

Caracterização e comparação do comportamento espectral de atributos do solo obtidos por sensor orbital (ASTER e TM-Landsat) e terrestre (IRIS)

Aline Marques Genú¹
José Alexandre Melo Demattê¹
Marcos Rafael Nanni²
Marco Antonio Melo Bortoletto¹
Rodnei Rizzo¹

¹Departamento de Ciência do Solo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP
Caixa Postal 09 - 13418-900 – Piracicaba, SP
amgenu@gmail.com; jamdemat@carpa.ciagri.usp.br; mamborto@yahoo.com.br;
rrizzo@esalq.usp.br

² Departamento de Agronomia
Universidade Estadual de Maringá – UEM
Av. Colombo, 5790 - 87020-900 - Maringá, PR.
mrnanni@uem.br

Abstract. The increasing use of information obtained from remote sensing for soil science made it necessary to evaluate soil attributes spectral response. The objective of this work was to characterize soil attributes spectral response from data obtained of ASTER sensor and compare with TM – Landsat orbital sensor and IRIS terrestrial sensor. For this, analytical data of soil from Rafard, SP, was used and information obtained through satellite (TM) and terrestrial sensors. After that, the sample points were allocated over ASTER images to obtain de orbital reflectance data. Later, the samples were grouped according to soil attribute classes for tukey statistical analysis between orbital sensors bands. The conclusions are (i) soil attributes interfere in different ways on soil reflectance intensity of data obtained from orbital sensors and the infrared bands were the best ones, (ii) total iron and organic matter were the best attributes discriminated by ASTER and TM orbital sensors.

Palavras-chave: spectral response; remote sensors; soil attributes, comportamento espectral; sensores remotos; atributos do solo.

1. Introdução

Os solos possuem uma alta variabilidade, são componentes dinâmicos do ambiente e sua sustentabilidade é essencial para o funcionamento do ecossistema, afetando a produtividade agrícola. Para o monitoramento, caracterização e avaliação deste recurso natural, o sensoriamento remoto vem sendo cada vez mais utilizado.

Os primeiros trabalhos, avaliando solos através de sua resposta espectral foram realizados nas décadas de 60 e 70 como os de Bowers e Hanks (1965) que observaram o efeito da umidade, matéria orgânica e tamanho de partícula na curva espectral, bem como o de Hunt e Salisbury (1970) estudando os minerais. Desde então, muito vem sendo acrescentado sobre as propriedades de reflectância dos solos e quais os atributos que mais influenciam sua resposta espectral e de que forma isso ocorre (Ustin et al., 2004).

Os sistemas sensores orbitais começaram a ser utilizados com o objetivo de discriminar e mapear solos assim como quantificar os seus atributos (Coleman et al., 1993). O fundamento para a interpretação dessas imagens orbitais, no entanto, é o entendimento e observação dos trabalhos realizados em campo e laboratório.

Novos sistemas sensores e satélites de observação vêm sendo desenvolvidos e lançados. Em 1999, foi lançado o satélite TERRA como parte do programa Earth Observation

System (EOS), o qual possui a bordo o sensor ASTER, que captura dados de alta resolução espacial em 14 bandas, do visível ao infravermelho termal.

Não se tem informações sobre a avaliação de solos tropicais brasileiros pelo ASTER, portanto, devem ser simultaneamente comparados ao TM, visto que na maioria dos estudos realizados o satélite Landsat é utilizado. Da mesma forma, para a correta interpretação de dados obtidos por sensores orbitais, estes podem ser comparados com informações obtidas por sensor terrestre que expressam, de maneira mais detalhada, a resposta espectral dos solos.

A interação da energia eletromagnética com o solo gera o seu comportamento espectral, que pode ser alterado dependendo da variabilidade de seus constituintes, permitindo a diferenciação de classes de solos e de seus atributos. Desta forma, este trabalho objetiva caracterizar a influência individualizada de seus atributos, a partir dos dados espectrais obtidos por sensor terrestre (IRIS) e orbital (ASTER e TM).

