

## Combinação das bandas do SWIR e TIR do sensor ASTER para identificar solos quartzosos e áreas degradadas associadas

Fábio Marcelo Breunig<sup>1</sup>  
Lênio Soares Galvão<sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio<sup>1</sup>  
Eduardo Guimarães Couto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.  
{breunig, lenio, formag}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)  
Famev, Dser. Av. Fernando Correa s/n. Boa Esperança.  
CEP 78060-900 - Cuiabá, MT, Brasil  
couto@ufmt.br

**Abstract.** Remote sensing is an auxiliary tool to access soil and environmental parameters, allowing synoptic and long time coverage. In this way, the combined use of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) short wave infrared (SWIR) and thermal infrared (TIR) images were evaluated for the identification of sandy soil surfaces (topsoil) and associated land degradation areas. The images were acquired on September 7, 2006 over an agricultural area (soybean, maize and cotton) from central Brazil. Topsoil samples were collected for laboratory physical-chemical analyses. To discriminate non-photosynthetic vegetation (NPV) from bare soil pixels, the soil fraction image ( $>0.65$ ) of the linear spectral unmixing model was used. As a complementary approach, SWIR (bands 5 and 6) and TIR (bands 10 and 14) normalizations with threshold values of 0.05 (dark soil) and 3 (bright soil), respectively, were applied. To estimate total sand fraction over bare soil pixels identified from the previous approach, a TIR band ratio ( $b_{10}/b_{14}$ ) fitted with a polynomial regression ( $R^2=0.63$ ,  $\alpha=0.05$ ) was used. Results showed that some areas with total sand fraction values larger than 90% were coincident with land degradation processes verified in field and caused by the abrupt removal of the Brazilian savanna (Cerrado) over quartz-bearing soils.

**Palavras-chave:** Sandy soil, degradation processes, savanna, thermal bands, solos arenosos, processos de degradação, cerrado, bandas do termal.

### 1. Introdução

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), a bordo da plataforma Terra, coleta dados em cinco bandas no infravermelho termal (TIR) com resolução espacial de 90 metros. No visível e infravermelho próximo (VNIR) possui três bandas e no infravermelho de ondas curtas (SWIR) seis bandas, com 15 e 30 metros de resolução espacial, respectivamente. A obtenção de pares estereoscópicos em órbita com até 15 metros de resolução espacial possibilita a avaliação do relevo e de sua relação com diversos parâmetros da superfície (Yamaguchi et al., 1998; ERSDAC, 2003; Abrams et al., 2007).

O uso combinado desses intervalos espectrais associado com o modelo digital do terreno (MDE) resultante das bandas 3N e 3B amplia as perspectivas de estudos de solos tropicais. Esses canais espectrais permitem avaliar feições de argila (bandas do SWIR) e de sílica da fração areia (bandas do TIR). De fato, há uma escassez de trabalhos que explorem de forma combinada o conjunto de dados ASTER (VNIR, SWIR e TIR), especialmente quanto ao uso das bandas do termal, no estudo de solos tropicais, apesar de o quartzo ser um dos principais minerais desses solos.

Por outro lado, o estudo dos solos a partir de imagens multiespectrais depende em grande parte da capacidade de discriminar corretamente as áreas com solos expostos. Neste sentido,

diversos autores utilizaram modelos de mistura espectral baseados em imagens do VNIR e do SWIR para discriminar a vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) de solo exposto (Daughtry, 2001; Daughtry et al., 2004; Apan et al., 2002; French et al., 2000; Ustin et al., 2005). Tais modelos normalmente apresentam problemas para a correta diferenciação entre solos claros (p. ex., NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS) e NPV.

Os processos de degradação ambiental também têm adquirido grande relevância em função do novo contexto de utilização e manejo dos recursos naturais. O uso intensivo de áreas de agropecuária pode causar e/ou acelerar processos de degradação ambiental em áreas de ecossistemas frágeis (principalmente em solos quartzosos) (Houérou, 1996; Chikhaoui et al., 2005), a exemplo de grandes áreas de cerrado no Centro Oeste do Brasil. Assim, é de grande valia a verificação de quanto o sensoriamento remoto pode auxiliar na avaliação do potencial de uso do solo e na identificação de regiões mais susceptíveis à degradação.

