

Uso de Imagens Landsat-TM no Mapeamento de Áreas de Alterações Mineralógicas Induzidas Por Microexsudação de Hidrocarbonetos, Bacia Tucano Norte-BA

Raimundo Almeida Filho¹

Fernando P. Miranda²

Tadashi Yamakawa³

Nobutaka Oikawa⁴

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Caixa Postal 515
12201-010 - São José dos Campos-SP, Brasil
rai@ltid.inpe.br

²PETROBRÁS/CENPES, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Q-7
21949-900 - Rio de Janeiro-RJ, Brasil
fmiranda@cenpes.petrobras.com.br

³Mitsubishi Materials Natural Resources Development Corporation
6-23, Takanawa 4-chome, Minatu-ku, Tokyo 108, Japan
yamakawa@bishitok.co.jp

⁴Earth Remote Sensing Data Analysis Center-ERSDAC
3-12-1, Kachidoki Chuo-ku, Tokyo 104, Japan
oikawa@ersdac.or.jp

Abstract. Landsat-Thematic Mapper images were used as an attempt to map areas of mineralogic alteration induced by hydrocarbon microseepage in the North Tucano basin, Bahia. Mapping of bleached materials was possible through the analysis of band ratio images. In a false-color composite consisting of TM2/3, TM4/3 and of the difference TM2/3-TM4/3, displayed as red, green and blue, respectively, green and yellow express variations in the vegetation cover, whereas hues of magenta are related to terrain conditions representing possibly bleached materials. Analysis of laboratory soil spectra showed that clay mineralization in the area is related mainly to the regional weathering. Clay absorption features from inside and outside the area of the anomaly do not show significant differences.

Keywords: remote sensing, hydrocarbon microseepage

1. Introdução

A migração de hidrocarbonetos e fluidos associados para a superfície é responsável por uma série de alterações geoquímicas em rochas e solos que capeiam depósitos de óleo e gás. O ambiente redutor criado pelo fenômeno da microexsudação pode converter minerais limoníticos ao estado ferroso, resultando na descoloração (*bleaching*) do material. Soluções ácidas podem ainda precipitar minerais radioativos e converter feldspatos em minerais de argilas (caolinita, illita, clorita, etc.) e secundariamente em carbonatos de cálcio (Donovan, 1974; Matthews, 1986; Segal *et al.*, 1986). Alguns dos minerais ligados ao fenômeno da microexsudação de hidrocarbonetos possuem feições espectrais diagnósticas que permitem a identificação remota dos mesmos. Íons férricos caracterizam-se por decréscimo de reflectância do infravermelho próximo para o visível, o que permite estimar a presença dos mesmos em solos e, conseqüentemente, determinar áreas de *bleaching*. Por outro lado, argilas e carbonatos exibem feições diagnósticas de absorção centradas em 2.20 μm e 2.35 μm , respectivamente (Hunt, 1977; Hunt & Ashley, 1979). Com base na presença dessas assembléias mineralógicas, técnicas de sensoriamento remoto têm sido usadas para detectar áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, como demonstram, dentre outros, trabalhos de Patton & Manwaring (1984); Lang *et al.* (1984); Simpson *et al.* (1989) e Segal & Merin (1989).

O presente estudo tem como objetivo avaliar se imagens do *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5, poderiam ser usadas no mapeamento de áreas de alterações mineralógicas induzidas por microexsudação de hidrocarbonetos. Para isto, uma anomalia gasométrica previamente identificada pela PETROBRÁS na bacia sedimentar de Tucano Norte foi usada como área teste.

2. Área de estudo

A área de estudo fica a cerca de 60 km a oeste da cidade de Paulo Afonso-BA, na região denominada Serra do Tonã, próxima à vila de Salgado do Melão (**Figura 1**), cobrindo uma superfície de 2,25 x 2,00 km. Nessa região predomina o clima semi-árido do nordeste brasileiro, com precipitação anual média inferior a 500 mm e temperaturas médias acima de 28^o. A cobertura vegetal do tipo caatinga possui árvores baixas com profusão de galhos, reduzido número de folhas e freqüente presença de espécies da família Cactaceae.

