

## Caracterização Físicas, Químicas, Mineralógicas e Espectral de Solos da Bacia do Rio Passo da Pedra.

Julio Caetano Tomazoni<sup>1,2</sup>  
Elisete Guimarães<sup>1,2</sup>  
Antonio Sálvio Mangrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão  
Caixa Postal 135; CEP 85601-970 - Francisco Beltrão - PR - Brasil  
caetano@utfpr.edu.br

<sup>2</sup> UFPR - Universidade Federal do Paraná – Departamento de Química  
Universidade Federal do Paraná; Setor de Ciências Exatas; Departamento de Química  
Centro Politécnico - Jd. das Américas; Curitiba - PR. CEP 81531-990 Caixa Postal 515

**Abstract.** This work is a contribution to the knowledge of the spectral behavior of soils. The study was carried out in dystrophic Red Latosol, dystrophic Red Nitosol, haplic Cambisol, Fluvic Neosol and Litholic Neosol, which occur in Passo da Pedra River watersheds, in the Southwest of the State of Parana. Chemical, texture and spectral data were acquired in laboratory and orbital levels. The last set of data were extracted from CCD sensor onboard of CBERS-2 satellite (China Brazil Earth Resources Satellite). The effects of the chemical data and texture on spectra acquired in laboratory were evaluated. Chemical data also acquired in laboratory were correlated with the spectral data from sensors CCD (Couple Charged Device) through the technique of Principal Components Analysis. The results indicated that the spectral answers of laboratory are influenced by mineralogical characteristics and of the texture of organic matter contained in the soil and when correlated with the spectral data of sensor CCD it was verified that for most of the analyzed samples the suffer interference the same ones. The data from the PCs demonstrate the good potential for developing soil studies using spectroscopic data. Of the variables used for studying the soil data, the ones contributing the most for separating or clustering soil samples were OM, textural data, and levels of iron and of TiO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** Spectral behavior of soil; principal components analysis; spectroscopic methods; satellite data.

### 1. Introdução

Nos últimos anos, as técnicas que viabilizam o estudo do comportamento espectral dos solos têm se destacado, uma vez que mediante a coleta de dados radiométricos em laboratório, em campo, a partir de aeronaves e de satélites, possibilitam conhecer características físicas, químicas e mineralógica dos mesmos de forma mais abrangente (Ben-Dor, et al., 2002; Demattê, 2005).

Dentre os diferentes métodos para estudos dos solos, merecem destaque os que usam técnicas espectrofotométricas. A espectrofotometria é o método de análise óptica mais usada nas investigações biológicas e físico-químicas. O espectrofotômetro é um instrumento que permite comparar a radiação absorvida, transmitida, refletida, ou emitida por uma matéria (Brown et al., 2005).

O uso de VIS e IV para caracterizar minerais e matéria orgânica do solo (MOS) ocorre desde a década de 70. Porém, a maioria dos trabalhos fundamentados nas propriedades espectrais dos solos foi enfocada em aplicações de sensoriamento remoto. Recentes melhorias em espectrorradiômetros portáteis dinamizaram o uso dessa tecnologia. Ao mesmo tempo, surgiram aplicativos computacionais de quimiometria e outras ferramentas para uso na caracterização espectral de solos (Islam & Mcbratney, 2005; Brown et al., 2005; Rossel, et al, 2006).

A utilização de imagens multiespectrais orbitais como aquelas dos sensores colocados a bordo do satélite CBERS-2 (Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres - China-Brazil

Earth Resources Satellite), ou similares, tornou-se uma valiosa técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa dos recursos naturais.

O objetivo deste trabalho é estudar a relação entre dados físico-químicos, mineralógicos e espectrais de amostras de solo obtidos em laboratório com dados espectrais dos sensores CCD (Câmera de Alta Resolução) do satélite CBERS 2, utilizando o método de Análise das Componentes Principais (PCA).

## 2. Metodologia de Trabalho

A pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do rio Passo da Pedra (Figura 1), situada no município de Pato Branco no sudoeste do Estado do Paraná, Brasil. A bacia possui uma área de 15,9 km<sup>2</sup>. O clima da região, de acordo com o sistema de "Köeppen" é o Cfb. Em termos geológicos, a bacia hidrográfica é composta de rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral.

Na bacia, como ilustrado em detalhe na Figura 1, dez locais de amostragem foram identificados. Os sítios tinham dimensões de 8 x 8 pixels do sensor CCD - Bandas de 1 a 4 (resolução espacial de 20 m), ou 160 x 160 m, para uma área total de 25.600 m<sup>2</sup> para cada local, em condições diferentes relevos e tipos de solo.

