

Tratamento e processamento de dados geofísicos aéreos gamaespectrométricos no estado de Minas Gerais

M.H. Leão Santos¹, A.C.B. Pires², C.G. Oliveira² & R.A.V. Moraes²

1 Companhia Vale do Rio Doce, CVRD-DIPM Estrada Raimundo Mascarenhas km 36, Escritório N5, 68516-000, caixa postal 09, Serra dos Carajás – PA, marcelo.leao@cvr.com.br

2 Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, ICC Centro – Campus Universitário Darcy Ribeiro 70919-970, Brasília – DF, acbp@unb.br, gouveia@unb.br, rmoraes@unb.br

Abstract This work describes the processing of airborne gamma spectrometry data from Area 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga and Area 3 - Morro do Pilar – Serro – Guanhanes. Characteristics of the survey are presented along with the theoretical concepts used to extract geophysical information from the data. The data processing followed a specific sequence whereby a standard geographic projection was sought, before quality control and interpolation was undertaken. Transformation to a geophysical product was achieved subsequent to further testing and filtering. A rigorous analysis of the specifications enhanced the process of quality control, which, combined with careful inspection of raw data, improved the level of faith in the final product.

Palavras-chave: Aerogeofísica, tratamento, processamento, gamaespectrometria, Minas Gerais.

INTRODUÇÃO Este trabalho descreve o tratamento e processamento dos dados gamaespectrométricos aéreos da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga e Área 3 - Morro do Pilar – Serro - Guanhanes, pertencentes à Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG (Fig.1).

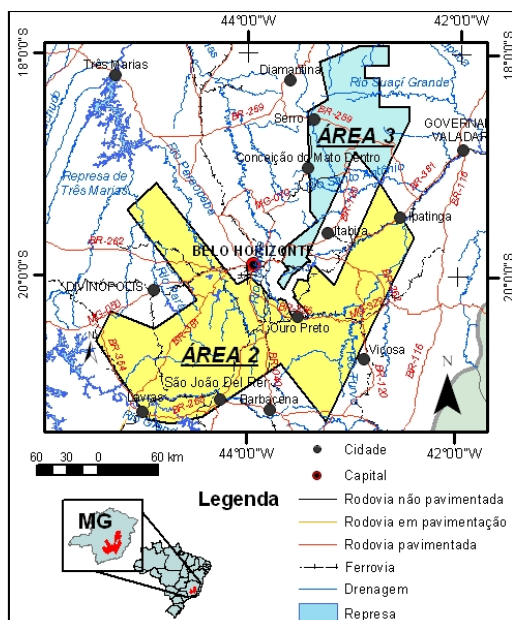


Figura 1. Localização da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga e Área 3 Morro do Pilar – Serro - Guanhanes

Objetivos Os objetivos principais foram a caracterização dos levantamentos, a conceituação teórica do tratamento e processamento, o tratamento e

processamento dos dados e evidenciar as respostas gamaespectrométricas.

PROGRAMA DE LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS O Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais, coordenado pela SEME - Secretaria de Minas e Energia foi realizado pelo Governo de Minas Gerais, e produziu uma base de dados geofísicos de grande valor para a redução dos riscos em pesquisa mineral das áreas selecionadas. A escala de trabalho, a tecnologia empregada na aquisição dos dados e os métodos utilizados são de boa qualidade e asseguram a produção de mapas aerogeofísicos confiáveis. Os métodos empregados foram o magnetométrico e o gamaespectrométrico, com sobrevôo a 100 m de altitude segundo linhas espaçadas entre si de 250 m, com linhas de controle perpendiculares às linhas de vôo e com espaçamento de 2.500 m.

Os dados são de semi-detalle, o período de aquisição dos dados é de 2000 - 2001 e as áreas possuem alto potencial mineral (COMIG 2001).

Características dos aerolevantamentos:

- velocidade aproximada do vôo: 200 km/h, e
- sistema de navegação: GPS Picodas / NovAtel / Rascal.

Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga:

- área: ~35.176 km² de superfície;
- direção das linhas de vôo: N30°E / linhas de controle: N60°W (Bloco Oeste), e
- direção das linhas de vôo: N30°W / linhas de controle: N60°E (Bloco Leste).