Neste contexto, os objetivos do presente trabalho foram avaliar se a utilização do conjunto de bandas ASTER permite: (a) discriminar entre solos expostos e tipos de coberturas agrícolas numa área de Cerrados (no caso, a região de Campo Verde, MT); e (b) identificar superfícies arenosas de material quartzoso, que, algumas vezes, estão associadas a áreas em processo de degradação ambiental.

## 2. Metodologia do trabalho

A área de estudo compreende grande parte do município de Campo Verde (MT) (15,28°S/55,34°W e 15,79°S/55,04°W), totalizando uma área de aproximadamente 40x50 km<sup>2</sup>. Os solos mais comuns são o Neossolo Quartzarênico (NQ), Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVA) e o Latossolo Vermelho distrófico típico (LV) (SEPLAN/MT, 2000). O uso do solo é predominantemente agropecuário, com predomínio de cultivos de soja, milho, algodão, cana-de-açúcar e pastagens.

As imagens ASTER utilizadas foram adquiridas no dia 7 de setembro de 2006 na forma de radiância no sensor (AST\_L1B) e emissividade de superfície (AST\_05) para o VNIR/SWIR e TIR, respectivamente. As imagens do VNIR/SWIR foram corrigidas do efeito *crosstalk* (Iwasaki e Tonooka, 2005). Para a correção dos efeitos atmosféricos, utilizou-se o modelo de transferência radiativa MODTRAN4, implementado no “*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*” (FLAASH) (RSI, 2006). Os dados de emissividades foram obtidos através do algoritmo “*Temperature Emissivity Separation*” (TES) (Gillespie et al., 1998). Para gerar o MDE, foi utilizado o algoritmo ASTER-DTM (Sulsoft, 2004) que combina as bandas 3N (nadir) e 3B (*backward*) do infravermelho próximo. O MDE foi gerado com 90 metros de resolução para facilitar a análise das bandas TIR do ASTER.

No presente trabalho, um critério adicional foi utilizado para melhorar a discriminação entre solos e NPV. A discriminação dos talhões de solo exposto foi feita através da limiarização (>0,65) da imagem fração solo resultante de um modelo linear de mistura espectral de quatro membros de referência (vegetação verde, solo, NPV e sombra), identificados através do uso seqüencial das técnicas “*Minimum Noise Fraction*” (MNF), “*Pixel Purity Index*” (PPI) e Visualizador *n*-Dimensional (Breunig, 2008a). Em seguida, sobre os pixels com maiores valores de estimativa de fração de solo (*a priori*, associada a uma maior probabilidade de representar áreas de solo exposto), foram calculadas duas normalizações que exploraram feições espectrais da argila e de quartzo. Para isolar os talhões de solos escuros (mais vermelhos) foi utilizada a normalização do SWIR [(b5-b6)/(b5+b6)], que maximiza as feições devidas à argila. A separação entre talhões de solo claro e de vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) foi feita usando a normalização do TIR [(b10-b14)/(b10+b14)], que explora as feições da sílica dos solos arenosos. Detalhes sobre a

metodologia de discriminação de solos podem ser encontrados em Breunig (2008a) e Breunig et al. (2008b).

As estimativas da fração areia do solo (considerando a granulometria do solo) foram feitas com base no estudo de Salisbury e D'Aria (1992) que indicaram a razão das bandas ASTER 10/14 para estimar granulometria ou quartzo. A banda 10 (centrada em 8291 nm) explora as feições do quartzo (banda de *reststrahlen*) e a banda 14 (11318 nm) apresenta pouca variação para qualquer alvo. Assim, a razão 10/14 explora o contraste espectral entre ambas as bandas e foi utilizada para gerar equações de regressão com base em medidas da fração total de areia de 22 amostras coletadas em campo. Para validar a equação adotada, foram utilizadas cinco amostras independentes. Por fim, as estimativas da fração areia foram projetadas sobre o MDE e brevemente analisadas em termos de comportamento e distribuição da fração areia nas toposequências.