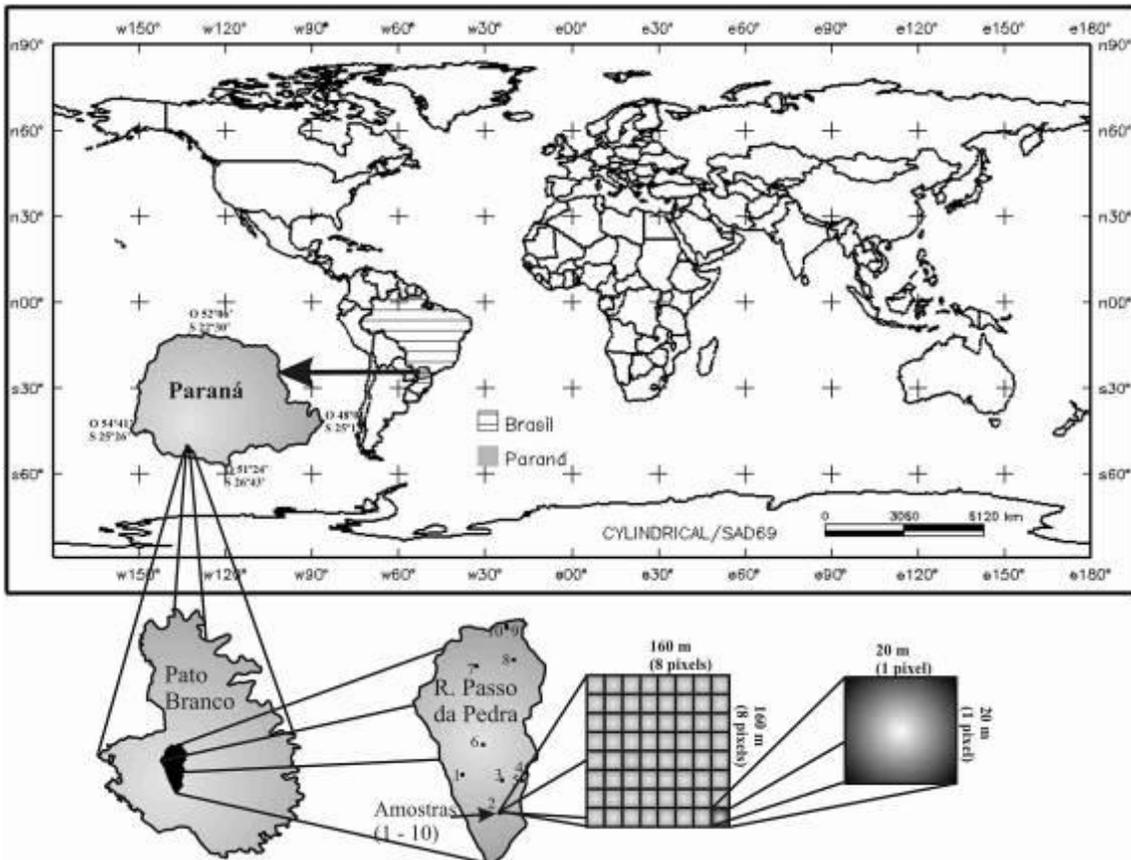


Figura 1 - Mapa Mundi Destacando o Brasil, o Estado do Paraná, o Município de Pato Branco, a Bacia do Rio Passo da Pedra e o Formato dos Sítios de Amostragem

Os sítios de amostragem foram georreferenciados, e em cada um deles foram coletadas aleatoriamente a uma profundidade de 0-20 cm, 10 amostras de solo. Estas foram agrupadas em uma única amostra que representasse a média para o local de amostragem específica. As 10 amostras incluíram os seguintes tipos de solo: 1LVd - Latossolo Vermelho distrófico, 2RU - Neossolos Flúvicos; 3NVd - Nitossolo Vermelho distroférico; 4LVd - Latossolo Vermelho distrófico; 5LVd - Latossolo Vermelho distrófico; 6NVd - Nitossolo Vermelho distroférico ;

7LVd - Latossolo Vermelho distrófico; 8LVd - Latossolo Vermelho distrófico; 9RL - Neossolo Litólico e 10CX - Cambissolo Háptico.

