



Interpretação Integrada de Dados Gamaespectrométricos e Imagens de Satélite na Parte Continental da Bacia de Campos - Brasil

Potiani Maciel*, Abel Carrasquilla, Georges Pavie, Leonardo Póvoa LENEPU/UFEN, RJ Brasil
potiani@lenep.uenf.br; abel@lenep.uenf.br; georges@lenep.uenf.br; leo@lenep.uenf.br

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

Remote sensing with satellite images is a good geological and biological search tool. On the other hand, gamaespectrometric contoured maps enhance geological aspects associated a concentration of radioelements thorium, uranium and potassium. We correlate spectral signatures of satellite images (LANDSAT 7) in the 7-4-2, 3-2-1, 7-5-4 and 5-4-3 band compositions in RGB with thorium, uranium and potassium contoured maps and also with the digital geological map of Rio de Janeiro State, on the continental portion of Campos basin, Brazil. The processing consisted at the contrast enhanced in the satellite images and gridding of gamaespectrometric data. The interpretation of the integrated images has shown that geological aspects have a nice correlation with geophysical aspects.

Introdução

A técnica do sensoriamento remoto consiste em obter informações sobre objetos, áreas, ou fenômenos através da análise de dados adquiridos por equipamentos que não estão em contato com estes objetos, áreas, ou fenômenos sob investigação.

O processo de análise da informação envolve o exame dos dados de sensoriamento remoto usando vários recursos de visualização e interpretação de imagens. As imagens digitais podem ser fundidas com outros dados geofísicos e correlacionadas com mapas digitalizados e georeferenciados. A análise de *overlays*, faz uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) para correlação de aspectos geofísicos-geológicos (Lillesand and Kiefer, 1994).

Dados geofísicos baseados em aerolevantamentos gamaespectrométricos proporcionam o entendimento da distribuição e concentração de elementos, em uma dada região, que emitem radiação naturalmente. A distribuição do radioelemento está condicionada ao arcabouço geológico em que o mesmo está inserido, proporcionando correlações litoestruturais com a geologia de superfície (Sabins, 2000).

Princípios físicos

Sensoriamento remoto por imagens de satélite:

A radiação eletromagnética (EM) é composta de muitas unidades discretas chamadas fótons ou quantum (modelo de partículas). A energia de um *foton* é dada por:

$$Q = h\nu, \quad (1)$$

em que: Q , é a energia de um *foton* em Joules (J); h , é a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s); ν , é a frequência (Hz). Nós podemos correlacionar os modelos de onda e de partícula da radiação EM, considerando a frequência ν como a frequência da onda EM. No vácuo é dado por:

$$c = \nu \lambda, \quad (2)$$

em que: c , é a velocidade da luz (3×10^8 m/s) e λ é o comprimento de onda (m). O sol, obviamente, é a fonte de energia EM para o sensoriamento remoto. Entretanto, toda matéria à temperaturas acima do zero absoluto (0°K ou -273°C), emite continuamente radiação EM.

A atmosfera interage com energia EM difundindo ou absorvendo-a. O espalhamento da energia pode ser seletivo ou não seletivo com relação ao comprimento de onda. Partículas finas da ordem do comprimento de onda da radiação espalham-na de forma seletiva, enquanto efeitos atmosféricos como gotas, atuam em todos os comprimentos de onda da radiação. A absorção resulta na perda de energia efetiva para os constituintes da atmosfera. Os mais eficientes absorvedores são o vapor d'água, o dióxido de carbono e o ozônio. Esses gases tendem a absorver a energia EM em faixas específicas.

Os efeitos atmosféricos afetam a curva de variação de reflectância, difundindo ou absorvendo a energia EM nas janelas espectrais que assinam os diversos aspectos na superfície terrestre (Lillesand and Kiefer, 1994).

Gamaespectrometria:

A radiatividade, descoberta em 1896, é largamente utilizada em pesquisa mineral e mais recentemente em mapeamento geológico. A maioria dos núcleos instáveis estão distribuídos em três famílias radiativas que se desintegram em cadeias: as famílias do Th^{232} , U^{238} e U^{235} . Além dos rádio-elementos U e Th, o K^{40} também possui desintegração atômica natural.

