

IMAGENS HIPERESPECTRAIS DO SENSOR PRISMA NA DETECÇÃO DE ARGILOMINERAIS EM SOLOS TROPICAIS

Luiz Eduardo Vicente¹, Manuela Corrêa de Castro Padilha², Alessandra Fagioli da Silva¹, Andréa Koga-Vicente¹, José A. M. Demattê³, João Vitor Guerrero¹, Luciana Spinelli-Araujo¹, Gabriel Fernandes da Silva⁴

¹Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho, Jaguariúna, SP {andrea.kvicente@gmail.com, alefagioli@hotmail.com, joaovitorguerrero@yahoo.com.br, luciana.spinelli@embrapa.br, luiz.vicente@embrapa.br}; ²manuela.padilha2111@gmail.com; ³Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Av. Pádua Dias, 11 - Cx. Postal 9, Piracicaba, SP CEP 13418-900, PABX, Brasil {jamdemat@usp.br}; ⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Salto, Av. dos Três Poderes, 375 - Lot. Ilha de Capri, Salto - SP, 13326-000 {fernandes.silva1@aluno.ifsp.edu.br}.

RESUMO

O mapeamento sistemático de solos constitui informação básica para o uso sustentável do território, sendo notória a necessidade de mapeamentos de componentes do solo como os argilominerais (e.g. caulinita), fundamentais para estimativas de Carbono Orgânico no Solo (COS) vs produtividade agrícola. A identificação de argilominerais em solo por Sensoriamento Remoto oferece rapidez, boa precisão e baixo custo para aplicações em larga escala, sobretudo considerando-se as novas possibilidades com o uso de sensores hiperespectrais. Dessa forma, esse trabalho utiliza dados do sensor hiperespectral PRISMA (*PR*ecursore *I*perSpettrale della *M*issione *A*pplicativa) na região de Piracicaba, SP, e sua aplicação no mapeamento de argilominerais no solo. Para tanto, as imagens PRISMA foram validadas com 27 pontos de análises laboratoriais, considerando medidas de argila coletadas em campo. Apesar da complexidade do alvo, os resultados apresentaram boa reprodutibilidade de espectros de solo e suas feições espectrais diagnósticas (\bar{x} -0,42) associadas a compostos argilominerálicos.

Palavras-chave — Sensoriamento remoto hiperespectral, argila, componentes minerais, solos tropicais.

ABSTRACT

Systematic soil mapping is a basic information for the sustainable use of the territory, with the need to map soil components such as clay minerals (e.g. kaolinite), fundamental for estimating Soil Organic Carbon (SOC) vs agricultural productivity. The identification of clay minerals in soil by Remote Sensing offers speed, good accuracy, and low cost for large-scale applications, especially considering the new possibilities with the use of hyperspectral sensors. Thus, this work uses data from the hyperspectral sensor PRISMA (PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa) in the region of Piracicaba, SP, and its

application in the mapping of clay minerals in the soil. For that, the PRISMA images were validated with 27 field/laboratory analysis points, considering clay measurements collected in the field. Despite the complexity of the target, the results showed good reproducibility of soil spectra and their diagnostic spectral features (\bar{x} -0.42) associated with clay mineral compounds.

Key words — Hyperspectral remote sensing, clay, minerals compounds, PRISMA sensor, tropical soils.

1. INTRODUÇÃO

O levantamento e mapeamento de solos, assim como a sua caracterização físico-química, constituem informações básicas necessárias em processos de manejo agrícola, programas de reflorestamento, avaliação e serviços ambientais, exploração sustentável de recursos naturais, descarte de resíduos entre outros [1,2]. O conhecimento das propriedades físicas e químicas do solo, bem como sua distribuição na superfície da terra é essencial para a otimização da sua utilização [3]. No entanto, em muitos lugares do mundo, a obtenção de informações sobre o solo, de maneira ágil, é praticamente inexistente, especialmente nos países em desenvolvimento e em regiões tropicais [4,5,6].