O trabalho de campo foi realizado no final de novembro e consistiu na avaliação do uso do solo e na coleta de amostras de solo (27 amostras coletadas no horizonte superficial) para posteriores análises físico-químicas.

### 3. Resultados e discussão

O resultado das normalizações do SWIR e TIR pode ser visto na Figura 1. O gráfico permitiu identificar limiares para separar solos claros e escuros de NPV. Verificou-se que as amostras de NQ foram bem discriminadas das amostras de NPV com limiar de três. Essa separação foi possível devido ao grande contraste que o quartzo produz entre as bandas 10 (8291 nm) e 14 (11318 nm). Esse contraste está associado às bandas de *reststrahlen* ausentes nos espectros de emissividade do NPV (Salisbury e D'Aria, 1992; Gillespie et al., 1998). Por outro lado, foi encontrada uma pequena dificuldade de separação entre os dados de NPV e LV (com limiar de 0,5), identificada pela área abrangida pelo retângulo na Figura 1. Este fato foi atribuído à mistura espectral entre LV e NPV (em geral, as áreas de LV apresentavam maior cobertura de NPV, devido sua maior exploração agrícola). À medida que as percentagens de LV e NPV se igualam, ocorre maior dificuldade de discriminação entre ambos.

Em síntese, os valores da normalização do SWIR tendem a aumentar quanto mais argila estiver presente no pixel. Por outro lado, os valores da normalização do TIR tendem a aumentar conforme aumenta a concentração de quartzo num determinado pixel. O NPV sempre tende a apresentar baixos valores devido à ausência de feições nesses intervalos espectrais.

A Figura 2A ilustra a equação de regressão (polinômio 2º grau) que foi utilizada para estimar a fração areia do solo. Foi encontrado um coeficiente de determinação de 0,63 e um RMSE de 19,33, com base em 22 amostras de solo. À medida que aumenta a concentração de areia, ocorre uma redução não linear da razão banda 10/14. Este fato está associado à presença das bandas de *reststrahlen* (Salisbury; D'Aria, 1992; Gillespie et al., 1998). A validação da equação de regressão criada para estimar a fração areia (Figura 2B) apresentou um  $R^2$  de 0,87 com um RMSE de 15,14. Este resultado mostra que a utilização da razão da banda 10 pela banda 14 permite estimar a fração areia da camada superficial do solo. Apesar do bom ajuste, cabe destacar que a equação superestimou as baixas concentrações da fração areia. Por fim, é importante mencionar o efeito da mistura nos pixels com resolução espacial de 90 m e a escala de coleta de campo das amostras de solo, o que sugere a necessidade de novos estudos de caráter conclusivo.