Durante o processo de desintegração ocorre a emissão de radiação gama, que representa excesso de energia, a qual é emitida a partir de átomos excitados em comprimentos de onda inferiores aos do raio-x.

Nas medições gamaespectrométricas, pode-se medir a intensidade dos raios gama emitidos por um elemento intermediário (filho) na série de desintegração e correlacioná-las com a concentração do elemento-pai.

O espectro primário de um agregado de radioelementos numa fonte é o somatório do espectro individual de cada radioelemento presente (Vasconcellos, 1994).

Área de estudo

A Bacia de Campos é limitada pelos arcos de Vitória (N) e Cabo Frio (S), por um sistema de falhas que põe os sedimentos em contato com o embasamento (W), e pela crosta oceânica no talude da plataforma continental (E). A sua área sedimentar engloba uma superfície de 30.000 km², com apenas 600 km² na parte terrestre (Figura 1). A geologia regional é composta predominantemente de rochas pré-cambrianas, constituídas por uma associação de gnaíse, granitos, migmatitos, etc. Quanto à estratigrafia, na parte terrestre as formações sedimentares gradam para uma delgada seção de aluviões continentais vermelhos, designados como Fácies São Tomé. Estes clásticos apresentam uma idade quaternária e pertencem à fase *drift*, formados basicamente por depósitos progradacionais do sistema deltaico do rio Paraíba do Sul. Suas relações estratigráficas com a Formação Barreiras do terciário são ainda pouco conhecidas, a qual apresenta uma litologia constituída de arenitos (argilosos finos, grossos e conglomeráticos, quartzosos ou feldspáticos, com cimento limonítico), siltitos, camadas argilosas e bauxíticas. O esboço estrutural da bacia mostra um sistema binário de lineamentos estruturais regionais que afetam embasamento e sedimentos, com os mais proeminentes na direção SW-NE e os mais suaves na direção NW-SE (Schaller, 1973).

Contexto geológico-estrutural

A gênese da planície costeira de Campos, considerada por outros autores como planície costeira do Rio Paraíba do Sul, tem início, possivelmente durante a morfotectônica ocorrida no planalto Atlântico no Paleógeno-Mioceno associado à origem e evolução da Serra do Mar. Segundo Almeida e Carneiro (1998) a feição orográfica da borda atlântica mais destacada do continente sul-americano alcançava limites mais longínquos que os atuais. O embasamento pré-Cambriano, cortado por diversos lineamentos orientados para NNE oriundos da sucessivas colagens e interações de placas que formaram as faixas móveis do Estado do Rio de Janeiro, sofreu soerguimento térmico com posterior rifteamento que originaram as bacias de Campos e de Santos durante a tafrogênese Neojurássica Eocretácia. O entulhamento da proto-bacia por sedimentos inicialmente continentais e posteriormente marinhos acarretaram o soerguimento do embasamento emerso, intrudido por diversas rochas alcalinas Eopaleozóicas. Entretanto foi verificada por Almeida (1958 *in* Almeida *et al*, 1996), uma grande superfície de aplainamento denominada Japi, que se instalou na região no final do Senoniano, nivelando as cumeadas das serras ou localmente restos de planaltos elevados. A deformação da superfície de aplainamento Japi no Paleoceno faz surgir a Serra do Mar de um modo geral. Um sistema de *grabens* continentais é implantado na proto-serra e dentre eles o *graben* da Guanabara, que inicialmente formou-se no interior do planalto Atlântico durante o Paleoceno. O recuo erosivo das escarpas da Serra do Mar durante meia centena de milhões de anos (Eoceno), fez com que a serra aproxima-se da borda sul do *graben* da Guanabara e se desfazendo em morros e serras constituindo dentre eles os maciços litorâneos.

Metodologia

Os dados gamaespectrométricos são oriundos do aerolevanteamento feito pela CPRM em 1978 no Estado do Rio de Janeiro, código 1048 com intervalo de amostragem de 100m, altura de vôo de 150m, direção de vôo N-S e espaçamento de linha de vôo (LV) de 1 km. Os canais de tório, urânio, potássio (Th, U e K) e contagem total foram gridados utilizando-se algoritmo de gridagem bidirecional do programa OASIS MontajTM (Geosoft, 2001) com tamanho de célula de grid de 250 m, *spline* linear na direção da LV e *spline* Akima perpendicular a LV. Os grids do Th e U foram regridados usando-se o interpolador de Akima para preenchimento de gap de até 3000m.