Área 3 - Morro do Pilar – Serro – Guanhães:

➤ direção das linhas de voo: N30°W, edireção das linhas de controle: N60°E.

GAMAESPECTRÔMETRO O gamaespec-trômetro utilizado na Área 2 foi o EXPLORANIUM, modelo GR-820; e na Área 3 o Sistema Picodas, modelo PGAM. Ambos têm 256 canais espectrais e fazem medições com intervalos de 1 segundo. A amostragem na Área 2 foi de 80 m no terreno e na Área 3 foi de 70 m no terreno. O detector para baixo tem dois conjuntos de cristais (NaI) de 1024 polegadas cúbicas, ou seja, um total de 2048 polegadas cúbicas. E o detector para cima tem dois cristais de 256 polegadas cúbicas, num total de 512 polegadas cúbicas.

PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS O processamento dos dados aerogeofísicos foi realizado no Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O processamento foi executado em meio digital com a utilização do programa *OASIS Montaj Inc. GEOSOFT* (GEOSOFT 1996, 1998). Os procedimentos para o processamento dos dados estão organizados no fluxograma abaixo (Fig.2).

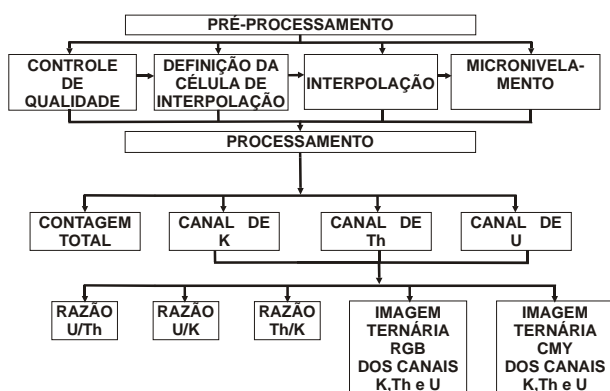


Figura 2. Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aerogamaespectrométricos

A primeira etapa consistiu na conversão da projeção do banco de dados. Os dados foram convertidos da projeção UTM – zona 23 S, datum Córrego Alegre, para a projeção policônica, datum SAD – 69. A projeção policônica foi utilizada por facilitar a integração de dados regionais. Foi utilizado o meridiano central -54° W que passa no centro do Brasil.

Controle de qualidade A distribuição, a densidade, a uniformidade dos dados e as relações entre os pontos na superfície bidimensional foram analisados.

O padrão dos dados pode ser considerado regular, mas com diferentes densidades nas linhas de voo e linhas de controle. A densidade na direção da linha de voo é muito maior que na direção das linhas de controle. A regularidade está ao longo das linhas de voo paralelas, que estão com espaçamento de 250 m. O conjunto de dados é uniforme com a densidade de pontos na direção da linha de voo igual à densidade de pontos em todas as outras linhas de voo. E a densidade na direção das linhas de controle está definida pelo espaçamento de 2500 m.

Os dados foram analisados e avaliados para se verificar a consistência dos dados e a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” (*nuggets*) ou picos (*spikes*), e à distribuição das linhas de voo. A diferença de quarta ordem foi utilizada para identificar as inconsistências (Fig. 3). Os dados não estão destoantes dos demais e não foram observados dados anômalos (Fig. 4).