2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no município de Rafard, sudoeste do Estado de São Paulo. É delimitada pelas coordenadas geográficas 23°0'31,37" – 22°58'53,97" latitude sul e 53°39'47,81" – 53°37'25,65" longitude oeste. O clima da região é classificado como mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C (Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônômica, 1960).

A geologia da região pertence à formação Itararé, Grupo Tubarão (IPT, 1981) constituindo-se de arenitos de granulação heterogênea, argilitos e folhelhos de colorações variadas desde o cinza claro ao escuro. A área possui ainda basaltos da formação Serra Geral, Grupo São Bento e, próximos ao rio, seixos. O relevo em sua maior parte é caracterizado como ondulado e suave ondulado, sendo o primeiro de maior área, com altitude variando entre 475 e 565 m sobre o nível do mar.

Foram utilizados dados de 184 pontos de tradagem georeferenciados e a coleta de amostra na profundidade de 0-20 cm. Após coletadas, as amostras foram secas em estufa a 50°C por 48 horas e em seguida passadas em peneira de 2 mm. Posteriormente, na fração menor que 2 mm foram efetuadas as análises físicas e químicas.

Para a análise física, foram determinados os teores de areia, silte e argila a partir do método do densímetro (Camargo et al., 1986). Para as análises químicas, determinou-se pH em água e KCl, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ + Al^{3+} e matéria orgânica (MO) de acordo com Raij e Quaggio (1989). A partir desses dados, obteve-se o valor da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). O ferro total (Fe_2O_3), a sílica (SiO_2) e o titânio (TiO_2) foram determinados pelo ataque sulfúrico, através de metodologia descrita por Camargo et al. (1986).

Com relação aos dados espectrais, foram utilizadas seis bandas do sensor TM do satélite Landsat-5 (TM 1 a 5 e 7) e para o sensor ASTER do satélite TERRA utilizaram-se 8 bandas (ASTER 1 a 8). Para a conversão dos níveis de cinza das imagens para reflectância e para eliminar o efeito da atmosfera utilizaram-se os programas 5S (Tanré et al., 1992) para a imagem TM-Landsat; e para o caso das bandas ASTER, utilizou-se o programa ACORN (Atmospheric Correction Now) (AIG, 2001).

Para a coleta dos dados espectrais orbitais, a informação da posição dos 184 pontos de amostragem foi sobreposta a composições coloridas das imagens utilizadas. Na seqüência, para certificar-se de que os pontos estavam sobre área de solo exposto, gerou-se uma imagem de índice de vegetação NDVI (Jackson e Huete, 1991) e utilizou-se o método da linha do solo (Barret et al., 1993).

No caso do sensor terrestre as amostras de terra foram secas, peneiradas e acondicionadas em placas de petri de 9 cm de diâmetro para a realização das leituras espectrais no sensor IRIS (Infra Red Intelligent Spectroradiometer) com resolução espectral de 2 nm (de 400-1000 nm) e de 4 nm (1000-2500 nm).

A geometria do sistema foi baseada no posicionamento perpendicular do sensor em relação à amostra, mantendo entre ambos uma distância de 27 cm. A fonte de iluminação foi posicionada a 61 cm da amostra, formando um ângulo de 20° com o zênite. O padrão de referência absoluto utilizado foi uma placa de espectralon branca. A razão espectral entre o fluxo de radiação refletido pela superfície de referência e a amostra gerou o fator de reflectância bidirecional (Nicodemus et al., 1977).

Os dados espectrais das 184 amostras de terra ao nível de laboratório foram agrupados por classe de atributo de solo e em seguida geradas as respectivas curvas espectrais médias. Nos respectivos pixels foram extraídos dados de reflectância dos sensores orbitais ASTER e TM. Isso permitiu comparar a forma e intensidade das curvas espectrais destes três sensores.