Os dados originalmente no sistema de projeção UTM zona 24 sul e *datum* Hayford 1910 foram reprojatados para o *datum* SAD69.

As imagens georeferenciadas do satélite LANDSAT 7, lançado em 15 de abril de 1999, foram processadas usando o *software* ER MapperTM (ER Mapper, 1998). O satélite orbita em torno da Terra numa altitude de aproximadamente 705 km e possui um instrumento de mapeamento chamado *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). O sistema ETM+, incorporou as mesmas 8 bandas espectrais do sistema ETM do LANDSAT 6, sendo seis bandas com resolução espacial de 30 m (visível e infravermelho refletido), 1 banda no infravermelho termal (10,4 a 12,5 μ m) com resolução espacial de 60 m e uma banda pancromática (0,5 a 0,9 μ m) com resolução espacial de 15 m. As cenas do LANDSAT 7 possuem 185 km na direção E-W e 170 km na direção N-S (Lillesand and Kiefer, 1994).

O processamento da imagem de satélite consistiu na aplicação de realce de contraste da imagem. Aplicou-se uma função de transformação de tons de cores linear (vermelho, verde e azul) de forma que o histograma de distribuição de números digitais cubra uma maior faixa de tons de cores, produzindo um melhor contraste na imagem. Esta transformação foi equalizada, para que todas as classes de frequência no histograma tenham a mesma influência na imagem.

Os *grids* gamaespectrométricos e as imagens de satélite nas composições 247, 123, 345, 234 e 457 em BGR (blue, green e red) serviram de base para análise de *overlay*, elaborada no *software* OASIS MontajTM. A metodologia de análise consistiu na confecção de tiras dos *grids* gamaespectrométricos associadas a tiras da imagem do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro, georeferenciada com base em GCPs (*Ground Control Points*) e sobrepostos à imagem de satélite.

Resultados

Com base na análise de imagens integradas (Figuras 2, 3, 4 e 5) pode-se verificar aspectos da geomorfologia, assim como da geologia da área de estudo.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são identificadas algumas unidades radiométricas na forma de regiões delimitadas pelas variações na concentração dos radioelementos. Na região f2 da Figura 2, observa-se maior concentração de potássio comparada com a região f3. Ambas as regiões delimitam depósitos flúvio-marinhos pleistocênicos de depósitos tipicamente fluviais holocênicos, porém a variação na concentração de potássio, é devido,

possivelmente, aos depósitos relacionados à região f2 serem menos retrabalhados por processos marinhos costeiros. A região def1 (Figura 2), delimitada principalmente pela imagem geofísica das tiras do grid de potássio (tiras A, D e F, Figura 2), demarca o contato dos depósitos de leques aluviais da Formação Barreiras (Terciário) com as litologias adjacentes. A anomalia gamaespectrométrica do canal de potássio (AGCP), d1 (Figura 2) de alta concentração de potássio correlaciona-se ao Maciço de Itaoca (granitóide proterozóico, c1) na tira C (mapa geológico, Figura 2). O mesmo se verifica para anomalias gamaespectrométricas do canal de tório (AGCT) e urânio (AGCU), nas Figuras 3 e 4.

Semelhante à Figura 2, na Figura 3 as AGCT nas tiras A, D e F delimitam depósitos flúvio-marinhos (regiões f2 e f3) assim como fluviais (região def1). Nesta imagem integrada (Figura 3) observa-se ainda feições lineares (aL1, aL2, aL3, aL4, aL5 e aL6) correlacionadas a lineamentos na imagem de satélite (tira B). Analogamente, a imagem integrada 4 da Figura 4 mostra as mesmas feições correlacionadas a AGCU. A Figura 5 mostra mais um exemplo de integração de imagens geofísicas, contudo, em composição 4-5-7 em BGR.