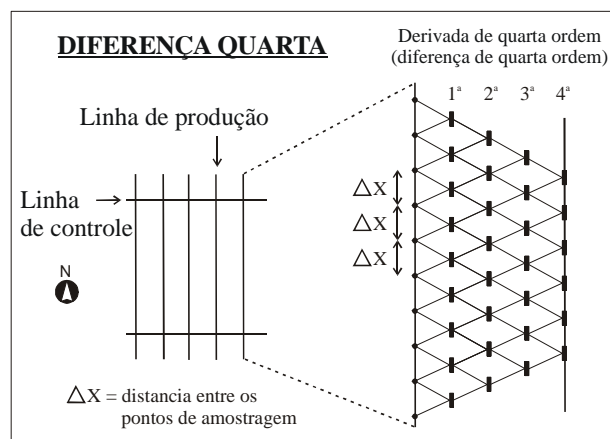


Figura 3. A diferença de quarta ordem

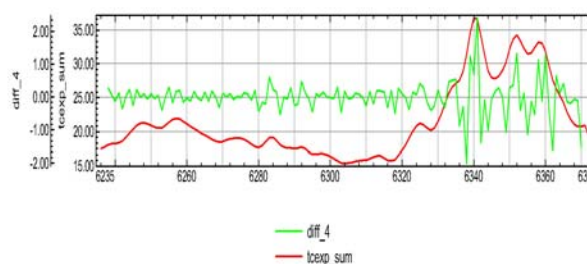


Figura 4. Perfis de contagem total em taxa de exposição (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde)

O mapa das linhas de voo foi plotado para se verificar a distribuição em malha regular. O padrão das linhas de voo não mostrou eventuais desvios (Fig. 5). Na Área 2 bloco leste, das 7100 linhas de voo apenas 30 tem desvios, ou seja, apenas 0,4 %.

Algumas sobreposições de linhas de vô foram retiradas quando tinham desvios.

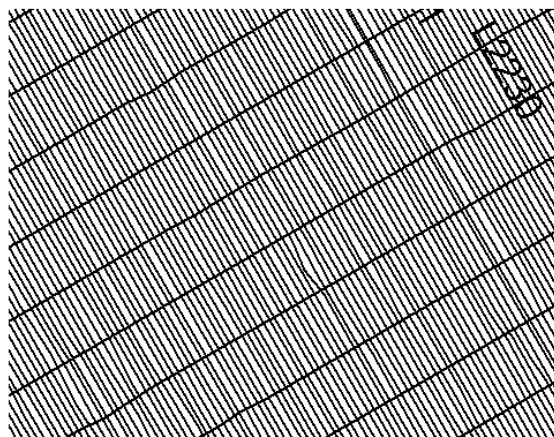


Figura 5. Linhas de vô da Área 2 bloco oeste, com os eventuais desvios observados

Os valores de concentração foram observados para verificar se estão dentro da variação esperada para taxa de exposição na contagem total, para porcentagem (%) no canal de potássio e partes por milhão (ppm) nos canais de tório e urânio.

Os valores de concentração não podem ser negativos, para se retirar esses valores gerados no levantamento dos dados foi somado o valor mínimo de cada canal a todos os valores do canal. A esse valor foi somado 0,01 para que o valor não fique zerado e prejudique a razão entre canais.

No geral, os dados foram considerados precisos pelo controle de qualidade. Isto devido aos dados serem recentes e ao levantamento, que utilizou as últimas tecnologias existentes no mercado.

Interpolação O processamento para gerar a malha regular é constituído pela leitura dos dados medidos e a interpolação dos mesmos, para se determinar os valores dos nós de malha. Em função da distribuição dos dados medidos é escolhido o método de interpolação mais adequado.

O tamanho da célula utilizada para interpolar o banco de dados foi de 100 metros. O tamanho da célula deve ser de no máximo $\frac{1}{4}$ do espaçamento das linhas de vô. A definição da célula foi feita pela análise visual dos mapas para verificar se não havia perda no conteúdo de informação de alta frequência e o falseamento (*aliasing*) nos dados que é a incorporação de frequências mais altas, sem solução nas frequências mais baixas. A célula de 100 metros foi utilizada para não gerar arquivos muito grandes e com um grande número de pontos de malhas nas direções x e y.

Os métodos de interpolação utilizados foram o de curvatura mínima, o bidirecional e o bidirecional com ângulo de tendência, com controle de fidelidade dos dados originais para a interpolação em malhas regulares.

O método de curvatura mínima faz com que os valores fiquem o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada (Keckler 1994, GEOSOFT 1995). Tem a vantagem de ser rápido e eficiente para conjuntos de dados grandes com mais de 1000 amostragens. A superfície é semelhante a uma placa fina, elástica de forma linear que passa pelos valores dos dados com uma flexão mínima (Keckler 1994).

