Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Influência de diferentes coberturas orgânicas e inorgânicas na informação hiperespectral da camada superficial de Latossolos

Marco Antonio Melo Bortoletto

Dissertação apresentada para obtenção de título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba 2010 Marco Antonio Melo Bortoletto Engenheiro Agrônomo

Influência de diferentes coberturas orgânicas e inorgânicas na informação hiperespectral da camada superficial de Latossolos

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ

Dissertação apresentada para obtenção de título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba 2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Bortoletto, Marco Antonio Melo Influência de diferentes coberturas orgânicas e inorgânicas na informação hiperespectral da camada superficial de Latossolos / Marco Antonio Melo Bortoletto. - - Piracicaba, 2010. 78 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010. Bibliografia.

1. Adubos 2. Cana-de-açúcar 3. Cobertura do solo 4. Corretivos do solo 5. Latossolos 6. Sensoriamento remoto I. Título

CDD 631.4 B739i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus, pela vida, pela saúde, e pela família com que me presenteou.

Ofereço

A minha mãe e meus avos,

Maria de Lourdes, Carmem & Isidoro

Aos meus tios, tias e primos

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que sempre esteve comigo, e que sempre me motivou a nunca desistir e fazer o meu melhor, mesmo nas épocas mais turbulentas, e por fim, ter me presenteado com a melhor família que eu poderia ter.

A minha família que sempre me ajudou, apoiou, e vibrou com cada conquista adquirida até este momento da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Alexandre M. Demattê, pelo apoio, amizade, orientação.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelos ensinamentos transmitidos.

Ao programa de pós-graduação em Ciência do Solo e a sua comissão Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado; Prof. Dr. Luís Reynaldo Ferraciú Alleoni; Prof. Dr. Miguel Cooper.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos estagiários do Laboratório de Sensoriamento Remoto, Júlio, Marstons e Fernando pela agradável convivência diária e pela amizade.

Aos amigos Rodnei, Fabricio, Leonardo, Suzana, Simone, Gustavo, Salsa e Dito.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, Dorival, João, Luís Silva e todos os outros que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do meu trabalho.

A todos que de alguma forma fizeram parte da minha vida e que me ajudaram, direta ou indiretamente, nestes anos na ESALQ.

Muito Obrigado !

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	
Referências	
2 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA INFORMAÇÃO HIPER	RESPECTRAL DA
CAMADA SUPERFICIAL DE LATOSSOLOS	
Resumo	19
Abstract	
2.1 Introdução	20
2.2 Material e métodos	
2.2.1 Coleta e preparo dos solos	
2.2.2 Coleta e preparo das coberturas vegetais	
2.2.3 Preparo dos tratamentos	
2.2.4 Obtenção dos padrões espectrais no sensor de laboratório	23
2.2.5 Aquisição da porcentagem de recobrimento do solo	
2.2.6 Simulados para sensores orbitais	
2.2.7 Análise Estatística	
2.3. Resultados e Discussão	
2.3.1 Estudo dos padrões espectrais dos solos e coberturas vegetais	26
2.3.2 Influência de cobertura verde no padrão espectral dos solos	31
2.3.3 Palha	
2.3.4 Cinza	45
2.3.5 Folha verde e palha	
2.3.6 Palha e Cinza	45
2.3.7 Linha do solo	
2.3.8 Simulados para orbitais	
2.4 Conclusões	
Referências	51

3 INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ADUBOS E CORRETIVOS NA INFORMAÇÃO HIPERESPECTRAL DA CAMADA SUPERFICIAL DE LATOSSOLOS

Resumo

Abstract

3.1 Introdução	56
32 Material e métodos	
3.2.1 Coleta e preparo dos solos	
3.2.2 Coleta e preparo das coberturas vegetais	
3.2.3 Amostragem e preparo dos adubos e corretivos	58
3.2.4 Preparo dos tratamentos	
3.2.5 Obtenção dos padrões espectrais no sensor de laboratório	59
3.2.6 Aquisição da porcentagem de recobrimento do solo	60
3.2.7 Análise Estatística	61
3.3 Resultados e Discussão	61
3.3.1 Estudo dos padrões espectrais dos solos, adubos e corretivos	61
3.3.2 Calcário dolomítico	64
3.3.3 Calcário calcítico	64
3.3.4 Gesso	
3.3.5 Yoorim	
3.3.6 Torta de filtro	71
3.4 Conclusões	
Referências	77

RESUMO

Influência de diferentes coberturas orgânicas e inorgânicas na informação espectral da camada superficial de Latossolos

A necessidade de desenvolver técnicas mais rápidas e menos onerosas no estudo dos solos, não apenas no setor agrícola como ambiental, criou espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias, entre elas o sensoriamento remoto, no entanto, faz-se necessário entender o impacto do manejo nas assinaturas espectrais dos objetos. Neste sentido, este trabalho teve por objetivos: (i) avaliar o grau de alteração da assinatura espectral de diferentes classes de solos em resposta a presença de coberturas vegetais sobre os mesmos; (ii) avaliar o grau de alteração da assinatura espectral de diferentes classes de solo em resposta a aplicação de fertilizantes e corretivos (iii) Comparar os resultados obtidos em laboratório e comparar com dados orbitais multi e hiperespectrais. Para isso, foram coletadas amostrados as seguintes classes de solo: Latossolos vermelhos de textura muito argilosa, argilosa e média arenosa, e Latossolo vermelho ferrico de textura argilosa. Eles foram secos em estufa (65 °C) por 48 horas, moídos e peneirados em malha 2 mm. As coberturas utilizadas no experimento foram: folhas verdes de cana-deacúcar, palha, cinza, folhas verdes e palha, palha e cinza, calcários (dolomítico e calcítico), gesso, yoorim e torta de filtro. Para cada combinação de solo e cobertura foram elaborados 10 tratamentos com diferentes dosagens, e aplicados sobre os solos com uma balança de precisão. Os tratamentos foram encaminhados para leituras com um sensor de laboratório e em seguida fotografados, para posterior quantificação das proporções de solo e cobertura presentes nos tratamentos. As curvas espectrais foram analisadas visualmente por parâmetros como forma, intensidade de reflectância e inclinação, análise de remoção do espectro contínuo, derivada e por fim análise de agrupamento por método de cluster. Os dados de espectro foram posteriormente utilizados para a simulação das bandas dos satélites LandSat Tm 5, Aster, Spot 5 e Hyperium, e os resultados comparados com o obtido em laboratório. Os resultados obtidos nos tratamentos com coberturas vegetais, de forma geral, mostraram que as doses mínimas resultaram em algum grau de alteração da assinatura espectral dos solos, em pelo menos um dos três parâmetros estudados. Entretanto, quando avaliados pela análise de agrupamento, observam-se que as mudanças não foram suficientes para que estatisticamente fossem separados os solos dos demais tratamentos contendo cobertura vegetal. A semelhança dos tratamentos contendo a dosagem mínima dos adubos e corretivos com o padrão espectral dos solos variaram em função das características intrínsecas a cada um dos solos e das doses recomendadas a cada um deles. As informações quando simuladas para os sensores orbitais multiespectrais mascararam a grande maioria das feições de absorção relacionadas aos solos e coberturas, com exceção dos tratamentos relacionados às folhas verdes.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Cana-de-açúcar; Adubos e corretivos

ABSTRACT

Influence of different organic and inorganic coverage in spectral information of the surface layer of Oxisols

The need to develop techniques faster and less costly in the study of soils, not only in agriculture and environmental issues, created space for the development of new technologies, including remote sensing, however, it is necessary to understand the impact of management the spectral signatures of objects. Thus, this study aimed to: (i) assess the degree of change in the spectral signature of different soil classes in response to the presence of vegetation on them, (ii) assess the degree of change in the spectral signature of different classes soil in response to application of fertilizers and lime (iii) to compare the results obtained in the laboratory and compared with multi-and hyperspectral satellite data. For this, samples were collected the following types of soil: red Oxisols of clayey, sandy clay and medium, and red ferric Oxisol clay texture. They were dried in an oven (65 ° C) for 48 hours, ground and sieved at 2 mm mesh. The covers used in the experiment were: leaves of sugar cane, straw, gray green leaves and straw, and gray, limestone (calcite and dolomite), gypsum, yourim and filter cake. For each combination of soil and cover 10 treatments were prepared with different dosages, and applied on soils with a precision balance. The treatments were sent to a sensor readings with laboratory and then photographed for later measurement of the proportion of soil and cover these treatments. The spectral curves were analyzed visually by parameters such as shape, intensity of reflectance and slope, analysis of removal of a continuous spectrum, and finally derived by cluster analysis method of cluster. The spectral data were subsequently used for the simulation of the bands of Landsat TM 5, Aster, Spot 5 and Hyperium, and the results compared with those obtained in the laboratory. The results obtained in the treatments with cover crops, in general, showed that the minimum doses resulted in some degree of change in the spectral signature of soils, in at least one of the three parameters. However, when evaluated by cluster analysis, observed that the changes were not sufficient to be statistically separated from the other treatments the soils containing vegetation. The similarity of the treatments containing the minimum dosage of fertilizer and lime with the spectral pattern of the soils varied depending on the characteristics intrinsic to each of the soils and the recommended dose for each of them. Information when simulated for orbital multispectral sensors masked the great majority of absorption features related to soil and toppings, except for treatments related to leafy greens.

Keywords: Remote sensing; Sugarcane; Fertilizer; Limestone

1 INTRODUÇÃO

As atividades agrossilvopastoris são responsáveis em mais de 90% pela ocupação das terras. São praticadas diversas culturas desde a escala da subsistência, passando pelas pequenas e médias organizações rurais, até as grandes empresas agro-industriais. Nos últimos anos a produção agrícola tem aumentado substancialmente graças aos ganhos na produtividade e, principalmente, pela expansão da área cultivada. Esta expansão tem sido acompanhada de consideráveis impactos ambientais negativos. Porém, há profundas idiossincrasias regionais, particularizando cada situação e constituindo uma ampla gama de desafios técnico-científicos. O sensoriamento remoto representa hoje um dos principais instrumentos para o monitoramento de uma realidade tão ampla e dinâmica (EMBRAPA, 2010).

Entende-se por sensoriamento remoto toda coleta de dados sobre um objeto ou fenômeno sem que ocorra contato físico entre o mesmo e o coletor (LILLESAND; KIEFER, 1987). Em última análise, esses dados são compostos por radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto em estudo. A radiância é uma das principais grandezas físicas que explicam estas interações, principalmente para comprimentos de onda relativos ao visível e ao infravermelho (400 a 2500 nm), bases para o sensoriamento remoto óptico (JENSEN, 2000). Para um melhor entendimento e caracterização da radiação eletromagnética dos alvos, trabalha-se com o fator de reflectância (razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo incidente sobre o alvo), o que permite a medição da resposta espectral do alvo de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, que quando aplicados em um gráfico são conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais (MILTON et al., 2007).

Os experimentos espectroradiométricos são de grande importância para o sensoriamento remoto, pois possibilitam analisar e interpretar o significado da informação espectral referente aos diferentes materiais que integram os alvos e objetos sob análise (MILTON, 1987; SCHAEPMAN-STRUB et al., 2006; MILTON et al., 2007). Uma forma de analisar essas informações é por meio das feições de absorção ocorrente na curva espectral de cada objeto. Eles são identificados no espectro de reflectância como depressões ou picos negativos, indicando absorções da radiação eletromagnética pelos átomos ou moléculas dos constituintes presentes no material.

Quando o alvo de estudo é o solo, seu comportamento ou assinatura espectral depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica, que por sua vez estão

ligadas à matéria orgânica (DALMOLIN, 2002; DEMATTÊ et al., 2003), óxidos de ferro (DEMATTÊ et al., 2003; MADEIRA NETTO, 1991; STONER et al., 1991), mineralogia da fração argila (CHABRILLAT et al., 2002; DRURY, 2001), o tamanho das partículas (COLEMAN et al., 1990; DRURY, 2001; MENESES; MADEIRA NETTO, 2001), a rugosidade e a umidade do solo (HUMMEL et al., 2001; MULLER; DÉCAMPS, 2001; STONER; BAUMGARDNER, 1981).

Informações espectrais do solo e outros alvos podem ser obtidos utilizando sensores terrestres, sejam eles adaptados para campo ou laboratório. Eles também podem ser equipados a bordo de aeronaves (aérea) e satélites (orbital). A utilização de um sensor ou de outro, em determinado nível de coleta de informações, depende de fatores relacionados ao objetivo de pesquisa, tamanho da área imageada, disponibilidade do equipamento, custo e precisão desejada (BEN-DOR et al., 1999; MOREIRA, 2003). As informações obtidas com sensores de laboratório ou campo, geralmente apresentam alta resolução espectral e ficam próximos dos objetos de estudo. Já os sensores equipados em maquinas aeroransportados e principalmente em satélites, seus produtos ou imagens podem ser diferenciados a partir de suas especificações quanto a sua resolução, e que neste caso e composto por quatro, sendo elas: resoluções espaciais, espectrais, temporal e radiométrica. A primeira indica o tamanho do menor objeto que é possível representar em uma imagem, também denominado de pixel. A resolução espectral indica a quantidade de regiões do espectro eletromagnético nas quais o sensor é capaz de gerar uma imagem em níveis de cinza. Atualmente ela também é base para a classificação dos sensores em multi e hiperespectrais. A resolução temporal corresponde ao intervalo de tempo em dias ou horas, que o sistema demora em obter duas imagens consecutivas da mesma região sobre a Terra. Por fim, a resolução radiométrica corresponde ao número de bits utilizado para armazenar os números digitais de cada pixel.

As leituras feitas em sensores terrestres são realizadas sob condições controladas, não sofrendo interferências atmosféricas e alterações de iluminação. Também é eliminada a interferência de objetos externos comumente encontrados em áreas agrícolas, resultantes do manejo, como vegetação em vários níveis de desenvolvimento, corretivos e fertilizantes. Os dados de laboratório permitem compreender os princípios físicos e químicos da reflectância do solo e são os principais responsáveis pela obtenção dos padrões espectrais "puros" dos solos, para posterior validação por sensores orbitais (BEN-DOR et al., 1999).