Do ponto de vista geológico a área pertence à bacia de Tucano Norte, a qual integra o rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá, formado nos estágios iniciais de abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior (Milani & Davison, 1988). Na região ocorrem arenitos da Formação Marizal, de idade aptiana, cobertos localmente por arenitos, calcilitos e lentes de calcários silicificados que constituem a serra do Tonã.

3. Dados de campo

Como parte de um programa exploratório, a PETROBRÁS conduziu na bacia de Tucano Norte uma campanha geoquímica de determinações gasométricas, num total de 633 determinações para metano, etano, propano, butano e pentano (Babinski *et al.*, 1993). Uma anomalia gasométrica identificada por esse levantamento, próxima à vila de Salgado do Melão, foi selecionada para estudo. De modo a definir melhor essa anomalia, seis determinações gasométricas adicionais, espaçadas de 500 metros, foram obtidas ao longo

de um perfil cortando transversalmente a área (**Tabela 1**). O somatório dos hidrocarbonetos pesados (excluindo-se o metano que pode ser gerado biogeneticamente no solo) foi *gridado* e mostrado como curvas de isovalores, fornecendo uma melhor idéia sobre a distribuição da anomalia em superfície (**Figura 2**).

Tabela 1. Dados de Gasometria Para Metano, Etano, Propano, Butano e Pentano (ppm) e Somatório de Hidrocarbonetos Pesados ($\Sigma C2-C5$) no Perfil Cortando a Área de Estudo.

Estações	C1	C2	C3	C4	C5	$\Sigma C2-C5$
1	21,60	4,40	1,20	0,50	0,20	6,30
6	69,90	13,20	4,80	2,40	0,70	21,10
11	89,00	26,10	15,40	8,20	2,20	51,90
16	42,10	8,70	2,00	0,90	0,40	12,00
21	47,50	11,50	3,70	1,70	0,60	17,50
25	34,70	7,20	1,30	0,60	0,20	9,30

Dados de campo também incluíram medidas *in situ* de cintilometria (contagem total), susceptibilidade magnética e coleta de amostras de solos para a obtenção de dados espectrais de laboratório, em estações espaçadas de 100 metros ao longo do perfil cortando a anomalia (**Figura 2**). Para obtenção das medidas de radiação gama foi utilizado um cintilômetro com acuidade de $\pm 10\%$ para energias acima de 50 KeV. Dados de susceptibilidade magnética foram obtidos com um *kappameter*, com intensidades de medidas automaticamente ajustadas para 9.99, 99.9, e 999 ($\times 10^{-3}$) SI. Dados espectrais de amostras de solos coletadas nas mesmas estações, foram obtidos em laboratório, usando-se o espectroradiômetro IRIS, que obtém espectros contínuos no intervalo de 400 a 2500 nm. Um clinômetro foi usado para levantar o perfil topográfico ao longo da área.

A **Figura 3** mostra dados de campo obtidos ao longo do perfil cortando a anomalia de Salgado do Melão. O somatório dos hidrocarbonetos atinge valor máximo (51,9 ppm) na estação 11. Valores mais altos de susceptibilidade magnética ($0,46 \times 10^{-3}$ SI) também ocorrem próximo a esse local (estação 13), sugerindo que um ambiente redutor converteu minerais limoníticos para o estado ferroso, com formação, mobilização e concentração de minerais magnéticos, criando condições para a ocorrência de fenômenos de *bleaching*. Valores cintilométricos relativamente mais altos (50 c/s) nesse local também são indicativos de condições redutoras responsáveis pela precipitação de minerais radioativos, como mostram estudos de Segal & Merin (1989) e Tompkins (1990).