O método bidirecional é indicado para interpolar dados que estejam em linhas aproximadamente paralelas. Esse método é rápido para dados distribuídos dessa forma e tende a intensificar tendências perpendiculares às direções das linhas do levantamento. Tem como vantagem a possibilidade de processar um número ilimitado de dados e como desvantagem a não possibilidade de ser utilizado para dados de distribuição aleatória. Esse método considera a diferença de densidade nas duas direções do levantamento.

O processamento é feito a partir da interpolação de cada linha ao longo da linha do levantamento original, seguida da interpolação na direção perpendicular, para criar os nós.

Os *Splines* utilizados para interpolação foram *Akima-Akima*, para *Spline* ao longo dos perfis e *Spline* perpendiculares aos perfis.

O banco de dados também foi interpolado com o método bidirecional com ângulo de tendência de 150° para a Área 2 - Bloco Oeste e de 30° para a Área 2 - Bloco Leste e para a Área 3.

O ângulo de tendência é definido a partir do eixo x no sentido anti-horário e é utilizado para evidenciar feições geológicas nas direções especificadas. Como as linhas de vô estão perpendiculares à tendência regional das feições geológicas o ângulo de tendência usado foi perpendicular às linhas de vô.

Comparação dos resultados da interpolação Foram criados os mapas interpolados pelos métodos da curvatura mínima, bidirecional e bidirecional com ângulo de tendência, com sombreado e iluminação perpendicular às linhas de vô para evidenciá-las. O ângulo da iluminação foi de 120° para a Área 2 - Bloco Oeste e de 60° para a Área 2 - Bloco Leste e para a Área 3. O método bidirecional com ângulo de tendência foi o que melhor interpolou a malha.

Teste da eficácia da interpolação Foi feita a amostragem das malhas para o dado medido e para os

três métodos de interpolação: curvatura mínima, bidirecional e bidirecional com ângulo de tendência. Posteriormente foram criados os perfis das linhas de voo. Os perfis foram comparados para se decidir qual o método foi mais eficaz (Fig. 6).

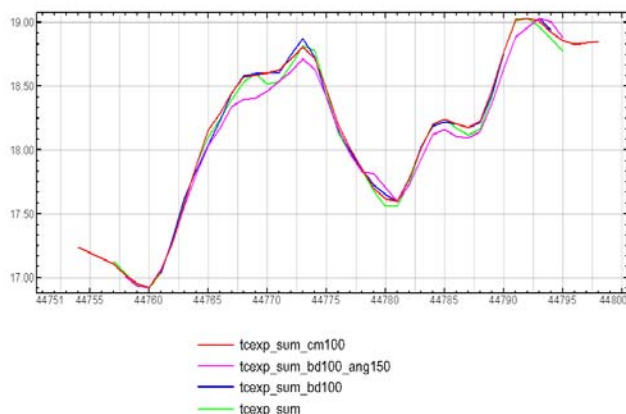


Figura 6. Perfis de uma linha de voo da Área 2 bloco oeste para cada método de interpolação da contagem total. Dado original (verde), curvatura mínima (vermelho), bidirecional (azul) e bidirecional com ângulo de tendência (roxo)

O método da curvatura mínima suavizou melhor os dados, teve uma maior fidelidade e valores mais próximos ao sinal do dado medido, por isso foi utilizado para o processamento (Fig. 7).

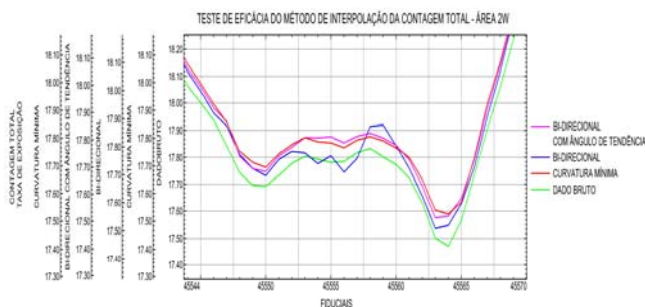


Figura 7. Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Detalhe dos perfis de uma linha de voo da Área 2 bloco oeste da contagem total. Dado original (verde), curvatura mínima (vermelho), bidirecional (azul) e bidirecional com ângulo de tendência (roxo)

Um dos motivos para a escolha do método da curvatura mínima é a natureza dos dados gamaespectrométricos. O campo é aleatório e sensível às muitas variações ambientais. A curvatura mínima utiliza a média do campo aleatório e os valores ficam o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada mais confiável.