Portanto, a hipótese testada neste trabalho é que os padrões espectrais de solos considerados puros, quando acrescentado qualquer objeto estranho na sua superfície, mude seu comportamento espectral, de forma que o resultado original e o atual sejam visualmente e estatisticamente diferentes.

Desta formar, o presente trabalho teve por objetivos:

1- Utilizando um sensor de laboratório, analisar a assinatura espectral de Latossolos, com variações nos teores de argila e ferro, sob adição de doses crescentes de coberturas vegetais, adubos e corretivos. Com base nessas informações, pretende-se identificar as faixas espectrais aonde ocorrem essas mudanças e por meio de análise estatística, determinar se a assinatura espectral dos solos pode ser separada dos tratamentos.

2- Usar as informações obtidas com o sensor terrestre para simular o comportamento espectral de sensores orbitais como Landsat, Áster, Spot e Hyperium, e assim verificar se a resolução espectral interfere na qualidade dos resultados obtidos anteriormente.

O trabalho foi realizado em capítulos, sendo cada um deles referente a um estudo individualizado, porém, cada tema segue em ordem cronológica de raciocínio. Isto foi realizado para um melhor entendimento das relações existentes entre os solos e os diferentes níveis de obtenção de dados sensoriais.

Referências

BEN-DOR, E.; IRONS, J.R.; EPEMA, G.F. Soil reflectance. In: RENCZ, A.N. (Ed.). **Remote** sensing for the earth sciences: manual of remote sensing. 3rd ed. New York: John Wiley, 1999. p. 111-188.

CHABRILLAT, S.; GOETZ, A.F.H.; KROSLEY, L; OLSON, H.W. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 82, p. 431-445, 2002.

COLEMAN, S.W.; CHRISTIANSEN, S.; SHENK, J.S. Prediction of botanical composition using NIRS calibrations developed from botanically pure samples. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 202-207, 1990.

DALMOLIN, R.S.D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002.151 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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, p. 451-464, 2003.

DRURY, S.A. **Image interpretation in geology.** 3rd ed. Malden: Blackwell Science, 2001. 266 p.

EMBRAPA.. Disponível em: <http://www.embrapa.br/>. Acesso em: 10 maio 2010.

HUMMEL, J.W.; SUDDUTH, K.A.; HOLLINGER, S.E. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 32, p. 149-165, 2001.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2005. 526 p.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 2nd ed.. Hoboken: John Wiley, 1987.

MADEIRA NETTO, J.S. **Etude quantitative des relations constituants minéralogiques reflectance diffuse des latosols brésiliens**: applications à l'utilisation pedologique des données satellitaires TM (région de Brasilia). 1991. 238p. Tese (Doctorat em Sciense du Sol) - Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1991.

MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J.S.M. (Org.). Sensoriamento remoto: reflectância e alvos naturais. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 157-199 p.

MILTON, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 1807-1827, 1987.

MILTON, E.J.; SCHAEPMAN, M.E.; ANDERSON, K.; KNEUBUHLER, M.; FOX, N. Progress in field spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, p. S92-S101, 2009.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

MULLER, E.; DÉCAMPS, H. Modeling soil moisture: reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 76, p. 173-180, 2001.

SCHAEPMAN-STRUB, G.; SCHAEPMAN, M.; PAINTER, T.; DANGEL, S.; MARTONCHIK, J. Reflectance quantities in optical remote sensing: definitions and case studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, p. 27-42, 2006.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1161-1165, 1981.

STONER, E.R.; DERKSEN, I.; MACEDO, J. Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1599-1606, 1991.

2 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA RESPOSTA ESPECTRAL DA CAMADA SUPERFICIAL DE LATOSSOLOS

Resumo

Com o aumento crescente de pesquisas voltadas ao uso sensoriamento remoto a nível orbital na agricultura, faz-se necessário um estudo com sensor ao nível de terrestre para a obtenção dos padrões espectrais resultantes da interação entre os solos e da cultura instalada. Neste sentido, este trabalho teve por objetivos, o de avaliar o grau de alteração da assinatura espectral de diferentes classes de solos em resposta a presença de coberturas vegetais sobre os mesmos e comparar os resultados obtidos em laboratório com dados orbitais multi e hiperespectrais. Foram coletadas amostrados as seguintes classes de solo: Latossolos vermelhos de textura muito argilosa, argilosa e média arenosa, e Latossolo vermelho ferrico de textura argilosa. Eles foram secos em estufa (65 °C) por 48 horas, moídos e peneirados em malha 2 mm. As coberturas utilizadas no experimento foram: folhas verdes de cana-de-acúcar, palha, cinza, folhas verdes e palha, palha e cinza, e para cada um deles foram elaborados 10 tratamentos com diferentes dosagens. Os tratamentos foram encaminhados para leituras com um sensor de laboratório e em seguida fotografados. As curvas espectrais foram analisadas por parâmetros como forma, intensidade de reflectância e inclinação, análise de remoção do espectro contínuo, derivada e por fim análise de agrupamento por método de cluster, e posteriormente utilizados para a simulação das bandas dos satélites Landsat Tm 5, Aster, Spot 5 e Hyperion. Nos tratamentos referentes às folhas verdes, as assinaturas espectrais dos solos tiveram alteração de seu padrão para todas as dosagens aplicadas, quanto à intensidade de reflectância e forma, com destaque para a feição de absorção referente à clorofila na banda de 645 nm, e também mudanças gradativas das feições de absorção referentes à mineralogia dos solos. A adição de palha e a cinza gerou mudanças apenas na reflectância, concavidade das curvas na faixa de 450 a 600nm e nas feições de absorção da mineralogia dos solos em 2200 nm. Nos tratamentos contendo misturas de folhas verdes e palha, a alteração do padrão espectral dos solos variou principalmente em função da dose aplicada sobre eles, e não pela diferença de proporção em peso entre as misturas. Nas misturas contendo palha e cinza, a mudança do comportamento espectral dos solos variou principalmente com relação à intensidade de reflectância, sendo esta, relacionada diretamente com a proporção em peso de cada uma das três misturas. No entanto, quando foram analisadas pela remoção do espectro contínuo, as mudanças na forma, principalmente na faixa de 450 a 600 nm, variaram em função da dosagem. As análises de agrupamento, de forma geral, mostraram que as alterações no padrão espectral dos solos em função das dosagens mínimas não foram suficientes para agrupá-los separadamente. Os dados simulados para sensores orbitais, mostram que apenas o sensor Hyperion foi capaz de reproduzir todas as feições de absorção obtidas pelo sensor terrestre, entretanto, nos tratamentos relacionados às folhas verdes, foi possível distinguir a mudança do padrão do solo em relação aos tratamentos, na banda relacionada à clorofila, para todos os satélites multiespectrais estudados.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Vegetação; Palha; Cinza

Abstract

With the increasing use of research aimed at orbital remote sensing in agriculture, it is necessary to study sensing the level of land to obtain the spectral patterns resulting from the interaction between soil and culture installed. Thus, this study aimed, to evaluate the degree of change in the spectral signature of different soil classes in response to the presence of vegetation on them and compare the results obtained in the laboratory with multi-and hyperspectral satellite data. Samples were collected the following types of soil: red Oxisols of clayey, sandy clay and medium, and red ferric Oxisol clay texture. They were dried in an oven (65 ° C) for 48 hours, ground and sieved at 2 mm mesh. The covers used in the experiment were: leaves of sugar cane, straw, gray green leaves and straw, and gray, and for each 10 treatments were prepared with different dosages. The treatments were sent to laboratory for sensor readings and then photographed. The spectral curves were analyzed for parameters such as shape, intensity of reflectance and slope, analysis of removal of a continuous spectrum, and finally derived by cluster analysis cluster method, and subsequently used for the simulation of the bands of Landsat TM 5, Aster, Spot 5 and Hyperion. In treatments relating to green leaves, the spectral signatures of land had altered its standard for all doses applied, and the intensity of reflectance and shape, especially the feature on the chlorophyll absorption band at 650 nm, and also changes the gradual absorption features related to the mineralogy of soils. The addition of straw and ash generated only changes in reflectance, concavity of the curves in the range of 450 to 600nm and the absorption features of the mineralogy of the soil at 2200 nm. In treatments containing mixtures of green leaves and straw, to change the spectral pattern of soils varied mainly depending on the dose applied on them, and not by the proportion differences in weight between the mixtures. In blends containing straw and gray, the change of the spectral behavior of soils varied mainly with respect to the intensity of reflectance, which is, directly related to the proportion by weight of each of the three mixtures. However, when analyzed by removing the continuous spectrum, changes in shape, mainly in the range 450-600 nm, varied depending on the dosage. Cluster analysis, in general, showed that changes in the spectral pattern of soils on the basis of minimum doses were not sufficient to group them separately. The simulated data for orbital sensors showed that only the sensor Hyperiom was able to show all the absorption features produced by the earth sensor, however, in treatments related to leafy greens, it was possible to distinguish the different patterns of soil in relation to treatments the band related to chlorophyll, for all satellite multispectral studied.

Keywords: Remote sensing; Vegetation; Straw; Ash

2.1 Introdução

A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. Os maiores índices de aumento de área são encontrados em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na presente safra, está estimada em 8.091,5 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. Os maiores índices de aumento de área são encontrados em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. São Paulo continua sendo o maior produtor com 54,35% (4.397,5 mil hectares) seguido por Minas Gerais

com 8% (647,7 mil hectares), Paraná com 7,5% (607,9 mil hectares), Goiás com 7,4% (601,2 mil hectares), Alagoas com 5,74% (464,6 mil hectare), Mato Grosso do Sul com 4,2% (339,7 mil hectares) e Pernambuco com 4,1% (334,2 mil hectares). Nos demais Estados Produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

As extensas áreas agrícolas e a necessidade contínua em aumentar a produtividade mostram que as tecnologias de ponta são importantes, aumentando a eficiência com qualidade ambiental. Dentro do processo de planejamento agrícola de qualquer cultura, e principalmente da cana-de-açúcar, o entendimento do solo é parte importante do sistema solo, planta, clima. Das técnicas que vêm sendo estudadas têm-se o sensoriamento remoto. Tal sistema tem inúmeras vantagens e pode ser utilizado em várias fases do processo agrícola, tais como levantamento e caracterização de solos, detecção de áreas erodidas, planejamento das áreas a serem preservadas, uso da terra, detecção de pragas e doenças, entre outras. Seu surgimento é antigo, mas, com as necessidades de manutenção da qualidade ambiental e aumento da eficiência, novos estudos vêm sendo realizados.

A importância do sensoriamento remoto reside no fato do sistema obter informações sobre um objeto ou alvo (planta, solo, água) sem ter nenhum contato direto com ele. Isto abre um leque de vantagens como, ganho de tempo na aquisição da informação, não polui o ambiente (pois não se utiliza de nenhum produto químico) e pode avaliar grandes áreas

Contudo, o monitoramento e levantamento de solos por meio de sensores remotos possuem o agravante de sofrer interferência pelos diversos usos e coberturas da terra, como vegetação, edificações entre outras que recobrem o solo e interceptam suas respostas espectrais, condicionando mudanças em sua informação.

Mais especificamente no que se refere ao levantamento de solos em áreas de canaviais, SOUZA et al. (2005) lembram que no sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (*mulch*) denominada palha ou palhada. Ela recobre grandes áreas nas épocas de corte da cana, o que dificulta a avaliação e observação dos solos realizada por meio de técnicas de sensoriamento remoto ao nível orbital ou aéreo. Para extrair a corretamente informações dos solos por meio da interpretação de imagens orbitais, é preciso primeiramente conhecer seu comportamento espectral sem que haja qualquer tipo de influência do meio físico. Desta forma, Demattê (1999) sugere o conhecimento dos solos primeiramente pela radiometria em laboratório, que reflete a realidade mais próxima do objeto de estudo.

O objetivo do trabalho foi o de avaliar as mudanças no espectro de diferentes classes de solo decorrente da adição de cobertura vegetal (folha verde, palha e fuligem) provenientes de áreas comerciais com cultivo da cana-de-açúcar e, por meio disso, estabelecer quando o padrão de espectro de cada solo é claramente alterado e quando isso acontecer, qual será o valor correspondente em cobertura. Infere-se que, cada objeto seja ele parte do solo ou vegetação, possui uma interação com a energia absorvida e refletida, fonte esta proveniente da radiação solar, portanto, a hipótese de trabalho é que esta resposta seja única para cada classe de solo, assim como, para os elementos adicionados sobre eles.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Coleta e preparo dos solos

Os locais de coleta de solo foram definidos com base em cartas semidetalhadas de solos da região de Araraquara, e inseridos em aparelho com sistema GPS, norteando a chegada até as áreas escolhidas. Foram coletados aproximadamente 12 quilos de terra (0-20 cm), das seguintes classes de solo: Latossolos Vermelhos com textura variando de muito argiloso à médio-arenoso (LV1, LV2, LV3, LV4) e Latossolo Vermelho férrico de textura argilosa (LVf2). Parte do material amostrado foi encaminhada para análises física (granulométrica - método do densímetro) e químicas (análise padrão de fertilidade e ataque sulfúrico, RAIJ et al., 2001). O restante das amostras foram secas em estufa (65° C) durante 48 h e passadas em peneiras de malha 2 mm.

2.2.2 Coleta e preparo das coberturas vegetais

Em visita de campo, foram coletados: folha verde (folhas novas) e palhada. A folha verde foi "pulverizada" em um processador de alimentos, e o produto desta etapa foi peneirado em malha de 2m. A palhada foi separada em dois montantes, sendo a primeira, seca em estufa durante 48 horas a 65°C e processado em moinho tipo Willey. O restante foi colocado num latão de tinta (previamente lavado retirando qualquer impureza), e queimado até o ponto de cinza. Esse

material foi transferido para recipiente plástico, e nele inserido bolinhas de gude, de forma que, quando agitado reduziu o tamanho das partículas. Todas as coberturas depois de prontas, foram armazenadas em sacos plásticos com *ziploc* \mathbb{R} e mantidas em ambiente refrigerado à temperatura de 5°C.