No laboratório, as amostras foram quarteadas, secas, moídas, peneirados em peneira de 2 mm, homogeneizadas e armazenadas em caixas de papelão. As amostras foram submetidas às análises descritas a seguir.

Análises químicas dos parâmetros de fertilidade para determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), pH total (pHSMP) e Matéria Orgânica (MO), realizados no Laboratório da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR) e Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), na Unidade de Pato Branco, de acordo com a metodologia de Pavan & Miazawa (1996).

Espectroscopia no ultravioleta-visível por reflectância difusa (DRUV-VIS). Os espectros foram registrados em temperatura ambiente, em espectrofotômetro Shimadzu UV-2401PC (190 - 900 nm) equipado com o acessório, esfera de integração 240-52454-01; as análises foram realizadas no LABPAM/DQ/UFPR.

Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier por reflectância difusa (DRIFT). Os espectros são registrados em espectrofotômetro BIORAD FTS 3500GX, modelo EXCALIBUR (2cm-1/256 scans, 1550 - 3000 nm). Para as medidas de DRIFT é utilizado o acessório Gemini Difuse Reflectance Sampling Head; as análises foram realizadas no DQ/UFPR.

Fluorescência de raios-X (XRF) - As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia da UFPR, sendo quantificados os 10 óxidos maiores para o solo e vários elementos traços através do Sistema de Fluorescência de Raios X, modelo PW 2400/00, com Sampler Changer 2510, marca PHILIPS ANALITICAL.

Análise física para determinação das frações do solo - A análise granulométrica da TFSA foi realizada segundo os procedimentos convencionais do laboratório da UTFPR/IAPAR, seguindo para isso a sistemática proposta pela EMBRAPA (1997).

Os sítios de amostragem de solo foram caracterizados espectralmente através das imagens do sensor CCD. O primeiro passo foi selecionar a imagem mais adequada da cena 160/129, que abrange a bacia hidrográfica, para avaliação das amostras espectrais dos locais de amostragem. As amostras foram coletadas no mês de agosto.

Ao utilizar o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) 4.2 pacote de software (INPE, 2005), um banco de dados foi criado para a bacia hidrográfica do rio Passo da Pedra em sistemas de coordenadas UTM SAD-69 para a recepção de imagens do sensor.

Na correção de efeitos atmosféricos, usou-se o Programa SCORADIS - Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (Zullo Jr., 2006), que é um aplicativo desenvolvido pelo Centro de Estudos Meteorológicos e Climáticos Aplicados à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP).

### 3. Resultados e Discussão

Para a interpretação das respostas espectrais das dez amostras (Figura 1), os dados físico-químicos (Tabela 1) foram considerados.

A Figura 2 mostra a DRUV-VIS e uma parte do espectro infravermelho próximo. A MO causa forte absorção, reduzindo a reflectância em toda a faixa espectral analisada (220-850 nm). O MO contém grupos reativos de carboxílicos (R-COOH) e compostos fenólicos (Ø-OH), que pode se dissociar e liberar íons H<sup>+</sup>, o que contribui para a acidez do solo. O efeito mais notável da absorção causada pela MO pode ser observado na Figura 2 nos espectros de solos 4LVd, 6NVd, 9RL e 10CX e na Tabela 2 uma vez que ambos apresentam os mais elevados níveis deste componente orgânico.

Tabela 1 – Intervalos espectrais do sensor CCD e faixas correspondentes nos espectros de laboratório.

Bandas do CBERS 2			Bandas de Espectros		
BANDA	Intervalo (nm)	Média (nm)	Espectro	Intervalo (nm)	Média (nm)
CCD1	450 – 520	485	S1	450 – 520	485
CCD2	520 - 590	555	S2	520 – 590	555
CCD3	630 – 690	660	S3	630 – 690	660
CCD4	770 – 890	830	S4	770 – 850	830

Legenda: CCD1 to CCD4 –bandas do sensor CCD, do satélite CBERS-2. Espectro – dados dos espectros (S1 to S4) e bandas do sensor CCD, representados através de valores de reflectância.

Nas amostras dos solos com texturas argilosa, o MO se junta com a fração de argila para formar compostos mais estáveis, que tendem a absorver energia, reduzindo a reflexão. Solo 7LVd (Figura 2) tem baixa reflexão, pois é influenciada pelas características acima mencionadas, bem como pelos óxidos de ferro.

