

Extração de informações espectrais do Landsat-5/TM na Província Uranífera de Lagoa Real (BA)

Liliana Sayuri Osako¹

Gilberto Amaral¹

¹UNICAMP - Instituto de Geociências da Universidade de Campinas, Caixa Postal 6152, 13083-970, Campinas, SP, Brasil.

{zulu, gilberto}@ige.unicamp.br

Abstract. This paper presents the spectral informations extracted from TM Landsat-5 data of the Lagoa Real Uraniferous Province, Bahia State, Brazil. Colour composite, arithmetical operations and feature-oriented principal components selection techniques were applied to enhance residual soils that can be related to the uranium mineralizations. The uranium deposits doesn't present particular spectral signatures. Otherwise, it is clear that the mineralized bodies occur predominantly in high-relief areas and less eroded parts of the Granitic Complex of Lagoa Real.

Keywords: Digital Image Processing, Uranium, TM Landsat-5, Mineral Exploration

1-Introdução

A segunda maior jazida de urânio do país está situada na Província Uranífera de Lagoa Real, BA, e apresenta uma reserva total de 93.190 t de U_3O_8 . A descoberta dos primeiros indícios das anomalias radioativas deve-se ao levantamento aerogeofísico do Projeto Espinhaço Setentrional realizado na Bahia na década de 70. Estudos de avaliação econômica dos depósitos foram realizados pela extinta Nuclebrás em convênio com a CBPM (Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral) que confeccionaram o mapa geológico de detalhe da região e constataram a existência de aproximadamente 30 anomalias radioativas. As mineralizações de urânio ocorrem associadas aos corpos lenticulares de albitos e em superfície os minerais de urânio secundários concentram-se predominantemente nos solos lateríticos.

Com o crescente desenvolvimento tecnológico da informática (*hardware* e *software*), a análise espectral das imagens de satélite vem sendo otimizada no meio geológico como uma ferramenta fundamental na pesquisa e prospecção de minerais de interesse econômico. As técnicas de processamento digital são frequentemente aperfeiçoadas para um melhor discernimento espectral entre as entidades analisadas. Dentre as técnicas de processamento digital de imagens existentes, algumas foram desenvolvidas em áreas testes com clima tropical a sub-tropical, com ênfase ao comportamento espectral dos solos residuais com concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais (Crósta & Moore, 1989, Loughlin, 1991).

Desta forma, este trabalho consiste em apresentar os resultados preliminares obtidos quanto a caracterização espectral dos solos residuais da Província Uranífera de Lagoa Real, através da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e avaliar a aplicabilidade das

técnicas utilizadas, com a comparação das informações espectrais obtidas com os dados geológicos da área de estudo.

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as imagens digitais do Landsat-5/TM adquiridas junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e que correspondem a órbita 218 / ponto 69. As imagens foram obtidas no dia 30 de maio de 1987, durante a época da seca que ocorre na região entre os meses de maio a setembro. Dentre as sete bandas espectrais obtidas pelo sensor orbital apenas as seis bandas entre o visível e o infravermelho de ondas curtas foram analisadas neste trabalho.

2-Localização da área de estudo

A área em estudo localiza-se na parte centro-sul do Estado da Bahia, entre as coordenadas $42^{\circ}07'30''$ a $42^{\circ}22'30''$ N e $13^{\circ}45'00''$ a $14^{\circ}15'00''$ W. Compreende aproximadamente 1.126km^2 , ocupando parte das quadrículas das folhas Itanajé (SD-23-X-D-VI) e Caetitê (SD-23-Z-B-III). A Província Uranífera de Lagoa Real pertence ao município de Caetitê que dista em torno de 760km a oeste de Salvador (Fig. 1).

