

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 263-270
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

COMPARAÇÃO ENTRE FATORES DE REFLECTÂNCIA GERADOS A PARTIR DE DADOS DOS SENSORES TM/LANDSAT 5 E MODIS/TERRA APLICANDO DIFERENTES METODOLOGIAS DE CONVERSÃO DE DADOS

Comparison between Reflectance Factors Generated from TM/Landsat 5 and MODIS/Terra Sensors Data Applying Different Data Conversion's Methods

**Flávio Jorge Ponzoni¹; Lucrêncio Silvestre Macarringue²;
Sandra Benfica dos Santos³ & Juvenal Lima dos Santos Junior⁴**

**^{1,3} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Sensoriamento Remoto**

Av. dos Astronautas, 1758 – 12245-310 – São José dos Campos, SP, Brasil.
{flavio, sandra}@dsr.inpe.br

^{2,4} Universidade Estadual de Feira de Santana

Programa de Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente -PPGM/DEXA
BR 116, Km 03, Feira de Santana, BA, Brasil.
{lusimac, jjuniorlimas}@gmail.com

Recebido em 04 de Outubro, 2013/ Aceito em 03 de Janeiro, 2014
Received on October 04, 2013/ Accepted on January 03, 2014

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo comparar os fatores de reflectância de diferentes alvos com base nos produtos MODIS/Terra e TM/Landsat 5 corrigidos atmosféricamente com base em diferentes algoritmos. Para tanto foi selecionada uma área da região do Sul de Minas Gerais para o desenvolvimento desta pesquisa, onde a paisagem é fragmentada por diferentes classes de uso da terra, incluindo plantios de café, pastagens, formações florestais em diferentes estágios de regeneração, todas dispersas sobre um relevo acidentado. As imagens que compuseram o banco de dados foram de anos distintos: 2000, 2001 e 2003, datadas do mês de agosto, adquiridas do INPE e do USGS. Foram considerados 5 pontos amostrais em áreas de água, 5 em áreas de solo exposto, 4 em plantios de café, 5 em áreas florestais e 5 em áreas urbanas consolidadas. As comparações se deram em termos absolutos e mediante o estabelecimento de regressões lineares. Os resultados indicaram que em termos absolutos os valores de reflectância de superfície de dados gerados por diferentes critérios são diferenciados, o que implicaria em diferenças na caracterização espectral de objetos realizada por produtos distintos. As regressões indicaram correlações diferenciadas entre dados de diferentes bandas, indicando que as diferenças são espectralmente dependentes.

Palavras chaves: Fator de reflectância; correção atmosférica; produtos MODIS e TM/Landsat 5.

ABSTRACT

The aims of this study is to compare the reflectance factors of different targets based on MODIS/Terra and TM/Landsat 5 products atmospherically corrected based on different algorithms. A specific area located in the south of Minas Gerais

state was selected, which presents a fragmented landscape composed by different land use classes including coffee plantations, pastures, forest in different stages of regeneration covering a rugged relief. Images from different years: 2000, 2001 and 2003, dated of August, were acquired from INPE and USGS agencies. Five samples points from water bodies, five from bare soil, four from coffee plantations, five from forested areas and five from consolidated urban areas have their reflectance values extracted from the orbital images for comparison proposes. These data were compared in absolute and through linear regression analysis. Results indicated that absolute values of surface reflectance generated by different criteria can impact the spectral characterization of targets. The linear regressions presented different levels of correlations between data from also different spectral bands, indicating spectral dependency.

Keywords: Reflectance factor; atmosphere correction; MODIS and TM/Landsat 5 products.