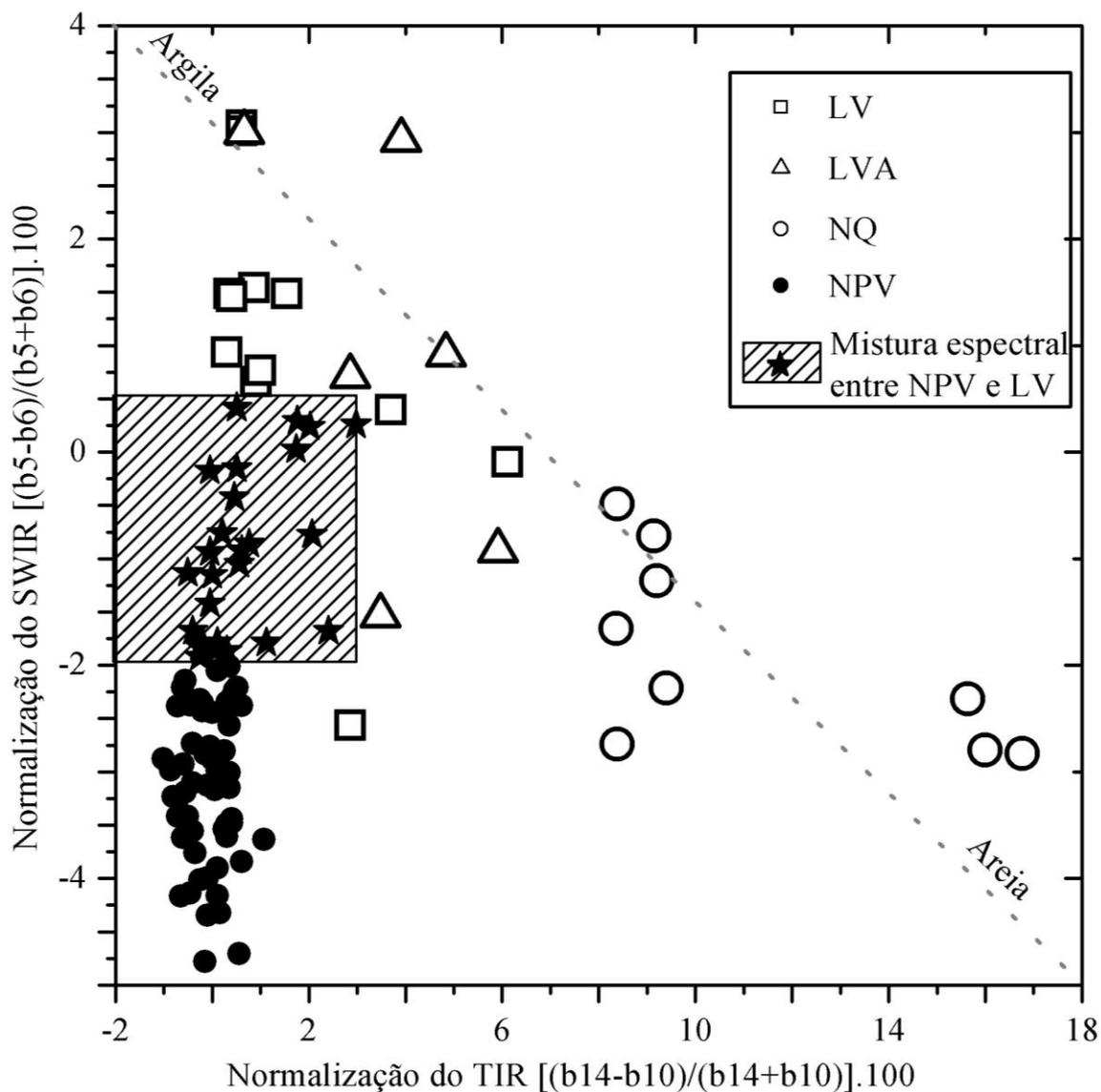


Figura 1 – Separação entre NPV e solo exposto. Foram utilizados 112 pontos amostrais classificados de acordo com a inspeção de campo.