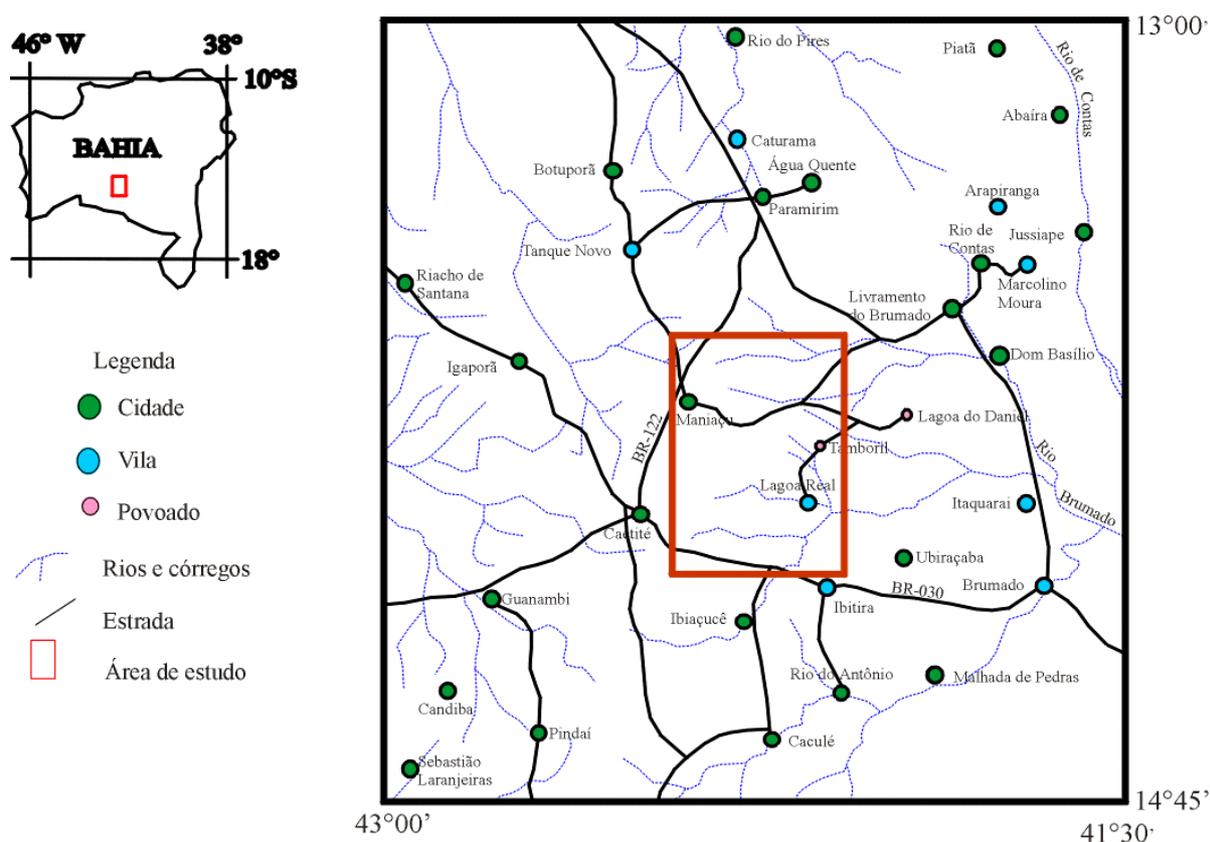


Figura 1 - Mapa de localização da Província Uranífera de Lagoa Real, BA.

3- Características gerais da Província Uranífera de Lagoa Real

A Província Uranífera de Lagoa Real está situada geologicamente na parte centro-sul do Cráton São Francisco. Encontra-se inserida nos migmatitos e gnaisses do Bloco Paramirim de idade Arqueana, sendo limitada a oeste pelo cinturão de dobramentos Espinhaço e a leste pela sequência metassedimentar da Chapada Diamantina do Proterozóico Médio.

A principal unidade litológica da Província Uranífera de Lagoa Real é o Complexo Granítico Lagoa Real (Costa *et al.*, 1985) do Proterozóico Médio. Esta unidade litológica é constituída por corpos graníticos do tipo São Timóteo, gnaisses e albitos enriquecidos em urânio. A área de estudo é composta também por coberturas cenozóicas que compreendem os sedimentos detríticos areno-argilosos de idade terciária e depósitos alúvio-coluvionares de idade quaternária (**Fig. 2**).

Os minerais de urânio (uraninita e pechblenda) da área em questão ocorrem associados ao zircão, piroxênio, allanita e epidoto, e/ou dispersos na matriz albitítica do Complexo Lagoa Real (Maruejol *et al.* 1987). O mineral secundário contendo urânio (uranofânio) associa-se principalmente a caolinita e aos óxidos e hidróxidos de ferro (Rocha, 1992).

Os corpos de albitos enriquecidos em minerais de urânio apresentam extensão de aproximadamente 480 metros e espessura em torno de 30 metros. Segundo Rocha (1992), os solos de alteração com anomalias radioativas identificados na Província Uranífera de Lagoa Real apresentam dimensões maiores em relação aos corpos de albitos mineralizados devido a redistribuição supérgena do urânio e encontram-se localizados preferencialmente nas regiões escarpadas do Complexo Granítico Lagoa Real.