1. INTRODUÇÃO

Na última década as aplicações de dados provenientes de sensores orbitais no estudo dos recursos naturais terrestres têm explorado principalmente caracterizações espectrais de objetos específicos e suas relações com parâmetros geo e/ou biofísicos, em detrimento do emprego de técnicas de classificação. Nesse tipo de abordagem faz-se necessária a conversão dos números digitais presentes nas imagens orbitais em valores de grandezas físicas como radiância ou reflectância (PONZONI *et al.*, 2012). Essa conversão tem sido realizada diretamente pelo usuário, que acessa então as imagens em números digitais e os converte em valores de radiância ou de reflectância mediante o emprego de coeficientes de calibração fornecidos pelos fabricantes dos sensores envolvidos e/ou da aplicação de modelos baseados na teoria da transferência radiativa. Ainda, tais conversões podem ser realizadas pelas agências responsáveis através da geração e distribuição dos dados sob sua administração.

Principalmente em relação aos dados disponibilizados por sensores orbitais concebidos no âmbito do programa Earth Observing Systems (EOS), proposto pela National Aeronautics Space Administration (NASA) em meados da década de 80, previa-se, já naquela época, a possibilidade de distribuição de dados convertidos para grandezas físicas, o que de fato aconteceu assim que o programa tornou-se uma realidade ao final da década de 90, principalmente para os dados considerados de resolução espacial moderada como os dos sensores Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) e Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR). Recentemente o United States Geological Survey (USGS) passou a disponibilizar para a comunidade internacional de dados do sensor

Thematic Mapper do satélite Landsat 5 (TM/Landsat 5) dados convertidos para valores de reflectância de superfície de todo o acervo global de imagens, incluindo aquelas adquiridas desde os primeiros anos do lançamento dos satélites da série Landsat em órbita. Trata-se de uma iniciativa inédita para dados de média resolução espacial e que apresenta então uma oportunidade ímpar de comparação temporal de dados de diferentes porções do planeta.

Apesar dessa positiva perspectiva de aplicação de dados orbitais no estudo dos recursos naturais terrestres com a disponibilidade destes dados, são cabíveis alguns questionamentos sobre possíveis diferenças entre os resultados das conversões que haviam sido já realizadas por diferentes usuários e aquelas agora realizadas pelo USGS sobre as imagens do sensor TM/Landsat 5. Ainda, seriam de fato as imagens convertidas provenientes de diferentes sensores comparáveis entre si?

Este trabalho tem como objetivo comparar os fatores de reflectância de diferentes alvos com base nos produtos MODIS/Terra e TM/Landsat 5 corrigidos atmosféricamente com base em diferentes algoritmos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e dados utilizados

A área de estudo é localizada no sul do estado de Minas Gerais, compreendida entre as coordenadas 20° 40' 58" e 22° 41' 27" de latitude Sul e 45° 3' 41" e 47° 21' 9" de longitude Oeste, apresenta paisagem fragmentada por diferentes classes de uso da terra, incluindo plantios de café, pastagens, formações florestais em diferentes estágios de regeneração, todas dispersas sobre um relevo acidentado. A Figura 1 ilustra a localização da área de estudo no contexto regional.

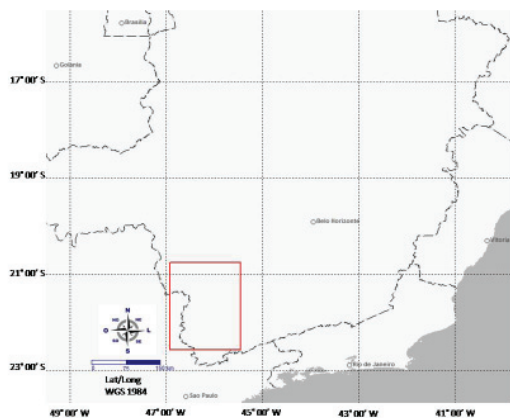


Fig. 1 – Localização da área de estudo no contexto regional (retângulo vermelho).