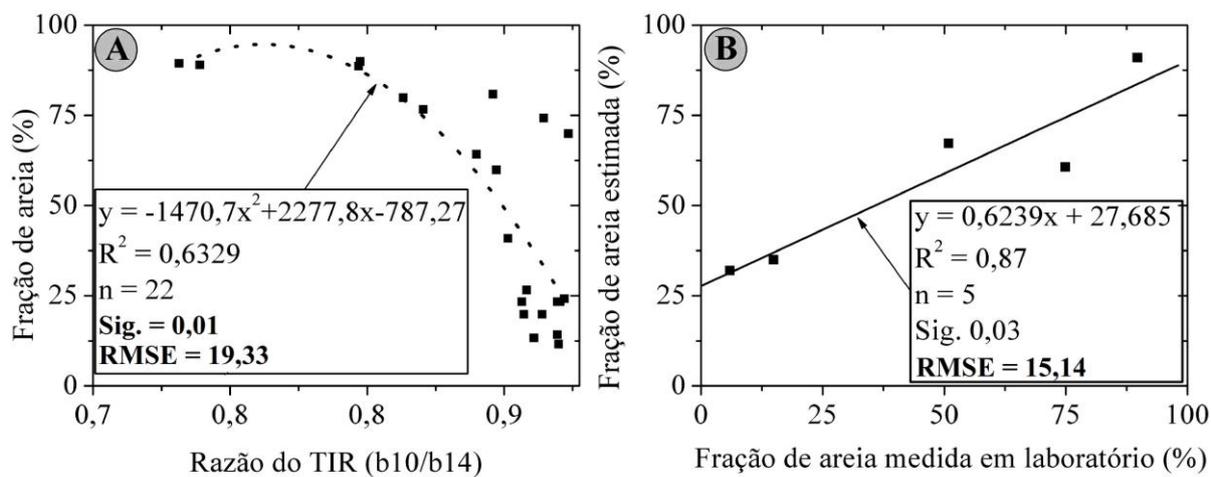


Figura 2 – Relação entre a razão das bandas 10/14 de emissividade do ASTER e a fração areia do solo.

O resultado da aplicação da equação de regressão gerada para estimar a fração areia do solo pode ser visto na Figura 3. Esta figura ilustra a distribuição espacial da concentração da fração areia nos talhões de solo exposto. Verificam-se duas áreas com maior concentração de areia (acima de 80 %), associadas a solos quartzosos, de acordo com a inspeção de campo. Na região a noroeste (círculo da Figura 3), o solo está totalmente exposto e com alto grau de degradação. Entretanto, a grande área no sudoeste (retângulo na Figura 3) ainda apresenta uma cobertura de cerrado, já bastante antropizada. O desmatamento desta vegetação pode levar ao surgimento de uma nova superfície arenosa.

Uma das maiores preocupações geradas pelo desmatamento do cerrado nativo e sua substituição por lavouras e pastagens é a gradativa perda de fertilidade do solo e o avanço dos processos de degradação, não obstante os problemas advindos da lixiviação de nutrientes e agrotóxicos transportados para o lençol freático. Na área de estudo, a remoção abrupta da vegetação nativa de cerrado permitiu o desenvolvimento de uma mancha arenosa com aproximadamente 200 hectares (Figura 4) sobre uma região de relevo ondulado. Nesta área, a concentração estimada de areia foi da ordem de 90%, em concordância com as análises de laboratório.