A avaliação dos atributos com os dados espectrais foi baseada em intervalos para cada um deles. Para a matéria orgânica (MO) utilizaram-se as classes alto ($MO > 25 \text{ g dm}^{-3}$), médio (MO entre 15 e 25 g dm^{-3}) e baixo ($MO < 15 \text{ g dm}^{-3}$) (Tomé Jr., 1997); para saturação por bases (V %) utilizou-se distrófico ($V < 50 \%$) e eutrófico ($V > 50 \%$) (Tomé Jr., 1997); ferro total (Fe_2O_3) foi dividido em hipoférrico ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 80 \text{ g kg}^{-1}$), mesoférrico (Fe_2O_3 entre 80 e 180 g kg^{-1}) e férrico ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 180 \text{ g kg}^{-1}$) (Embrapa, 1999) e para textura, utilizaram-se as seguintes classes quanto ao teor de argila (TA): arenosa ($TA < 150 \text{ g kg}^{-1}$), média arenosa (TA entre 150 e 250 g kg^{-1}), média argilosa (TA entre 250 e 350 g kg^{-1}), argilosa (TA entre 350 e 600 g kg^{-1}) e muito argilosa ($TA > 600 \text{ g kg}^{-1}$) (Demattê et al., 2005).

Foram realizadas análises de correlação entre os atributos do solo e as bandas dos sensores ASTER e TM-Landsat, através do procedimento *proc corr* do programa Statistical Analysis System (SAS, 1999).

3. Resultados e Discussão

As curvas espectrais médias por atributos foram geradas independentemente da classe de solo a qual pertence a amostra de terra. O teor de matéria orgânica, que foi dividido nas classes alto, médio e baixo, mostra que quanto maior o teor de matéria orgânica, maior é a absorção de energia e, conseqüentemente, menor reflectância, comportamento este observado para os três sensores (**Figura 1a**). Este resultado concorda com os obtidos por Dalmolin et al. (2005) e Demattê et al. (2003a) que verificaram que a remoção da matéria orgânica do solo promove o aumento da intensidade de reflectância em todo o espectro. Esse resultado também demonstra que existe uma correlação negativa entre matéria orgânica e reflectância, o que pode ser verificada para todas as bandas dos sensores orbitais ASTER e TM (**Tabelas 1 e 2**). A correlação negativa indica que quanto maior o teor deste atributo, menor a intensidade de reflectância, em todo o espectro.

As curvas espectrais para saturação por bases, caracterizadas pelo caráter eutrófico e distrófico, mostrou que quanto maior o V%, menor a reflectância, ou seja, a resposta espectral das amostras eutróficas foi menos intensa que das amostras distróficas (**Figura 1b**) para todos os sensores estudados. A análise de correlação das bandas TM com o V% mostrou coeficientes em torno de 0,4 e negativos para todas as bandas (**Tabela 2**). Isso significa que a saturação por bases afeta a curva em todo o espectro eletromagnético e, quanto maior o V%, menor a reflectância. Esse resultado confirma o observado nas curvas espectrais, entretanto, o mesmo não foi verificado para as bandas ASTER, com coeficientes muito baixos, e em sua maioria positivos (**Tabela 1**). Sousa Junior (2005), estudando solos do Estado de São Paulo também observou, para curvas espectrais ASTER, que amostras eutróficas refletiam menos

que as distróficas. Por outro lado, Demattê et al. (1998), em trabalho controlado em laboratório, demonstraram que a aplicação de carbonato de cálcio altera a resposta espectral de solos, tendo aumento significativo no teor de cálcio e na intensidade de reflectância. Desta forma os autores observaram o oposto do verificado neste trabalho. Outra possibilidade é o efeito do manejo químico realizado na área. A resposta espectral orbital do solo para o sensor ASTER, quando comparado com o TM, foi obtida em data diferente, sendo a imagem Landsat mais próxima do período que se realizou as análises de laboratório do que a imagem ASTER.