O trabalho fundamentou-se na comparação de imagens do sensor TM/Landsat 5 referentes a uma mesma porção da superfície da Terra (mesma órbita/ponto) em três datas diferentes de aquisição, porém, convertidas para valores de reflectância de superfície mediante o emprego de métodos diferentes. Ainda, imagens do sensor MODIS/Terra referentes a essa mesma porção da superfície da Terra e de datas próximas àquelas adotadas para as imagens do sensor TM/Landsat, já convertidas para valores de reflectância de superfície pela agência responsável pela recepção, processamento e distribuição de seus dados, foram também comparadas com as demais.

As imagens TM/Landsat 5 adquiridas nos catálogos do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), pertenciam à órbita/ponto 219/75 e datas: 12/08/2000, 15/08/2001 e 21/08/2003, enquanto as imagens MODIS foram adquiridas em seu modo MOD19 (reflectância de superfície) das seguintes datas: 20/08/2000, 13/08/2001 e 22/08/2003.

As imagens TM/Landsat 5 obtidas pelo catálogo de imagens do INPE tiveram seus NDs convertidos para fatores de reflectância de superfície através de um procedimento que envolveu duas etapas: inicialmente os NDs das imagens foram convertidos para fatores de reflectância aparente através da aplicação das equações 1 e 2.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{sun \lambda} \cdot \cos(\theta_s)} \quad (1)$$

Em que:

- ρ_{λ} = fator de reflectância aparente;
- L_{λ} = radiância no topo da atmosfera na faixa espectral λ ;
- d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas;
- $E_{sun \lambda}$ = Irradiância solar no topo da atmosfera na faixa espectral λ ;
- θ_s = ângulo zenital solar no horário de aquisição da imagem.

Os valores de L_{λ} foram determinados através da equação 2.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max \lambda} - L_{min \lambda}}{QCALMAX} \right) QCAL \quad (2)$$

Em que:

- L_{λ} = radiância no topo da atmosfera na faixa espectral λ ;
- $L_{max \lambda}$ = radiância máxima quando $QCAL = QCALMAX$;
- $L_{min \lambda}$ = radiância mínima quando $QCAL = 0$;
- $QCAL$ = valores de números digitais referentes e proporcionais a L_{λ} ;
- $QCALMAX$ = valor máximo de número digital quando $L_{\lambda} = L_{max \lambda}$.

Os valores de $L_{max \lambda}$ e de $L_{min \lambda}$ foram extraídos de Chander *et al.* (2009) conforme as datas das imagens utilizadas.

Posteriormente, foi realizada a correção atmosférica, quando os fatores de reflectância aparente foram transformados em fatores de reflectância de superfície pela aplicação do modelo de transferência radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (VERMOTE *et al.*, 1997). Para as três cenas adotou-se o modelo atmosférico tropical, o tipo de aerossol continental e a visibilidade de 80 km para as três passagens em questão.

O USGS, agência responsável pela disponibilização das séries temporais Landsat usa o aplicativo Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS) (USGS, 2013; Feng *et al.*, 2013), que aplica o roteiro da correção atmosférica do MODIS para os dados de nível-1 de TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7.

O LEDAPS calcula a reflectância da superfície pela compensação dos efeitos de absorção e de espalhamento atmosféricos

gerando deste modo a correta reflectância do topo da atmosfera e da superfície (FENG *et al.*, 2013). Vapor de água, ozônio, altura geopotencial, espessura óptica de aerossóis e elevação são dados de entrada para um modelo de transferência radiativa, que neste caso trata-se do *Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S)* para gerar os valores de reflectância de superfície (USGS, 2013; MASEK *et al.*, 2006).

As variáveis atmosféricas são adquiridas de várias fontes, por exemplo: as concentrações do ozônio são derivadas a partir do Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) a bordo das plataformas Nimbus-7, Meteor-3, Earth Probe e de NOAA-TIROS. A coluna de vapor de água é gerada pelos Centros Nacionais de Previsão Tempo (NCEP) e reanálise de dados. A topografia digital para conjunto de dados de 0,05 graus (derivado do 1 km GTOPO30) e dados de pressão de superfície derivados da NCEP são usados para ajustar o espalhamento molecular para as condições locais. A espessura óptica do aerossol (AOT) é derivada empiricamente para cada imagem Landsat usando o método *dark dense vegetation* (KAUFMAN & TANRÉ, 1996), ou utilizando relações entre as faixas do vermelho e azul e entre as bandas do SWIR, como demonstrado por (VERMOTE & SALEOUS 2006; FENG *et al.*, 2013).