4- Características das imagens Landsat-5/TM utilizadas

Os dados estatísticos apresentados nas **Tabelas 1 e 2** fornecem informações das características espectrais originais das seis bandas utilizadas. Na **Tabela 1**, as bandas 1 e 2 apresentam altos valores de DN mínimo, devido a influência do espalhamento atmosférico que atua principalmente sobre as bandas na região do visível. A banda 5 apresenta desvio padrão alto, indicando que esta banda contém o maior número de informações espectrais. A **Tabela 2** correspondente a matriz de correlação entre as bandas, mostra o grau de inter-relacionamento entre elas. Analisando esta tabela, nota-se que com exceção da banda 4, as demais bandas apresentam boa correlação entre si.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Valor mínimo-máximo	39	13	10	5	3	1
Valor máximo	114	87	108	98	190	180
Média	53,330	24,043	28,730	42,657	79,685	25,342
Desvio Padrão	5,349	4,404	9,013	7,650	24,104	11,299

Tabela 1 – Dados estatísticos das 6 bandas espectrais utilizadas.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Banda 1	1,000					
Banda 2	0,904	1,000				
Banda 3	0,885	0,947	1,000			
Banda 4	0,323	0,487	0,417	1,000		
Banda 5	0,819	0,864	0,905	0,461	1,000	
Banda 7	0,843	0,876	0,922	0,364	0,957	1,000

Tabela 2 – Matriz de correlação entre as bandas.

5-Metodologia

Para o realce das unidades litológicas, as técnicas de processamento digital de imagens (PDI) foram selecionadas principalmente com base nas características espectrais dos solos residuais associados as mineralizações uraníferas. Foram aplicadas técnicas de composição colorida (RGB), operação aritmética de subtração das bandas espectrais representadas em RGB e técnica Crósta.

Composição colorida (RGB) - A seleção das bandas realizada com base nas feições espectrais dos minerais de interesse ao longo do espectro do comprimento de ondas pode ser considerada a forma mais adequada para a sua representação em RGB. Como cada mineral apresenta uma assinatura espectral distinta frente a radiação solar, as feições de absorção e reflexão das ondas magnéticas do mineral ou das rochas captadas pelo Landsat-5/TM podem ser individualmente realçadas pelas cores vermelho, verde e azul (RGB). Para a realização da composição colorida na área de estudo, foi selecionada a banda 4 para destacar a ocorrência da vegetação, a banda 3 em razão da feição de reflexão dos minerais como a goethita e hematita (Clark *et al.*, 1993), e a banda 2 para destacar as áreas descampadas.

Subtração das bandas – A operação aritmética de subtração compreende a exclusão dos dados correlacionáveis observados entre duas ou mais imagens digitais utilizadas, nas quais as características diferenciais entre as imagens são ressaltadas. Moore & Liu (1990) realizaram a subtração das bandas TM3-1, TM4-3, TM5-7 representadas em RGB para realçar a ocorrência de óxido e hidróxido de ferro, da vegetação e de minerais hidratados em zonas de alteração epitermal no sudeste da Espanha.

Técnica Crósta – Esta técnica foi a princípio desenvolvida por Crósta e Moore (1989) e posteriormente aperfeiçoada por Loughlin (1991) para destacar espectralmente áreas ricas em hidroxila e óxi-hidróxidos de ferro. Com base na análise estatística da covariância de autovetores das bandas espectrais são selecionadas as PCs com maior números de informações relacionadas com as assinaturas espectrais das áreas alvos.

6-Resultados

6.1-Composição colorida das bandas 4, 3 e 2

A **Figura 3** mostra a composição colorida RGB das bandas 4, 3 e 2. A imagem gerada apresenta uma extensa área em vermelho, associada a resposta espectral da vegetação, que abrange aproximadamente 60% da área de estudo. Esta vegetação recobre os sedimentos terciários da porção oeste da área, a região escarpada do Complexo Lagoa Real e os sedimentos quaternários localizados ao longo dos rios que drenam as rochas do Bloco Paramirim. A região escarpada e intensamente erodida apresenta áreas provavelmente com pouca vegetação devido ao comportamento espectral um pouco diferenciado evidenciado pela coloração vermelho escuro.

A ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro na área de estudo é representada pela cor verde e ocorrem principalmente ao longo dos vales e nas áreas descampadas do Complexo Granítico Lagoa Real.