2.2.3 Preparo dos tratamentos

O experimento foi elaborado da seguinte forma: 4 solos (S1-LV1; S2-LVf2; S3-LV2; S5-LV4), 5 coberturas (C1-Verde; C2-Palha; C3-Fuligem; C4-Verde e Palha; C5-Palha e Cinza), 9 tratamentos, sendo este ultimo composto por diferentes dosagens dos produtos anteriormente citados. As dosagens referentes ao verde, palha e fuligem foram calculadas com base no peso de cada material, necessário para recobrir totalmente o solo. No caso dos tratamentos com mistura de produtos (Mvp: verde + palha e Mpc: palha + cinza), foi estabelecido 3 níveis, considerando o seu calculo em peso: I (75% de cobertura 1 e 25% cobertura 2), II (50% de cobertura 1 e 50% de cobertura 2) e III (25% de cobertura 1 e 75% de cobertura 2).

2.2.4 Obtenção dos padrões espectrais no sensor de laboratório

As placas de petri foram totalmente preenchidas com solos e então encaminhadas para uma balança de precisão (quatro dígitos), onde, com o auxilio de uma peneira de malha 2mm, foi distribuído manualmente sobre a superfície do solo. Em seguida, eles foram dispostos sob o sensor para leitura do espectro e nele tomado três leituras em diferentes posições.

O aparelho possui a seguinte geometria: o sensor esta em posição vertical a 8 cm de distância da plataforma na qual apoiam-se as amostras para leitura. A área de leitura é de aproximadamente 2 cm². A fonte de iluminação utilizada é uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionada a 35 cm da plataforma e com um ângulo zenital de 30°.

2.2.5 Aquisição da porcentagem de recobrimento do solo

Com o objetivo de quantificar as proporções de solo e cobertura de cada tratamento, eles foram fotografados após a leitura no sensor. Para isso, foi utilizada uma câmera digital convencional, fixada a um tripé, e posicionada perpendicular às placas de petri. As imagens foram importadas no programa ENVI 4.2, recortada nas dimensões 1300x 1300 pixels (Figura 2)

e classificadas utilizando o método de classificação supervisionada (com algoritmo de máxima verossemelhança). Para tanto, foram estabelecidas três regiões de interesse (ROI), sendo elas: Solo, Cobertura (folhas verdes, palha, cinza, folhas verdes e palha, e palha e cinza) e Sombra. Deve-se ressaltar que a sombra é um dos elementos que altera significativamente a resposta espectral de um alvo (MADEIRA NETTO, 2001), logo, sua porcentagem foi considerada ao identificar os alvos contidos em cada tratamento.

2.2.6 Sensores orbitais

As utilizadas para simulação de informações dos satélites Landsat 5 TM, Aster, Spot 5, Hyperium foram utilizados apenas para níveis de comparação simples, e as mesmas foram feitas para o Latossolo Vermelho de textura argilosa.

2.2.7 Métodos Estatísticos

Análise de agrupamento

As informações espectrais de cada tratamento foram organizadas em tabela, inseridas no programa JMP 7 e aplicada análise de componentes principais. Foram consideradas para a próxima etapa na análise estatística os dois primeiros PC's, e quando a soma dos primeiros não atingisse 99% da variabilidade dos dados, foi acrescentado novos PC's (PC3, PC4, etc). Eles foram então utilizados na análise de agrupamento pelo método de cluster K-means, conhecido por atribuir a associação de clusters minimizando e maximizando a distância entre eles. Em K-means, a palavra means (médio) refere-se ao centróide do cluster, que é um ponto de dados escolhido arbitrariamente e refinado de modo interativo até apresentar a média real de todos os pontos de dados do cluster. O "K" refere-se a um número arbitrário de pontos que são usados para propagar o processo de cluster. O algoritmo K-means calcula as distâncias euclidianas quadradas entre os registros de dados de um cluster e o vetor que representa a média do cluster é convertido em um conjunto de k clusters, quando essa soma atinge um valor mínimo. Além disso, atribui a cada ponto de dados exatamente a um cluster e não permite incertezas na associação, e ela é expressa como uma distância do centróide.

O conjunto de dados associados aos tratamentos com folhas verdes, palha e cinza foi fixado para três grupos, sendo eles: Solo (Sx, para x = 1, 2, 3 e 5), solo com coberturas em diferentes dosagens (SxTz, para x = 1, 2, 3 e 5 e z = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10) e cobertura (Cy, para y

= 1, 2, 3, 4 e 5). Foram avaliados duas misturas, a primeira delas com folhas verdes e palha (Mvp), e uma segunda com palha e cinza (Mpc), e para cada um deles estabeleceu-se o número de grupos de cluster para sete, sendo eles: Solo (Sx, para x = 1, 2, 3 e 5), Mvp/Mpc I, II e III, e por fim o solo com coberturas em diferentes dosagens (1, 2 e 3 referentes ao Mvp/Mpc I; 4, 5 e 6 referentes ao Mvp/Mpc II; 7, 8 e 9 referentes ao Mvp/Mpc III).

Os resultados da análise de grupamento foram avaliados em conjunto com as informações das curvas espectrais, remoção do espectro contínuo e autovetores dos componentes principais, com o objetivo de verificar a qualidade das componentes principais utilizadas na análise de agrupamento. No caso de um resultado insatisfatório, o componente de menor peso foi retirado do conjunto de variáveis e uma nova análise de agrupamento realizada.

Remoção do espectro contínuo

A técnica de remoção do continuo e uma das novas metodologias utilizada para avaliar espectros de reflectância hiperespectrais. Esta técnica consiste em remover as feições continuas dos espectros, onde o continuo é uma função matemática utilizada para isolar bandas de absorção particulares dos espectros de reflectância, permitindo qualificar a análise espectral (CLARK; ROUSH, 1984).

Para CLARK (1999) a remoção do contínuo e um meio de normalizar espectros de reflectância, o que torna possível comparar feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum. Pode ser definida como uma superfície convexa ajustada a parte superior de uma curva espectral, que utiliza segmentos de linha reta a partir da ligação dos máximos locais da curva (MUTANGA et al., 2004). O processo de remoção do contínuo é realizado por meio de uma divisão dentro do espectro para normalizar as bandas de absorção em uma referencia comum. Portanto, os valores de reflectância são normalizados em 1,0 de tal forma que os pontos dos espectros resultantes sejam ajustados entre o contínuo e os espectros menores que um, onde ocorrem feições de absorção. O processamento de remoção do espectro contínuo no programa ENVI 4.2.

Derivada

No cálculo da primeira derivada do espectro de reflectância em relação ao comprimento de onda λ , para um determinado ponto *n*, foi realizada uma aproximação numérica (central ou simétrica, neste caso) por um esquema de diferenças finitas. A equação 1 foi usada para estimar a primeira derivada da curva espectral obtida para cada ponto (conforme descrito em RUDORFF et al., 2007):

$$\frac{ds}{d\lambda}\Big|_{n} \approx \frac{\rho(\lambda_{n+1}) - \rho(\lambda_{n-1})}{2\Delta\lambda},$$

na qual $\lambda\Delta$ é a separação entre bandas adjacentes ($\Delta = \lambda_j - \lambda_i$ para $\lambda_j > \lambda_i$, com o intervalo entre as bandas constante) e $\rho(\lambda_n)$ é o valor do espectro na faixa de comprimento de onda λ_n . A segunda derivada foi obtida aplicando-se a equação 1 na curva resultante da primeira derivada. As misturas foram excluídas dessa análise, pois já estão sendo representados nas análises com as coberturas individuais.

Linha do solo

O conceito de linha do solo envolve geralmente a relação entre os valores de radiância ou reflectância das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, mas na prática não existe uma linha do solo geral ou única que represente adequadamente todos os tipos de solos. A partir dos espectros de reflectância dos tratamentos, simulou-se os intervalos espectrais relacionados às bandas três e quatro do sensor Landsat 5 TM. Os resultados foram agrupados por tipo de cobertura (Cy para y = 1, 2, 3), e então avaliados. As misturas foram excluídas dessa análise pois já estão sendo representados nas análises com as coberturas individuais.

2.3 Resultado e Discussão

2.3.1 Estudo dos padrões espectrais dos solos e coberturas vegetais

Os solos estudados apresentam curvas espectrais com baixa reflectância, nas regiões do visível e do infravermelho (Figura 1a), e esta de acordo com a literatura encontrada (DEMATTÊ et al., 2005; FORMAGGIO et al., 1996). De maneira geral, conforme a variação de textura, de muito argiloso (LV1) para médio-arenoso (LV4), ocorreu variação na forma e intensidade de reflectância das curvas espectrais (Figura 1a). Segundo Meneses e Madeira Netto (2001), a

distribuição das partículas do solo e a presença de diferentes argilominerais influem na sua resposta espectral. Resultados semelhantes com relação a textura foram observados em outros trabalhos (SOUSA JUNIOR, 2005), notadamente quando a areia era dominada por quartzo (RESENDE et al., 2005), e também devido aos baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de Fe, corroborando com o que foi observado neste trabalho. De fato, observa-se que a mudança de forma e o aumento da intensidade de reflectância das curvas espectrais também variaram em função dos teores de matéria orgânica e ferro (Tabela 1).

No caso da matéria orgânica, ela teve maior influência no albedo ao longo de todo o espectro óptico, principalmente na faixa de espectro 350-1150 nm. Quanto ao teor de ferro livre nos solos, sua redução resultou em menor intensidade nas feições de absorção, visualizado principalmente na região do visível e infravermelho próximo (Figura 1a), o que corresponde aproximadamente aos comprimentos de onda de 550 e 950 nm, resultados estes que estão de acordo com o encontrado na literatura (OBUKHOV; ORLOV, 1964; MONTGOMERY, 1976; FORMAGGIO et al., 1996; DEMATTÊ; GARCIA, 1999; GALVÃO et al., 1997; DALMOLIN et al., 2005). Ainda vale destacar que, o LVf2 foi o que apresentou menor intensidade de reflectância mesmo quando comparado ao solo de mesma classe textural (LV2), entretanto, foi o solo com maiores teores de matéria orgânica e ferro, que de certa forma ilustra influência destas componentes na curvas espectral dos solos.

Nas curvas espectrais referentes as coberturas (Figura 1b), para os tratamentos verde e/ou palha (C1; C2; Mvp I, II e III), observam-se variações na intensidade de feições de absorção em diversas regiões do espectro, e que conforme informação encontrada na literatura (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001), foram igualmente separadas em três faixas do comprimento de onda, para uma melhor discussão dos resultados. A primeira corresponde à região do visível, onde os pigmentos (clorofila, carotenos e xantofilas) existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Nela aparecem duas regiões de absorção, que correspondem a 445 nm (região do azul), referente aos pigmentos predominantes na folha, e em 645 nm (região do vermelho), sendo este ultimo referente à clorofila. Quando são comparados esses tratamentos entre si, torna-se claro que à medida que a folha verde aproxima-se do estado fisiológico da palha, estas bandas de absorção são atenuadas, o que provavelmente esteja relacionado a deterioração destes pigmentos. Isso foi constatado por Souza et al. (1996), que ao avaliar a influência do tempo e armazenamento no deterioramento de folhas de *Eucalyptus grandis*, observaram que as condições de estresse

ocorreram na região do visível, o que corrobora com os resultados observados. Quando estas informações são extrapoladas para o campo, segundo Guyot (1995), a redução da pigmentação fotossintetizante das folhas, e consequente modificação da região referente ao visível, também pode ser causada por ataque de pragas, doenças, problemas fisiológicos e condições ambientais adversas.

A segunda região corresponde ao infravermelho próximo, é caracterizado pela literatura (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001) como sendo de baixa absorção da radiação eletromagnética e considerável espalhamento interno da folha, e portanto, próxima de uma constante. Gates et al. (1965) determinaram que para esta faixa do espectro, a reflectância espectral das folhas é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, e que de maneira geral, quanto mais lacunosa for sua estrutura interna, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e consequentemente, maior será a energia reflectância. Neste caso, a figura 1b ilustra que, a folha verde de cana-de-açúcar utilizada no trabalho, apresenta grande espalhamento da radiação eletromagnética, inclusive com uma absorção suave na faixa dos 1200 nm. Novamente, quando ela passa por mudanças fisiológicas, se aproximando do padrão da palha, ocorre uma grande mudança com relação ao espalhamento da energia dentro da estrutura da folha, resultando em uma mudança drástica quanto a sua forma, reduzindo inclusive a intensidade da feição de absorção vista na folha verde. Segundo Meneses e Madeira Netto (2001), essa feição de absorção esta relacionada a água na estrutura da folha, registrado por volta dos 1100 nm.

Por fim, existe uma ultima região, que corresponde ao infravermelho de ondas curtas (1300 a 2000 nm), e nela predominam feições de absorção referente à água líquida presente na estrutura da folha. Em termos mais pontuais, a absorção ocorreu mais fortemente em 1450 e 1950 nm para todos os tratamentos e estão de acordo com as informações encontradas na literatura (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001). Também foram observadas uma leve absorção na faixa dos 1750 e uma mais intensa em 2100 nm. Outro detalhe observado e que ao comparar as curvas espectrais da folhas verde e seca (palha), observa-se que em geral, elas sofreram mudança somente em relação ao seu albedo. Quando são acrescentados os tratamentos referentes as misturas de verde e palha, essa idéia é reforçada, elucidando que existe um aumento gradativo quanto a intensidade de reflectância dos tratamentos com quantidade decrescente de folha verde e crescente de palha. Resultados semelhantes foram observados por Kumar (1972) em folhas de

milho, onde a redução do conteúdo de umidade resultou em maior quantidade de energia eletromagnética refletida pela planta, em todo o intervalo do espectro óptico, e portanto, esta de acordo com o encontrado neste trabalho.