A correção atmosférica dos dados do MODIS é feita com base no mesmo código de transferência radiativa 6S (VERMOTE *et al.*, 2002). Este processo conta com dados auxiliares (pressão de superfície, ozônio e vapor de água) disponíveis a partir de Centros Nacionais de Previsão de Tempo (NCEP). A validação dos dados de reflectância de superfície é feita com base na comparação destes com os dados do sensor ETM+/Landsat 7, usando dados de vapor de água (2,15 cm) e aerossóis (0,12 a 550 nm) obtido no site da AERONET (VERMOTE *et al.*, 2002).

2.2 Comparações

As comparações foram então realizadas entre dados convertidos do sensor TM/Landsat 5 pelo INPE e pelo USGS para as mesmas imagens e em seguida estes foram comparados com aqueles do sensor MODIS (MOD19 – reflectância de superfície). Tais comparações

foram feitas em termos absolutos em cada banda espectral, bem como através do estabelecimento de regressões lineares.

Para compor o banco de dados que fundamentou as comparações em questão, foram extraídos das imagens valores de reflectância de superfície de diferentes classes de cobertura da terra dispersas em toda a extensão da cena, procurando incluir repetições. Assim, foram considerados 5 pontos amostrais em áreas de água, 5 em áreas de solo exposto, 4 em plantios de café, 5 em áreas florestais e 5 em áreas urbanas consolidadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta gráficos contendo valores de reflectância de superfície para apenas um ponto amostral para cada uma das 5 classes de cobertura da terra, nas três datas consideradas.

O que se observa facilmente nos dados apresentados nessa Figura 2 é que os valores de reflectância diferem em termos absolutos entre si. Na comparação entre os valores de reflectância de superfície gerados pelo INPE e pelo USGS para as mesmas imagens TM/Landsat 5, observa-se que aqueles gerados pelo INPE foram sempre inferiores àqueles gerados pelo USGS em praticamente toda a extensão espectral considerada nas três oportunidades de comparação (2000, 2001 e 2003). Dessa forma, a caracterização espectral de objetos realizada mediante o emprego dessas duas séries de dados resultaria diferentes entre si. Apesar disso, ambas as caracterizações poderiam ser consideradas consistentes, uma vez que representam as formas típicas de reflectância esperadas para as classes de cobertura da terra consideradas.

Os dados MODIS, além de não terem apresentado proximidades com os valores de reflectância de superfície dos dados TM/Landsat 5 processados por ambas as agências (INPE e USGS), resultaram em caracterizações espectrais inconsistentes para a maioria das classes de cobertura da terra ao longo do período de tempo considerado.

A Figura 3 apresenta os gráficos referentes às regressões lineares estabelecidas entre dados gerados pelo INPE, pelo USGS e com aqueles provenientes do sensor MODIS, para as bandas para as quais os dados TM/Landsat 5 apresentavam correspondência.