O Bloco Paramirim apresenta-se totalmente intemperizado e arrasado pela erosão. Esta unidade é representada principalmente pela cor verde-azulada, gerada pela junção da banda 3 com a banda 2, o que espectralmente representa áreas descampadas e ricas em ferro. Nota-se também a influência marcante da atividade antrópica em toda a região, principalmente com a remoção da vegetação.

6.2-Subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB

A **Figura 4** apresenta a imagem gerada através da subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB, objetivando ressaltar a distribuição de rochas ricas em ferro, da vegetação e rochas com argilominerais, respectivamente. No entanto, antes de realizar a subtração das bandas, foi efetuado um pré-processamento nas imagens, que consistiu na aplicação da fórmula BCET (*Balance Contrast Enhancement Technique*), desenvolvida por Liu (1991), para o aumento do contraste de cor de uma forma balanceada.

Os corpos ricos em óxidos e hidróxidos de ferro (vermelho) encontram-se distribuídos amplamente pela área de estudo. Destacam-se principalmente as ocorrências associadas as rochas do Bloco Paramirim e as encostas intensamente erodidas do Complexo Granítico Lagoa Real. Os corpos lenticulares de albitos ocorrem geralmente nas encostas menos erodidas do Complexo Granítico, onde espectralmente encontram-se realçadas evidências menores de óxidos e hidróxidos de ferro. No entanto, não foi constatado um padrão específico do comportamento espectral dessas evidências menores de ferro que diferenciasses das demais.

A cobertura vegetal representada espectralmente pela cor verde ocorre principalmente na porção oeste cobrindo os sedimentos terciários do alto platô ocidental e boa parte das rochas do Complexo Granítico Lagoa Real, e ao longo dos sedimentos quaternários depositados no baixo platô oriental. Esta imagem confirma a ausência da vegetação nas porções onde as unidades litológicas do Complexo Granítico encontram-se mais desgastadas pela erosão.

A ocorrência de argilominerais representada pela cor azul é observada também em quase toda a área de estudo, principalmente nas rochas do Bloco Paramirim e nos sedimentos terciários da porção oriental da Província Uranífera de Lagoa Real.

6.3-Técnica Crósta ou *Feature-Oriented Principal Components Selection*

A **Figura 5** apresenta a imagem obtida a partir da aplicação da técnica Crósta ou *Feature-Oriented Principal Components Selection*, com a PC3-TM1457 (H-argilominerais), PC1-FeH e PC4-TM1345 (óxidos e hidróxidos de ferro-Fe) em RGB sobreposta a PC1 das seis bandas espectrais.

Nota-se que quase toda a área de estudo apresenta coloração amarelada sugerindo que as rochas da Província Uranífera de Lagoa Real são compostas essencialmente por argilominerais. Ocorrências isoladas de quantidades consideráveis de argilominerais são representadas pela cor vermelho-alaranjada, as quais encontram-se localizadas em regiões planas juntamente com os sedimentos terciários e com as rochas do Bloco Paramirim.

As ocorrências de óxidos e hidróxidos de ferro (azul) associam-se as rochas do Bloco Paramirim e ao Complexo Granítico Lagoa Real. Nesta última unidade litológica destaca-se a presença de ferro ao longo dos vales e nas cristas da região escarpada.

7-Conclusões

As imagens geradas com a aplicação das técnicas de composição colorida (RGB), subtração de bandas e Crósta apresentaram informações espectrais dos solos residuais satisfatórios. As três técnicas empregadas neste estudo, destacaram bem e apresentaram similaridades na localização das principais ocorrências de óxido-hidróxidos de ferro e de argilominerais na Província Uranífera de Lagoa Real. Ressalta-se ainda a dificuldade encontrada na interpretação das imagens geradas devido a influência da vegetação e da intensa atividade antrópica presente na área de estudo.

Os solos residuais ricos em óxido-hidróxidos de ferro associados as mineralizações uraníferas não apresentaram diferenças espectrais específicas em relação as outras ocorrências de ferro destacadas na área de estudo. No entanto, foi observado que os albitos mineralizados ocorrem predominantemente na região escarpada e pouco erodida do Complexo Granítico Lagoa Real. A superfície laterítica com anomalias de urânio provavelmente contribuíram na preservação do relevo diante da ação intempérica que teria afetado as demais áreas do Complexo Granítico Lagoa Real.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida a autora Liliana Sayuri Osako e pelo apoio financeiro para a aquisição da imagem Landsat-5/TM e à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) pelo fornecimento do relatório e mapas geológicos na escala 1:25.000 do Projeto Lagoa Real.

