

## Processamento e interpretação de dados gamaespectrométricos aéreos do projeto Itabira-Ferros, MG.

Leila Márcia Mendes Carvalho<sup>1</sup>; Augusto César B. Pires<sup>1</sup>; Claudinei Gouveia de Oliveira<sup>2</sup>; Roberto A Vitória de Moraes<sup>3</sup>; Marcelo de Lawrence B. Blum<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Geofísica Aplicada (UnB), <sup>2</sup>Universidade de Brasília, <sup>3</sup>HGEO-Tecnologia em Geociências, <sup>4</sup>Instituto Nacional de Criminalística (INC/DITEC/DPF).

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

The area covered by the Itabira-Ferros Project is located in the State of Minas Gerais Iron Quadrangle and is known for its emerald occurrences and deposits.

The present study apply geophysical characteristics, using airborne gamma-ray spectrometric data and their integration with geology, to determine probable zones of emerald mineralization.

The total count image allowed the definition of the spectrometric framework of the area. Analysis of the elements K, Th and U distribution was conducted together with RGB and CMY ternary images, leading to the identification of units and structures. A total of 16 gamma-ray spectrometric units were identified for the region. Most of them correlated to known and mapped geology and others with no correlation.

Map with interpreted gamma-ray spectrometric structures shows that mineralizations are located in areas of extreme faulting, especially at the edges of the sigmoidal feature in unit III, reflecting ductile in NW-SE direction, between two faults in the same direction and the cities of João Monlevade and Dorés de Guanhães. Emerald mineralizations are located in the eastern portion of the sigmoid, others mineralizations are directly related to the sigmoid at its central portion and to other NW features cutting the area.

### Introdução

A gamaespectrometria normalmente se propõe a estudar as variações das concentrações de potássio, urânio e tório e suas distribuições espaciais. A espectrometria raios gama quando feita através de recobrimento aéreo possibilita a delimitação de diferentes litotipos e o delineamento de traços estruturais permitindo o fornecimento de subsídios para a cartografia geológica, sendo largamente utilizados em trabalhos relacionados com mapeamento geológico e prospecção mineral (Vasconcellos *et al.* 1994).

O trabalho em questão objetiva identificar e mapear litotipos e estruturas geológicas utilizando dados de gamaespectrometria aérea, buscando contribuir para uma melhor compreensão da geologia local. Além disso, procura desenvolver e aplicar técnicas de integração de dados para gerar imagens digitais convenientes para interpretação geológica, bem como, produzir mapas evidenciando áreas favoráveis à exploração de novos depósitos de esmeraldas.

A área pesquisada está limitada pelos paralelos 19°50'06"S-43°26'20"W (A), 18°52'14"S-42°59'50"W (B), 19°08'55"S-42°45'29"W (C) e 20°06'47"S-43°12'06"W (D) (Figura 1), correspondendo a uma superfície de 4.600km<sup>2</sup> na porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1).

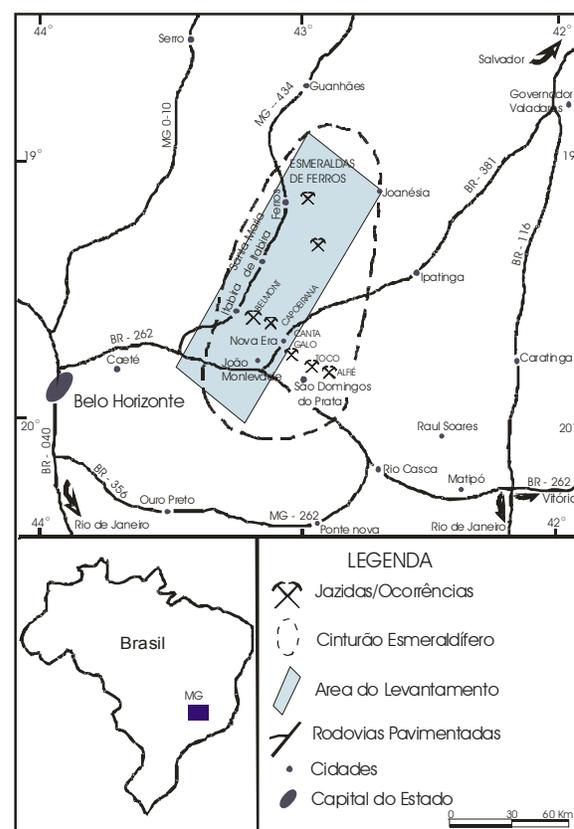


Figura 1 - Mapa de localização do Cinturão Esmeraldífero delimitado para a região de Itabira-Ferros, MG (modificado de Souza *et al.* 1992).