Comparação entre Fatores de Reflectância Gerados a partir de Dados dos Sensores

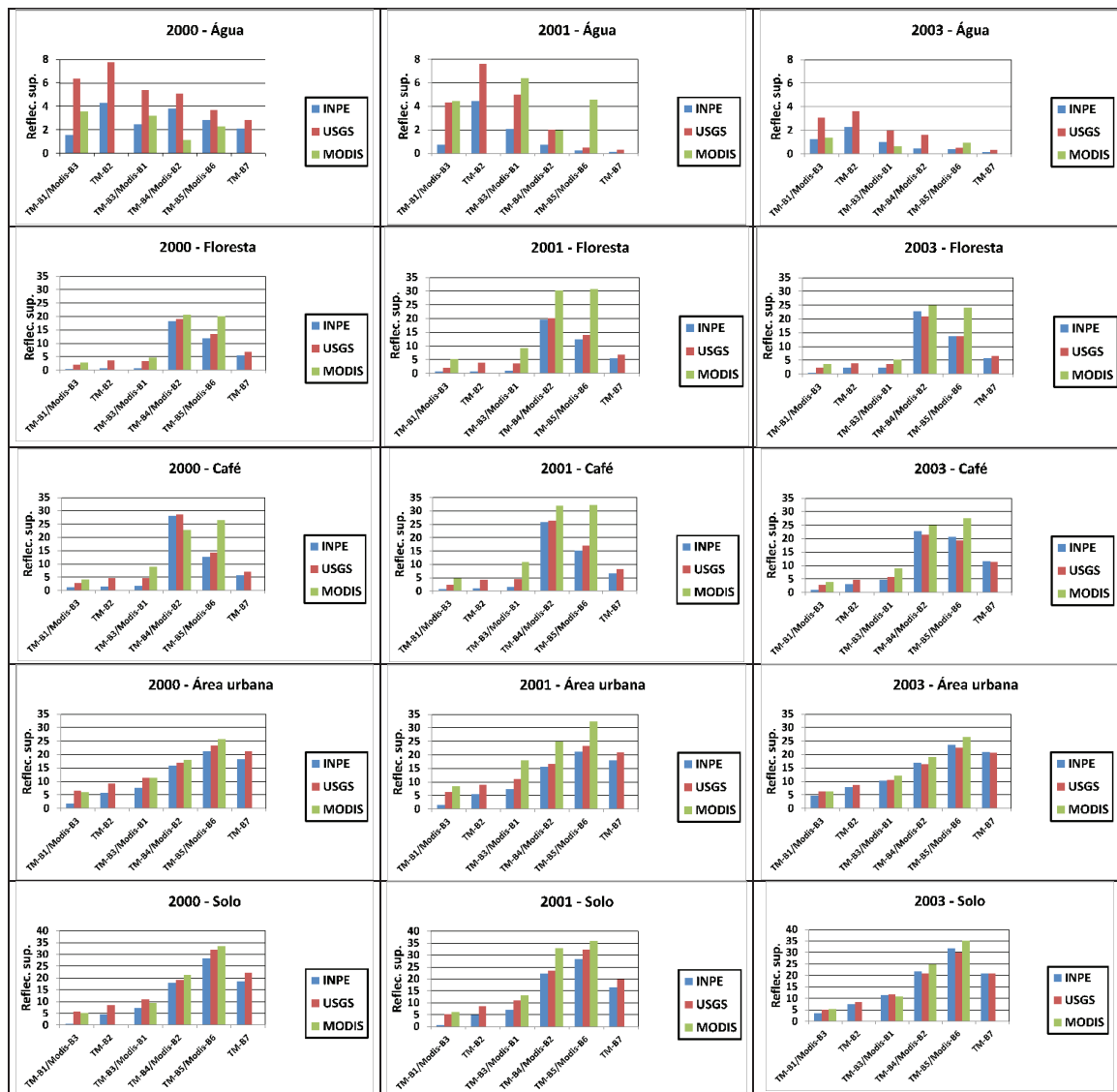


Fig. 2 – Valores de reflectância de superfície para um ponto amostral de cada classe de cobertura da terra.

No estabelecimento dessas regressões foram considerados dados de todas as classes de cobertura da terra como um único conjunto de dados, totalizando então 24 pontos amostrais.