Por fim, ao avaliar os dados espectrais da cinza e sua interação com a palha (C2; C3; Mpc I, II, III), observa-se que a primeira, dentro do comprimento de onda estudado (350-2350), não possui feições de absorção evidentes. Quando interagi com a curva espectral da palha, para o tratamento com maior quantidade de cinza em relação à palha (Mpc I), o resultado foi uma leve alteração no albedo da curva. Mesmo ao comparar o tratamento de maior proporção de palha com a mesma pura, observa-se que o aumento no albedo ainda é pequeno. No entanto, já é possível observar algumas feições de absorção que originalmente fazem parte do padrão espectral da palha, principalmente no infravermelho próximo, referente às feições de absorção de umidade e de componentes como a lignina e celulose presentes na estrutura da palha.



Figura 1 - a) Curvas espectrais dos solos, sendo eles: S1- Latossolo Vermelho textura muito argilosa; S2 - Latossolo Vermelho férrico textura argilosa; S3 - Latossolos Vermelho textura argilosa; S4 - Latossolo Vermelho textura média-arenosa. b) Curvas espectrais das coberturas, sendo elas: C1 - folha verde; C2 - Palha; C3 - Cinza; Mvp I, II e III (misturas entre folha verde e palha); Mpc I, II e III (misturas entre palha e cinza)

Solos	Areia	Silte	Argila	MO	PH CaCl ₂	Р	K	Ca	Mg	Al	H+A1	Fe ₂ O ₃
	0⁄0			g.kg		mg.dm ⁻³	Mmolc.dm ⁻³				%	
S 1	22	5	73	26	5	13	3	25	7	1	36	13
S2	31	13	56	26	5	8	3	9	1	1	42	19
S3	58	2	40	17	5	8	5	19	6	1	34	10
S5	76	1	23	16	4	5	3	37	12	1	42	3

Tabela 1 - Análise física e química dos solos estudados

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

2.4.2 Influência de cobertura verde no padrão espectral dos solos

Para todos os solos, à medida que foi acrescentada cobertura verde sobre eles, ouve aumento no albedo das curvas espectrais (Figura 2). Também foi possível visualizar, mesmo que gradativo, a feição de absorção da clorofila (650 nm) na faixa do visível, no tratamento com menor dose de cobertura verde, para todos os solos. Entretanto, Miura et al. (2001) ao estudarem o efeito de folhas adultas verdes de *Ficus elástica* Roxb (Moraceae) na assinatura espectral de solos, constataram que na faixa do visível (350 a 750 nm) as feições dos solos foram dominantes em relação à vegetação, exceto quando a situação foi de 100% de cobertura verde, resultados estes que não estão de acordo com os encontrados no presente trabalho.

Mesmo para maiores dosagens, observa-se que feições de absorção ligadas às folhas, em especial as relacionadas aos pigmentos, nas bandas próximas a 450 nm, começam a predominar sobre as características espectrais dos solos (Figura 1). Na feição de absorção do solo relacionada aos óxidos de ferro, próximo aos 950 nm, tende a ser eliminada à medida que e aumentada a quantidade de cobertura sobre o mesmo. Nos solos na qual esse constituinte do solo é maior, como no caso do LVf2, esse resultado é mais marcante. Na faixa espectral correspondente a mineralogia dos solos (aproximadamente entre 2200 e 2300 nm), as feições de absorção foram dominantes, inibindo as feições oriundas da vegetação, mas foram afetadas pelas mesmas, atenuando a intensidade dessas feições de absorção, e somente mudando de forma quando o alvo é a vegetação, para ambas as situações, com solo e vegetação e ela em sua forma pura. Alias, esses tratamentos diferiram em intensidade de reflectância em geral, para todo o comprimento de onda, indicando que o solo mesmo coberto inteiramente pela vegetação, tem influência sobre ela. As metodologias de remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem confirmaram os

resultados referentes aos tratamentos contendo solo e vegetação, e neste caso, que os tratamentos contendo 100% de cobertura vegetal diferiram apenas na intensidade de reflectância. Resultados semelhantes foram observados por Miura et al. (2010), que atribuíram as mudanças no intervalo do visível a falhas no recobrimento da área com folhas e no infravermelho às características físicoquímicas dos solos, pois a folha não é totalmente opaca para estes comprimentos de ondas, permitindo que parte da radiação infravermelha atingisse o solo e refletisse para o sensor. Os resultados referentes ao infravermelho foram observados no presente trabalho, entretanto, no caso do visível, como verificado em outros tratamentos com proporções de solo e vegetação, se houvesse falha no recobrimento do tratamento com 100% de cobertura, essa faixa teria alterações quanto a sua forma, o que não acontece quando analisado os gráficos de remoção do espectro contínuo.



Figura 2 – Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem respectivamente, para tratamentos com folhas verdes

Quando as informações espectrais foram analisadas por análise de agrupamento (Tabela 2), observa-se que de forma geral todos os tratamentos na qual continham apenas solo (S1, S2, S3 e S4), foram agrupados com tratamentos que continham doses menores de cobertura, com distâncias aos centróides satisfatórios para serem considerados como agrupamentos de cluster. No caso do S1 (LV1), os tratamentos com cobertura verde inferiores a 26.82 % (S1T1; S1T2; S1T3; S1T4; S1T5) com uma distância máxima ao centróide do agrupamento de cluster de 0,67. Os tratamentos com maiores proporções de cobertura verde, com até 51,06% (S1T6; S1T7 e S1T10) formaram o segundo agrupamento, com distância máxima ao centróide de 0,66. Por fim, os tratamentos com 100% de cobertura (C1 e S1C1) formaram o terceiro agrupamento, com distância máxima ao centróide de 0,70, resultados estes que confirmam a existência destes três agrupamentos de cluster.

Para o solo S2 (LVf2) (Tabela 2), os tratamentos que continham proporções de cobertura verde inferiores a 18,56%, (S2; S2T1; S2T2; S2T3) formaram o primeiro agrupamento de cluster, com distância máxima do centróide de 0,58. O segundo agrupamento foi formado pelos tratamentos com porcentagem de cobertura verde maior que 18,56 %, chegando até os 100% para tratamento contendo solo (S2C1). Entretanto, quando analisado pelos valores de distância (1,51), observa-se que ele ficou muito acima dos outros tratamentos do mesmo grupo. Isso indica que este tratamento não e caracterizado como parte do agrupamento de cluster, mas sim um possível novo agrupamento. O fato desse tratamento não estar agrupado com o tratamento contendo também 100 % de verde, fortalece os resultados anteriores, indicando que o solo realmente pode estar influenciando na sua assinatura espectral, em todo o comprimento de onda. O terceiro agrupamento foi formado contendo apenas o tratamento com 100% de cobertura (C1), sem a presença do solo, com valor nulo na distância ao centróide.

Os tratamentos relacionados ao S3 (LV2) (Tabela2), mostram que para proporções de cobertura verde inferiores a 34,39 % formaram o primeiro agrupamento de cluster, com distância máxima ao centróide de 0,82. O segundo agrupamento foi formado por tratamentos com porcentagem de cobertura superiores a 34,39%, e assim como o LVf2, incluiu o tratamento contendo 100% de cobertura sobre uma camada de solo (S3C1), com distância ao centróide de 1,51. Esse valor indica que ele pode ser caracterizado como um novo agrupamento de cluster e se repetiu em relação ao solo anterior, com mesmo valor em relação ao centróide.

Os tratamentos relacionados ao solo S5 (LV4) (Tabela 2), o primeiro agrupamento foi de forma geral composta por aqueles com porcentagem de cobertura inferior 18,56% (S5; S5T1; S5T2; S5T3), com distância máxima do centróide de 0,57. Nele foi incluído um tratamento com maior taxa de cobertura 38,95 % (S5T6), mas ao analisar as curvas espectrais e remoção do espectro contínuo, observa-se que o resultado de cluster não está correto, portanto, ele foi desconsiderado da análise do agrupamento. No segundo agrupamento, foram selecionados os tratamentos com doses de cobertura superiores a 18,56%, atingindo o máximo de 100% de cobertura (S5T4; S5T5; S5T7; S5T10; S5C1), com distância máxima ao centróide de 1,45. Esse valor foi referente ao tratamento com 100% de cobertura sob solo, mas ao analisar o valor da distância pode-se inferir que ele ser considerado um novo agrupamento de cluster. O ultimo agrupamento foi formado pelo tratamento contendo 100% de vegetação, mas sem a presença de solo sob ele.

Por fim, todos os tratamentos referentes à cobertura vegetal verde foram agrupados, e novas análises de componentes principais e agrupamentos de cluster foram feitas. De maneira geral, assim como nas análises individuais, os tratamentos com solo puro não foram agrupados separadamente dos outros tratamentos que continham folhas verdes. Nota-se também que os tratamentos referentes ao solo mais arenoso (S5), foram separados dos demais tratamentos correspondentes aos solos S1, S2 e S3. Entre eles, S1 e S3 foram selecionados para um mesmo grupo de cluster, e à medida que a porcentagem de cobertura verde de S2 foi aumentando, tratamentos das três classes de solo foram agrupadas entre si. O tratamento contendo apenas as folhas verdes foi separado em um grupo isolado, enquanto aqueles que continham solo sob o material, foram separados em dois grupos. O primeiro envolvendo o solo mais argiloso (S1) e também o que continha maiores teores de ferro e matéria orgânica (S2). O segundo foi formado pelo solo argiloso (S3) e o médio arenoso (S5).
Tabela	2	-	Resultados da	aná	lise	de	agı	rupamento	de	cluster	assoc	ciados	à class	ificaçã	0
			supervisionada	ı das	foto	os (dos	tratamento	os, o	onde o	valor	compl	ementar	para	a
			totalização de	100%	cor	resp	ond	le a porcent	tage	m de sor	nbra				

				% Cobe	rtura Mínima
1	Agrupamentos	Distância			
Solos*	Cluster	Média	Tratamentos relacionados	Solo	Cobertura
S1	1	0.4	S1; T1; T2; T3; T4; T5	63.3	29.0
	2	0.7	T6; T7; T10	37.66	56.25
	3	0.4	C1; S1C1	93.94	0
S2	1	0.3	S2; T1; T2; T3	78.43	16.87
	2	0.0	T4; T5; T6; T7; T10; S2C1	94.70	0
	3	0.6	C1	93.94	0
S3	1	0.5	S3; T1; T2; T3; T4; T5	63.35	29.09
	2	0.0	T6; T7; T10; S3C1	94.70	0
	3	0.9	C1	9.94	0
S5	1	0.4	S5; T1; T2; T3; T6	55.89	7.68
	2	0.0	T4; T5; T7; T10; S5C1	94.70	0
	3	0.8	C5	93.94	0
\$1;\$2;\$3;\$5	1	0.2	S1T6; S2T6; S2T10; S3T2; S3T4; S3T5		
	2	0.2	S2; S2T1; S2T2; S2T3		
	3	0.3	S1T7; S1T10; S3T6; S3T7; S3T10		
	4	0.2	S5; S5T1; S5T2; S5T3; S1T4; S1T5; S2T4;		
			S2T5; S2T7; S3T1		
	5	0.0	C1		
	6	0.3	S1C1; S2C1		
	7	0.2	S5T4. S5T5; S5T6; S5T7; S5T10		
	8	0.3	S1; S3; S1T1; S1T2; S1T3; S1T4; S1T5; S2T4;		
			S2T5		
	9	0.3	S3C1; S5C1		

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

2.4.3 Palha

Para todos os solos, à medida que foi acrescentada palha, ouve aumento no albedo das curvas espectrais (Figura 3). As feições de absorção do solo foram dominantes em todo o comprimento de onda, inibindo as feições oriundas da palha, ligadas principalmente ao infravermelho próximo e à umidade presente na região intercelular das folhas, com exceção da banda relacionada à celulose/linina. No entanto, com a adição de palha sobre o solo as feições de absorção do solo ligadas aos óxidos de ferro, nas bandas 500 e 950 nm, teve mudanças gradativas, com maior destaque na primeira banda mencionada. Também foram observadas mudanças na faixa do comprimento de onda relacionada a mineralogia do solo (~2200 nm), com redução gradativa na feição de absorção com o aumento crescente de palha, para todas as classes de solo, e mais perceptível naquelas com menores teores de matéria orgânica e ferro (S3 e S5).

Essas observações foram confirmadas quando comparados com os resultados da remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem, que também destacam as bandas citadas como indicadores das mudanças da assinatura espectral do solo em função da adição de palha sobre eles. Entretanto, vale citar que os resultados relativos à derivada foram mais afetados pelo ruído presente nas curvas espectrais do que na remoção do espectro contínuo, principalmente no infravermelho próximo, prejudicando a análise dos tratamentos por este método. No caso do experimento feito com palha, os tratamentos contendo 100% de cobertura não foram visualmente diferentes, indicando que o solo não teve influência quando coberto por este material.

A análise de agrupamento de cluster mostra que para todos os tratamentos, aqueles com apenas solos, foram relacionados com outros que continham palha, com distância ao centróide satisfatório para serem confirmados com verdadeiros agrupamentos de cluster. Também foi comum nos resultados de agrupamento, que os tratamentos com 100% de palha pertencerem ao mesmo grupo, o que corrobora com a análise feita nas curvas espectrais. No caso do solo S1 (LV1), o primeiro agrupamento (S1; S1T1; S1T2; S1T3; S1T4) foi composto por tratamentos com baixa quantidade aplicada, com distância máxima ao centróide de 0,81. O segundo agrupamento foi composto por tratamentos com as maiores dosagens, com distância ao centróide de 0,70. O ultimo agrupamento foi formado pelos tratamentos com palha recobrindo em 100% os solos, com distância máxima do centróide de 0,14.

O solo S2 (LVf2) teve o primeiro agrupamento formado pelos tratamentos que continham palha recobrindo o solo com as menores dosagens (S2; S2T1; S2T2; S2T3), com distância ao centróide de 0,63. O segundo agrupamento foi formado pelos tratamentos com maiores taxas de aplicação de palha (S2T4; S2T5; S2T6; S2T7; S2T10), com distância máxima do centróide de 0,7. O ultimo agrupamento foi formados pelos tratamentos com 100% de palha, com distância máxima do centróide de 0,1.