## Metodologia

Usando o sistema Oásis Montaj<sup>TM</sup> 6.0, os dados de gamaespectrometria foram tratados buscando-se obter uma melhor qualidade de apresentação e, posteriormente processados gerando mapas adequados para interpretação. Para tal, foram necessários diversos procedimentos que tiveram início com a filtragem dos dados.

O processamento dos dados foi feito a partir da verificação de valores ausentes ou espúrios (picos), da distribuição e a densidade espacial dos dados. O conjunto de dados mostrou-se uniforme com a mesma densidade de pontos em todas as linhas de voo e o padrão geral não apresentou grandes problemas.

A transformação do conjunto de dados para uma malha regular foi feita com o apoio do método de curvatura mínima. Em função do espaçamento entre as linhas de voo, optou-se por uma célula quadrada de 50 metros de lado. A técnica de micronivelamento utilizada foi àquela proposta por Minty (1991) com o apoio do algoritmo *microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

## Contexto Geológico

A região do Projeto Itabira-Ferros está contida na Província Estrutural Mantiqueira (Almeida *et al.* 1997) e insere-se no contexto da Faixa de Dobramentos Araçuaí, MG. Ela tem sido alvo de muitos estudos nessa última década, com significativo avanço através de modelos evolutivos mais consistentes.

Ela é constituída por rochas arqueanas e proterozóicas, incluindo terrenos polimetamórficos de baixo a alto grau. São representados por gnaisses TTG, com rochas máficas e ultramáficas associadas, seqüências vulcanossedimentares tipo *greenstone belts* (Complexo Guanhões, Supergrupo Rio das Velhas) e seqüências ferríferas paleoproterozóicas do Supergrupo Minas do extremo nordeste do Quadrilátero Ferrífero (Schorsch 1991, Oliveira & Leite 2000). Na região de Itabira-Ferros são descritos corpos graníticos (Granitos Borrachudos), encaixados nesses corpos ocorrem rochas xistosas, interpretadas como pertencentes ao *greenstone belt* Rio das Velhas (Figura 2).

As mineralizações de esmeraldas da área estão inseridas em terrenos vulcanossedimentares de idade arqueana a proterozóica, representadas pelo *greenstone belt* Rio das Velhas (Oliveira & Leite 2000), em que a formação das esmeraldas deve-se a interação de fluidos pegmatíticos, provenientes dos Granitos Borrachudos com as rochas básicas/ultrabásicas. Essas rochas originaram, durante os processos metamórficos, os tipos xistosos denominados de biotitas/flogopitas xistos ou biotititos/flogopititos que hospedam esses minerais (Schorsch 1991).

Além desses são descritos importantes corpos pegmatíticos e veios de quartzo, concordantes ou não com as estruturas gerais da área. Esses litotipos estão deformados e metamorfizados na fácies xisto verde alto a anfíbolito. O controle estrutural é marcado, principalmente por falhas de empurrão, zonas de cisalhamento transcorrentes e dobras recumbentes.