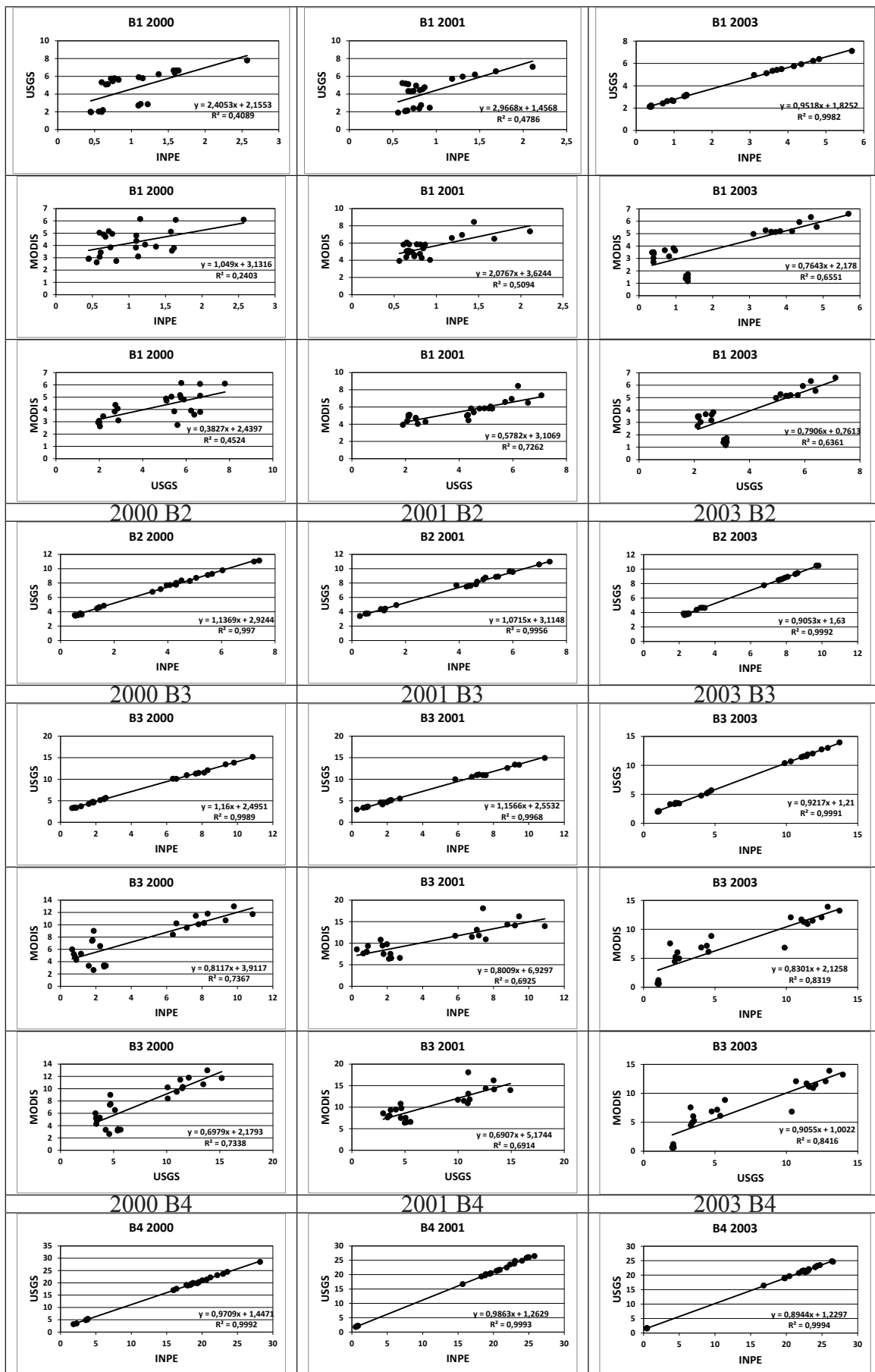
Nesta Figura 3 os gráficos encontram-se organizados por banda espectral e por data. Assim, para o primeiro conjunto de 3 gráficos, temos os gráficos referentes às relações estabelecidas para a banda 1 do sensor TM/Landsat 5 (B1). Observa-se para estes primeiros 3 gráficos que para as relações entre dados TM/Landsat 5 gerados pelo INPE e pelo USGS, os maiores valores de r foram verificados apenas para os dados de 2003. As relações entre dados TM/Landsat 5 e MODIS, seja por aqueles gerados pelo INPE, como aqueles gerados pelo USGS, as relações foram relativamente fracas.