Referências bibliográficas

CLARK, R.N.; SWAYZE, G.A. ; GALLAGHER, A .J.; KING, T.V.V.; CALVIN, W.M. Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns. USGS. 1993. http://www.usgs.gov/reports/open_file_reports/93-592/title.html/

- COSTA, P.H.O .; ANDRADE, A .R.F.; LOPES, G.A .; SOUZA, S.L. **Projeto Lagoa Real. Mapeamento geológico 1:25.000.** CBPM/CNEN, vol. 1, 98p, 1985.
- CRÓSTA, A . P. & MOORE, J. McM. **Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone Belt Terrain.** In: Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, p.1173-1187, 1989.
- LIU, J.G. Balance contrast enhancement technique and its application in image colour composition. **International Journal Remote Sensing**, v. 12, n. 10, 2133-2151, 1991.
- LOUGHLIN, W.P. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.57, n.9, September, p.1163-1169, 1991
- MARUÉJOL; P.; CUNEY, M.; FUZIKAWA, K.; NETTO, A. M.; POTY, B. The Lagoa Real Subalkaline Granitic Complex (South Bahia, Brazil): A Source for Uranium Mineralizations Associated with Na-Ca metasomatism. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17(4): 578-594, 1987
- MOORE, J. McM. & LIU, J.G. **Image enhancement of epithermal gold deposit alteration zones in southeast Spain.** P.49-58, 1990.
- ROCHA, E.B. **Dispersão e redistribuição de urânio e acompanhadores em mineralizações uraníferas submetidas a alteração laterizante. Exemplo da Jazida Laranjeiras. Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia.** Tese de Doutorado. IAG- USP, 1992