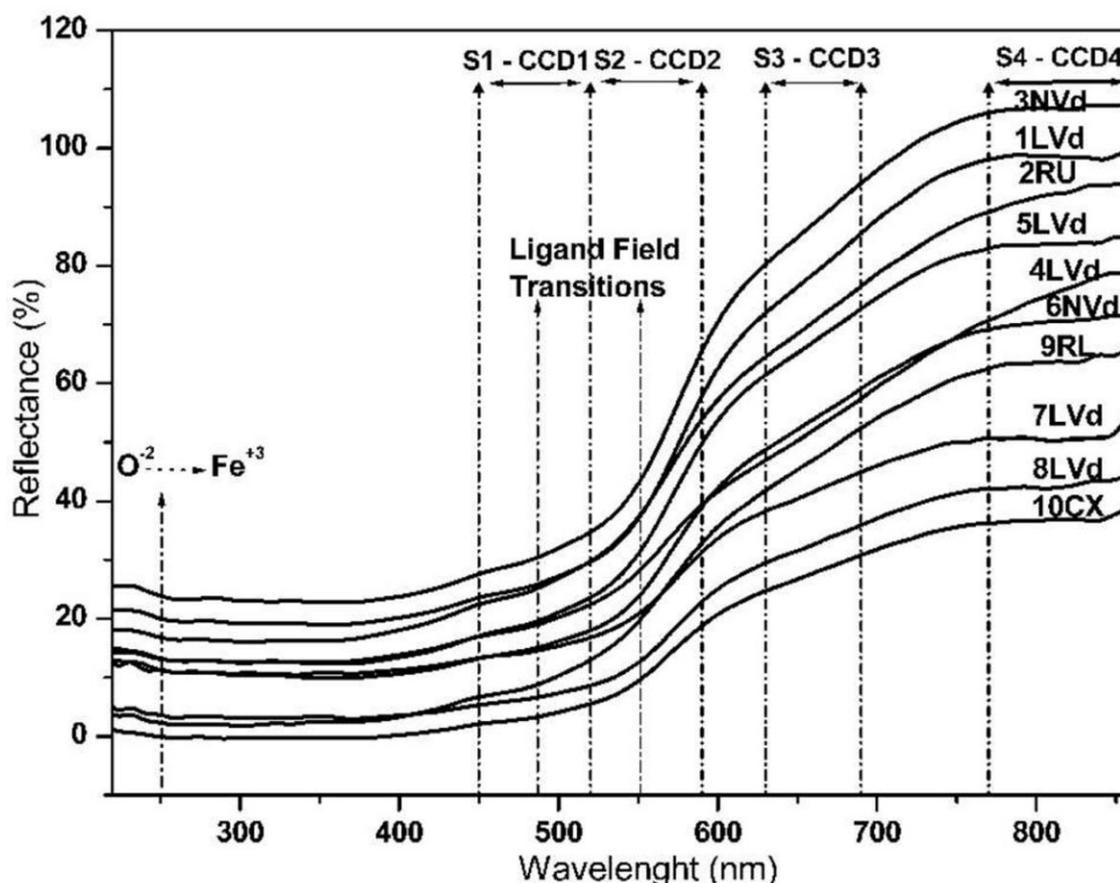


Figura 2 - Espectros que abrangem as regiões visível e infravermelho de solos da bacia do rio Passo da Pedra, com ênfase para as bandas espectrais do satélite CBERS 2.

Os minerais, o íon óxido de ferro, a água e as hidroxilas são os componentes mais importantes para determinar características na faixa reflexiva do espectro (220 a 2575 nm). Os óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita) são comuns nos solos tropicais.

Os altos níveis de ferro reduzem a reflectância de todas as amostras do solo, principalmente amostras 7LVd, 9RL e 10CX, em todo o espectro (220 - 850 nm) (veja a Figura 2 e Tabela 2). Uma característica perto de 485-550 nm (Figura 3) é atribuído ao  ${}^6A_1 + {}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1(4G) + {}^4T_1(4G)$  excitação de um par de Fe-Fe na estrutura da hematita, enquanto a banda de perto de 650 nm corresponde a  ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1(4G)$  de transição de estruturas da

goethita e hematita. Recursos de energia mais elevada, em comprimentos de onda acima de 250 nm, são atribuídas às transições ligante-metal de transferência de carga (BTC) em estruturas de óxido de ferro ( $\text{Fe}^{3+}\text{-O}^{2-} \rightarrow +$ ) (Sherman e Waite, 1985; Fukamachi et al, 2007). Aspectos de energia mais elevada, em comprimentos de onda acima de 250 nm, são atribuídas às transições metal-ligante de transferência de carga, em estruturas de óxido de ferro ( $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) (Sherman e Waite, 1985; Fukamachi et al, 2007).