Para as relações estabelecidas para a banda 2 do sensor TM/Landsat 5 (B2), estas

apresentaram todas elevados valores de r . Neste caso não foi possível avaliar as relações com o sensor MODIS, uma vez que este não apresenta banda espectral similar à B2.

Para as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat 5 (B3, B4 e B5) todas as relações apresentaram elevados valores de r , mesmo para aquelas que incluíram o sensor MODIS, indicando que ao menos para esse triplete de bandas espectrais, que normalmente é o mais frequentemente explorado em trabalhos envolvendo o estudo dos recursos naturais, apesar das diferenças em termos absolutos, as relações entre os dados são consistentes.

As relações estabelecidas para os dados da banda 7 do sensor TM/Landsat 5 (B7) gerados pelo USGS e pelo INPE mostraram também forte correlação.



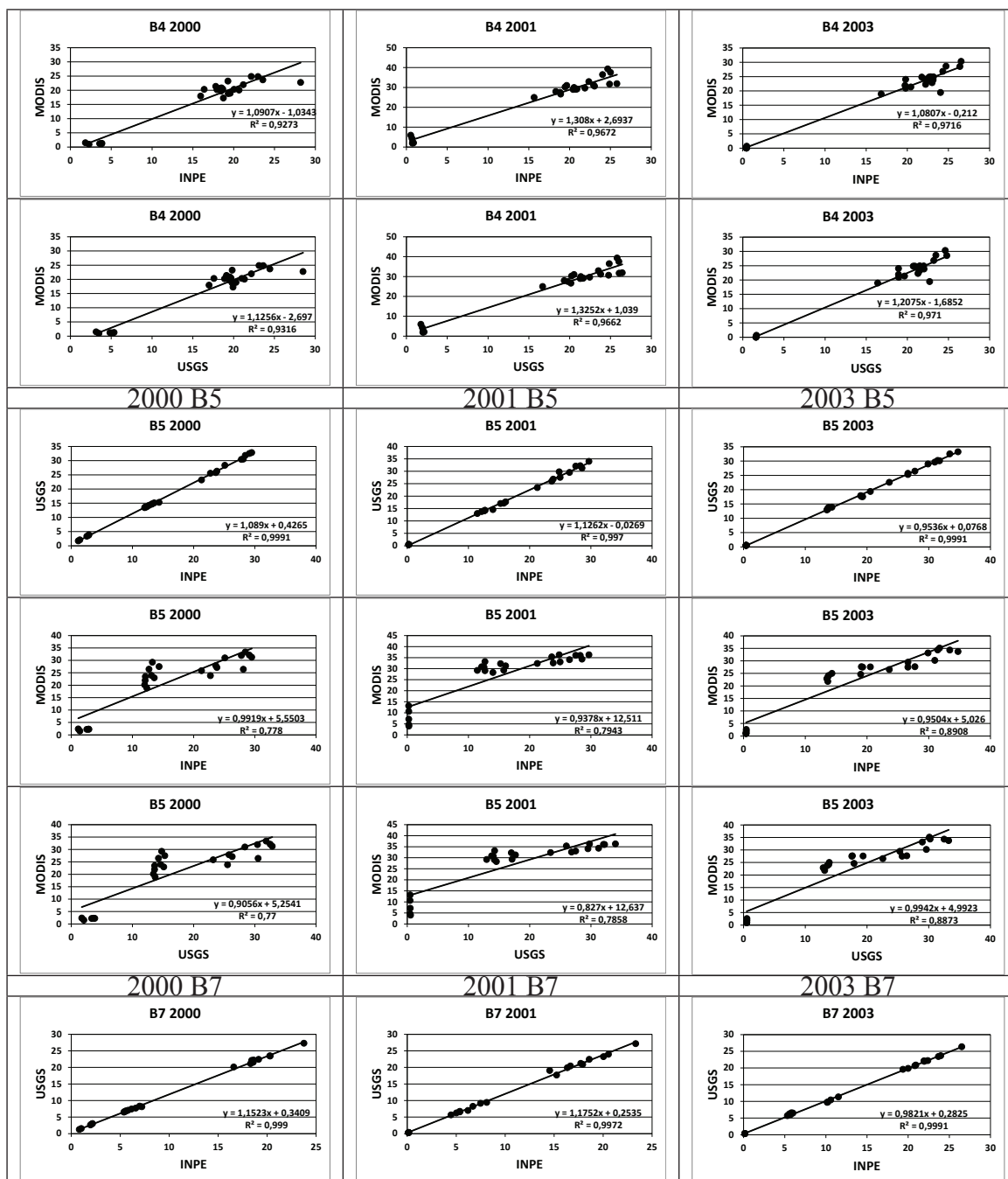


Fig. 3 – Regressões lineares estabelecidas entre os dados TM/Landsat 5 gerados pelo INPE e pelo USGS e com dados do sensor MODIS.

4. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que em termos absolutos os valores de reflectância de superfície de dados gerados por diferentes critérios podem sim ser diferentes, mesmo que as correlações entre ambos sejam elevadas. Esse fato deve ser levado em consideração quando do interesse em caracterizar espectralmente objetos. As caracterizações serão diferenciadas quando da opção deste ou daquele critério, o que poderá comprometer os resultados dos estudos pretendidos.

Comprovou-se aqui a reserva que se deve dedicar à comparação entre dados de diferentes sensores. Ficou claro que ainda em termos absolutos, dados de reflectância de superfície provenientes de sensores diferentes, podem diferir significativamente e muitas vezes tais diferenças nada têm a ver com variações geofísicas ou biofísicas dos objetos em estudo. O mesmo raciocínio pode ser adotado quando da adoção de imagens convertidas para valores físicos por diferentes critérios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.5, p.893-903, May 2009.