4. Processamento das imagens Landsat

Utilizou-se no estudo a única cena Landsat-TM livre de nuvens disponível na região (P216, R66), obtida em 7 de outubro de 1987, sob ângulo de elevação solar de 56° e azimute de 86° . Ela foi transformada para valores de reflectância e corrigida para efeitos de espalhamento atmosférico. De modo a ajustar a escala de níveis de cinza entre as diferentes bandas, realce linear de contraste foi aplicado entre os limites de 2% e 98% dos respectivos histogramas. As imagens foram a seguir convertidas para o sistema de coordenadas UTM, através de um algoritmo de retificação polinomial de primeiro grau

baseado em mínimos quadrados, tendo como referência pontos de controles extraídos de uma carta topográfica na escala de 1:100.000. Após essa etapa de pré-processamento, as imagens Landsat-TM foram processadas de modo a verificar se poderiam detectar variações tonais indicativas de alterações mineralógicas associadas a microexsudação de hidrocarbonetos, representadas por *bleaching* e argilização.

Com base no fato de que material limonítico exhibe decréscimo de reflectância do infravermelho próximo para o visível, a razão entre as bandas TM2/3 (0.52-0.69 μm) e TM3 (0.63-0.69 μm) foi usada para estimar a distribuição de material limonítico em superfície, denunciada por baixas razões TM2/3. Comportamento oposto, ou seja, altas razões TM2/3, denota material pobre em limonita. Uma vez que a cobertura vegetal também produz altas razões TM2/3 devido ao pico de reflectância na região do verde, sua influência foi estimada através da razão entre as bandas TM4 (0.76-0.90 μm) e TM3. Desse modo, áreas com altas razões TM2/3 e baixas razões TM4/3, devem expressar a presença de material superficial pobre em limonita, provavelmente associado a fenômenos de *bleaching*, os quais são expressos nas imagens por variações sutis de tons de cinza. Os *plots* da **Figura 4** mostram de modo mais quantitativo a distribuição desses alvos dentro dos espaços de atributos das imagens *ratio* acima mencionadas.

Uma vez que o olho humano é muito mais sensível a matizes de cores que tons de cinza, um artifício de processamento digital foi usado para expressar em cores as variações sutis de tons de cinza das imagens *ratio*. Ele consistiu em gerar uma composição colorida falsa-cor usando as imagens TM2/3, TM4/3 e a diferença entre elas (TM2/3-TM4/3), expressas como vermelho, verde e azul, respectivamente. Nessa composição falsa-cor, matizes de verde e amarelo expressam variações na densidade de cobertura vegetal, crescentes do verde para o amarelo (respostas mais altas nas razões TM2/3 e TM4/3). Áreas em matizes de magenta (altas diferenças TM2/3-TM4/3), expressam condições do terreno, representando possíveis áreas de *bleaching*. A **Figura 5** é a composição falsa-cor acima mencionada, podendo-se observar uma área em matizes de magenta justamente no centro da anomalia gasométrica, denunciando a presença de alterações mineralógicas decorrentes de processos de microexsudação de hidrocarbonetos.

Como já mencionado, outra característica mineralógica típica de áreas de microexsudação de hidrocarbonetos é a presença de argilas. Uma imagem razão obtida com as bandas TM5 (1.55-1.75 μm) e TM7 (2.08-2.35 μm) foi gerada como tentativa de estimar a proporção relativa desses minerais de argilas, uma vez que eles exibem bandas de absorção próximas a 2.20 μm (TM7) e altas reflectâncias na região de 1.6 μm (TM5). Assim, áreas de argilização são esperadas mostrarem altas razões TM5/TM7. Um aspecto que geralmente dificulta a performance dessa técnica, é o fato da vegetação também mostrar alta razão TM5/TM7, função da absorção mais forte da radiação na banda TM7 pelo conteúdo de água na folha, comparada com a banda TM5. De qualquer modo, a imagem razão não indicou evidências que pudessem ser associadas a variações na proporção de argilas (ou carbonatos) dentro da anomalia. A análise comparativa entre feições espectrais de solos obtidas pela técnica de remoção do *continuum* (**Figura 6**), mostrou apenas uma sutil diferença entre bandas de absorção por argilas dentro e fora da

anomalia, denotando que os processos de argilização decorrem primordialmente do intemperismo regional.