Considerando sua importância estratégica, e apesar da implantação de programas recentes de mapeamento em larga escala, como o PRONASOLOS [7], o Brasil ainda possui menos de 5% do seu território com mapeamento de solos em escalas funcionais de 1:100.000 ou mais [8]. Ademais, quando considera-se as características singulares de solos tropicais como regolito espesso e massiva presença de matéria orgânica [9], é notória a necessidade de mapeamentos de seus minerais, enquanto etapa componente de classificações tradicionais de solos argilosos, com destaque para argilominerais como a caulinita e montmorilonita, típicos desses solos e componentes chave para aplicações como: (i) estimativa de COS, (ii) balanço de nutrientes; (iii) produtividade agrícola; e (iv) balanço de

Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) [10], per si, temas estratégicos para a produtividade sustentável na agricultura.

A identificação de argilominerais em solo é particularmente explorada no Sensoriamento Remoto óptico orbital [10]. Mesmo que no Brasil ainda seja um tema pouco aprofundado, o mapeamento remoto desse tipo de componente de solo oferece rapidez, boa precisão e baixo custo. Entretanto, as características típicas de solos tropicais (anteriormente citadas), bem como a carência de sensores ópticos orbitais operacionais, que possuam características técnicas aptas ao mapeamento de argilominerais, tornam essa aplicação ainda um desafio a ser superado.

Dessa forma, esse trabalho avalia dados do sensor hiperespectral PRISMA, lançado em 2019, com vias a sua possibilidade de aplicação para mapeamento de componentes argilominerais no solo. Para tanto foram utilizados dados de campo dos municípios de Tietê, Mombuca e Rafard, região de Piracicaba, SP, e imagem nível L2D, com data de aquisição da cena em 26 de janeiro de 2022.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil, e compreende os municípios de Charqueada, Piracicaba, Rio das Pedras, Saltinho, Mombuca, Iracemápolis, Tietê e Rafard, pertencentes à bacia do Rio Tietê (Figura 1). Essa área apresenta uma robusta cobertura de dados e trabalhos correlatos no local (GeoCis, <http://esalqgeocis.wixsite.com/geocis> e disponibilizado no Projeto Map-Pira em <http://143.107.213.130/mappira/mapas.php>), bem como representa uma das típicas disposições de uso e cobertura da terra do Brasil, com áreas de cultivo e de preservação permanente (APP).

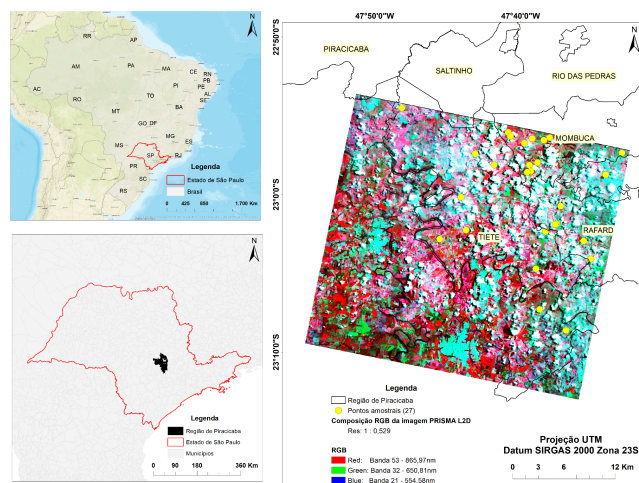


Figura 1. Área de estudo na região de Piracicaba, SP. Os pontos amostrais (27), utilizados neste estudo, estão indicados em cor amarela.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Base de dados - solos

Foram coletadas 27 amostras na camada 0-20 cm, com trado holandês entre os meses de novembro de 2017 e fevereiro de 2018, e submetidos a análises granulométrica (argila) [11]. A escolha de cada ponto foi feita através da criação de uma máscara de solo exposto (MSE) [12] em uma imagem Landsat OLI de 17 de julho de 2017, obtida na plataforma Earth Explorer. Os pontos de amostragem foram selecionados segundo as diferentes classes de solo encontradas na região, a fim de se obter a maior variação espectral na área de estudo.