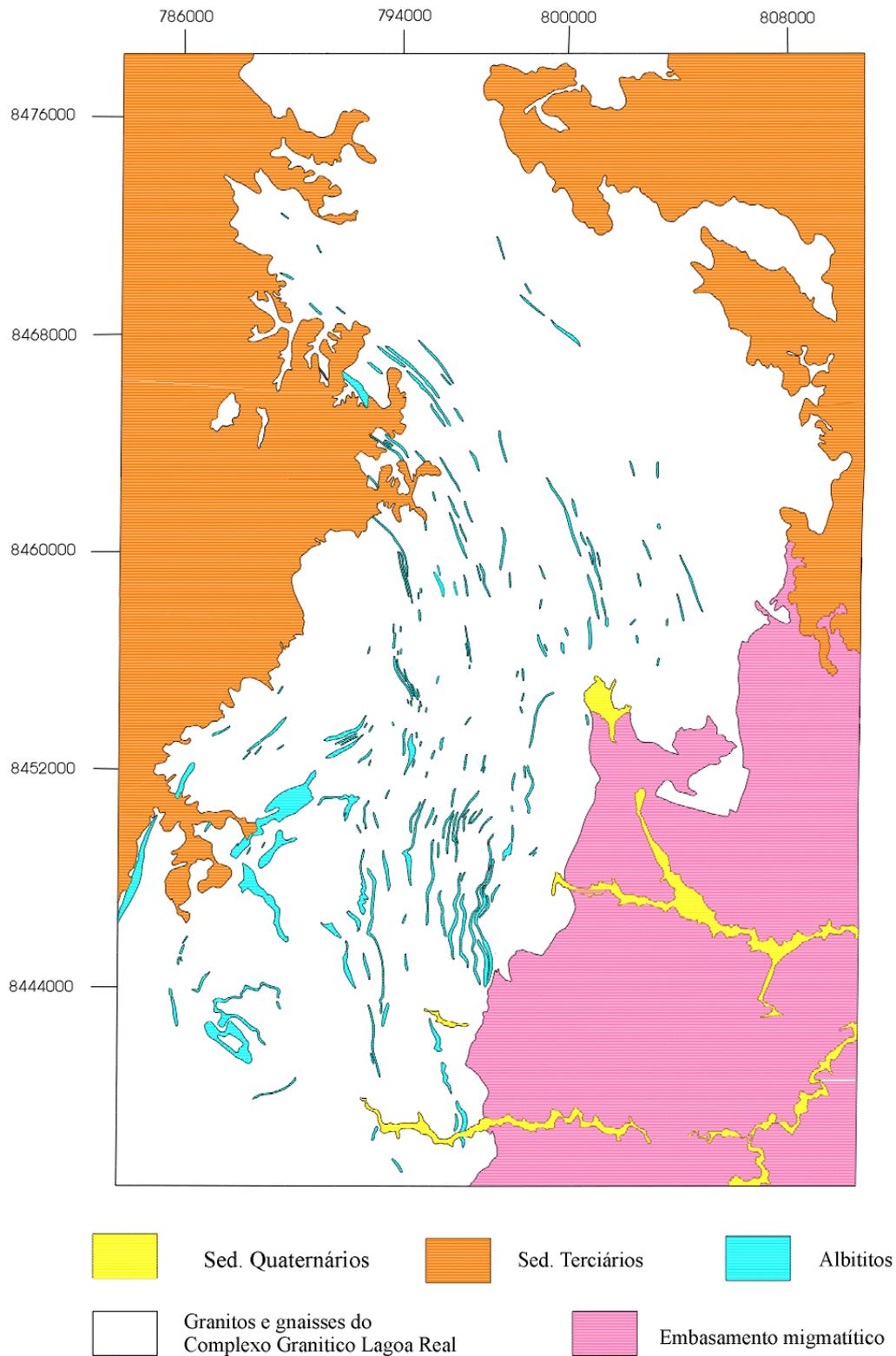


Figura 2 - Mapa geológico da área de estudo (Modificado de Costa *et al.*, 1985).