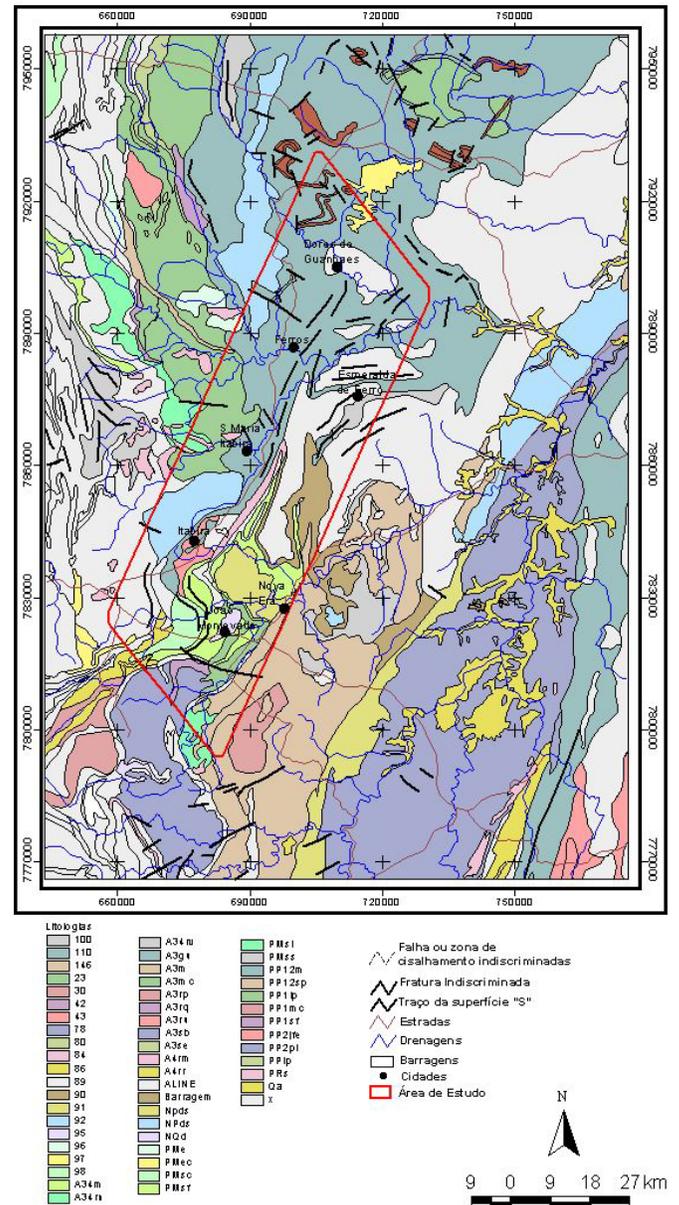


Figura 2: Mapa geológico da área em estudo (COMIG 2003).

## Processamento Interpretativo dos Dados

Foram gerados temas usuais para a interpretação gamaespectrométrica, imagens de K, Th, U, Contagem Total (CT), das razões U/Th, U/K e Th/K e imagens ternárias RGB (K/Th/U) e CMY (K/Th/U). Todas as imagens foram posteriormente sobrepostas ao modelo digital de terreno de forma a facilitar e objetivar a interpretação qualitativa em termos de unidades geofísicas e de suas estruturas.

Todas as interpretações e integrações foram feitas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que facilita as fases de análise e de apresentação dos resultados finais.

A imagem do canal de contagem total (Figura 3) permitiu definir um arcabouço gamaespectrométrico para a área e que resultou em quatro grandes domínios básicos.

A análise do comportamento dos elementos K, Th, U, bem como da distribuição de cada um desses elementos com a topografia foi realizada em conjunto com as imagens ternárias RGB (Figura 4) e CMY (Figura 5), sendo possível a separação das unidades e estruturas, resultando em um mapa litoestrutural gamaespectrométrico.

No total foram delimitadas 16 unidades gamaespectrométricas distintas para essa região. Com base nas respostas radiométricas, de acordo com as misturas de cores, vermelho, verde e azul, permitiu agrupá-las ainda em cinco categorias, de acordo com os teores dos 3 radioelementos:

- 1) baixas concentrações: 0-19%;
- 2) baixa-média: 20-39%;
- 3) média: 40-59%;
- 4) média-alta: 60-79%;
- 5) alta: 80-100%.

As características de cada unidade, em função de seu conteúdo de K, Th e U estão mostrados na figura 6.

### Lineamentos Gamaespectrométricos

A análise de todas as imagens gamaespectrométricas permitiu retirar lineamentos que definem interrupções e descontinuidades das respostas radiométrica, em que a maioria representa contatos entre as grandes unidades, onde alguns parecem representar zonas de cisalhamento (Figura 6).

Os lineamentos ocorrem segundo uma direção principal NE-SW, variando de N30°-50°E e apresentam grandes extensões, em alguns casos cortando toda a área.

Um segundo conjunto de estruturas têm orientações N30°-50°W. Um terceiro conjunto de estruturas encontra-se na direção E-W, com valores variando entre 80°-100°Az. Já um quarto conjunto, porém com menor quantidade em área, se encontra na direção 0° a 10°Az. Essas estruturas são importantes porque representam zonas de fraqueza por onde circulam fluidos mineralizantes.

### Integração dos Dados e Discussões

Embora as unidades gamaespectrométricas sejam distintas entre si, houve uma tentativa de correlação com a geologia conhecida. As imagens ternárias (RGB e CMY) mostraram variações internas das grandes unidades geológicas definidas no mapa de contagem total, permitindo subdividir a área em vários subdomínios. Quando se faz uma comparação da geologia regional conhecida com os grandes domínios da imagem de contagem total observam-se algumas correlações importantes, principalmente com os Granitos Borrachudos. Já quando comparados com as subunidades das imagens RGB e CMY observam-se que as unidades geológicas como os Granitos Borrachudos apresentam grandes variações composicionais internas (é o caso do corpo Açucena e Itabira), não se mostrando homogêneo como se tem na geologia conhecida e que é muito comum interdigitações de outras unidades do embasamento na maioria dos corpos que compõem essa Suíte (Granitos Borrachudos).