Conclusões

As imagens geofísicas dos dados gamaespectrométricos possuem boa correlação com aspectos geológicos superficiais, pelo fato, que as fontes das radiações gama a estarem associadas, em geral, a profundidades inferiores à 40 cm (Guimarães *et al.*, 2001). Contudo, as unidades radiométricas não representam os verdadeiros limites das unidades litológicas devido à inevitável dispersão dos radioelementos no solo (Vasconcelos, 1994).

As anomalias gamaespectrométricas do canal de potássio (AGCP), tório (AGCT) e urânio (AGCU) marcam de forma expressiva o granitóide do Maciço de Itaoca possivelmente devido ao fato que os radioelementos potássio, tório e urânio serem seletivamente concentrados nos membros finais ricos em sílica na série de reação magmática.

Em regiões de cursos aquosos, com cobertura vegetal ou com predominância de cobertura sedimentar a intensidade de radioatividade é muito baixa. No caso, o canal do rio Paraíba do Sul é bem delimitado em todas as imagens integradas e, em alguns casos, regiões de aluvião são demarcadas nos *grids* gamaespectrométricos.

O mapeamento de estruturas lineares nas imagens geofísicas em parte é dado pela percolação de fluidos hidrotermais ascendentes, cujos condutos são formados em fraturas. Em corpos pegmatíticos formados a partir de soluções hidrotermais, minerais radioativos podem causar anomalias significativas que marcam determinadas zonas de fraqueza (Vasconcelos, 1994). Estas estruturas são mais ou menos realçadas de acordo com a composição de bandas eletromagnéticas usada. Em geral, a banda 7 (infravermelho refletido) é a que melhor se adapta ao mapeamento geológico devido as rochas da crosta absorverem de forma seletiva a mesma, e, conseqüentemente, produzirem assinaturas espectrais distintas nos afloramentos. Confeccionando composições da banda 7 com bandas do visível e outras bandas do infravermelho refletido, pode-se ter uma maior

diversidade espectral, correspondendo a assinaturas, devido a sedimentos em suspensão em lâmina d'água rasa e biomassas como vegetação (Lillesand and Kiefer, 1994 e Sabins, 2000).

Referências

- ALMEIDA, F. F., CARNEIRO C., MIZUSAKI A. M. 1996. Correlação do magmatismo das bacias da margem continental brasileira com as das áreas emersas adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências*, vol 26 págs 125-138.
- ALMEIDA, F. F., CARNEIRO C. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, vol 28 págs 135-150.
- EARTH RESOURCE MAPPING. 1998. *Geophysical Interpretation Software for Windows 95/98/NT, ER MAPPER™ version 6.0. User's Guide*. 922 pp.
- GEOSOFT. 2001. *Geophysical Interpretation Software for Windows 95/98/NT, OASIS montaj™ version 5.0. User's Guide*. 200 pp.
- GUIMARÃES, G. B., FERREIRA, F. J. F., ULBRICH, H. H. G. J. & FORLIN, M. 2001. *The Aerogeophysical Project Serra do Mar Sul in the Region of the Cunhaporanga Granitic Complex, Paraná, Southern Brazil. Analysis of the Gamma-ray spectrometric survey. Brazilian Journal of Geophysics*, vol. 19, n°: 1, 3-17pp.
- LILLESAND, T. M., and KIEFER, R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons Inc, US. 3° ed, 750 pp.
- SABINS, F. F. 2000. *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Company, US. 3° ed, 494 pp
- SCHALLER, H. 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos. *Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, p. 247-258.
- VASCONCELLOS, R. M., 1994. *Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil*. CPRM. 172 pp

Agradecimentos

Os autores agradecem as bolsas de iniciação científica e mestrado da ANP.

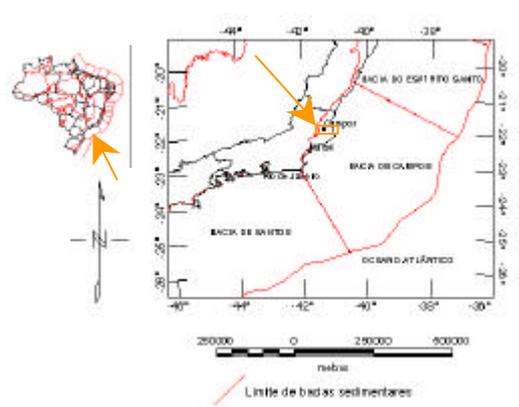


Figura 1: Mapa de localização. A seta indica a posição das imagens integradas das Figuras 2, 3, 4 e 5.