5. Conclusões

Materiais derivados de fenômenos de *bleaching* ligados à microexsudação de hidrocarbonetos, foram mapeados através de imagens Landsat-TM, resultado que atesta o potencial das técnicas de sensoriamento remoto como ferramenta de prospecção para alvos similares em outras áreas do rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá. Possíveis processos de argilização decorrentes de tais fenômenos não se mostraram diagnósticos, sobrepujados pelo efeito do intemperismo regional.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte das seguintes instituições: INPE, PETROBRÁS, ERSDAC e Fundação de Ampara à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP. Os autores são gratos também aos colegas Benedito Silva, Gilmar Bueno, Massami Ootake e Néelson Tesch, que compartilharam conosco uma missão de coleta de dados de campo. Victor Almeida ajudou na obtenção das curvas espectrais de laboratório. Agradecemos também ao colega Ícaro Vitorello por comentários e sugestões que melhoraram o entendimento do texto.

Referências

- Babinski, N. A., Santos, R. C. R., Bueno, G. V., Guimarães, M. F., Freire, A. F. M., Gouveia, C. A. S., Almeida, M. F. & Volpan, A. G. *Prospecção geoquímica de superfície (gasometria e microbiologia de petróleo) na bacia de Tucano Norte*. Relatório CENPES/SINTEP/MCT, 650-15.106, 15 p. Rio de Janeiro, 1993.
- Donovan, T. J. Petroleum microseepage at Cement, Oklahoma - evidence and mechanism. *American Association of Petroleum Geologists*, **5**, 429-446, 1974..
- Hunt, G. R. Spectral signatures of particular minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, **42**, 501-513, 1977.
- Hunt, G. R. & Ashley, R. P. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, **74**, 1613-1629, 1979.
- Lang, H. R.; Alderman, W. H & Sabins Jr., F. F. Patrick Draw, Wyoming, petroleum test case report. In Abrams, M. J.; Conel, J. E. & Lang, H. R. *The joint NASA/Geosat test case project*. AAPG Bookstore, Part 2, vol. II, pp: 11-1/11-112, 1984.
- Matthews, M. D. Effects of hydrocarbon leakage on Earth surface materials. *Proceedings of the 4th Symposium on Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas*. (Dallas: S. M. U. Press), pp: 27-44, 1986.
- Milani, E. J. & Davison, I. Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, Northeast Brazil. *Tectonophysics*, **154**, 41-70, 1988.
- Patton, K. H. & Manwaring, M. S. Evaluation of a Landsat-derived tonal anomaly for hydrocarbon microseepage, Southwest Kansas. *Proceedings of the 3rd Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology* (Colorado Springs: Environmental Research Institute of Michigan), **2**, 441-450, 1984.

Segal, D. B., Merin, I. S. & Place, M. C. Use of digitally processed laboratory reflectance spectra for the definition of probable microseepage-induced mineralogic variations, Lisbon Valley. Proceedings of the 5th Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology (Reno: Environmental Research Institute of Michigan), **2**, 667-676, 1986.

Segal, D. B. & Merin, I. S. Successful use of Landsat thematic mapper data for mapping hydrocarbon microseepage-induced mineralogic alteration, Lisbon Valley, Utah. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55**:1337-1145, 1989.

Simpson, C. J., Wilford, J. R., Maciais, L. F. & Korsch, R. J. Satellite detection of natural hydrocarbon seepage: Palm Valley gas field, Amadeus Basin, Central Australia. *The APEA Journal*, **29**:196-211, 1989.

Tompkins, R. Direct location technologies: a unified theory. *Oil and Gas Journal*, **24**: 126-134, 1990.