Table 2 – Physico-chemical analyses and spectral data, both from satellite data and from the laboratory, of the soils from the Passo da Pedra River watershed.

Variável	SAMPLES										
	1LVd	2RU	3NVd	4LVd	5LVd	6NVd	7LVd	8LVd	9RL	10CX	
Físico Químico	Clay (%)	32,00	38,00	29,00	32,00	39,00	47,00	55,00	59,00	22,00	29,00
	Sand (%)	27,00	23,00	19,00	24,00	21,00	14,00	17,00	11,00	32,00	21,00
	Silte (%)	41,00	39,00	52,00	44,00	40,00	39,00	28,00	30,00	46,00	50,00
	MO (%)	4,02	4,69	4,02	8,04	4,02	4,69	3,35	3,35	6,70	5,36
Espectros fluorescência	SiO <sub>2</sub> (%)	29,60	33,10	34,00	30,70	31,60	31,70	28,90	31,00	29,20	26,80
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	21,90	21,30	22,70	21,70	24,00	24,90	24,00	25,60	21,60	25,80
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	18,90	18,30	18,70	17,90	18,90	16,90	21,60	18,00	21,80	19,70
	TiO <sub>2</sub> (%)	4,80	5,90	6,50	4,90	5,70	4,70	5,10	4,60	6,30	5,40
Bandas CCD	S1	15,00	17,00	16,00	13,00	15,00	13,00	9,00	8,00	12,00	7,00
	S2	21,00	25,00	24,00	20,00	22,00	18,00	12,00	11,00	19,00	11,00
	S3	72,00	60,00	78,00	46,00	61,00	55,00	39,00	34,00	56,00	34,00
	S4	89,00	86,00	95,00	70,00	81,00	69,00	45,00	45,00	69,00	41,00
Bandas CCD	CCD1	15,00	6,00	7,00	7,00	8,10	12,50	10,00	14,00	9,00	9,00
	CCD2	20,00	11,00	12,10	12,00	15,00	16,60	17,00	21,00	14,00	14,00
	CCD3	30,00	19,50	18,00	17,50	22,00	27,00	26,00	32,00	19,00	19,00
	CCD4	38,82	30,37	27,90	26,43	31,75	35,68	33,22	42,44	30,78	30,99

Legenda: CBERS 2 sensor - CCD; MO - Matéria Orgânica; Espectros - Os dados dos espectros (S1 a S4) e bandas do CCD (CCD1 para CCD4) sensor são representados pelo modo de os valores de reflectância.

As características texturais também interferem na resposta espectral dos solos. Nas amostras com níveis mais elevados de silte e areia, há uma tendência para reduzir a interferência, especialmente a partir da MO, aumentando a resposta espectral. Para amostras 1LVd, 2RU, 3NVd e 5LVd, que apresentam valores semelhantes para a MO (valores intermediários), no entanto, o teor de areia e silte são significativos, e as respostas espectrais são elevadas.

Para construir as relações entre os dados espectrais de laboratório, análises físico-químicas e dados de satélite, o método PCA (Análise de Componentes Principais) exploratória foi utilizado. Os dados foram avaliados em duas matrizes composto de dez amostras por doze variáveis.

O método de Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizado por meio do Módulo PLS-Toolbox do software Matlab 6.5 (MATHWORKS, 2006).

A primeira matriz contém as análises físico-químicas e os dados espectrais, obtidos em laboratório. As dez amostras são caracterizadas por diferentes tipos de solo sob o manejo de plantio direto. As doze variáveis são compostos de dados texturais (areia, silte e argila), dados químicos (MO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>), e dados espectrais, obtidos em laboratório nas regiões do VIS (450-850 nm) e NIR (1650 - 2650 nm). Estas regiões correspondem aos intervalos das bandas espectrais do sensor CCD. Essas variáveis foram escolhidas devido a sua interferência direta sobre a resposta espectral dos solos.

O tratamento dos dados revelou 9 PCs para um total de 100% da variância acumulada. Deste conjunto, 5 PCs foram separados para a avaliação do conjunto de dados, e estas representaram 98,48% da variância.