Em trabalho semelhante, Demattê et al. (2003b) ratificaram que o aumento do cálcio na saturação por bases, promove aumento na intensidade de reflectância. Ambos os trabalhos foram realizados com sensor em laboratório e discordam dos dados do presente trabalho. Tanto neste trabalho, para ASTER e TM como o de Sousa Junior (2005) ocorreu o contrário ao se avaliar o mesmo atributo em imagem de satélite.

O teor de ferro total, obtido através do método do ataque sulfúrico, foi subdividido nas classes hipoférrico, mesoférrico e férrico. Observando-se as curvas espectrais obtidas pelos três sensores (**Figura 2a**) verifica-se que a classe hipoférrico apresenta uma maior intensidade de reflectância que as outras duas classes embora as outras possuam respostas muito próximas. A presença de ferro no solo influencia o comportamento da curva, diminuindo o albedo conforme aumenta seu teor no solo (Dalmolin et al., 2005). Esta relação entre ferro e reflectância também é verificada pelos altos coeficientes de correlação negativa entre todas as bandas dos sensores orbitais e o ferro total (**Tabelas 1 e 2**).

Os óxidos de ferro apresentam feições típicas, principalmente na região de 900 nm, que são mais intensas quanto maiores forem seus teores (Demattê et al, 2003a). Isso pode ser observado nas curvas espectrais das classes mesoférrico e férrico (**Figura 2a**), que possuem neste comprimento de onda uma banda de absorção mais intensa que o hipoférrico na curva IRIS.

Com relação à textura, quanto menor o teor de argila, maior a intensidade de reflectância das curvas espectrais orbitais e terrestres (**Figura 2b**), pois solos mais arenosos tendem a ter na sua constituição mineralógica basicamente quartzo, que apresenta alta resposta em todo o espectro. Soma-se a isso o fato de que geralmente estes solos apresentam baixos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e água (Dalmolin et al., 2005). A análise de correlação confirma o resultado, mostrando que existe uma alta relação entre o teor de argila e as bandas espectrais orbitais, com coeficientes em torno de 0,70 para TM e 0,56 para ASTER, ambos negativos para todas as bandas (**Tabelas 1 e 2**).

De forma geral, verificou-se correlação melhor entre os atributos matéria orgânica, ferro total e argila com as bandas TM. As bandas ASTER também geraram bons resultados, porém com coeficientes de correlação mais baixos (**Tabelas 1 e 2**).

4. Conclusões

1. É possível discriminar atributos do solo, através de sensores orbitais, sendo que as bandas da faixa do infravermelho se mostraram melhores;
2. O ferro total e matéria orgânica foram os atributos melhor discriminados pelos sensores orbitais ASTER e TM;
3. Há correlação negativa entre os atributos matéria orgânica, ferro total e argila e as bandas dos sensores orbitais ASTER e TM.

5. Referências

ANALYTICAL IMAGING AND GEOPHYSICS. **Atmospheric correction now (ACORN) 3.12**. Boulder, 2001. 1CD-ROM.