3.2 Sensor PRISMA

O projeto PRISMA é uma missão desenvolvida e financiada pela Agência Espacial Italiana, constituindo-se num sistema de observação terrestre que combina um sensor hiperespectral (30m) com uma câmera pancromática de média resolução (5 m) com tempo de revisita estimado em 7 dias. A faixa espectral do sensor é de 400 - 1.010 nm (66 bandas) no VNIR (do inglês *Visible and Near Infrared*, 920 - 2.505 nm (174 bandas) no SWIR (do inglês *Short Wave Infrared*), totalizando 234 bandas.

3.3 Base de dados- PRISMA

A aquisição dos produtos PRISMA parte de um cadastro do pesquisador no site <https://prismauserregistration.asi.it/> e da submissão e aprovação de um projeto de pesquisa que contenha a descrição das atividades e produtos a serem gerados com as imagens, a duração do projeto e a área geográfica de interesse.

Após a aprovação por parte da equipe desenvolvedora e aquisição das imagens para a área de interesse, foi necessário importar os dados (imagem nível 2) no sistema de informações geográficas (QGIS - EnMAP BOx).

A imagem PRISMA (L2D) foi processada considerando a mínima alteração dos dados originais, sendo esse um dos objetivos do trabalho, no formato HD5-EOS, incluindo cubo de dados HYP + imagem PAN + metadados; calibração radiométrica; correção atmosférica (reflectância de superfície - ρ) inclusas, totalizando 234 bandas (VIS; NIR e SWIR), com posterior extração das bandas de absorção de água atmosférica (1.349 a 1.549 nm e 1.793 a 1.958 nm).

Para análise de correlação foram consideradas bandas análogas do sensor PRISMA, notoriamente relacionadas às feições espectrais diagnósticas associadas a argilominerais (compostos hidroxilados - OH - e.g. caulinita, montmorilonita, gibsitita), bem como a presença de óxidos/hidróxidos de ferro (e.g. hematita, goethita), enquanto referência de solos argilosos (Figura 2) (Tabela 1). Apesar dos dados de campo não possuírem análise

mineralógica, todos são componentes minerais típicos de solos tropicais, presentes minimamente nos tipos de solos da região, e constituintes de solos com argila [13, 14].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sensores hiperespectrais, por possuírem centenas de bandas contíguas são mais aptos a detecção de alvos, principalmente em regiões de baixa energia do espectro eletromagnético, neste caso o SWIR (1.100-2.500 nm) [15], onde encontram-se as principais feições espectrais diagnósticas (espectro refletido) dos argilominerais. Entretanto, a típica alta relação sinal ruído (do inglês *signal-to-noise* - SNR) desse tipo de sensor [16] torna os trabalhos de validação fundamentais para a avaliação de seu desempenho em campo.

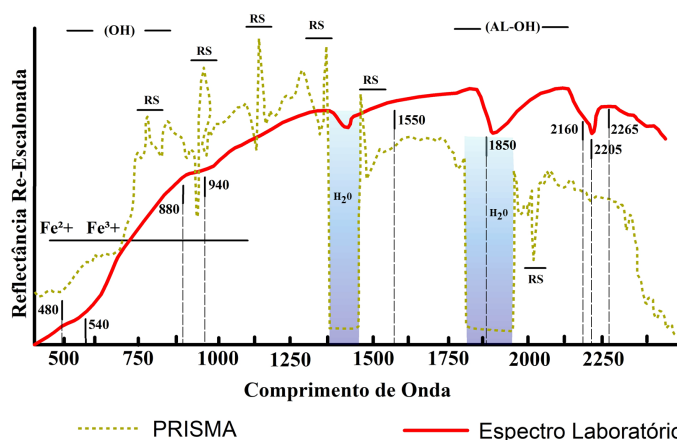


Figura 2. Média de espectros de solo obtidos junto aos pontos de coleta na imagem PRISMA (linha pontilhada). Média de espectros de solo medidos por espectroradiômetro em laboratório (Fieldspec Hig. Res.) sobre amostras dos pontos de campo (linha contínua). Destaques para feições espectrais diagnósticas, bandas de água (H₂O) e ruído sistemático (RS).