Figura 3 mostra que PC1 é responsável pela diferenciação entre os solos com maior e menor resposta espectral. No quadrante positivo, os solos 1LVd, 2RU, 3NVd e 9RL estão associados com o sinal de espectros (ECCD1 - ECCD4), e as variáveis areia, silte e  $\text{SiO}_2$  com o aumento da resposta espectral. O solo 9RL está neste quadrante, devido às proporções de areia e silte e não por causa da resposta espectral. No lado negativo estão solos 2RU, 7LVd, 8LVd e 10CX, separados pelas proporções de argila e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que interferem para reduzir a resposta espectral.

A PC2 (Figura 3) separa os solos devido ao seu nível de desenvolvimento. No quadrante positivos estão amostras 9RL e 10CX, que são solos mais jovens (eluvial) e têm altos teores de silte, areia e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que constituem os minerais primários presentes no solo. No lado negativo estão os solos mais desenvolvidos, como 6NVd e 8LVd, que são compostos de elevados níveis de argila.

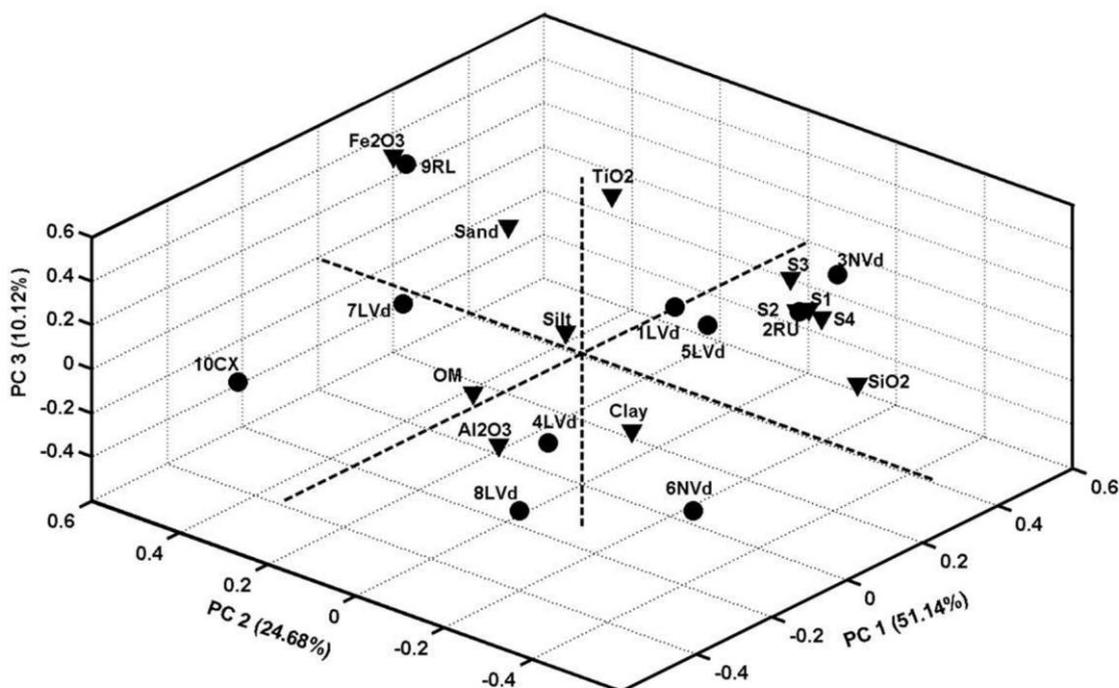


Figura 3 - Dispersão de Componentes Principais (PC1 PC2 x PC3 x) dos espectros.

Na PC3 (Figura 3) no quadrante positivo, o solo 7LVd é separado, devido ao maior conteúdo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  relativamente elevado. Na parte negativa o solo 4LVd, está separado devido ao maior teor de MO. PC4 e PC5 não têm uma participação significativa no modelo para caracterizar a resposta espectral.

A Análise de Componentes Principais (PCA) validou os métodos espectroscópicos de laboratório, permitindo o agrupamento ou separação dos espectros e as variáveis que apresentam maior interferência na resposta espectral. Observou-se que o PCA permitiu a identificação de diferentes níveis de desenvolvimento dos solos (solos jovens e maduros). A MO e Fe ficaram em quadrantes separados, possivelmente devido a maior participação de ferro estar na forma de hematita.