- FENG, M.; SEXTON, J. O.; HUANG, C.; MASEK, J. G.; VERMOTE, E. F.; GAO, F.; NARASIMHAN, R.; CHANNAN, S.; WOLFE, R. E.; TOWNSHEND, J. R. Global Surface reflectance products from Landsat: Assessment using coincident MODIS observations. **Remote Sensing of Environment**, 134, p.276-293, April 2013.
- KAUFMAN, Y. J., TANRÉ, D. Strategy for direct and indirect methods for correcting the aerosol effect on remote sensing: from AVHRR to EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 55, p. 65-79, 1996.
- MASEK, J. G.; VERMOTE, E. F.; SALEOUS, N. E.; WOLFE, R.; HALL, F. G.; HUENNRICH, K. F.; GAO, F.; KUTLER, J.; LIM, T. K. A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990-2000. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n.1, p.68-72, January 2006.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. São José dos Campos: Editora Oficina de Textos, 2012. 135 p.
- USGS – Department of the Interior U. S. Geological Survey. **Product Guide** – Landsat climate data record (CDR) surface reflectance and normalized difference vegetation index (NDVI) derived from global land survey (GLS) collections. Version 1.0, January 2013.
- VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.35, n.3, p.675-686, May 1997.
- VERMOTE, E. F.; SALEOUS, N. Z. Operational atmospheric correction of MODIS visible to middle infrared land surface data in the case of an infinite lambertian target. In: QU, J. J.; GAO, W.; KAFATOS, M.; MURPHY, R. E.; SALOMONSON, V. V. (Eds.). **Earth science satellite remote sensing**. Science and Instruments. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. Vol.1, p. 123–153.
- VERMOTE, E. F.; EL SALEOUS, N. Z.; JUSTICE, C. O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 97-111, March 2002.