Figura 1. Localização da área de estudo

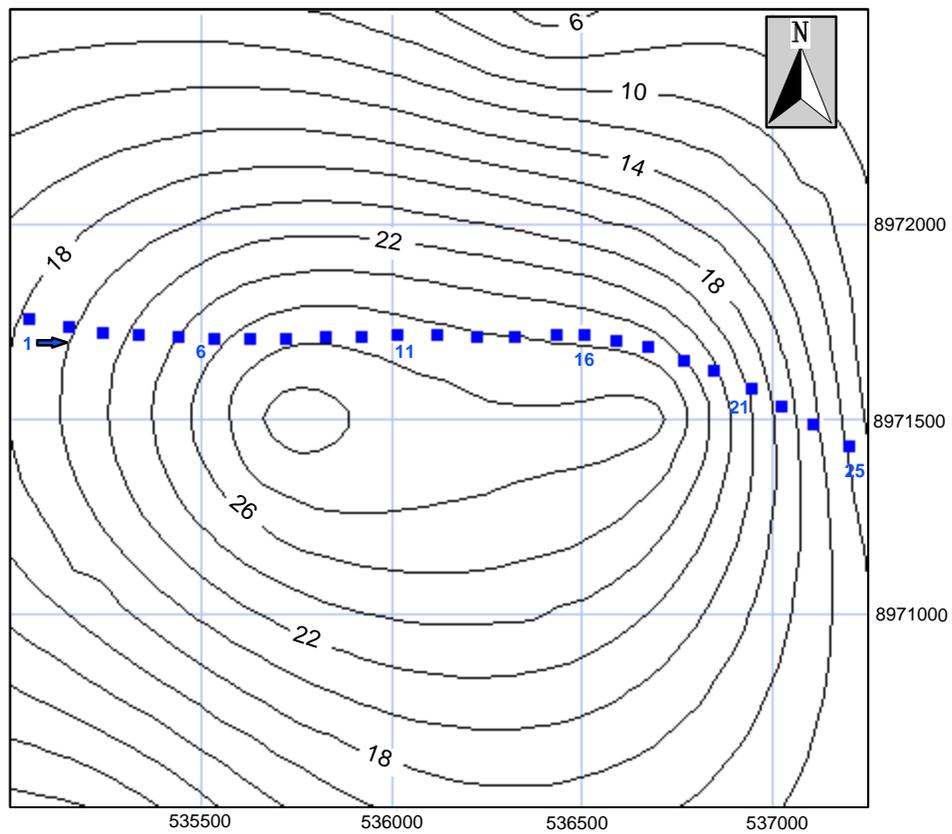


Figura 2. Mapa de isovalores $\Sigma C2-C5$ (ppm) na anomalia de Salgado do Melão e estações de coleta de dados.