A Análise de Componentes Principais (PCA) também foi utilizada para avaliar o potencial do sensor CCD sobre o estudo da resposta espectral do solo. A segunda matriz utilizada neste estudo é composto por 10 amostras e 12 variáveis, com os dados espectrais das bandas do sensor CCD (CCD1, CCD2, CCD3 e CCD4) do satélite CBERS-2 e os dados físico-químicos (areia, silte, argila, MO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{TiO}_2$ ). O tratamento dos dados revelou 9 PCs para um total de 100% da variância acumulada. Deste conjunto, foram

separados cinco PCs, que representam 98,26% da variância, para a avaliação do conjunto de dados.

A Figura 4 mostra que PC1 (54,42%), contém as seguintes amostras no quadrante positivo: 1LVd, 2RU, 6NVd, 7LVd e 8LVd. As variáveis bandas CCD1, CCD2, CCD3 e CCD4, teor de argila, e  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ , e  $TiO_2$  contribui para colocar essas amostras nesse quadrante. A argila atenua a resposta espectral, porém, o sensor CCD não identifica a interferência deste mineral na resposta espectral.

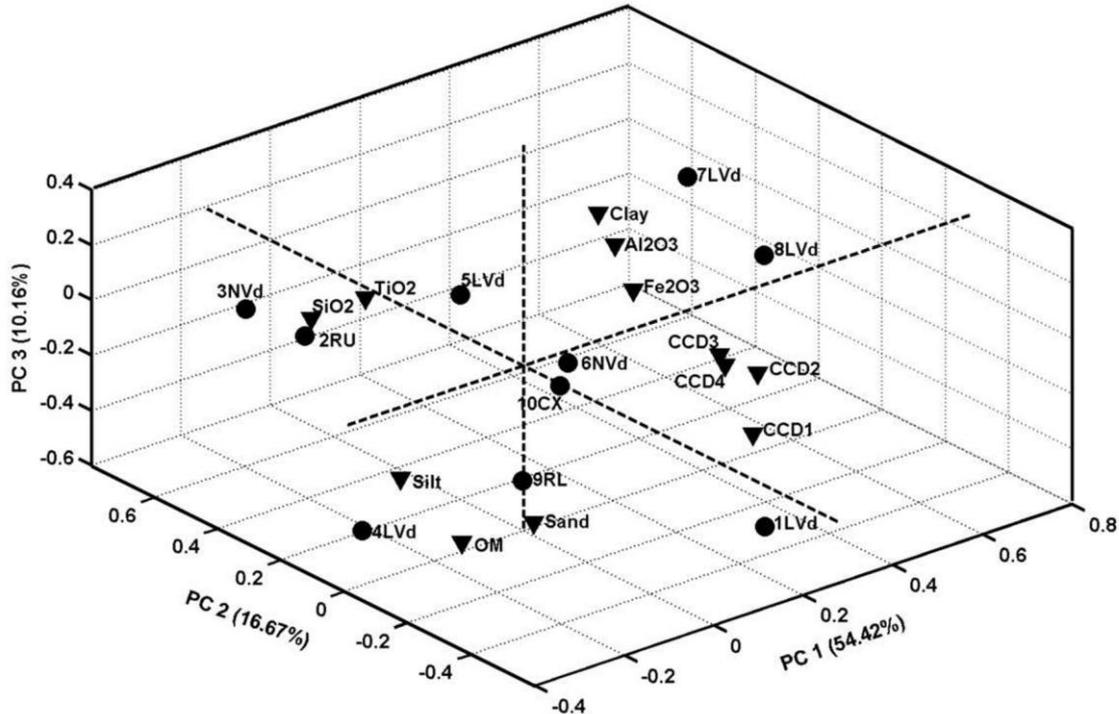


Figura 4 - Dispersão de Componentes Principais (PC1 PC2 x PC3 x) das bandas.

As amostras 3NVd, 4LVd e 9RL estão na parte negativa da PC1 (Figura 4). A MO tem uma maior influência sobre 4LVd amostra eo teor de areia na amostra 9RL. Amostras 2RU e 3NVd são separados devido ao teor de silte

Em contraste com o PCA dos espectros, as bandas não separam as amostras de solo com as variáveis que intensificam a resposta espectral. As variáveis argila e óxido de alumínio, que atenuam a resposta espectral, são encontrados, juntamente com as bandas no quadrante positivo, separando amostras 7LVd e 8LVd, que apresentam alta resposta espectral dos espectros obtidos no laboratório. Amostras 4LVd e 9RL, que mostram os maiores teores de MO, estão correlacionados com a resposta espectral.