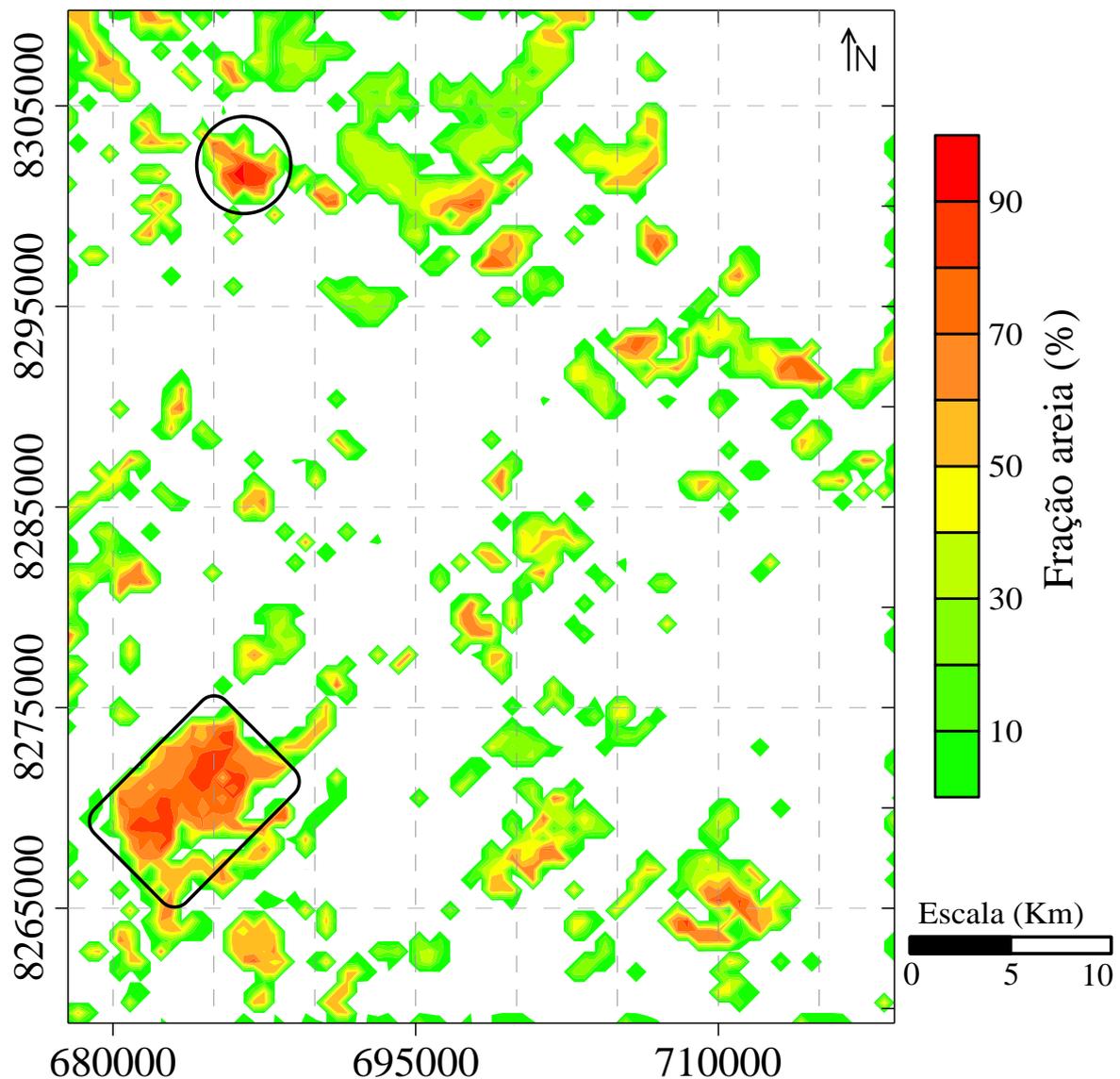


Figura 3 – Variação da concentração estimada da fração total de areia nos talhões de solo e identificação de duas superfícies arenosas degradadas (círculo e retângulos).

O desenvolvimento de manchas de areia (areais) do tipo colina é discutido por Suertegaray (1995; 1998), que apresentou um modelo onde os areais de colina têm início com pequenas ravinas, seguido do surgimento de voçorocas e posterior alargamento da voçoroca e formação das primeiras áreas de areia. Entretanto, durante a visita de campo, não foram encontrados indícios de que essa área degradada possa ter seu processo de formação explicado pelo mesmo modelo. Assim, acredita-se que a formação dessa área está relacionada às características naturais do solo (extremamente pobre e arenoso) submetido a um clima tropical e ao manejo impróprio. A remoção abrupta da vegetação nativa, que mantinha o equilíbrio, parece ter desencadeado o processo de degradação. A fotografia da Figura 5 ilustra a colina arenosa indicada na Figura 4.