- BARRET, F.; JACQUEMOUND, S.; HANOCQ, J.F. The soil line concept in remote sensing. **Remote Sensing Reviews**, London, v. 7, n. 1, p. 1-18, 1993.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 100, n. 2, p. 130-138, Feb.1965.
- CAMARGO, A.O.de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas:IAC, 1986. 94 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA AGRONÔMICA. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1960. 637 p. (SNPA. Boletim 12).
- COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L. Spectral differentiation of surface soils and soil properties: is it possible from space platforms? **Soil Science**, Baltimore, v. 155, n. 4, p. 283-293, Mar. 1993.
- DALMOLIN, R.S.D; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, mar./abr. 2005.
- DEMATTÊ, J.A.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 451-464, set/dez. 2003a.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J.; PROCHNOW, L.I. Variações induzidas de atributos químicos e sua influência na reflectância espectral de três solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 479-490, 1998.
- DEMATTÊ, J.A.M.; MORETTI, D.; VASCONCELOS, A.C.F.; GENÚ, A.M. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 697-706, jul. 2005.
- DEMATTÊ, J.A.M.; PEREIRA, H.S.; NANNI, M.N.; COOPER, M.; FIORIO, P.R. Soil chemical alterations promoted by fertilizer application assessed by spectral reflectance. **Soil Science**, Philadelphia, v. 168, n. 10, p. 730-747, Oct. 2003b.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412 p.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks I: Silicate minerals. **Modern Geology**, London, v. 1, p. 283-300, 1970.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico de Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:1000.000.
- JACKSON, R.D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 11, n. 3/4, p. 185-200, Dec. 1991.
- NICODEMUS, F.E.; RICHMOMD, J.C.; HSIA, J.J.; GINSBERG, I.W.; LIMPERIS, T. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. Washigton: US Department of Commerce, 1977. 52 p. (NBS Monograph, 160).
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1989. 40 p. (IAC. Boletim Técnico 8).
- SOUSA JUNIOR, J.G. **Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos**. 2005. 141 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS 8.02**. Cary, 1999. 5 CD-ROM.
- TANRÉ, D.; HOLBEN, B.N.; KAUFMAN, Y.J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New Jersey, v. 30, n. 2, p. 231-248, Mar. 1992.
- TOMÉ JUNIOR., J.B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.
- USTIN, S.; ROBERTS, D.A.; GAMON, J.A.; ASNER, G.P.; GREEN, R.O. Using imaging spectroscopy to study ecosystem processes and properties. **BioScience**, Washington, v. 54, n. 6, p. 523-534, June 2004.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação entre os dados espectrais ASTER e atributos do solo

| Bandas | MO ¹ | Fe ₂ O ₃ ² | V% ³ | Argila |
|---------|-----------------|---|-----------------|----------|
| ASTER 1 | -0,43972 | -0,6224 | 0,02771 | -0,56946 |
| ASTER 2 | -0,41541 | -0,52538 | -0,01237 | -0,49246 |
| ASTER 3 | -0,41877 | -0,56908 | 0,08461 | -0,54484 |
| ASTER 4 | -0,40482 | -0,59632 | 0,04529 | -0,58088 |
| ASTER 5 | -0,44951 | -0,57513 | 0,02049 | -0,59606 |
| ASTER 6 | -0,40874 | -0,56638 | 0,02856 | -0,57066 |
| ASTER 7 | -0,41983 | -0,56728 | -0,03563 | -0,58802 |
| ASTER 8 | -0,4356 | -0,58646 | -0,02372 | -0,60113 |

¹ Matéria orgânica ² Ferro total ³ Saturação por Bases

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre os dados espectrais TM – Landsat e atributos do solo

| Bandas | MO ¹ | Fe ₂ O ₃ ² | V% ³ | Argila |
|--------|-----------------|---|-----------------|----------|
| TM 1 | -0,46604 | -0,72763 | -0,44426 | -0,73276 |
| TM 2 | -0,50709 | -0,71350 | -0,46506 | -0,67781 |
| TM 3 | -0,49550 | -0,66436 | -0,49055 | -0,62182 |
| TM 4 | -0,50775 | -0,71660 | -0,41844 | -0,70048 |
| TM 5 | -0,47211 | -0,67152 | -0,34330 | -0,66050 |
| TM 7 | -0,52625 | -0,72815 | -0,43579 | -0,69723 |