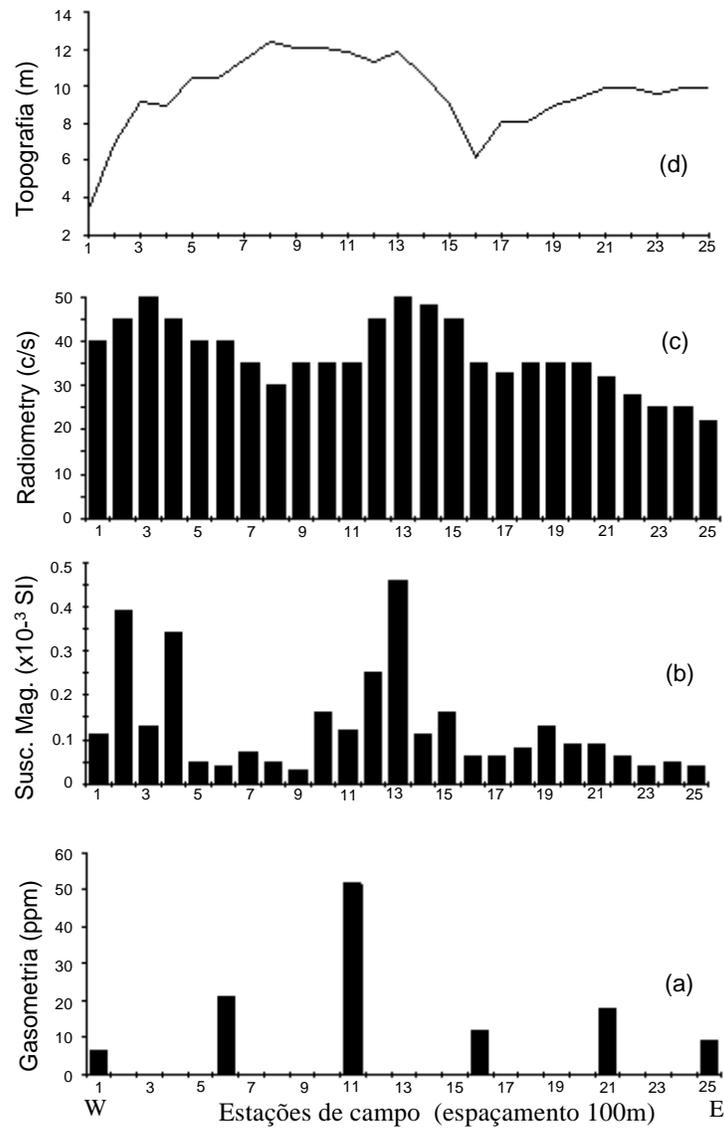


Figura 3. Dados obtidos no perfil ao longo da anomalia de Salgado do Melão: (a) gasometria $\Sigma C2-C5$; (b) susceptibilidade magnética; (c) cintilometria; e (d) perfil topográfica (Vê Figura 2 para localização das estações ao longo do perfil).

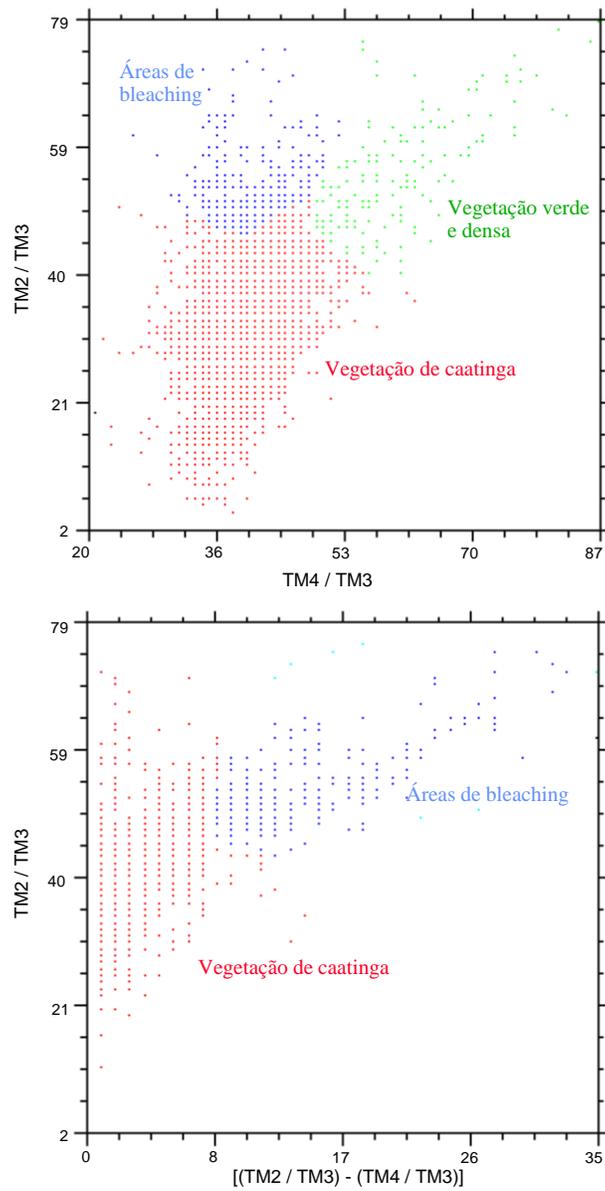


Figura 4. Separabilidade espectral das classes nas imagens *ratio*.