O solo S3 (LV2) teve o primeiro agrupamento formado pelos tratamentos (S3; S3T1; S3T2; S3T3), com distância máxima do centróide de 0,79. O segundo agrupamento foi formado pelos tratamentos, com distância máximo do centróide de 0,61. O ultimo agrupamento abrangeu os tratamentos com 100% de palha, com distância máxima do centróide de 0,15.

Por fim, o ultimo solo (S5) teve seu padrão associado aos tratamentos de menores teores de palha, com distância máxima do centróide de 0,56. O segundo agrupamento foi formado pelos

tratamentos com maiores dosagens (S5T4; S5T5; S5T6; S5T7; S5T10). O ultimo grupo foi formado pelos tratamentos com 100% de palha (C2; S5C2).

Quando todos os tratamentos foram analisados conjuntamente na análise de cluster observou-se que, com o aumento de agrupamentos utilizados na análise de cluster, eles foram associados com um número menor de tratamentos com palha. De forma geral, quanto maior a porcentagem de palha sobre os solos, maior foi a quantidade de tratamentos que se misturaram nos agrupamentos de cluster, até que para os tratamentos de maior cobertura de palha, foram incluídos em um mesmo grupo de cluster (T7 e T10). Os tratamento com 100% de palha foram incluídos em um mesmo grupo, resultado este que confirma as observações feitas acima sobre este grupo de dados.



Figura 3 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem respectivamente, para tratamentos com palha

Solos*	Agrupamentos Cluster	Distância Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.60	S1; T1; T2; T3; T4
	2	0.36	T5; T6; T7; T10
	3	0.14	C2; S1C2
S2	1	0.47	S2; T1; T2; T3
	2	0.11	T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.42	C2; S2C2
S3	1	0.42	S3; T1; T2; T3
	2	0.29	T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.15	C2; S3C2
S5	1	0.48	S5; T1; T2; T3
	2	0.41	T4; T6; T7; T10
	3	0.18	C2; S5C2
S1;S2;S3;S5	1	0.17	S1; S2; S2T1
	2	0.13	S3; S3T1
	3	0.09	S5; S5T1
	4	0.26	S1T3; S1T4; S1T5; S1T6; S2T4; S2T5; S3T4
	5	0.28	S1T1; S1T2; S2T2; S2T3; S3T2; S3T3
	6	0.36	S2T6; S3T5; S3T6; S5T4; S5T6
	7	0.22	S5T2; S5T3
	8	0.27	S1T7; S1T10; S2T7; S2T10; S3T7; S3T10; S5T7; S5T10
	9	0.13	C2; S1C2; S2C2; C3C2; C5C2

Tabela 3 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificaçãosupervisionada das fotos dos tratamentos.

2.4.4 Cinza

Os gráficos das curvas espectrais mostram que as feições de absorção do solo na faixa do visível foram afetadas negativamente pelo acréscimo de cinza (até 1100 nm), suavizando principalmente a feição de absorção dos óxidos de ferro, nas bandas 450 e 900 nm (Figura 4), para todas as classes de solo, sendo que, para aqueles com menor teor de ferro essas mudanças foram mais graduais. Nota-se também que após o comprimento de onda de 1100 nm, os solos mais argilosos e aquele com maiores teores de ferro e matéria organização tiveram mudança quando a inclinação da curva, aumentando à medida que foram acrescentadas maiores proporções de cinza sobre os solos. A feição relacionada à mineralogia do solo também foi gradativamente alterada, se tornado ausente nos tratamentos com 100% de cinza. Quando elas foram analisadas pela remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem essas observações foram confirmadas.

^{*}S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

As análises de agrupamento (Tabela 4) mostram que o solo com maiores teores de matéria orgânica e ferro foi o que teve tratamento de maior porcentagem de cinza incluído no mesmo grupo de cluster (S2T1; S2T2; S2T3). Isso se deve ao fato de que a assinatura espectral deste solo e o de menor intensidade de reflectância, mais próximo da assinatura espectral da cinza. Os outros solos (S1; S3 e S5) foram agrupados com tratamentos de menor aplicação de cinza. Vale ressaltar também que o tratamento de maior es porcentagens de cinza, nos solos S3 e S4, foram associados com os tratamentos contendo 100% de cinza, e isso indica que para os solos com maior intensidade de reflectância (mais arenosos e/ou menores teores de matéria orgânica e ferro), quanto maior a porcentagem de cinza sobres os solos, maior e a redução no padrão espectral dos solos. De maneira geral, os tratamentos com 100% de cinza foram inseridos em um mesmo grupo, indicando que o solo tem influência sobre a assinatura espectral da mesma.

Quando todos os tratamentos foram unidos em um único banco de dados e uma nova análise de agrupamento realizada, de modo geral observa-se que os agrupamentos envolvendo as porcentagens mínimas de cinza e solos foram mantidos conforme os resultados vistos nas avaliações individuais por solo, portanto, valida os resultados encontrados neles. A exceção foi para o agrupamento 7, o qual incluí os solos S1 e S3, e os tratamentos com cinza do primeiro (S1T1 e S1T2). Observa-se também que com o aumento das porcentagens de cinza, são agrupados tratamentos de diferentes solos, e que ao atingir o tratamento de maior porcentagem de cinza, excluindo aqueles com cobertura total, foram incluídos dentro de um mesmo (agrupamento 9) (Tabela 4).



Figura 4 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem respectivamente, para tratamentos com cinza

	Agrupamentos	Distância	
Solos*	Cluster	Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.09	S1; T1; T2
	2	0.35	T3; T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.12	C3; S1C3
S2	1	0.23	S2; T1; T2; T3
	2	0.33	T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.17	C3; S2C3
S3	1	0.22	S3; T1; T2
	2	0.32	T3; T4; T5; T6; T7
	3	0.17	T10; C3; S3C3
S5	1	0.15	S5; T1; T2
	2	0.23	T3; T4; T5; T6; T7
	3	0.25	T10; C3; S5C3
S1;S2;S3;S5	1	0.30	S1; S3; S1T1; S1T2
	2	0.14	S2; S2T1; S2T2
	3	0.28	S5; S5T1; S5T2
	4	0.44	S1T3; S1T4; S1T5; S2T3; S3T1; S3T2; S3T3: S3T4
	5	0.28	S1T7; S2T4; S2T5; S2T6; S2T7; S3T5; S3T6; S3T7
	6	0.22	S1T6; S5T5; S5T6; S5T7
	7	0.22	S5T3; S5T4
	8	0.26	S1T10; S2T10; S3T10; S5T10
	9	0.15	C3; S1C3; S2C3; S3C3; S5C3

Tabela 4 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

**S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

2.3.5 Folhas verdes e Palha

As assinaturas espectrais dos solos foram alteradas em todos os tratamentos que continham misturas sobres eles, com mudanças em sua intensidade de reflectância e/ou forma, principalmente na faixa do visível, com alteração de feições de absorção referentes aos óxidos de ferro, e na faixa correspondente a mineralogia do solo (Figura 5). Os tratamentos com mesma porcentagem de cobertura ficaram próximos entre si, independentemente do tipo da mistura, com aqueles contendo maior quantidade de palha (Mvp III) refletindo mais do que a mistura que continha mais folhas verdes (Mvp I). Quanto as mudanças na forma, elas foram visualizadas de modo mais claras pelo método de remoção do espectro contínuo, e nele, destaca-se a mudança na banda de 650 nm, referente à clorofila presente nas folhas verdes, e sua intensidade foi inversamente proporcional a quantidade de palha presente nas misturas.

Os resultados obtidos pela análise de agrupamento por cluster (Tabela 5) mostram que de forma geral os tratamentos com quantidade aplicada de palha (T1*; T4*; T7*) foram agrupados com a assinatura espectral dos solos, respectivos a cada um deles (S1; S2; S3) (Tabela 2), com exceção do solo de textura mais arenosa (S5). Nele, as dosagens mais baixas provocaram um aumento na absorção de energia incidente em todo o comprimento de onda.



Figura 5 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com folhas verdes e palha

a 1 1	Agrupamentos	Distância	
Solos*	Cluster	Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.02	S1; T1*; T2*; T4**; T7***
	2	0.00	T5**; T8***
	3	0.02	T6**; T9***
	4	0.00	T3*
	5	0.00	Mvp I
	6	0.00	Mvp II
	7	0.00	Mvp III
S2	1	0.13	S2; T1*; T4**; T7***
	2	0.07	T2*; T5**; T8***
	3	0.13	T3*; T6**
	4	0.00	T9***
	5	0.00	Mvp I
	6	0.00	Mvp II
	7	0.00	Mvp III
S3	1	0.01	S3; T1*; T4**; T7***
	2	0.00	T2*
	3	0.02	T5**; T8***
	4	0.00	T3*; T6**; T9***
	5	0.00	Mvp I
	6	0.00	Mvp II
	7	0.00	Mvp III
S5	1	0.00	S5; T2*; T8***
	2	0.02	T1*; T4**; T7***
	3	0.04	T3*; T5**
	4	0.02	T6**; T9***
	5	0.00	Mvp I
	6	0.00	Mvp II
	7	0.00	Mvp III

 Tabela 5 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

2.3.6 Palha e Cinza

A análise das curvas espectrais ilustra que de modo geral, a assinatura dos solos e sua similaridade com os tratamentos com menor quantidade de cobertura aplicada, tiveram sua resposta em função do tipo de mistura aplicada sobre eles. Os solo mais argilosos, com maiores teores de ferro e matéria orgânica (S1, S2 e S3), os tratamentos com a mistura Mpc I não apresentaram mudanças com relação à intensidade de reflectância em todo o comprimento de onda. Entretanto, observa-se uma gradual alteração a partir da banda de 1100 nm, onde curvas espectrais dos solos adquirirem uma tendência de alteração de inclinação da reta, característica

esta referente ao padrão da assinatura espectral da cinza contida na mistura. As mudanças nas curvas espectrais foram mais expressivas nos tratamentos referentes às misturas com maior proporção de palha (Mpc II e Mpc III), com destaque para a intensidade de reflectância, em todo o comprimento de onda. Isso foi expresso de modo mais intenso no LVf2, que possui a menor intensidade de reflectância entre os solos estudados. No solo mais arenoso (LV4), a influência da cinza no comportamento espectral do solo aumentou, com redução significativa na sua intensidade de reflectância, mas sem alteração em sua inclinação da curva, indicando que esta mudança esta ligada ao teor de argila do solo.

As mudanças quanto a forma das curvas espectrais, foram melhor visualizadas no método de remoção do espectro contínuo. Nele destacam-se as mudanças expressivas na faixa de 350 a 1000 nm, regiões referentes às feições de absorção dos óxidos de ferro dos solos, e na faixa aproximada de 2200 nm referente à mineralogia do solo.



Figura 6 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com mistura de palha e cinza

Solo*	Agrupamentos Cluster	Distância Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.21	S1; T1*; T2*; T4**; T7***
	2	0.31	T8**; T9**
	3	0.00	T5**
	4	0.00	T3*
	5	0.00	Mpc I
	6	0.34	T6**; Mpc II
	7	0.00	Mpc III
S2	1	0.09	S2; T1*
	2	0.32	T2*; T3*
	3	0.05	T4*; T7***
	4	0.51	T5**; T8***; T9***
	5	0.00	Mpc I
	6	0.36	T6**; Mpc II
	7	0.00	Mpc III
S3	1	0.26	S3; T1*; T4**; T7***
	2	0.00	T2**
	3	0.00	T5**
	4	0.00	T8***
	5	0.32	T3*; Mpc I
	6	0.30	T6**; Mpc II
	7	0.28	T9***; Mpc III
S5	1	0.26	S5; T1*; T4**; T7***
	2	0.35	T2*; T5**
	3	0.00	T6**
	4	0.00	T8***
	5	0.00	Mpc I
	6	0.18	T3*; Mpc II
	7	0.31	T9***; Mpc III

Tabela 6 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificaçãosupervisionada das fotos dos tratamentos.

2.3.6 Linha do solo

A linha do solo mostra que (Figura 7) o solo S2 (LVf2) foi o de menores valores nas bandas simuladas 3 e 4. Os valores de ambas as bandas foram crescentes para os solos, a medida que foram decrescentes os teores de argila, matéria orgânica e ferro. Conforme foram adicionados cobertura verde sobre o solo, observa-se uma tendência de aproximação entre os tratamentos dos diferentes solos, com variação crescente na banda 4. Nos tratamentos contendo 100% de cobertura verde, foram podem ser caracterizados por altos valores na banda 4 em relação a 3.

^{*}S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

Vale destacar também as dosagens crescentes de palha sobre os solos gerou uma tendência de aumento nos valores relacionados as bandas 3 e 4, onde os tratamentos de maior dosagem e a informação da palha localizaram-se no canto superior direito. No caso da cinza, os resultados foram inversos, e os tratamentos de maior porcentagem e a própria cinza foram decrescentes, se aproximando do eixo x e y.



Figura 7 - Resultado da linha do solo separado pelas diferentes coberturas

2.3.7 Simulados para sensores orbitais

Os resultados simulados para o sensor Hyperium mostram que, todas as feições de absorção observadas nos dados de laboratório foram mantidas, em todos os níveis de tratamento, e com o mesmo nível de intensidade. Os outros sensores orbitais, na faixa do visível, mascararam as feições de absorção referente aos pigmentos da folha da cana-de-açúcar, com exceção daquela pertencente à clorofila (Figura 8).



Figura 8 - Ilustração das curvas espectrais obtidas em laboratório (a) com a simulada para os seguintes sensores orbitais: Hyperium (b), Aster (c), Landsat TM 5 (d) e Spot 5 (e)

2.4 Conclusões

1 - Os padrões espectrais dos solos foram alterados em todos os tratamentos contendo cobertura vegetal, com mudanças n a intensidade de reflectância, forma e/ou inclinação, no entanto, na análise de agrupamento eles não foram separado dos tratamentos de menor dosagem, e a porcentagem de cobertura vinculada a eles variou em função das características dos solos e do tipo de cobertura aplicada.

