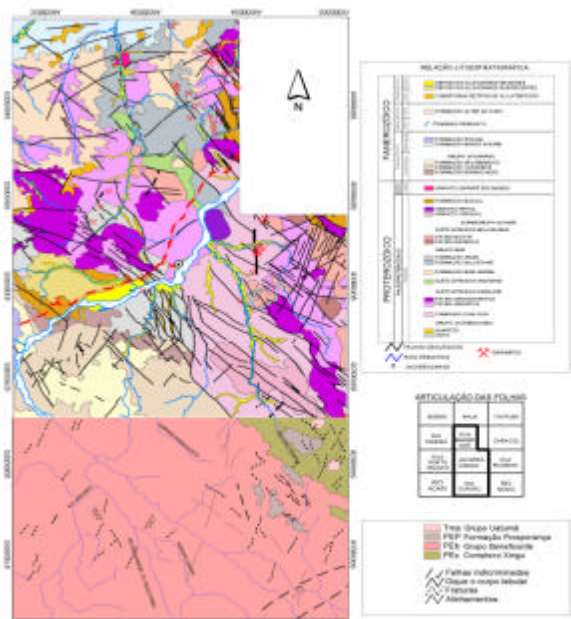


Figura 2 – Mapas geológico das folhas Vila Mamãe Anã, Jacareacanga (CPRM, 2000) escala 1:250.000 e Rio Juruena (Radam, 1975) escala 1:1000.000