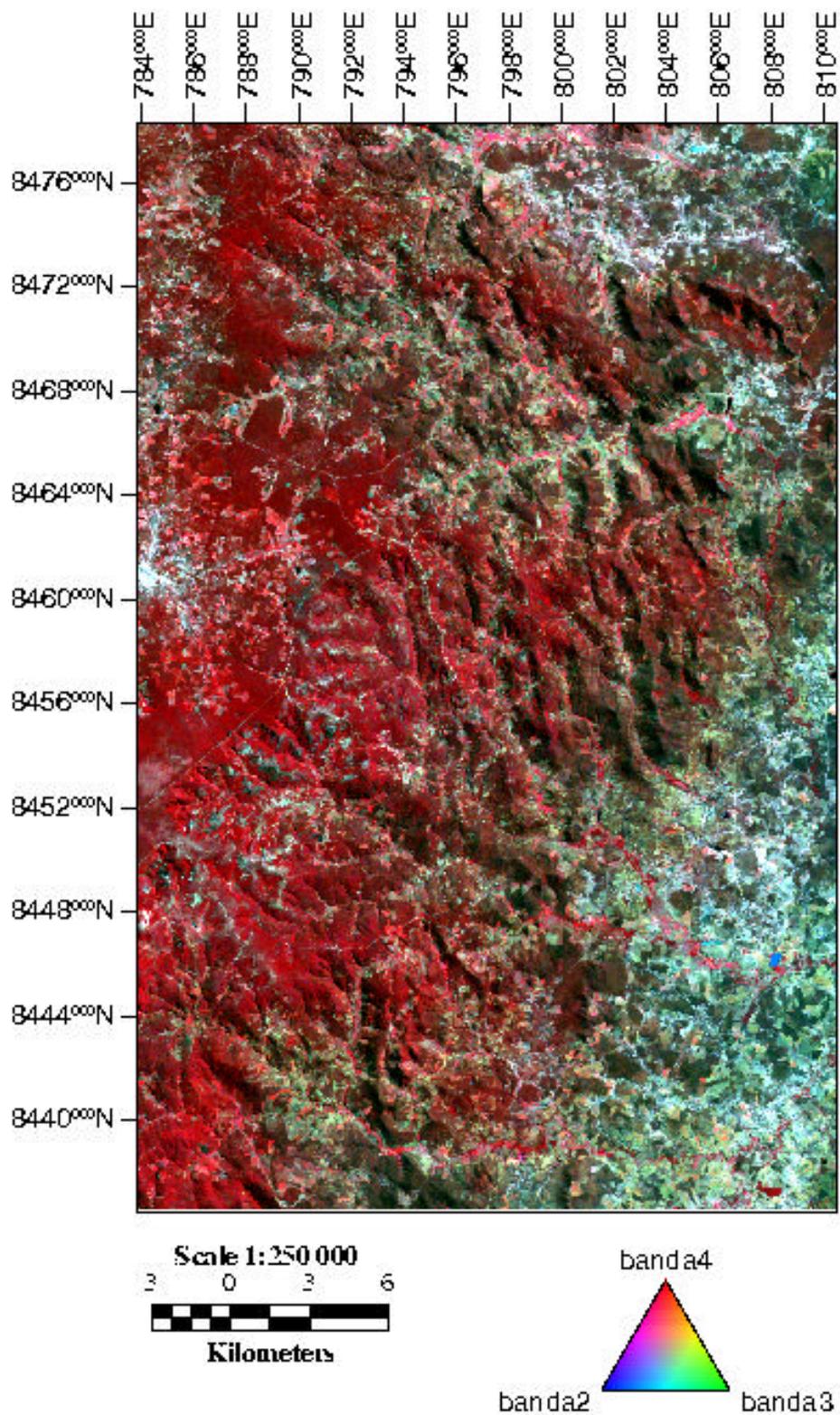


Figura 3 – Imagem gerada a partir das bandas 4, 3 e 2 representadas em RGB.

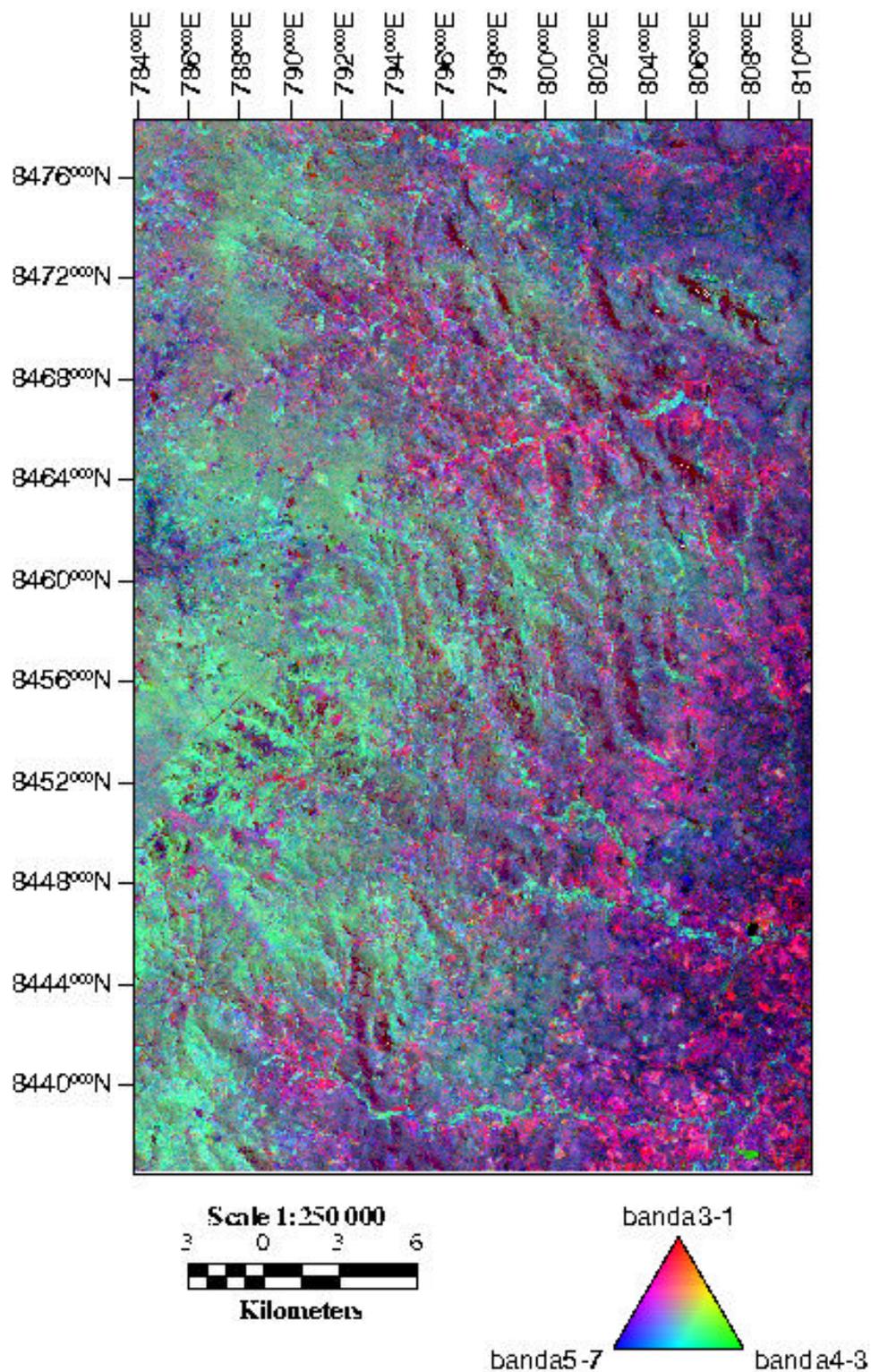


Figura 4 – Imagem obtida com a subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB, realçando a ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro, vegetação e argilominerais, respectivamente.