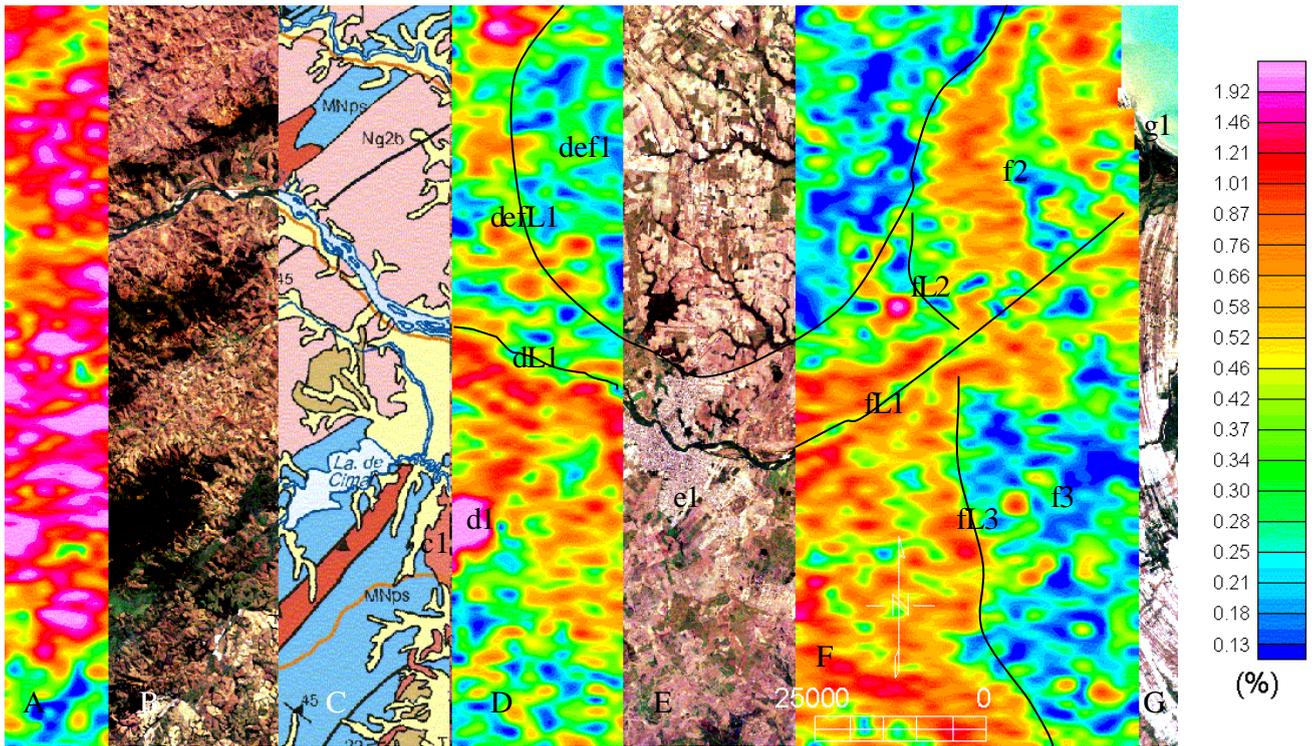


Figura 2: Imagem integrada 1. A), D) e F): Imagem geofísica do mapa de contorno de anomalias gamaespectrométricas do canal de potássio (AGCP) em porcentagem. B), E) e G): Imagem de satélite LANDSAT 7 +ETM, na composição de bandas 1-2-3 em BGR. C) imagem do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Interpretações: d1; AGCP de alta concentração correlacionada a c1, Maciço de Itaoca. dL1 e fL1; linha de interpretação correspondente ao Rio Paraíba do Sul. f3; região limitada pelas linhas fL1 e fL3, correspondente a depósitos de sedimentos flúvio-marinhos do pleistoceno. f2; região limitada pelas linhas fL1 e fL2 e defL1, idem a f3, contudo observase maior concentração de potássio possivelmente associado a depósitos menos retrabalhados por processos marinhos costeiros. def1; região delimitada pela linha defL1 correspondente ao contato da Formação Barreiras. g1; foz do Rio Paraíba do Sul. e1; mancha urbana da Cidade de Campos dos Goytacazes.