As respostas espectrais obtidas a partir do sensor CCD separa, na parte negativa, as amostras 4LVd, 9RL e 10CX devido ao teor de MO, demonstrando que, nas condições atuais, o CBERS-2 CCD (fase de desenvolvimento e melhorias) pode ser uma promessa para os estudos sobre a resposta espectral do solo.

Na avaliação do comportamento espectral (Figura 4) das amostras, medida pelo CBERS 2 bandas (CCD1 a CCD4), é importante mencionar que os dados obtidos representam uma resposta do alvo (sítio amostral) de forma intacta. Ou seja, com os restos de cultivo, ervas daninhas, e até mesmo a possibilidade de uma cultura em estágio vegetativo inicial. Todos estes dados contribuem na resposta espectral de cada pixel. As variáveis dos espectros obtidos no laboratório, tais como a ECCD1 a ECCD4, surgem a partir de uma amostra coletada no respectivo sítio de amostragem, sendo que o material foi homogeneizado e seco, sem presença de restos de cultivo.

Os dados das PCs das Figuras 3 e 4 demonstram o bom potencial para o desenvolvimento de estudos de solo, através de dados espectroscópicos. Dentre as variáveis usadas para estudar os dados do solo, os que mais contribuíram para a separação ou agrupamento das amostras de solo foram MO, os dados texturais, e os níveis de ferro e de  $\text{TiO}_2$ .

#### 4. Conclusões

Os dados físico-químicas, quando analisada pelo método descrito, demonstrou que a resposta espectral da MO, caulinita, gibbsita, óxidos de ferro, e textura (areia, silte e argila) apresenta a maior interferência. Os dados sobre o óxido de alumínio e silicatos também são importantes, mas estes já estão incluídos nos aspectos de textura.

O uso de Análise de Componentes Principais para avaliar 12 variáveis, incluindo as análises físico-químicas e dados de espectroscopia de laboratório, bem como os dados espectrais do satélite CBERS-2, demonstrar que este método é adequado na avaliação de amostras de solo, uma vez que as amostras foram separadas, agrupadas pelas mesmas características.

A utilização de imagens do sensor CCD, apresenta limitações devido à interferência entre o satélite e o solo (remanescentes de cultivo, ervas daninhas, ângulo de projeção de encostas e relevo). Recomenda-se que, em estudos futuros, os locais de coleta sejam ampliados e preparados com antecedência, deixando intactos 50% e 50% arado e nivelado. A porção de o solo arado e livre de interferências (restos de cultura, ervas daninhas). Outro aspecto é a necessidade de controle de radiação na superfície, umidade do solo, e da espessura óptica da atmosfera e, coletar amostras na data e hora do imageamento do solo pelo satélite. A espectrômetro portátil também poderia ser usado para coletar dados espectrais de campo sob condições naturais, e então ele poderia ser usado também no laboratório para repetir as medições em um ambiente controlado.

#### Referências Bibliográficas

- Ben-Dor, E., Quantitative remote sensing of soil properties. **Advances in Agronomy**, 75: 173-243, 2002.
- Brown, D. J., et al., Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, 04, 25, 2005.
- Demattê, J. A. M., et al, Visible-NIR reflectance: A new approach on soil evolution. **Geoderma**, 121: 95-112, 2005.
- EMBRAPA, **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro, (1997).
- Fukamachi, C. R. B., et al., Use of  $\text{Fe}^{3+}$  ion probe to study the stability of urea-intercalated kaolinite by electron paramagnetic resonance. **J. Col. Interf. Sci.**, 313: 537-541, 2007.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SPRING Versão 4.2. 2005
- Islam, K., A. Mcbratney., S. B., Rapid estimation of soil variability from the convex hull biplot area of topsoil ultra-violet, visible and near-infrared diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, 128: 249-257, 2005.
- MATHWORKS, Matlab 6.5. The Language of Technical Computing. Version 6.5.0.180913a Release 13. Licença do DQ/UFPR, 2006.
- Pavan, M. A. & Miyazawa. M. **Análise Química de Solos: parâmetros para interpretação**. Londrina-PR: IAPAR, 1996.
- Rossel, R. A. V., et al., Visible, near infrared, mid infrared, or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, 131, (1-2), 59-75, 2006.
- Sherman, D. M., Waite, T. D. Electronic Spectra of  $\text{Fe}^{3+}$  Oxides Hydroxides in the Near IR to Near UV. **American Mineralogist**, 70, 1262-1269, 1985.
- Zullo Jr, J., SCORADIS - Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite. Versao LITE - CBERS/CCD/IRMSS, 2006.