Nesse caso, os resultados mostram que as correlações entre bandas do sensor PRISMA e dados de argila medidos em laboratório, foram da ordem de -0.42, em média, com o melhor desempenho na região do VNIR, decrescendo para a região do SWIR. Destaca-se considerável intervalo de bandas com ruído sistemático (RS) nos comprimentos de onda de: (i) VNIR (nm) 749-781, 812-844, 929-978; (ii) SWIR (nm) 120-1.152, 1.338-1.360, 1.448-1.491, 1.774-1.803, 1.949-1.975, 2.001-2.019 (Figura 2).

O maior número de bandas ruidosas no SWIR é consonante com a região do espectro eletromagnético (EEM) de relativa baixa energia [16], portanto, com um previsto incremento da relação sinal/ruído do sensor, o que explica em parte os resultados da análise de correlação, a qual segue a mesma lógica e redução de precisão (Tabela 1).

¹Inflexão do espectro medido (radiação eletromagnética) sobre o alvo causada por absorção vs reflexão oriunda de material contido no mesmo (transições e vibrações eletrônicas) e que pode denotar sua presença e quantidade.

Tais características comprometem em parte, a restituição da contiguidade de bandas relacionadas a feições espectrais diagnósticas, fator desejado e diferencial para sensores desse tipo. Entretanto, tratam-se de resultados dentro do esperado para um sensor hiperespectral, não tendo sido detectado nenhum tipo de anomalia contra-intuitiva, como por exemplo, relação diretamente proporcional entre argila e dados PRISMA, ou variabilidades espúrias no comportamento espectral dos alvos, sendo que a conformação geral da curva espectral do PRISMA demonstra boa reprodução de características espectrais do solo, com razoável detalhamento dos componentes argilominerais (Figura 2).

VNIR		SWIR	
PRISMA (banda - nm)	Argila (lab.) R ²	PRISMA (banda - nm)	Argila (lab.) R ²
485.4	-0.33257	1544.0	-0.3008
478.2	-0.3375	1554.6	-0.30423
887.3	-0.42239	2159.3	-0.25594
919.2	-0.42239	2198.9	-0.2625
988.4	-0.44016	2206.6	-0.24683
		2260.6	-0.2541
		2268.0	-0.26316

Tabela 1. Correlação entre comprimento de onda do sensor PRISMA e dados de argila das amostras de solo coletadas em campo.

Sabe-se dos bons resultados do PRISMA [17], principalmente em regiões de clima temperado. Entretanto, alguns elementos desse trabalho, relacionados à realidade de regiões tropicais, e do próprio alvo sob investigação devem ser ponderados quanto aos valores de correlação alcançados, tais como: (i) a elevada dinâmica de uso e cobertura da terra (quantidade de safras e variação de solo exposto para vegetação), (ii) grande heterogeneidade e pequena dimensão dos alvos na área de estudo, (iii) baixos valores de reflectância de solos com argila, devido a sua associação com matéria orgânica (MO) e presença de água (típico de solos tropicais), derrocando feições espectrais diagnósticas; bem como possíveis variações nos parâmetros de correção atmosférica não considerando condições locais extremas (não abordadas neste trabalho).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A despeito do não uso de processamentos típicos de melhoria do dado hiperespectral [18], observa-se valores de correlação satisfatórios e condizentes com o uso de sensor imageador hiperespectral vs alta complexidade do alvo. Recomenda-se mais estudos com dados PRISMA, sobretudo em condições diferenciadas e que atendam demandas territoriais locais, tendo sido evidente seu bom desempenho na questão da identificação de características de solos argilosos. A robustez e facilidade de uso e acesso dos dados liberam esforço para a aplicação de processamentos tradicionais para a melhoria de resultados, tais como: identificação de pixels puros (*Purity Pure Index*), determinação de valores extremos e Análise por Componentes Principais para redução de ruído e dimensionalidade do dado.

Assim, o sensor PRISMA apresenta franca possibilidade de utilização em mapeamentos e aplicações diversas em regiões de alta complexidade de alvos, como a exemplificada neste trabalho, representando um substancial avanço para a espectroscopia de imageamento.