¹ Matéria orgânica ² Ferro total ³ Saturação por Bases

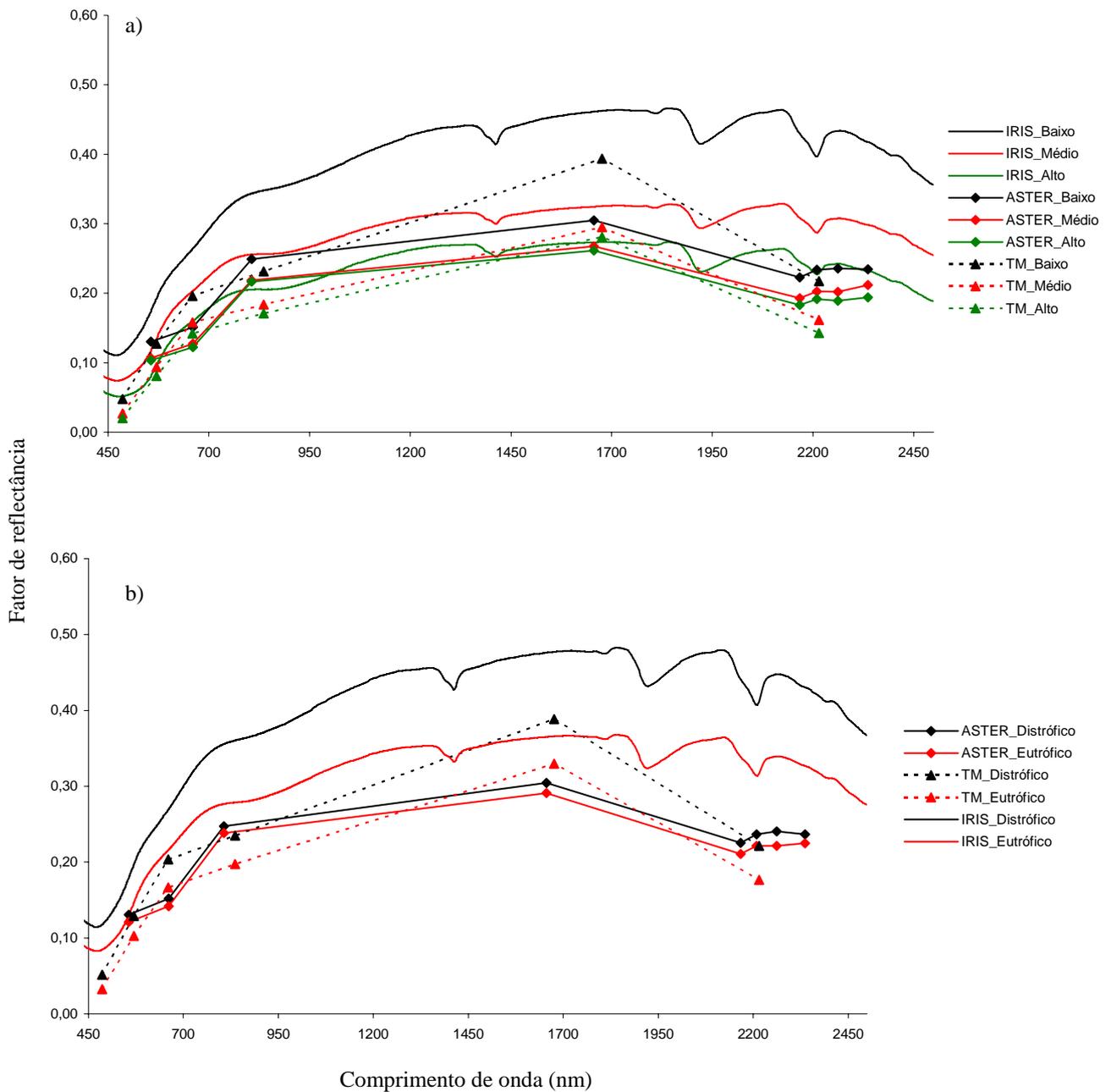


Figura 1 – Curvas espectrais médias das classes de Matéria Orgânica (a) e Saturação por Bases (b), obtidas pelos sensores IRIS (terrestre), ASTER e TM (orbitais)