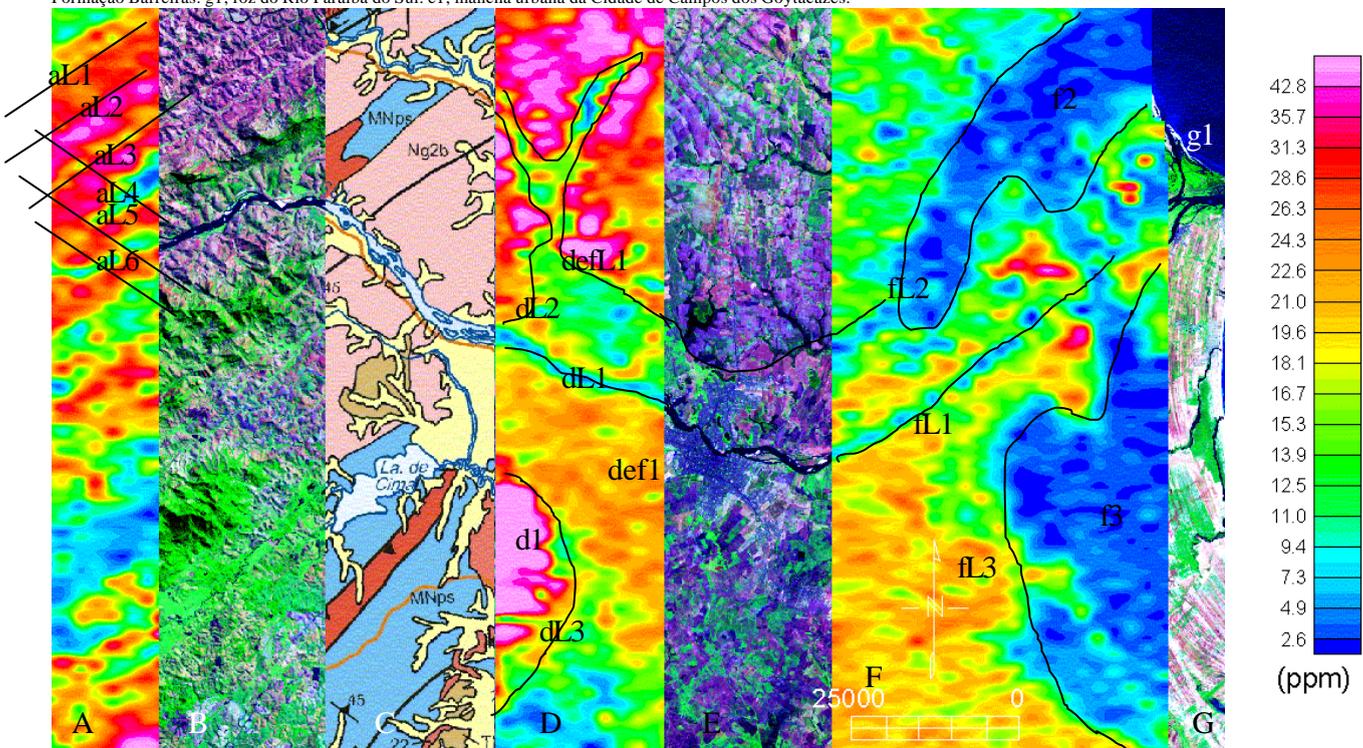


Figura 3: Imagem integrada 2. A), D) e F): Mapa de contorno de anomalias gamaespectrométricas do canal de tório (AGCT) em ppm. B), E) e G): Imagem de satélite LANDSAT 7 +ETM, na composição de bandas 3-4-5 em BGR. C) imagem do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Interpretações: d1; AGCT de alta concentração correlacionada a c1, Maciço de Itaoca. dL1 e fL1; linha de interpretação correspondente ao Rio Paraíba do Sul. aL1, aL2 e aL3, linhas de interpretação de lineamentos para NE. aL4, aL5 e aL6, linhas de interpretação de lineamentos para NW. f3; região limitada pela linha fL3, correspondente a depósitos de sedimentos flúvio-marinhos do pleistoceno. f2; região limitada pela linha fL2, idem a f3. def1; região delimitada pelas linhas defL1, dL2, dL3, fL2 e fL3 correspondente a depósitos fluviais holocênicos do rio Paraíba do Sul. g1; foz do Rio Paraíba do Sul.