2 – As curvas espectrais referentes ao padrão espectral das folhas verdes e palha diferiram principalmente na região do visível e infravermelho próximo, mudanças essas relacionadas aos pigmentos da folha, principalmente a clorofila

3 - A cinza reduziu drasticamente a intensidade de reflectância da palha, assim como, o mascaramento de suas feições de absorção, com exceção da mistura que continha maior porcentagem de palha.

4 - A linha do solo mostra que para os tratamentos contendo palha e cinza, aqueles de maior dosagem deslocaram-se no mesmo eixo dos Latossolo estudados, portanto, aumenta a probabilidade de confusão entre eles quando avaliados pelo método da linha do solo.

5 - Com exceção dos tratamentos contendo folhas verdes, os sensores multiespectrais não foram eficientes em identificar as variações de feições de absorção relacionadas aos solos, e o mesmo quando foram acrescentado as coberturas vegetais.

Referências

CLARK, R.N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: RENCZ, A.N. (Ed.). **Manual of remote sensing.** New York: John Wiley, 1999, v. 3: Remote sensing for the earth sciences, p. 3-58.

CLARK, R.N.; ROUSH, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, Washinton, v. 89, n. B7, p. 6329-6340, 1984.

COMAPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **ConabWeb**. Disponível em: <<u>http://www.conab.gov.br/conabweb/></u>. Acesso em: 10 maio 2010.

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, p. 481-489, 2005.

DEMATTÊ, J.A.M. **Reflectância espectral de solos**. 1999. 451p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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, p. 697-706, 2005.

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA; J.B Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas,** v. 20, p. 467-474, 1996.

GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment,** Amsterdam, v. 61, p. 24-33, 1997.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, Easton, v. 4, p. 11-20, 1965.

GOYOT, G. La réflectance des couverts végétaux. **Photo-interprétation**, Paris, v. 33, p. 157-180, 1995.

KUMAR, R. Radiation from plants, reflection and emission: a review. Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972. 88.p (Research Project N. 5543)

MADEIRA NETTO, J. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J. **Sensoriamento remoto:** reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001. p. 127-154.

MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J.S.M. (Org.). Sensoriamento remoto: reflectância e alvos naturais. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 157-199p.

MIURA, A.K.; CORAZZA, R.; WIEFELS, A.C. NOVAES, M.R. de; SANTOS, S.B. dos; FORMAGGIO, A.R. Uso da espectrorradiometria de laboratório como ferramenta didática em apoio ao ensino do comportamento espectral do solo. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/comite_docencia/HTML/form_jornada/imagens/ trabalhos/Adalberto_Koiti_Miura.pdf>. Acesso em: 10 maio 2010.

MONTGOMERY, O.L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils. 1976. 148f. Thesis (PhD in Soil Science) - Purdue University, West Lafayette, 1976.

MUTANGA, O.; SKIDMORE, A.K. Hyperspectral band depth analysis for a better estimation of grass biomass (*Cenchrus ciliares*) measured under controlled laboratory conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, p. 87-96, 2004.

OBUKHOV, E.D.A.I.; ORLOV, S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations. **Soviet Soil Science,** Silver Spring, v. 2, p. 174-184, 1964.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.

RUDORFF, C. M.; NOVO, E. L. M. GALVÃO, L. S.; PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia, Acta Amazônica, Manaus, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SOUSA, C.L.; RIBEIRO, M.C.; PONZONI, F.J. Influência do tempo e do tipo de armazenamento na reflectância de folhas de *Eucalyptus grandis* ex-situ. **Revista Árvore**, Viçosa. v. 20, p. 255-265, 1996.

SOUSA JUNIOR, J.G. Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos. 2005. 142 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SOUZA, Z.M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 271-278, 2005.

3 INFLUÊNCIA DE ADUBOS E CORRETIVOS NA RESPOSTA ESPECTRAL DA CAMADA SUPERFICIAL DE LATOSSOLOS

Resumo

Com o advento de novas tecnologias e o aumento crescente de pesquisas voltadas ao uso sensoriamento remoto no estudo do solo, faz-se necessário um maior entendimento do impacto das práticas agrícolas no comportamento espectral dos solos. Neste sentido, este trabalho teve por objetivos: (i) avaliar o grau de alteração da curva espectral de diferentes solos aplicando sobre eles diferentes dosagens de adubos e corretivos agrícolas; (ii) avaliar a alteração destas respostas quando comparados os dados obtidos pelo sensor terrestre com sensores orbitais multi e hiperespectrais; Para isso foram coletados Latossolos vermelhos de textura muito argilosa, argilosa e média arenosa, e um Latossolo vermelho argiloso férrico, perfazendo quatro classes de solo distintas. Eles foram secos em estufa (65 °C) por 48 horas, moído e peneirado em malha 2 mm. Foram avaliados dois corretivos, gesso, yourim e torta de filtro, que com exceção do yoorim, foram secos em estufa (100 °C) por 48 horas, moído e peneirado em malha 2 mm. Todos os materiais foram mantidos em sacos plásticos com zip-loc sob refrigeração de modo a reduzir a reabsorção de umidade e deterioração. O padrão espectral dos Latossolos estudados foram alterados com o acréscimo em todos os adubos e corretivos, com relação a forma, intensidade de reflectância e/ou inclinação. Nos calcários dolomítico e calcítico, as mudanças ocorreram principalmente na faixa de 450 a 600 nm com redução da concavidade da curva dos solos. A análise de agrupamento nesse caso, separou de forma adequada os tratamentos que continham apenas solo dois demais, com exceção do Latossolo mais arenoso. Nos tratamentos com gesso, a padrão do comportamento espectral de todos os Latossolos foi alterado na faixa do vísivel com aumento de inclinação da curva, e na banda de 1900 nm, com o aumento de intensidade relacionada a feição de absorção da água. Neste caso, a análise de agrupamento, de forma geral, não separou o padrão dos solos com os tratamentos de menor dosagem. O produto Yourim por não apresentar nenhuma feição de absorção especifica, quando acrescentados aos solos, promoveu apenas redução na intensidade de reflectância e redução gradativa das feições de absorção dos solos. A análise de agrupamento mostra que apenas o solo de maiores teores de matéria orgânica e ferro foram inseridos em agrupamento com doses de yoorim. Por fim, a torta de filtro quando adicionado aos solos, promoveu um aumento na intensidade de reflectância, principalmente no infravermelho médio, suficiente para que o agrupamento de cluster separasse os solos dos demais tratamentos com o produto. Os métodos de remoção do espectro contínuo e derivada auxiliaram na visualização e identificação das feições de absorção dos tratamentos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Curvas espectrais; Adubos; Corretivos

Abstract

With the advent of new technologies and increasing research directed to the use of remote sensing in the study of the soil, it is necessary a better understanding of the impact of agricultural

practices in the spectral behavior of soils. Thus, this study aimed to: (i) assess the degree of change in the spectral curve of different soils on them by applying different doses of fertilizers and agricultural lime, (ii) to evaluate the change in these responses when comparing the data obtained through the sensor ground orbital sensors with multi-and hyperspectral; For that were collected Oxisols red clayey, sandy clay and medium, and a clayey Oxisol ferric iron, resulting in four different soil types. They were dried in an oven (65 ° C) for 48 hours, ground and sieved at 2 mm mesh. We evaluated two lime, gypsum, yourim and filter cake, which aside from yourim were dried in an oven (100 F) for 48 hours, ground and sieved at 2 mm mesh. All materials were kept in plastic bags with zip-loc refrigerated to reduce the absorption of moisture and deterioration. The spectral pattern of the studied Oxisols have changed with the increase in all fertilizer and lime, with respect to shape, its reflectance and / or inclination. In calcitic and dolomitic limestone, changes occurred mainly in the range 450-600 nm with reduced concavity of the curve of soils. Cluster analysis in this case, adequately separated the treatments containing soil only two others, with the exception of the more sandy Oxisol. In treatments with gypsum, the pattern of the spectral behavior of all Oxisols has changed in the visible range with increasing slope of the curve, and the band of 1900 nm with increasing intensity is related to water absorption feature. In that case, the cluster analysis, in general, did not separate the pattern of the soils with the lower dosage treatments. The product Yourim not exhibit any specific absorption feature, when added to soil, caused only a reduction in the intensity of reflectance and gradual reduction of the absorption features of the soil. Cluster analysis shows that only the highest levels of soil organic matter and iron were placed in group with doses of yourim. Finally, the filter cake when added to soil, promoted an increase in the intensity of reflectance, especially in the infrared, enough for the cluster grouping the soils separated from the other treatments with the product. The methods of removing the continuous spectrum, and deriving useful in the visualization and identification of absorption features of the treatments.

Keywords: Remote sensing; Spectral waves; Fertilizers; Limestone

3.1 Introdução

A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. Os maiores índices de aumento de área são encontrados em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na presente safra, está estimada em 8.091,5 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. São Paulo continua sendo o maior produtor com 54,35% da área plantada (4.397,5 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8% (647,7 mil hectares), Paraná com 7,5% (607,9 mil hectares), Goiás com 7,4% (601,2 mil hectares), Alagoas com 5,74% (464,6 mil hectare), Mato Grosso do Sul com 4,2% (339,7 mil hectares) e Pernambuco com 4,1% (334,2 mil hectares). Nos demais Estados Produtores as áreas são menores, mas com bons índices de produtividade (CONAB, 2010).

As extensas áreas agrícolas e a necessidade contínua de aumentar a produtividade mostram que as tecnologias de ponta são importantes, aumentando a eficiência com qualidade

ambiental. Dentro do processo de planejamento agrícola de qualquer cultura, principalmente da cana-de-açúcar, o entendimento do solo é parte importante do sistema solo-planta-clima. O solo é um elemento complexo da paisagem exigindo estudos pormenorizados para seu entendimento. O estudo adequado do solo tem inúmeras relações no processo produtivo, tais como: auxílio no traçado de carreadores, alocação de variedades, escolha de áreas para experimentação, indicação dos ambientes de produção, racionalização na coleta de amostras para fins de fertilidade, conservação dos solos.

Dentre as técnicas que vêm sendo estudadas, o sensoriamento remoto tem inúmeras vantagens e pode ser utilizado em várias fases do processo de produção agrícola, tais como levantamento e caracterização de solos, detecção de áreas erodidas, planejamento das áreas a serem preservadas, uso da terra, detecção de pragas e doenças, entre outras. Seu uso já está estabelecido, mas, com as necessidades de manutenção da qualidade ambiental e aumento da eficiência, novos estudos vêm sendo realizados.

A importância do sensoriamento remoto reside no fato do sistema obter informações sobre um objeto ou alvo (por exemplo, planta, solo ou água) sem ter nenhum contato direto com ele. Isto abre um leque de vantagens, como ganho de tempo na aquisição da informação, não polui o ambiente (pois não se utiliza de nenhum produto químico) e pode avaliar grandes áreas.

Contudo, o monitoramento e levantamento de solos por meio de sensores remotos possui o agravante de sofrer interferência dos diversos usos e coberturas da terra, como vegetação, edificações, entre outras, que recobrem o solo e interceptam suas respostas espectrais, condicionando mudanças em sua informação.

Mais especificamente no que se refere ao levantamento de solos em áreas de canaviais, Souza et al. (2005) lembram que no sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo, são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (*mulch*) denominada palha ou palhada. Além disso, aplicam-se adubos e corretivos, os quais recobrem partes do solo, dificultando sua avaliação e observação por meio de técnicas de sensoriamento remoto ao nível orbital ou aéreo.

Para extrair corretamente informações dos solos por meio da interpretação de imagens orbitais, é preciso primeiramente conhecer seu comportamento espectral sem que haja qualquer tipo de influência do meio físico. Desta forma, Demattê (1999) sugere o conhecimento dos solos primeiramente pela radiometria em laboratório, que reflete a realidade mais próxima do objeto de estudo em condições controladas.

O objetivo do trabalho foi o de avaliar as mudanças no espectro de diferentes classes de solo decorrente da adição de adubos e corretivos (calcários calcítico e dolomítico, gesso, yourim e torta de filtro) em solos provenientes de áreas com cultivo da cana-de-açúcar, estabelecendo quando o padrão de espectro de cada solo é claramente alterado e, quando isso acontecer, qual será o valor correspondente em cobertura.

Cada objeto, seja ele parte do solo ou vegetação, possui uma interação com a energia absorvida e refletida proveniente da radiação solar. Portanto, a hipótese de trabalho é que esta resposta seja única para cada classe de solo, assim como para os elementos adicionados sobre eles.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Coleta e preparo dos solos

Os locais de coleta de solo foram definidos com base em cartas semidetalhadas de solos da região de Araraquara, e inseridos em aparelho com sistema GPS, norteando a chegada até as áreas escolhidas. Foram coletados aproximadamente 12 quilos de terra (0-20 cm), das seguintes classes de solo: Latossolos Vermelhos com textura variando de muito argiloso à médio-arenoso (LV1, LV2, LV3, LV4), Latossolo Vermelho férrico de textura argilosa (LVf2). Parte do material amostrado foi encaminhado para análises física (granulométrica - método do densimetro) e químicas (análise padrão de fertilidade e ataque sulfúrico, RAIJ et al., 2001). O restante das amostras foram secas em estufa (65° C) durante 48 h e passadas em peneiras de malha 2 mm.

3.2.2 Coleta e preparo das coberturas

Em visita de campo, foram coletados: folha verde (folhas novas) e palhada. A folha verde foi "pulverizada" em um processador de alimentos, e o produto desta etapa foi peneirado em malha de 2m. A palhada foi separada em dois montantes, sendo a primeira, seca em estufa durante 48 horas a 65°C e processado em moinho tipo Willey. O restante foi colocado num latão de tinta (previamente lavado retirando com isso qualquer impureza), e queimado até o ponto de cinza. Esse material foi transferido para recipiente plástico, e nele inserido bolinhas de gude, de forma que, quando agitado reduziu o tamanho das partículas. Todas as coberturas depois de

prontas, foram armazenadas em sacos plásticos com zip-lock e mantidas em ambiente refrigerado à temperatura de 5°C.