O controle de qualidade, as comparações e os testes foram feitos para a contagem total, que inclui o espectro dos três canais, e para o canal de urânio, que é mais susceptível às variações ambientais por ser um elemento de alta mobilidade. Com isso se tem um bom controle dos dados gamaespectrométricos.

Decorrugação A decorrugação é útil nas linhas de produção para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Para tanto se utilizou a técnica de micronivelamento (Minty 1991) com o algoritmo *Microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

O banco de dados foi rotacionado para que as linhas de voo fiquem com direção norte-sul para se aplicar o algoritmo de micronivelamento. O algoritmo aplica filtros simples e diferentes na direção da linha de voo e da linha de controle. A técnica consiste nos seguintes procedimentos:

1- em uma primeira malha é aplicado um filtro passa-alta perpendicularmente às linhas de voo e a resposta é armazenada em uma segunda malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo duas vezes o espaçamento das linhas de voo;

2- na segunda malha é aplicado um filtro passa-baixa na direção da linha de voo e a resposta é armazenada em uma terceira malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo o espaçamento entre as linhas de controle, e

3- a terceira malha corrigida é subtraída da primeira malha para se obter a malha final.

O micronivelamento se mostrou extremamente eficiente no nivelamento dos dados (Figs. 8, 9).

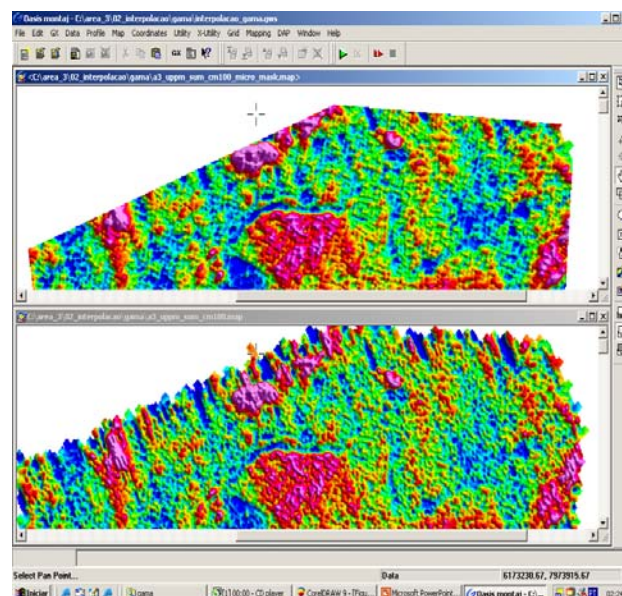


Figura 8. Micronivelamento do mapa do canal de urânio na porção norte da Área 3. Em baixo mapa sem micronivelamento e em cima mapa micronivelado

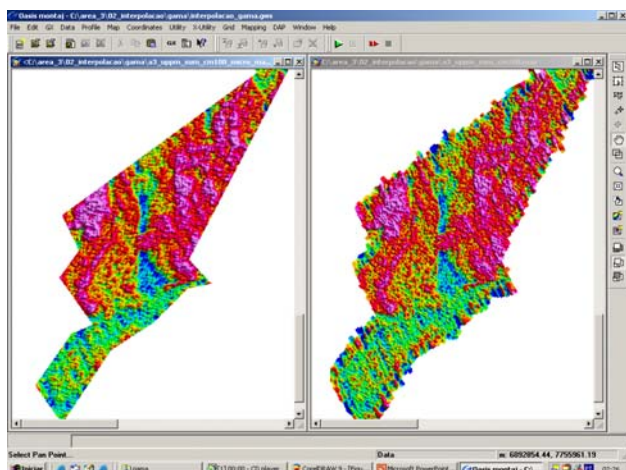


Figura 9. Micronivelamento do mapa do canal de urânio na porção sul da Área 3. À direita mapa sem micronivelamento e à esquerda mapa micronivelado