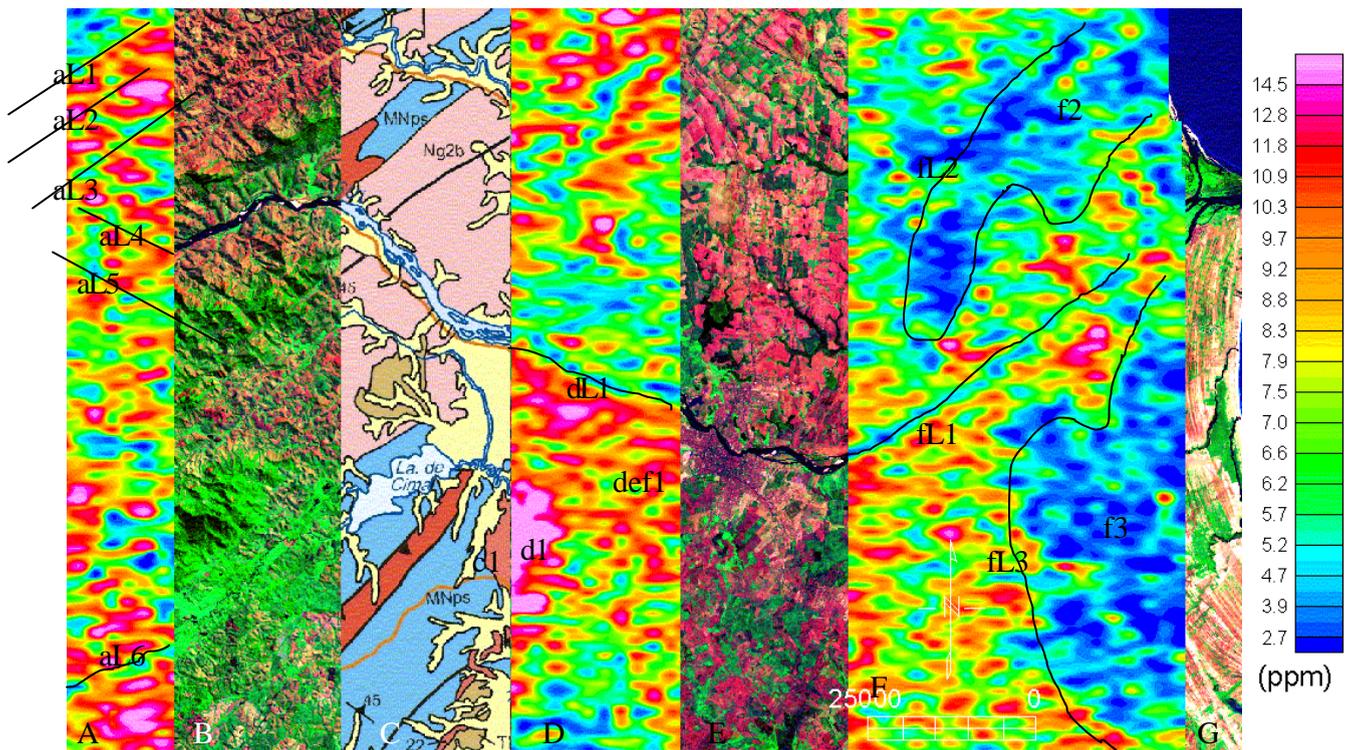


Figura 4: Imagem integrada 3. A, D) e F): Mapa de contorno de anomalias gamaespectrométricas do canal de urânio (AGCU) em ppm. B, E) e G): Imagem de satélite LANDSAT 7 +ETM, na composição de bandas 2-4-7 em BGR. C) imagem do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Interpretações: dl1; AGCU de alta concentração correlacionada a c1, maciço de Itaoca. dl1 e fl1; linha de interpretação correspondente ao Rio Paraíba do Sul. al1, al2 e al3 e al6, linhas de interpretação de lineamentos para NE. al4 e al5, linhas de interpretação de lineamentos para NW. f3; região limitada pela linha fl3, correspondente a depósitos de sedimentos flúvio-marinhos do pleistoceno. f2; região limitada pela linha fl2, idem a f3.