3.2.3 Preparo dos tratamentos

O experimento foi elaborado da seguinte forma: 4 solos (S1-LV1; S2-LVf2; S3-LV2; S5-LV4), 5 coberturas (C6-Calcário dolomitico; C7-Calcário calcitico; C8-Gesso; C9- Yourim; C10-Torta de filtro), 10 tratamentos, sendo este ultimo composto por diferentes dosagens dos produtos anteriormente citados. As doses utilizadas nos fertilizantes e corretivos foram calculadas de acordo com o recomendando para cada solo, e então recalculados nas proporções da placa de petri (diâmetro de 9cm e profundidade de 3cm).

3.2.4 Obtenção dos padrões espectrais no sensor de laboratório

As placas de petri foram totalmente preenchidas com solos e então encaminhadas para uma balança de precisão (quatro dígitos), onde, com o auxilio de uma peneira de malha 2mm, foi distribuído manualmente sobre a superfície do solo. Em seguida, eles foram dispostos sob o sensor para leitura do espectro e nele tomado três leituras em diferentes posições.

O aparelho possui a seguinte geometria: o sensor esta em posição vertical a 8 cm de distância da plataforma na qual apoiam-se as amostras para leitura. A área de leitura é de aproximadamente 2 cm². A fonte de iluminação utilizada é uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, posicionada a 35 cm da plataforma e com um ângulo zenital de 30°.

3.2.5 Aquisição da porcentagem de recobrimento do solo

Com o objetivo de quantificar as proporções de solo e cobertura de cada tratamento, eles foram fotografados após a leitura no sensor. Para isso, foi utilizada uma câmera digital convencional, fixada a um tripé, e posicionada perpendicular às placas de petri. As imagens foram importadas no programa ENVI 4.2, recortada nas dimensões 1300x 1300 pixels (Figura 2) e classificadas utilizando o método de classificação supervisionada (com algoritmo de máxima verossemelhança). Para tanto, foram estabelecidas três regiões de interesse (ROI), sendo elas: Solo, Cobertura e Sombra. Deve-se ressaltar que a sombra é um dos elementos que altera

significativamente a resposta espectral de um alvo (MADEIRA NETTO, 2001), logo, sua porcentagem foi considerada ao identificar os alvos contidos em cada tratamento.

3.2.6 Métodos Estatísticos

Análise de agrupamento

As informações espectrais de cada tratamento foram organizadas em tabela, inseridas no programa JMP e aplicada análise de componentes principais. Foram consideradas para a próxima etapa na análise estatística os dois primeiros PC's, e quando a soma dos primeiros não atingisse 99% da variabilidade dos dados, foi acrescentado novos PC's (PC3, PC4, etc). Eles foram então utilizados na análise de agrupamento pelo método de cluster K-means, conhecido por atribuir a associação de clusters minimizando e maximizando a distância entre eles. Em K-means, a palavra means (médio) refere-se ao centróide do cluster, que é um ponto de dados escolhido arbitrariamente e refinado de modo interativo até apresentar a média real de todos os pontos de dados do cluster. O "K" refere-se a um número arbitrário de pontos que são usados para propagar o processo de cluster. O algoritmo K-means calcula as distâncias euclidianas quadradas entre os registros de dados de um cluster e o vetor que representa a média do cluster é convertido em um conjunto de k clusters, quando essa soma atinge um valor mínimo. Além disso, atribui a cada ponto de dados exatamente a um cluster e não permite incertezas na associação, e ela é expressa como uma distância do centróide.

O conjunto de dados associados aos tratamentos com adubos e corretivos foi fixado para três grupos. Os resultados da análise de grupamento foram avaliados em conjunto com as informações das curvas espectrais, remoção do espectro contínuo e autovetores dos componentes principais, com o objetivo de verificar a qualidade das componentes principais utilizadas na análise de agrupamento. No caso de um resultado insatisfatório, o componente de menor peso foi retirado do conjunto de variáveis e uma nova análise de agrupamento feita.

Remoção do espectro contínuo

A técnica de remoção do continuo e uma das novas metodologias utilizada para avaliar espectros de reflectância hiperespectrais. Esta técnica consiste em remover as feições continuas dos espectros, onde o continuo e uma função matemática utilizada para isolar bandas de absorção

particulares dos espectros de reflectância, permitindo qualificar a analise espectral (CLARK; ROUGH, 1984).

Para Clark (1999) a remoção do continuo e um meio de normalizar espectros de reflectância, o que torna possível comparar feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum. Pode ser definida como uma superfície convexa ajustada a parte superior de uma curva espectral, que utiliza segmentos de linha reta a partir da ligação dos máximos locais da curva (MUTANGA et al., 2004). O processo de remoção do continuo e realizado por meio de uma divisão dentro do espectro para normalizar as bandas de absorção em uma referencia comum. Portanto, os valores de reflectância são normalizados em 1,0 de tal forma que os pontos dos espectros resultantes sejam ajustados entre o continuo e os espectros menores que um, onde ocorrem feições de absorção. Ele foi executado no programa ENVI 4.2.

Derivada

No cálculo da primeira derivada do espectro de reflectância em relação ao comprimento de onda λ , para um determinado ponto *n*, foi realizada uma aproximação numérica (central ou simétrica, neste caso) por um esquema de diferenças finitas. A equação 1 foi usada para estimar a primeira derivada da curva espectral obtida para cada ponto (conforme descrito em RUDORFF et al., 2007):

$$\frac{ds}{d\lambda}\Big|_{n} \approx \frac{\rho(\lambda_{n+1}) - \rho(\lambda_{n-1})}{2\Delta\lambda},$$

na qual $\lambda\Delta$ é a separação entre bandas adjacentes ($\Delta = \lambda_j - \lambda_i$ para $\lambda_j > \lambda_i$, com o intervalo entre as bandas constante) e $\rho(\lambda_n)$ é o valor do espectro na faixa de comprimento de onda λ_n . A segunda derivada foi obtida aplicando-se a equação 1 na curva resultante da primeira derivada. As misturas foram excluídas dessa análise pois já estão sendo representados nas análises com as coberturas individuais.

3.3 Resultado e Discussão

3.3.1 Estudo dos padrões espectrais dos solos, adubos e corretivos

Os solos estudados apresentam curvas espectrais com baixa reflectância, nas regiões do visível e do infravermelho (Figura 1a), e esta de acordo com a literatura encontrada (DEMATTÊ

et al., 2005; FORMAGGIO et al., 1996). De maneira geral, quando a textura dos solos variou do muito argiloso (LV1) para médio-arenoso (LV4), ocorreu variação na forma e intensidade de reflectância das curvas espectrais (Figura 1a). Segundo Meneses e Madeira Netto (2001), a distribuição das partículas do solo e a presença de diferentes argilominerais influem na sua resposta espectral. Resultados semelhantes com relação a textura foram observados em outros trabalhos (SOUSA JUNIOR et al., 2005), notadamente quando a areia era dominada por quartzo (RESENDE et al., 2005), e também devido aos baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de Fe, corroborando com o que foi observado neste trabalho. De fato, observa-se que a mudança de forma e o aumento da intensidade de reflectância das curvas espectrais também variaram em função dos teores de matéria orgânica e ferro (Tabela 1).

No caso da matéria orgânica, ela teve maior influência no albedo ao longo de todo o espectro óptico, principalmente na faixa de espectro 350-1150 nm. Quanto ao teor de ferro livre nos solos, sua redução resultou em menor intensidade nas feições de absorção, visualizado principalmente na região do visível e infravermelho próximo, o que corresponde aproximadamente aos comprimentos de onda de 550 e 950 nm, resultados estes que estão de acordo com o encontrado na literatura (OBUKHOV; ORLOV, 1964; MONTGOMERY, 1976; FORMAGGIO et al., 1996; DEMATTÊ; GARCIA, 1999; GALVÃO et al., 1997; DALMOLIN et al., 2005). Ainda vale destacar que, o LVf2 foi o que apresentou menor intensidade de reflectância mesmo quando comparado ao solo de mesma classe textural (LV2), entretanto, foi o solo com maiores teores de matéria orgânica e ferro, que de certa forma ilustra influência destas componentes na curvas espectral dos solos.

Todos os corretivos e fertilizantes apresentaram curvas espectrais distintas, e com exceção do gesso, apresentaram baixa intensidade de reflectância (Figura 1). Os calcários diferiram entre si na faixa de 350 a 600 nm, com maior absorção de reflectância para o calcário calcítico. Na banda de 2300 nm apresentam uma feição de absorção referente ao carbonato presente na estrutura dos calcários.

O gesso apresentou diversos pontos de absorção da energia incidente, e que segundo Lindberg e Smith (1973), estão relacionados ao radical OH⁻ presente em sua estrutura cristalina, e que as feições de absorção estão relacionadas a sobreposição de todas as três frequências fundamentais de vibração da molécula de água ou de uma combinação entre elas. Os mesmo autores realizaram seu estudo também no intervalo do espectro entre 400 e 2500 nm, e não

encontraram nenhuma feição de absorção relacionada com o CaSO⁴, e a reposta espectral encontrada por eles esta de acordo com a observada no presente trabalho.

O yourim foi o material com menor intensidade de reflectância quando comparado com os outros produtos estudados. Essa absorção foi uniforme em todo o comprimento de onda, e não foi observada nenhuma feição de absorção referente aos componentes que compõem o produto.

A assinatura espectral da torta de filtro em seu estado seco, apresentou redução constante de energia absorvida até a banda de 1100 nm, que visualmente foi caracterizado pela inclinação de sua curva espectral. Também foram observadas feições de absorção nas bandas 1900 nm e 2200 nm, sendo a primeira referente a umidade reabsorvida pelo material quando exposto ao ar livre, e a segunda ligada ao material vegetal residual (bagaço moído) presente na composição da torta de filtro, portanto, referentes a lignina e celulose . Trabalhos semelhantes (DEMATTÊ et al., 2005, 2001) diferiram dos resultados encontrados neste trabalho, entretanto, a torta de filtro analisada encontrava-se com altos teores de umidade, resultando um mascaramento das feições de absorção e redução da intensidade de reflectância.



Figura 1 - a)Curvas espectrais das classes do solo, sendo eles: LV1 (S1), LVf2 (S2), LV2 (S3) e LV4 (S5),; b) Curvas espectrais dos calcários dolomitico(C6) e calcário calcitico (C7), gesso (C8), yourim (C9) e torta de filtro (C10)

Solos	Areia	Silte	Argila	MO	PH CaCl ₂	Р	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Fe ₂ O ₃
		%		g.kg		mg.dm ⁻³		Ν	Imolc.	dm ⁻³		%
S1	22	5	73	26	5	13	3	25	7	1	36	13
S2	31	13	56	26	5	8	3	9	1	1	42	19
S3	58	2	40	17	5	8	5	19	6	1	34	10
S5	76	1	23	16	4	5	3	37	12	1	42	3

Tabela 1 - Análises química e granulométrica dos solos estudados

3.3.2 Calcário Dolomítico

As curvas espectrais revelaram que os solos diferiram dos tratamentos com menor dose de calcário dolomitico, e neles observam-se mudanças em sua intensidade de reflectância e forma, com exceção para o Latossolo de textura mais arenosa, onde a mesma teve alteração na inclinação, próxima a banda de 600 nm, resultando a partir dali uma redução na intensidade de reflectância mo comprimento de onda estudado. As mudanças quanto à forma, aconteceram principalmente na faixa do visível e do infravermelho próximo, com redução na concavidade no intervalo de 450 a 600 nm, para todas as classes de solo estudadas, resultando na redução da feição de absorção dos óxidos de ferro que ocorre também nessa faixa espectral. As feições de absorção pertencentes à mineralogia dos solos, também foram gradualmente reduzidas com o acréscimo de calcário dolomitico, entretanto, observa-se na banda 2325 nm que os tratamentos com misturas intermediárias entre solo e corretivo, a feição de absorção referente aos carbonatos surge na curva do solo, e pode ser melhor visualizado quando as curvas são visualizadas pelo método de remoção do espectro contínuo.

Os resultados das análises de agrupamento mostram que os latossolos com elevados teores de argila, teor de ferro e matéria orgânica, de forma geral, foram agrupados separadamente dos tratamentos que continham calcário dolomítico. O Latossolo de textura mais arenosa (LV4) foi agrupado com tratamentos com porcentagem de calcário.. Quando todos os tratamentos foram agrupados e re-submetidos ao mesmo tipo de análise agrupamento, observou-se que apenas as classes de solo correspondentes à S2 e S3, mantiveram-se separados de outros tratamentos. Os Latossolos de textura muito argilosa e argilosa (S1 e S3) foram agrupados junto com o tratamento de menor dosagem de calcário aplicado sobre o Latossolo de textura média arenosa. Os tratamentos com doses intermediárias de calcário dolomítico foram agrupados de forma cruzada

entre as diferentes classes de solo, e o mesmo aconteceu com as doses mais elevadas de aplicação do mesmo.