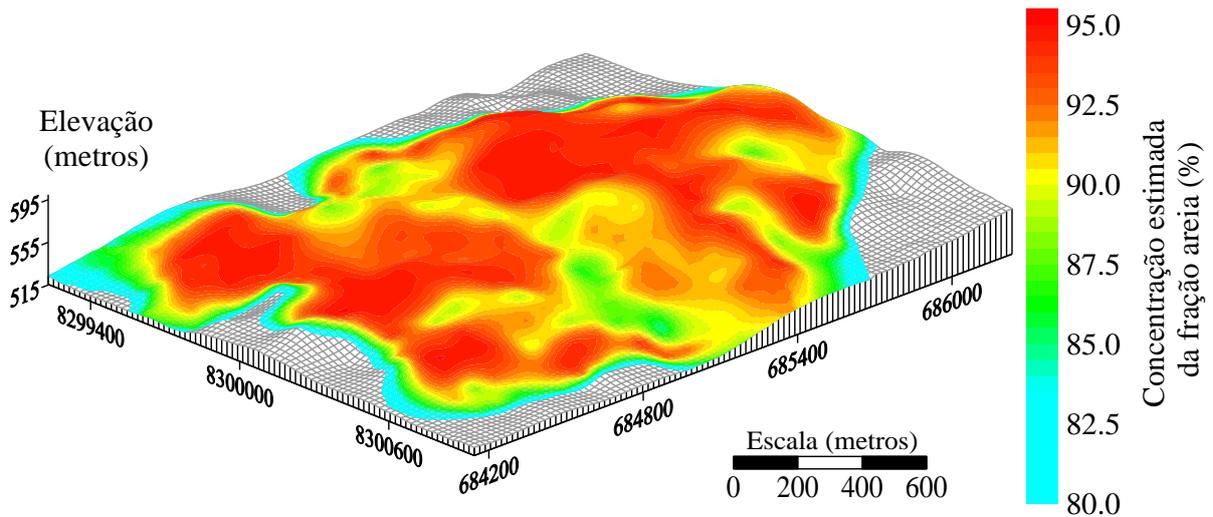


Figura 4 – MDE ilustrativo da variação da concentração estimada de fração areia na colina (círculo na Figura 3) onde ocorre processo avançado de degradação.



Figura 5 - Fotografia panorâmica e em detalhe de área de solos quartzosos com avançado grau de degradação, detectada pelo uso das bandas ASTER.

#### 4. Conclusões

A metodologia baseada no uso combinado da normalização das bandas do SWIR, para isolar solos escuros a partir da feição espectral da argila, e da normalização do TIR, para discriminar os solos arenosos, mostrou-se eficiente. Em função do pequeno número de amostras utilizadas para a geração das equações de regressão e do tamanho variável dos pixels (15 m no VNIR; 30 m no SWIR e 90 m no TIR), recomenda-se a ampliação da coleta de amostras para o refinamento e a validação adequada dos modelos. Apesar destas dificuldades, a existência de correlações entre os dados físico-químicos dos solos medidos em laboratório e os dados de reflectância e emissividade medidos pelo sensor ASTER, pixel-a-pixel, demonstra que a abordagem utilizada para separar solo exposto e NPV foi adequada.

A razão da banda 10 (8291 nm) pela 14 (11318 nm) permitiu obter um  $R^2$  de 0,63 e assim estimar a fração areia do horizonte superficial do solo. Este resultado foi consequência da presença de feições espectrais bem definidas no SWIR e no TIR, associadas às frações argila e quartzo (*reststhralen*), respectivamente.

A partir da espacialização dos valores estimados da fração areia total resultantes dessa relação de regressão, foi possível identificar superfícies essencialmente arenosas e quartzosas (>90%), algumas das quais com processos de degradação avançados, também confirmados em campo, e decorrentes da inadequada remoção da vegetação nativa e do uso impróprio do solo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP (05/01737-0), CNPq (305600/2006-0) e a CAPES pelo auxílio financeiro.

#### Referências

Abrams, M.; Hook, S.; Ramachandran, B. **ASTER user handbook: Version 2**. In. California: JPL-Jet Propulsion Laboratory, 135p. 2007. Disponível em: <[http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03\\_data/04\\_Document/s/aster\\_user\\_guide\\_v2.pdf](http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Document/s/aster_user_guide_v2.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2007.

Apan, A.; Kelly, R.; Jensen, T.; Butler, D.; Strong, W.; Basnet, B. Spectral discrimination and separability analysis of agricultural crops and soil attributes using ASTER imagery. In, Proc 11th ARSPC (Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference. **Proceedings...** Brisbane/Australia: ARSPC, pp. 396-411, 2002.

Breunig, F.M. **Dados de reflectância e emissividade do sensor ASTER/Terra aplicados ao estudo de solos quartzosos**. 2008. 181 p. (INPE-15214-TDI/1310). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008a.