8. REFERÊNCIAS

- [1] A.V. I Junior, J. A. Almeida, D. P. Dick, and J. Gomes. Apostila de Gênese e Classificação de solos. Faculdade de Agronomia, UFRGS, 2007.
- [2] H. Belinasso, et al. Clay content prediction using spectra data collected from the ground to space platforms in a smallholder tropical area. *Geoderma*, v. 399, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115116>. Acesso em: 25 out. 2022.
- [3] B. Feizizadeh, and T. Blaschke. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *J. Environ. Plan. Manag.* v. 56: pp. 1–23, 2013. <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.646964>.
- [4] B. Mallavan, B. Minasny, and A. McBratney. Homosol, a Methodology for Quantitative Extrapolation of Soil Information Across the Globe. In: Boettinger, J.L., Howell, D.W., Moore, A.C., Hartemink, A.E., Kienast-Brown, S. (eds) *Digital Soil Mapping. Progress in Soil Science*, vol 2. Springer, Dordrecht, 2010. [10.1007/978-90-481-8863-5_12](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8863-5_12).
- [5] B. Minasny, and A.E. Hartemink. Predicting soil properties in the tropics. *EarthScience Rev.* v. 106:pp. 52–62, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.005>.
- [6] F.B.T. Silatsa, F.O. Tabi, M. Yemefack, C. Wilczok, G.B.M Heuvelink, T. Hengl, and J.G.B. Leenaars. Digital soil mapping using soilgrids and national soil data in Cameroon. In: Arrouays, D., Savin, I., Leenaars, J., McBratney, A.B. (Eds.), *GlobalSoilMap - Digital Soil Mapping from Country to Globe*, (1st ed.). CRC Press, Moscow, Russia. 2018. <https://doi.org/10.1201/9781351239707>.
- [7] PronaSolos - Programa Nacional de Solos do Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pronasolos>. Acesso em 02/01/2022.
- [8] Programa de levantamento e interpretação de solos brasileiros é apresentado a especialistas de vários países. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36619863/programa-de-levantamento-e-interpretacao-de-solos-brasileiros-e-apresentado-a-especialistas-de-varios-paises>>. Acesso em 02/01/2022.
- [9] Formação, Classificação e Cartografia dos Solos. FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS. Capítulo 1. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202369/1/Formacao-e-caracterizacao-de-solos-2019.pdf>>
- [10] L.E. Vicente, and C.R. Souza Filho. Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data, *Remote Sensing of Environment*, v. 115: pp. 1824-1836, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.023>
- [11] D. F. U., Salazar, J. A. M., Demattê, L. E. Vicente, C. C.B. Guimarães, V. M. Sayão, Carlos E.P. Cerri, M. C. de C. Padilha, W. De S. Mendes. Emissivity of agricultural soil attributes in southeastern Brazil via terrestrial and satellite sensors. *Geoderma*, 114038 2019. ISSN 0016–7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114038>.
- [12] J.A.M.Demattê, M.R.Alves, F.S.Terra, R.W.D.Bosquilia, C.TFongaro, and P.P.S.Barros. “Is It Possible to Classify Topsoil Texture Using a Sensor Located 800 km Away from the Surface?” *Rev Bras Cienc Solo*. v. 40:e0150335, 2016.
- [13] M.C.C. Padilha, L.E. Vicente, J.A.M.Demattê, D.G.S.W. Loebmann, A. Koga-Vicente, D.F.U. Salazar, and C.C.B. Guimarães. Using Landsat and soil clay content to map soil organic carbon of oxisols and Ultisols near São Paulo, Brazil. *Geoderma Regional*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00253>.
- [14] GMEX Spectral Analysis Guides for Mineral Exploration: CD-ROM, 2008. Editora AusSpec.
- [15] J.R. Jensen. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*; 2nd ed.; Pearson Education India, 2009.
- [16] C. Gomez, A. Gholizadeh, L. Borůvka, and P. Lagacherie, Using legacy data for correction of soil surface clay content predicted from VNIR/SWIR hyperspectral airborne images, *Geoderma*, v. 276: pp. 84-92, 2016, Pages ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.019>.
- [17] E Bedini, and J. Chen. Application of PRISMA satellite hyperspectral imagery to mineral alteration mapping at Cuprite, Nevada, USA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* v.10: pp. 87-94, 2020.
- [18] F. A. Kruse. Comparison of AVIRIS and Hyperion for Hyperspectral Mineral Mapping. 11th Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, Ca, 4-8 March 2002.