Figura 2 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com calcário dolomítico

	Agrupamentos			
Solos*	Cluster	Distância Média	Tratamentos relacionados	
S1	1	0.00	S1	
	2	0.39	T2; T10; T3; T4; T5; T7	
	3	0.24	S1T6; C6; S1C6	
S2	1	0.36	S2; T1	
	2	0.32	T2; T10; T3; T4; T5	
	3	0.17	T5; T6; T7; C6; S2C6	
S3	1	0.00	S3	
	2	0.33	T1; T2; T10; T3; T4	
	3	0.20	T5; T6; T7; C6; S3C6	
S5	1	0.12	S5; T1; T2	
	2	0.37	T10; T3; T4; T5	
	3	0.39	T6; T7; C6; S5C6	
\$1;\$2;\$3;\$5	1	0.27	S1; S3; S5T1	
	2	0.00	S2	
	3	0.00	85	
	4	0.29	S1T1; S3T1; S5T2	
	5	0.00	S2T1	
	6	0.20	S1T2; S1T10; S2T2; S2T10; S3T2;	
			S3T10; S5T5	
	-	0.22	S1T3; S1T4; S1T5; S1T6; S1T7; S2T3; S2T4;	
	7	0.32	S215; S314; S315; S317; S516; S517	
	8	0.13	S5T3; S5T4; S5T10	
	9	0.24	C6; S1C6; S2C6; S3C6; S5C6	

Fabela	2	-	Resultados	da	análise	de	agrupamento	de	cluster	associados	à	classificação
			supervision	ada	das fotos	s dos	s tratamentos					

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

3.3.3 Calcário Calcítico

A análise das curvas espectrais mostra que as feições de absorção do solo foram dominantes em relação ao tratamento com menor dosagem de calcário calcitico, com mudanças perceptíveis na intensidade de reflectância e forma, para todos os Latossolos estudados. Com relação à forma, como no calcário dolomitíco, aconteceram principalmente na faixa do visível e do infravermelho próximo, com redução na concavidade no intervalo de 450 a 600 nm, para todas as classes de solo estudadas, resultando na redução da feição de absorção dos óxidos de ferro que ocorre também nessa faixa espectral. As feições de absorção pertencentes à mineralogia dos solos, também foram gradualmente reduzidas com o acréscimo de calcário, entretanto, observa-se que na banda 2325 nm os tratamentos com misturas intermediárias entre solo e corretivo), a

feição de absorção referente aos carbonatos surge na curva do solo, e pode ser melhor visualizado método de remoção do espectro contínuo.



Figura 3 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com calcário calcítico

	Agrupamentos	Distância	
Solos*	Cluster	Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.28	S1
	2	0.19	T2; T10; T3; T4; T5; T7
	3	0.27	S1T6; C6; S1C6
S2	1	0.22	S2; T1
	2	0.27	T2; T10; T3; T4; T5
	3	0.20	T5; T6; T7; C6; S2C6
S3	1	0.16	S3
	2	0.28	T1; T2; T10; T3; T4
	3	0.21	T5; T6; T7; C6; S3C6
S5	1	0.23	S5; T1; T2; T3; T4
	2	0.26	T5; T6; T7; C7
	3	0.00	S5C7
\$1;\$2;\$3;\$5	1	0.19	S1; S3; S2T1
	2	0.00	S2
	3	0.00	S5
			S1T1; S1T2; S1T10; S1T3; S1T4;
	4	0.25	S2T10; S2T2; S3T2
			S1T5; S2T3; S2T4; S2T5; S3T3; S3T4;
	5	0.25	S3T5; S5T3; S5T4; S5T5
	6	0.25	S2T1; S3T1; S3T10
	7	0.38	S5T1; S5T2
	8	0.05	S1C7; S2C7; S3C7; S5C7
			C7; S1T6; S1T7; S2T6; S2T7; S3T6;
	9	0.25	S3T7; S5T6; S5T7

 Tabela 3 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

3.3.4 Gesso

A assinatura espectral das classes de solos foi alterada em todos os tratamentos com aplicação de gesso, com mudanças em relação à intensidade de reflectância e forma (Figura 3). As mudanças na forma das curvas espectrais dos solos ocorreram no comprimento de onda inferior 600 nm, com troca da concavidade característica dos solos por uma inclinação acentuada das curvas, e aparecimento de feição de absorção referente ao gesso na banda de 450 nm, a partir do tratamento T4. A banda em 900 nm, relacionado aos óxidos de ferro do solo também foi alterada com o acréscimo de gesso sobre o solo, e esta mudança foi diretamente relacionada com o teor de ferro de cada classe de solo. Nos tratamentos com menor dosagens de gesso, a curva do solo muda na banda de 1900 nm referente à água, que neste caso somaram-se a dos solos e o presente na estrutura cristalina do gesso, conferindo uma forma mais abaulada quando comparado

com o padrão dos solos. As mudanças na mineralogia dos solos com o acréscimo de gesso foram pouco perceptíveis, pois foram substituídas gradualmente por feições de absorção presente no gesso que compartilham as mesmas bandas de absorção da mineralogia dos solos. As análises de remoção do espectro contínuo e derivada confirmam as observação feitas anteriormente.

As análises de agrupamento feitos individualmente para cada classe de solo (tabela 4), mostram os tratamentos que continham gesso, a menor porcentagem de cobertura foi no solo mais argiloso (S1), a partir da dose T2. As classes de referentes à S2 e S3 solo foram agrupadas com a dosagem referente ao tratamento T5. Os tratamentos contendo recobrimento total de gesso foram agrupados separadamente, indicando que não ouve influência do comportamento espectral dos solos.

Quando os dados foram avaliados em conjunto (tabela 4), foi observado que com o aumento do número de agrupamentos de cluster, o solo mais arenoso (S5) foi separado dos demais tratamentos, diferentemente do resultado obtido quando analisado separadamente. De forma geral, as classes de solo contendo gesso foram agrupadas entre si, e para o tratamento de maior dosagem (T10), o agrupamento foi formado pelas quatro classes de solo, indicando que estatisticamente não diferem entre si.



Figura 4 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com gesso
	Agrupamentos	Distância	
Solos*	Cluster	Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.02	S1; T1; T2
	2	0.17	T3; T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.22	C8; S1C8
S2	1	0.16	S2; T1; T2; T3; T4; T5
	2	0.26	T6; T10
	3	0.17	C8; S2C8
S3	1	0.15	S3; T1; T2; T3; T4; T5
	2	0.25	T6; T7; T10
	3	0.34	C8; S3C8
S5	1	0.19	S5; T1; T2; T3; T4; T6
	2	0.25	T5; T7
	3	0.40	C8; S5C8
\$1;\$2;\$3;\$5	1	0.24	S1; S3; S1T1; S3T1; S3T2; S3T3; S5T1
	2	0.17	S2; S1T2; S2T2; S2T3
	3	0.00	S5
	4	0.18	S5T2; S5T3; S5T4; S5T5
			S1T3; S1T4; S1T5; S1T6; S3T4; S3T5;
	5	0.24	S3T6; S3T7; S5T6; S5T7
	6	0.15	S1T7; S2T4; S2T5; S2T6
	7	0.17	S1T10; S2T10; S3T10; S5T10
	8	0.16	S1C8; S2C8; S3C8; S5C8
	9	0.00	C8

 Tabela 4 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

3.3.5 Yoorim

O produto yoorim, por apresentar a menor intensidade de reflectância entre todos os estudados, e não apresentar nenhuma feição de absorção evidente, a sua aplicação sobre o solo resultou apenas na redução de intensidade de reflectância dos mesmos (Figura x). No solo com maiores teores de matéria orgânica e ferro, as alterações foram mais graduais quando comparados com os outros solos. As informações obtidas pela remoção do espectro contínuo mostraram que as principais mudanças na faixa do visível, com maior intensidade na banda de 500 nm.

Todas as classes de solo foram agrupadas com tratamentos contendo yoorim, e a quantidade envolvida de cobertura teve a seguinte ordem decrescente S2>>S1>S3>S4, confirmando com o resultado obtido quando foram avaliados as curvas espectrais. Vale também destacar que os tratamentos com total recobrimento do produto foram inseridos no mesmo agrupamento de cluster. Quando todas as classes de solo foram avaliadas conjuntamente, apenas

o S2 foi incluído em agrupamento contendo tratamentos com yoorim, confirmando o resultado observado quando foram avaliados separadamente. Os tratamentos contendo yoorim foram agrupados de forma cruzada com as diferentes classes de solo para aqueles com doses intermediárias, e para as dosagens mais altas todos os solos formaram o mesmo agrupamento. As análises de remoção do espectro contínuo e derivada de primeira ordem confirmam os resultados observados acima.



Figura 5 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com Yoorim

Solos*	Agrupamentos Cluster	Distância Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.28	S1; T1; T2
	2	0.14	T3; T4; T5; T6; T10
	3	0.28	C9; S1C9
S2	1	0.11	S2; T1; T2; T3; T4
	2	0.04	T5; T6; T7
	3	0.02	C9; S2C9
S3	1	0.27	S3; T1
	2	0.00	T2; T3; T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.30	C9; S3C9
S5	1	0.32	S5; T1
	2	0.30	T2; T3; T4; T5; T6; T7; T10
	3	0.00	C9; S5C9
S1;S2;S3;S5	1	0.22	S1; S3
	2	0.00 0.27	S1T1 S2; S1T2; S2T1; S2T2; S2T3; S2T4; S3T2
	4	0.00	\$5
	5	0.26	S1T3; S1T4; S1T5; S2T1; S3T3; S3T4; S5T4; S5T5; S5T6; S5T7
	6	0.23	S1T6; S2T5; S2T6; S3T5; S3T6
	7	0.21	S5T1; S5T2; S5T3
	8	0.18	S1T10; S2T7; S3T7; S3T10; S5T10
	9	0.19	C9; S1C9; S2C9; S3C9; S5C9

 Tabela 5 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

3.3.6 Torta de Filtro

A análise das curvas espectrais mostra que o acréscimo de torta de filtro sobre os solos resultou em aumento na intensidade de reflectância no infravermelho próximo, e a intensidade dessa alteração foi inversamente proporcional aos teores de matéria orgânica e ferro. Quando análisados pelo agrupamento de cluster, apenas o solo mais arenoso foi agrupado com os demais tratamentos contendo torta de filtro. O mesmo ocorreu em relação ao produto puro, que foi separado dos demais tratamentos. A análise de agrupamento (Figura 6) mostra que os tratamentos que continham apenas os solos foram separados dos tratamentos de menor dosagem,

com exceção do solo mais arenoso. Também observa-se que todos os tratamentos de maior dosagem (T10) foram agrupados independentemente das classes de solo.



Figura 6 - Curvas espectrais dos solos: (a) S1 (LV1); (b) S2 (LVf2); (c) S3 (LV2); (d) S5(LV4), com destaque para os resultados de remoção do espectro contínuo, para tratamentos com torta de filtro

Solos*	Agrupamentos Cluster	Distância Média	Tratamentos relacionados
S1	1	0.00	S1
	2	0.58	T1; T2; T3
	3	0.55	T4; T5; T6; T7; S1C10; C10
S2	1	0.61	S2; T1; T3
	2	0.61	T2; T4; T5; T6
	3	0.50	T7; T10; S2C10; C10
S3	1	0.00	\$3
	2	0.60	T1; T2; T3; T4; T5; T6
	3	1.00	T10; S3C10; C10
S5	1	0.00	S5
	2	0.71	T2; T3; T5; T6; T7
	3	0.75	T4; T10; S5C10
S1;S2;S3;S5	1	0.00	S1
	2	0.00	S3
	3	0.00	S5
	4	0.35	S2; S2T1
	5	0.34	S1T4; S1T5; S2T6; S2T7; S3T6; S5T2; S5T3
	6	0.35	S1T1; S1T2; S2T2; S2T3; S3T1; S2T2
	7	0.25	S1T6; S1T7; S1T10; S2T10; S3T7; S3T10; S5T4; S5T5; S5T6; S5T7; S5T10
	8	0.30	S1T3; SST4; S2T5; S3T3; S3T4; S3T5; S5T1
	9	0.13	S1C10; S2C10; S3C10; S5C10

Tabela 6 - Resultados da análise de agrupamento de cluster associados à classificação supervisionada das fotos dos tratamentos

*S1- LV1; S2 - LVf2; S3- LV2; S5-LV4

3.4 Conclusões

1 - O acréscimo dos adubos e corretivos interferiram no comportamento espectral das classes de solo, no entanto, quando avaliado pelo agrupamento de cluster, a resposta variou em função do tipo de Latossolo e da cobertura utilizada.

2- Quando os solos foram avaliados junto com a cobertura, conluí-se pelo análise de agrupamento de lcuster que as curvas dos solos quando recobertos pelos adubos e corretivos podem ser confundidos entre si.

3 - Os metodos de remoção do espectro contínuo e derivada auxiliaram na visualização e identificação das feições de absorção dos tratamentos estudados.

Referências

CLARK, R.N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: RENCZ, A.N. (Ed.). **Manual of remote sensing**, New York: John Wiley, 1999. v. 3: Remote sensing for the earth sciences, p. 3-58.

CLARK, R.N.; ROUSH, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, Washinton, v. 89, n. B7, p. 6329-6340, 1984.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **ConabWeb**. Disponível em: <<u>http://www.conab.gov.br/conabweb/></u>. Acesso em: 10 maio 2010.

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, p. 481-489, 2005.

DEMATTÊ, J.A.M. **Reflectância espectral de solos**. 1999. 451p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 63, n. 2, p. 327-342, 1999.

DEMATTÊ, J.A.M.; DEMATTÊ, J.L.I.; CAMARGO, W.P.; FIORIO, P.R.; NANNI, M.R. Remote sensing in the recognition and mapping of tropical soils developed on topographic sequences. **Mapping Science and Remote Sensing**, Silver Spring v. 38, p. 79-102, 2001.

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, p. 697-706, 2005.

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA; J.B Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 467-474, 1996. GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment,** Amsterdam, v. 61, p. 24-33, 1997.

LINDBERG, J.D.; SMITH, M. Reflectance spectra of gypsum sand from the white sands national monument and basalt from a nearby lava flow. **American Mineralogist**, v. 58, p. 1062-1064, 1973.

MADEIRA NETTO, J. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J. **Sensoriamento remoto:** reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001. p. 127-154.

MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J.S.M. (Org.). Sensoriamento remoto: reflectância e alvos naturais. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 157-199p.

MONTGOMERY, O.L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils. 1976. 148p. Thesis (PhD in Soil Science) - Purdue University, West Lafayette, 1976.

MUTANGA, O.; SKIDMORE, A.K. Hyperspectral band depth analysis for a better estimation of grass biomass (*Cenchrus ciliares*) measured under controlled laboratory conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, p. 87-96, 2004.

OBUKHOV, E.D.A.I.; ORLOV, S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations. **Soviet Soil Science**, Silver Spring, v. 2, p. 174-184, 1964.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 192 p.

RUDORFF, C. M.; NOVO, E. L. M. GALVÃO, L. S.; PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia, Acta Amazônica, Manaus, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SOUSA JUNIOR, J.G. Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos. 2005. 141p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SOUZA, Z.M. de; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 271-278, 2005.