PRODUTOS FINAIS - MAPAS GAMAESPECTROMÉTRICOS

- Mapa da Radiação de Contagem Total (taxa de exposição) (Fig. 10);
- Mapa do Canal da Radiação do Potássio - K (porcentagem - %);
- Mapa do Canal da Radiação do Tório - Th (partes por milhão – ppm) (Fig. 11);
- Mapa do Canal da Radiação do Urânio - U (partes por milhão – ppm) (Fig. 12);
- Mapa da Razão dos Canais de U/Th;
- Mapa da Razão dos Canais de U/K;
- Mapa da Razão dos Canais de Th/K (Fig. 13);
- Mapa Ternário RGB - K:Th:U (R red-potássio, G green-tório e B blue-urânio) (Fig. 14);
- Mapa Ternário CMY - K:Th:U (C ciano-potássio, M magenta-tório e Y yellow-urânio);
- Modelo Digital do Terreno – MDT, e
- Imagem de superfície 3D do canal de U sobre o MDT.

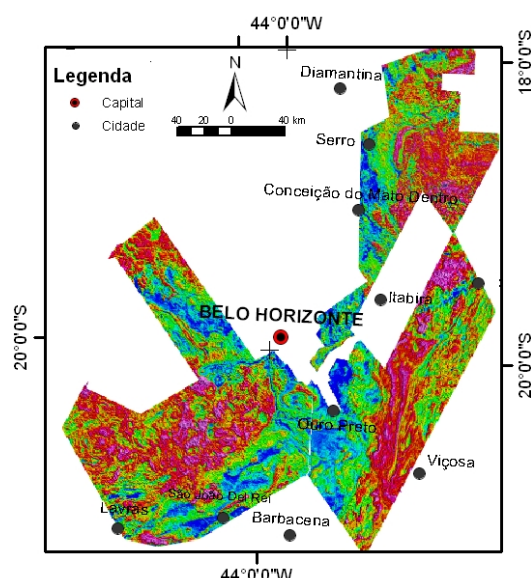


Figura 11. Mapa do Canal do Tório - Th (ppm)

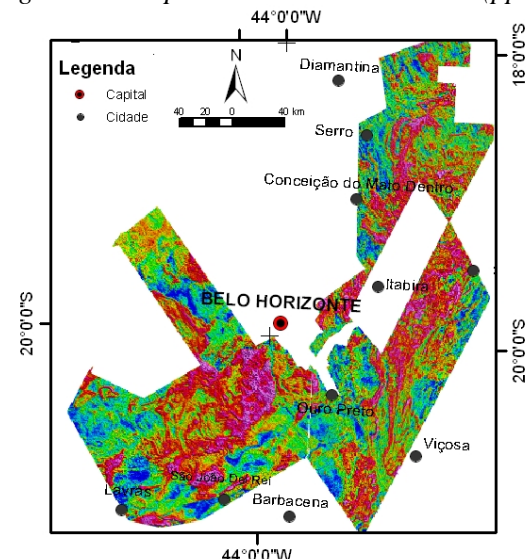


Figura 12. Mapa do Canal do Urânio - U (ppm)