Uma análise detalhada desses subdomínios mostrou que a unidade 11 representa os Granitos Borrachudos. Essa unidade é caracterizada por conteúdos relativamente médios de potássio e enriquecimento em tório e urânio. O potássio tende a se concentrar nas bordas e encostas, enquanto o tório tende a se concentrar nos topos. O urânio se concentra nas encostas e topos. Já quando se faz uma comparação da composição entre os diversos corpos observa-se que não há grandes variações entre eles. O corpo da porção centro-leste (Corpo Açucena) é recortado pela unidade 6 que representa parte do embasamento (Complexo Guanhões). Nessa unidade há a maior concentração das mineralizações de esmeraldas.

A porção N-NW da área, em mapa, é representada pelo Granito Borrachudo Senhora do Porto (Folha Conceição do Mato Dentro), porém as respostas gamaespectrométricas mostram rochas com contagens muito variadas, não sendo possível correlacionar somente a um corpo (Figura 6). Foram observados também rochas ricas nos elementos urânio e tório e que não têm uma representação geológica regional em mapa.

Pequenos corpos podem ser delimitados dentro desses subdomínios, com conteúdos relativamente semelhantes aos observados para os Granitos Borrachudos, porém com teores mais elevados dos três elementos, poderiam representar fases tardias desses corpos (pegmatitos?).

De acordo com o mapa geológico (Figura 2), a porção N/NW da área tem como embasamento o Complexo Guanhões. Porém as imagens gamaespectrométricas mostram grandes variações composicionais nessa região, com enriquecimentos significativos em urânio e tório, sendo possível delimitar diversos subdomínios, não tendo os mesmos, correspondência com a geologia conhecida.

Já em relação às rochas do embasamento (unidades 3, centro-sul; 6 e 16, centro-norte da área), de acordo com as imagens ternárias, percebeu-se que essas rochas mostram um enriquecimento em potássio e também mostram grandes variações composicionais internas, o que pode ser confirmado pela geologia conhecida em alguns locais e em outros não são coincidentes.

O Complexo Mantiqueira é representado pela unidade 8 com teores baixos de K e médios-baixos de Th e U.

Os domínios e subdomínios foram comparados aos mapas de potássio, urânio e tório. O tório, que é um bom marcador geológico, quando comparado com os mapas de contagem total, mostrou excelente correlação, delimitando os domínios e mostrando que os Granitos Borrachudos apresentam uma borda com contagens bem mais baixas do que o centro do corpo. Já quando comparado com o canal de potássio, a resposta não foi muito boa para delimitar os Granitos Borrachudos, pouco contribuindo na interpretação dessas unidades. Por outro lado, mostrou que esses granitos são caracterizados por valores relativamente baixos desse radioelemento e que os teores das unidades do embasamento são muito superiores aos destes granitos, mostrando que houve uma migração desse elemento.

O urânio apesar de ser facilmente remobilizado sob condições oxidantes mostrou que as maiores concentrações desse elemento estão relacionadas às

rochas supracrustais da área e teores decrescentes nas rochas do embasamento. Bem como foi excelente para identificar as rochas do Complexo Mantiqueira (Sul da área).

#### Zonas de Mineralizações de Esmeraldas

As mineralizações da área ocorrem em rochas da seqüência vulcanossedimentar em contato falhado com os Granitos Borrachudos, em que a interação de fluidos metassomáticos provenientes de zonas de cisalhamento dúctil-ruptil promovem a mineralização dessas esmeraldas. A partir da análise da imagem de contagem total (Figura 3) mapas de domínios e estruturas gamaespectrométricas (Figura 6), de ocorrências minerais conhecidas e os Granitos Borrachudos (Figura 2) procurou-se determinar áreas potenciais para mineralizações. Esses mapas confirmam que as mineralizações de esmeraldas encontram inseridas em litologias com valores baixos-médios de K, Th e U (unidades 6, Figura 6). Na parte centro-leste da área é notável uma feição em forma de U em que concentra boa parte da mineralização de esmeralda conhecida, essa unidade encontra-se interdigitada no corpo Granito Borrachudo Açucena. A mineralização encontra-se no contato dessa unidade com o corpo Açucena.