Breunig, F.M.; Galvão, L.S.; Formaggio, A.R. Detection of sandy soil surfaces using ASTER-derived reflectance, emissivity and elevation data: potential for the identification of land degradation. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 6, p. 1833 – 1840, 2008b.

Chikhaoui, M.; Bonn, F.; Bokoye, A.I.; Merzouk, A. A spectral index for land degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 7, n. 2, p. 140-153, 2005.

Daughtry, C.S.T. Discriminating Crop Residues from Soil by Shortwave Infrared Reflectance. *Agronomy Journal*, v. 93, 125-131, 2001.

Daughtry, C.S.T., Hunt-Jr, E.R., & J E McMurtrey, I. (2004). Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v. 90, n. 1, p. 126-134, 2004.

ERSDAC. **ASTER Reference Guide. Version 1.0**. In (p. 61): Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 2003. 61 p. Disponível em: <[http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/ASTER\\_Ref\\_V1.pdf](http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/ASTER_Ref_V1.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2006.

French, A.N.; Schmugge, T.J.; Kustas, W.P. Discrimination of senescent vegetation using thermal emissivity contrast. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 249-254, 2000.

Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Couto, E.G.; Roberts, D.A. Relationships between the Mineralogical and Chemical Composition of Tropical Soils and Topography from Hyperspectral Remote Sensing Data. **ISPRS Photogrammetric Interpretation and Remote Sensing**, v. 63, n. 2, p. 259-271, 2007.

Gillespie, A.; Rokugawa, S.; Matsunaga, T.; Cothorn, J.S.; Hook, S.J.; Kahle, A.B. A temperature and emissivity separation algorithm for AdvancedSpaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1113-1126, 1998.

Houérou, H.N.L. Climate change, drought and desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 34, n. 2, p. 133-185, 1996.

Iwasaki, A.; Tonooka, H. Validation of crosstalk correction algorithm for ASTER/SAWIR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 2747-2751, 2005.

RSI. **FLAASH User's Guide - ENVI FLAASH Version 4.3**. Research Systems, Inc, 80 p., 2006. Disponível em: <<http://www.rsinc.com/envi/docs/pdf/flaash.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

Salisbury, J.W.; D'Aria, D.M. Infrared (8–14 µm) remote sensing of soil particle size. **Remote Sensing of Environment**, v. 42, n. 2, p. 157-165, 1992.

SEPLAN/MT. **Zoneamento sócio-econômico-ecológico**: Diagnóstico Sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação: Descrição sumária das classes de solos, resultados analíticos e considerações sobre erodibilidade da folha Dom Aquino, MIR-389 (SD.21-Z-D) - Memória técnica. In, Projeto de desenvolvimento agroambiental do Estado de Mato Grosso – Cuiabá: Prodeagro. Governo do Estado de Mato Grosso - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN): Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), 51 p., 2000.

Suertegaray, D.M.A. O Rio Grande do Sul descobre seus "desertos". **Ciência & Ambiente**, v. 1, p. 34-52, 1995.

Suertegaray, D.M.A. **Deserto grande do Sul: Controvérsia**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. 109 p.

SulSoft. **ASTER DTM: Installation & User's Guide v. 2.2**. Porto Alegre: Copyright © SulSoft Ltda, 38 p., 2004. Disponível em: <<http://www.envi.com.br/asterdtm/english/guidireto/guidousuario/guia.html>>. Acesso em: 13 out. 2006.

Ustin, S.L.; Jacquemoud, S.; Palacios-Orueta, A.; Li, L.; Whiting, M.L. Remote Sensing Based Assessment of Biophysical Indicators for Land Degradation and Desertification. In, Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification. **Proceedings...** Trier-Germany, p. 1-20, 2005. Disponível em: <<http://www.cstars.ucdavis.edu/papers/pdf/ustinetal2005a.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

Yamaguchi, Y.; Kahle, A.B.; Tsu, H.; Kawakami, T.; Pniel, M. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1062 – 1071, 1998.