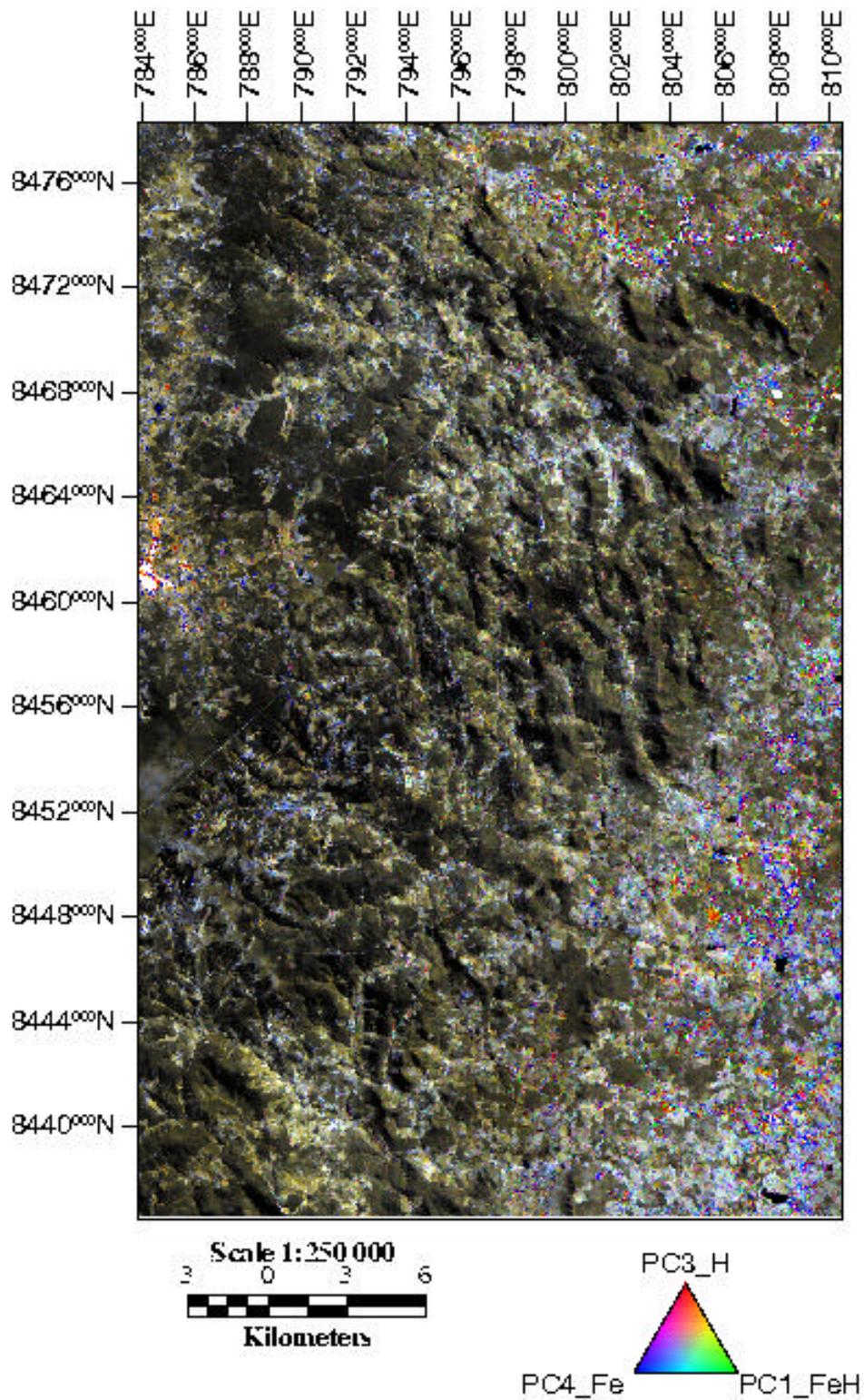


Figura 5 – Imagem gerada através da aplicação da técnica Crósta com a PC3-1457 (H), PC1-FeH e PC4-1345 (Fe) em RGB sobreposta a PC1 das 6 bandas espectrais do Landsat-5/TM.