O mapa das interpretações estruturais gamaespectrométricas mostra que as mineralizações da região ocorrem em áreas profusamente falhadas, principalmente ligadas as bordas do sigmóide central da unidade III de deslocamento dúctil da área. O interessante é que as mineralizações conhecidas formam uma faixa, espécie de *trend* de direção NW-SE, entre duas falhas de mesma direção que vai de João Monlevade a Dores de Guanhães. As mineralizações de esmeraldas permanecem na porção leste do sigmóide, enquanto que outras mineralizações de berilo (água-marinha e outros berilos) estão ligadas diretamente ao sigmóide, na parte central do sigmóide ou a outras feições NW que recortam a área. Isso possibilita inferir que essas zonas de falhamento facilitam o transporte de fluidos metassomáticos. A definição desses lineamentos, bem como da integração deles com a geologia é de suma importância para a geração de modelos de favorabilidade para a mineralização dessas gemas na região.

#### Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro, à CPRM/DNPM pelo fornecimento dos dados. A Universidade de Brasília e ao Laboratório de Geofísica Aplicada pelo apoio e em especial aos Professores Augusto César Bittencourt Pires, Claudinei Gouveia de Oliveira, Roberto Alexandre Vitória de Moraes e Marcelo de Lawrence Bassay Blum pela orientação e apoio no desenvolvimento desse trabalho.

#### Referências

Almeida, F.F.M. 1976. O Cráton do São Francisco e suas faixas marginais de dobramentos. In SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, *Resumos Expandidos*, 241-215.  
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. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 229p.

COMIG, 2003. Mapa Geológico de Minas Gerais.  
Minty, B.R.S. 1991. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. *Expl. Geoph.* 22:591-592.  
Oliveira, A.A.K.; Leite, C.A.S. 5Folha Ipatinga, Estado de Minas Gerais, Folha SE.23-Z-D-II. Escala 1:100.000 (mapas, textos e anexos). Belo Horizonte, CPRM.51p  
Schorscher, H.D. 1991. Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 3, Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 1, São Paulo, *Guia de Excursões*, 37 - 87.  
Souza, J.L.; César-Mendes, J.; Bello, R.M.S.; Svisero, D.P.; Valarelli, J.V. 1992. Petrographic and microthermometrical studies of emeralds in the 'Garimpo' of Capoeirana, Nova Era, Minas Gerais State, Brazil. *Mineralium Deposita*, 27: 161-168.  
Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.S.; Mota, A.C. & Gomes, R.D. 1994. *Geofísica em Levantamentos Geológicos*. Rio De Janeiro, Digeof-Cprm.

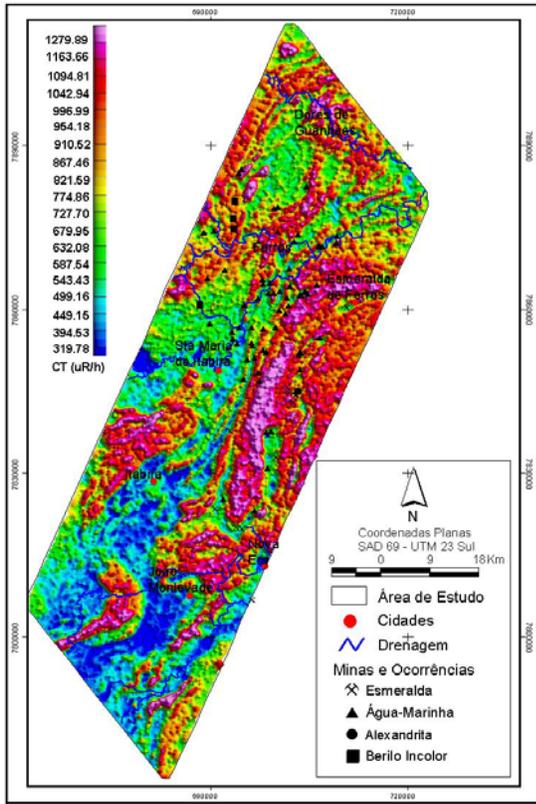


Figura 3 - Imagem do canal de Contagem Total.