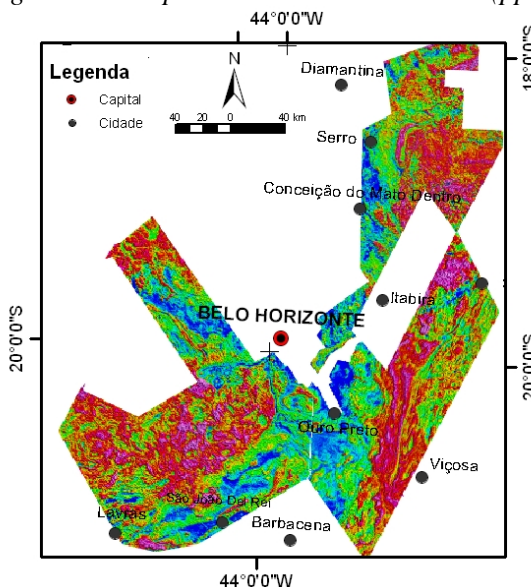


Figura 13. Mapa da Razão dos Canais de Th/K

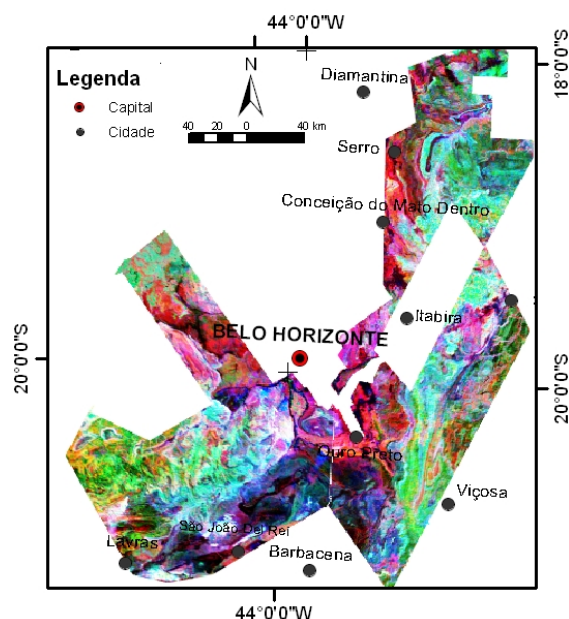


Figura 14. Mapa Ternário RGB - K:Th:U

CONCLUSÕES O entendimento do levantamento foi essencial para criar os métodos de tratamento dos dados, que nos possibilitou ter um controle de qualidade dos valores levantados. Com os dados tratados foi possível fazer um processamento muito mais confiável.

Os parâmetros do controle de qualidade são importantes para a geração da malha regular, na decisão do melhor método de interpolação e na interpretação dos dados.

A interpolação gera uma malha regular, a vantagem dos valores estarem determinados em pontos localizados em nós de malha com distâncias iguais é a aplicação nos dados de vários tratamentos de duas dimensões, como filtros bidimensionais,

contornos e processamento de imagens (GEOSOFT 1995).

Os mapas ternários mostram uma visualização da variação dos três canais em conjunto. Como o canal de urânio é mais influenciado por variações ambientais é geralmente colocado na cor azul, pois é uma cor menos perceptível ao olho humano.

A sobreposição de imagens dos canais com alta mobilidade sobre a superfície em três dimensões do modelo digital do terreno, mostra o comportamento dos radioelementos em relação à lixiviação.

As razões dos canais realçam evidências da percolação de fluidos e mineralizações associadas.

As transformações feitas nos mapas realçaram as respostas gamaespectrométricas dos corpos litológicos e das feições geológicas. As estruturas observadas como falhas nos mostram a resposta entre o contato de dois corpos litológicos diferentes que estão separados por essa falha e não a resposta da falha em si. Isso devido à resposta observada ser de no máximo 50 centímetros de profundidade.

O rigoroso acompanhamento do tratamento e do processamento dos dados levou a uma maior confiabilidade nos produtos gerados, a se conhecer a natureza dos dados e a se criar um método muito mais eficaz para a posterior interpretação geológica dos mapas geofísicos.

Agradecimentos Aos alunos Bruno Velasco, Itailino Barbosa, Leandro Duarte, Luciano Teixeira, Ricardo Moraes e Thiago Silva. Aos Professores Augusto Pires, Roberto de Moraes, Claudinei Gouveia e Adalene Silva, pela orientação. À Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG, pela cessão e permissão do uso dos dados dos levantamentos aerogeofísicos.

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 Prospeção Mineral*, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado N° 30, 229p.
- GEOSOFT. 1995. *GEOSOFT Mapping and processing system*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT. 1996. *MAGMAP 2-D frequency domain processing*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT. 1998. *OASIS Montaj 4.2*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- KECKLER D. 1994. *Surfer for Windows. User's guide. Contouring and 3D surface mapping*. Golden software, Inc. Golden, 234p.
- LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A. 2001. *Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 2 – Pitangui-São João Del Rei-Ipatinga*: Texto Técnico; SEME/COMIG.
- LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A. 2001. *Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 3 – Morro do Pilar-Serro-Guanhães*: Texto Técnico; SEME/COMIG.
- MINTY B.R.S. 1991. *Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data. Expl. Geoph. 22*;:591-592.