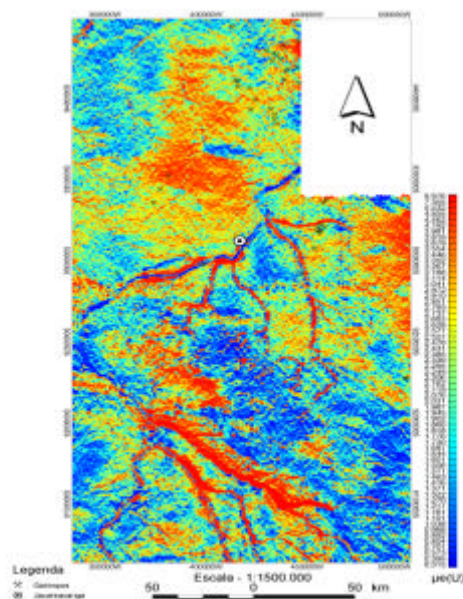


Figura 3b – Imagem do canal de Urânio

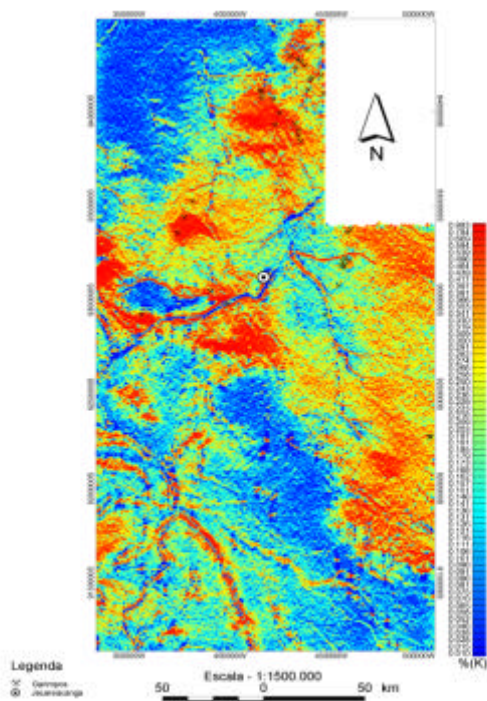


Figura 3a – Imagem do canal de potássio

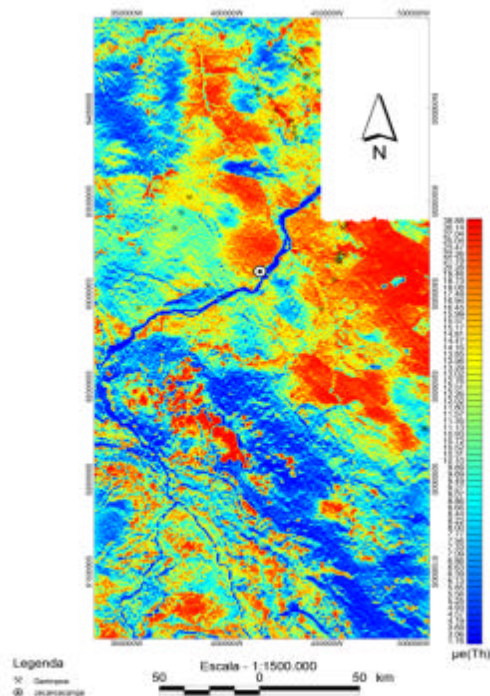


Figura3c – Imagem do canal de tório

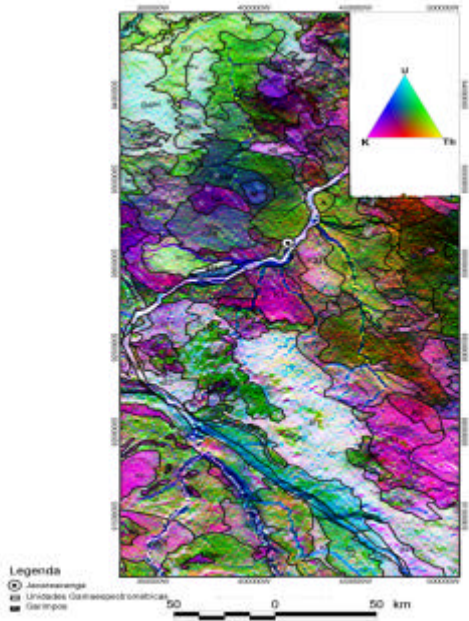


Figura 3d – Imagem do canal da composição ternária CMY(Ciano = U; Magenta = K; Yellow = Th)com unidades interpretadas

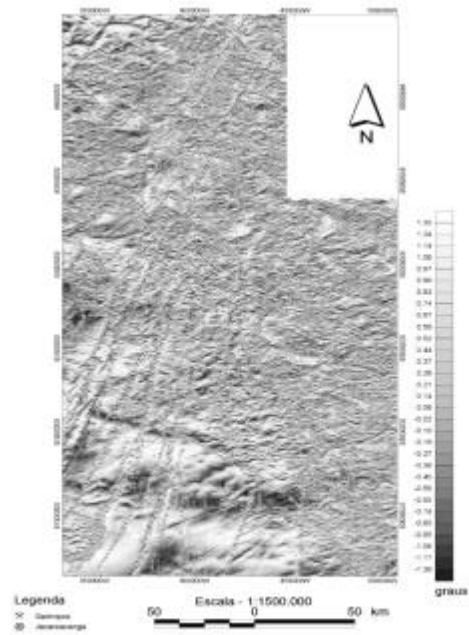


Figura 4b – Imagem da fase do sinal analítico do campo magnético anômalo.

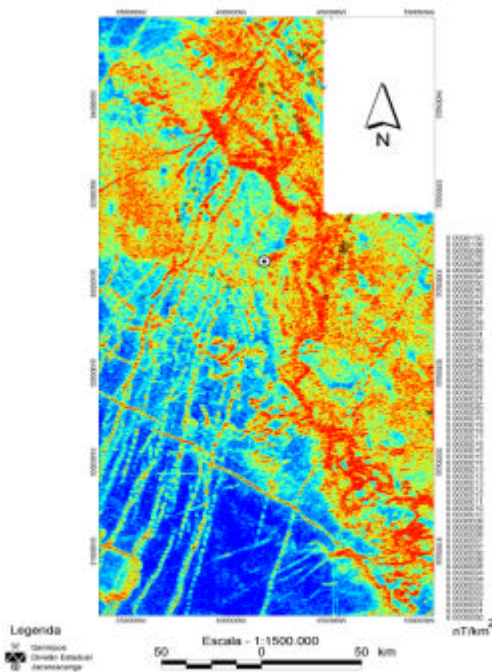


Figura 4a – Imagem da amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo.

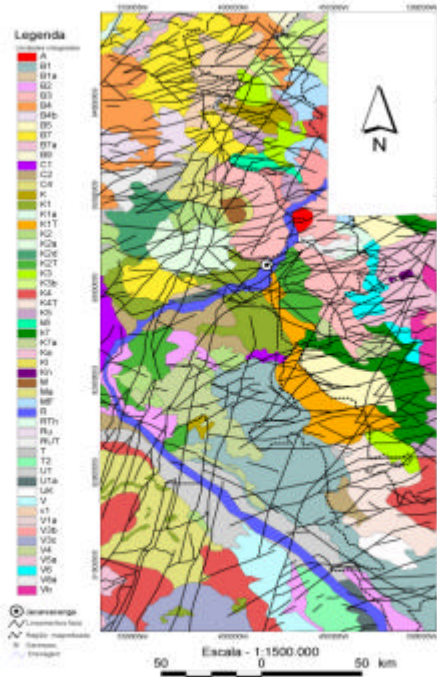


Figura 5 – Imagem do resultado da integração geológica-geofísica.