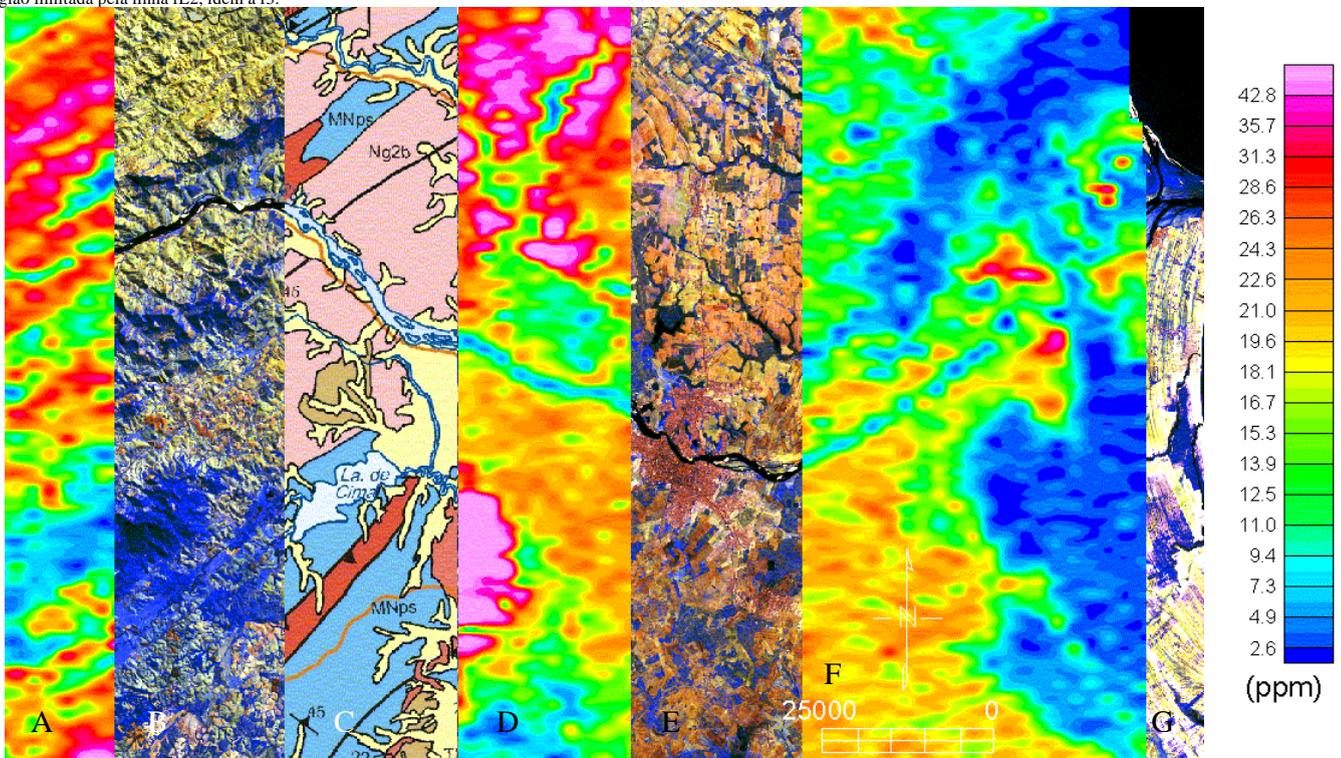


Figura 5: Imagem integrada 4. A), D) e F): Mapa de contorno de anomalias gamaespectrométricas do canal de urânio (AGCT) em ppm. B, E) e G): Imagem de satélite LANDSAT 7 +ETM, na composição de bandas 4-5-7 em BGR. C) imagem do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Exemplo de composição.