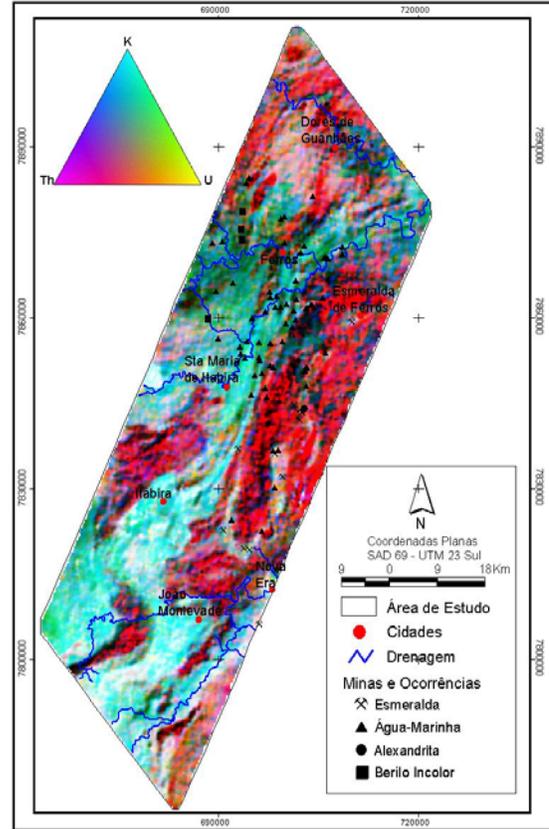


Figura 5 - Imagem Ternária CMY (K/Th/U).

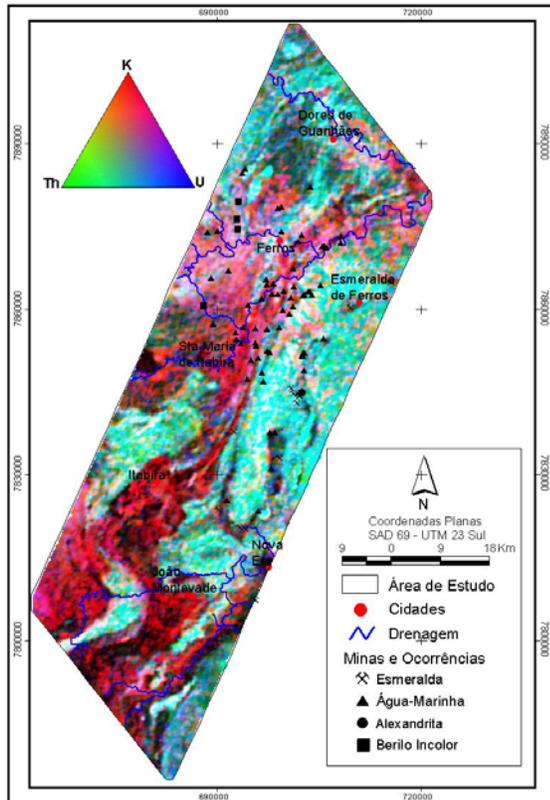


Figura 4 - Imagem Ternária RGB (K/Th/U).

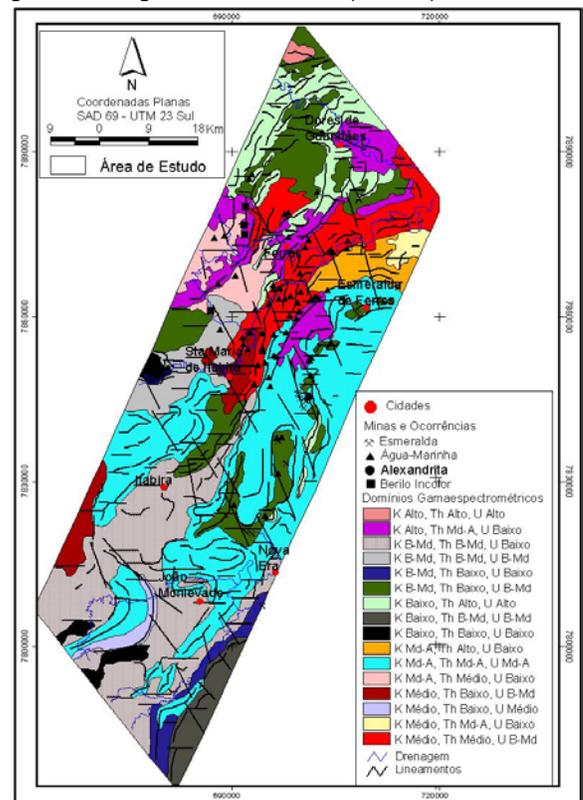


Figura 6 - Mapa dos domínios e lineamentos gamaespectrométricos interpretados.