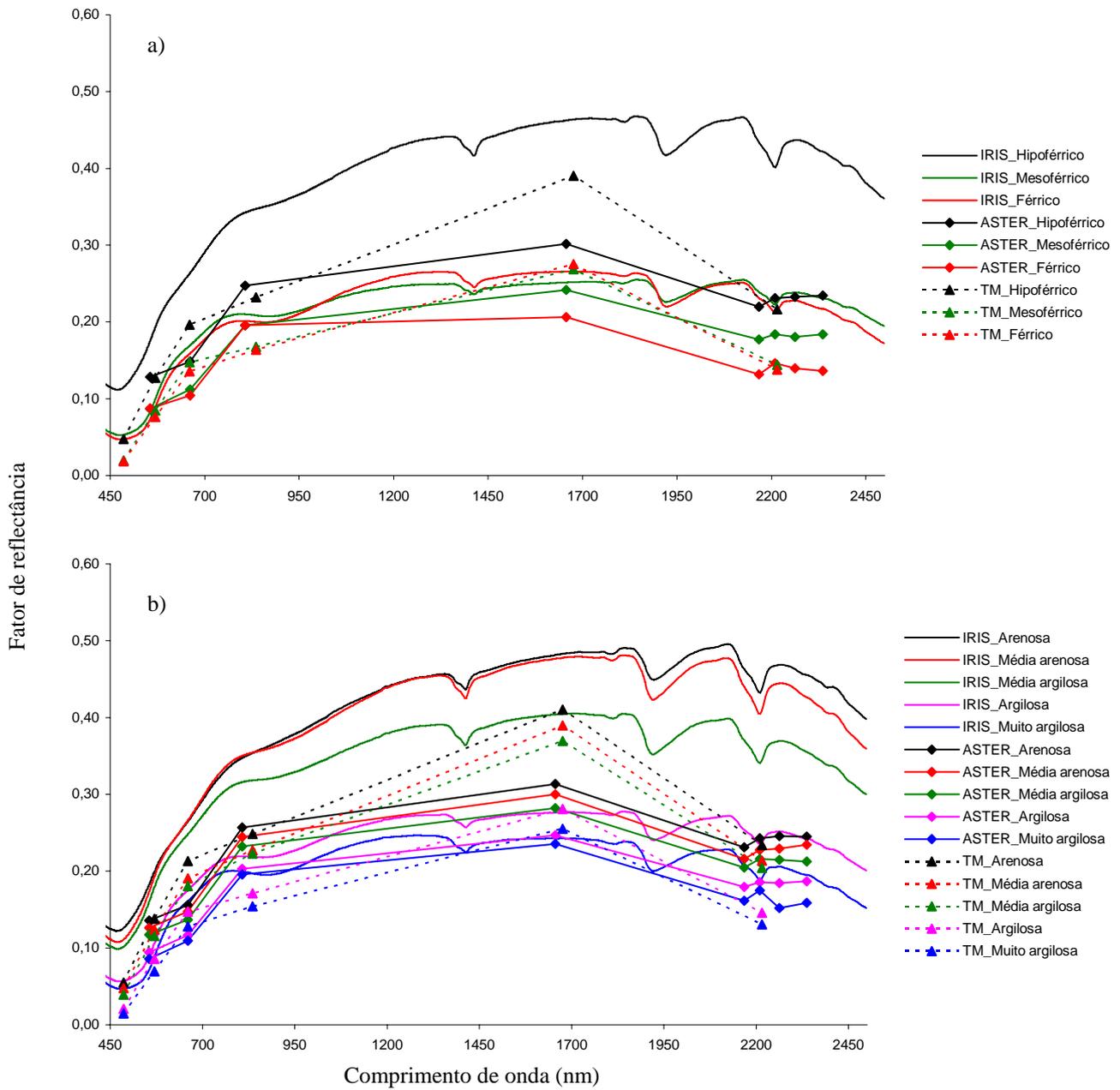


Figura 2 – Curvas espectrais médias das classes de Ferro Total (a) e Textura (b) obtidas pelos sensores IRIS (terrestre), ASTER e TM (orbitais)