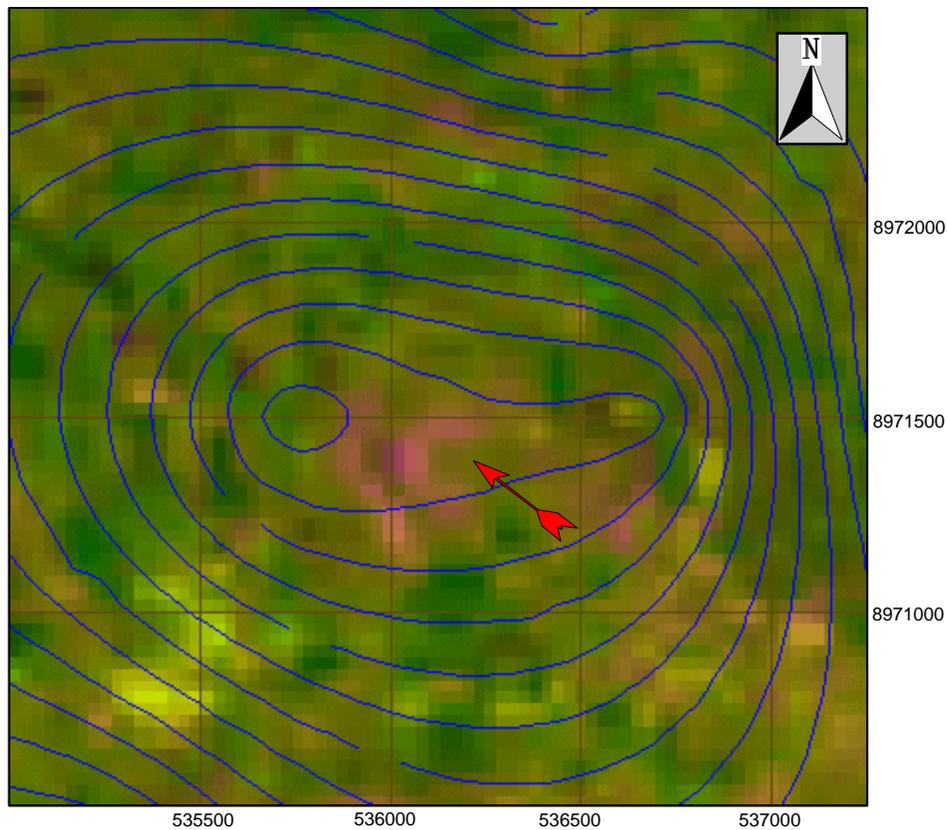


Figura 5. Composição falsa-cor [TM2/3(R)+TM4/3(G)+TM2/3-TM4/3(B)] indicando em matizes de magenta área de *bleaching* no centro da anomalia gasométrica.

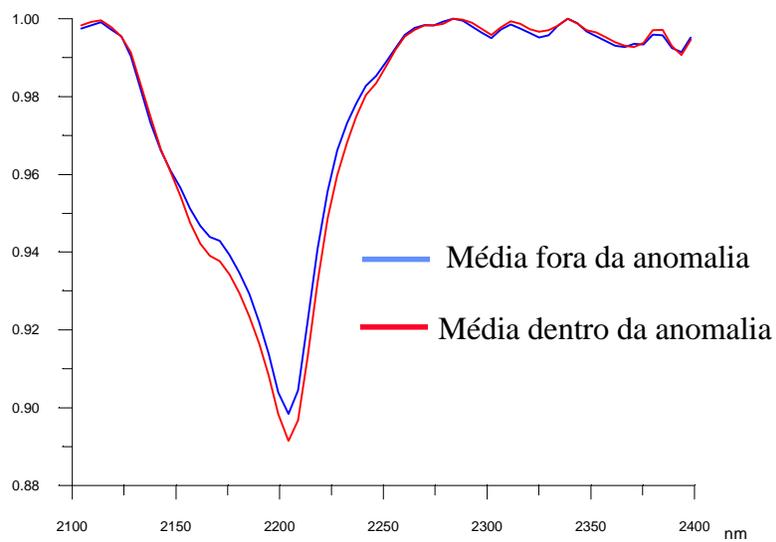


Figura 6. Feições de absorção por argilas obtidas com remoção de *continuum*, dentro e fora da anomalia de Salgado do Melão (médias de 20 amostras).