

Sistemas de sensores laboratoriais para a análise do comportamento espectral da vegetação sob a influência de diferentes tipos de solo e cobertura vegetal

Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis¹
Cibele Teixeira Pinto¹
Enrique Maurício Del Castillo¹
Francisca Rocha de Souza Pereira¹
Gabriel Moiano Cesar¹
Jansen Santos Poças¹
Juliana Silveira dos Santos²
Leidiane do Livramento Andrade¹
Marcus Vinícius Alves de Carvalho¹
Natalia de Moraes Rudorff¹
Rogério Ribeiro Marinho¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{likitgb, cibele, castillo, fran, moiano, jansensp, leidiane, carvalho, nmr, rogeosr}@dsr.inpe.br

²Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil
juliana.silveiradossantos@gmail.com

Abstract. At the present work, it was analyzed the influence of different kinds of soil and cover in the spectral behavior of vegetation. This kind of study might be done by the acquisition of data in laboratories, using radiometric techniques to force appropriate conditions, without atmospheric interference, that might damage the spectral response from targets. Among the remote sensing techniques used to explore the spectral properties of vegetation are also the vegetation indexes, NDVI, SAVI and RS. The majority of them use the vegetation reflectances in the red and near infrared bands to characterize the growth and development parameters of vegetation. When studying vegetation with remote sensing techniques it is necessary to know the physiology and reflectance spectrum of the kind of studied plant, considering the three parts of the sun radiation after reaching the earth: the absorbed, the reflected and the transmitted ones. The soil spectrum of reflectance depends on its biological, physical, chemical and mineralogical compositions. Some factors that cause influence on its reflectance are the moisture, texture, color and the amount of iron inside its components. The reflectance factor curves were obtained after doing the reflectance measurements in the Laboratory of Radiometry at the National Institute of Space Research (LARAD - INPE), by the use of the spectroradiometer FieldSpec Pro FR.

Palavras-chave: radiometry, vegetation indexes, reflectance factor, radiometria, índices de vegetação, fator de reflectância.

1. Introdução

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que permite o estudo de diversas variáveis ambientais, devido a sua aplicabilidade nas ciências físicas, biológicas e sociais. A fundamentação das técnicas do sensoriamento remoto é baseada na porção da radiação eletromagnética que é refletida e/ou emitida pelos diferentes alvos da superfície terrestre. Estudos para analisar o espectro da reflectância de alvos naturais por meio de sistemas sensores possuem três frentes de aquisição de dados, entre elas: terrestre (laboratório e campo), aéreo e orbital. No laboratório, as técnicas radiométricas são ferramentas que possibilitam condições apropriadas para estas análises, sendo possível eliminar as atenuações atmosféricas que interferem na resposta espectral dos alvos e obter dados ideais para serem processados com precisão (MOREIRA, 2003).

Formaggio (1983) destaca que a superfície terrestre, conforme é detectada pelos sensores remotos, pode ser vista como uma paisagem composta pelos elementos água, vegetação e solos. Para o estudo da vegetação através de sensoriamento remoto é necessário conhecer a fisiologia e o espectro de reflectância da planta estudada, considerando-se que a radiação solar que atinge a superfície terrestre corresponde a três frações: a absorvida, a refletida e a transmitida. A folha é o principal órgão absorvedor da radiação eletromagnética (REM) da vegetação e o elemento que mais contribui para o sinal detectado por sensores remotos (MOREIRA, 2003).

Na reflectância espectral das folhas pode-se citar a influência de três fatores dominantes: pigmentos da folha, estrutura celular e conteúdo de água. Os pigmentos encontrados nas folhas (clorofila, carotenóides, xantofilas) atuam como absorvedores da radiação eletromagnética na região espectral do visível (radiação fotossinteticamente ativa) e são responsáveis por baixos valores de reflectância nesta região espectral. Porém, algumas componentes das folhas são praticamente transparentes à REM na região do infravermelho próximo como, por exemplo, a epiderme e a cutícula. Entretanto, ao incidir nas células do mesófilo esponjoso e nas cavidades de ar presentes no interior da folha, a REM sofre múltiplos espalhamentos e refração (devido à diferença de meios), aumentando, desta forma, a reflectância no infravermelho próximo. Na região espectral do infravermelho médio a resposta espectral é dominada principalmente pela absorção de REM pelas moléculas de água, sendo evidentes bandas de absorção próximas a 1400nm, 1900nm e 2500nm (PONZONI, 2001).

Entre as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas para explorar as propriedades espectrais da vegetação estão os índices de vegetação. Existem inúmeros índices e a maioria deles utiliza a razão das reflectâncias da vegetação nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo para caracterizar os parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação. Estas duas bandas contêm mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação (EPIPHANIO et al., 1992).

Os índices de vegetação podem estar relacionados à quantidade de biomassa, porcentagem de cobertura, índice de área foliar (IAF) e absorção da radiação fotossinteticamente ativa. Porém, há limitações nessas relações devido às influências atmosféricas e diferenças no substrato, como o tipo de solo. Um exemplo é a acentuada influência do solo no espectro de reflectância da vegetação, quando as culturas agrícolas apresentam baixo nível de biomassa no início do seu ciclo fenológico, havendo neste caso, uma maior exposição das entrelinhas do cultivo; com isso, a interferência do solo na reflectância da vegetação é maior. À medida que a cultura se desenvolve, há um aumento da biomassa e conseqüentemente uma menor contribuição da porção solo na reflectância. Assim, é importante analisar os parâmetros que influenciam o espectro de reflectância da vegetação, como: área foliar, distribuição angular de folhas, reflectância do solo, ângulo zenital solar, ângulo de visada e ângulo azimutal (LUIZ et al., 2001).

O comportamento espectral detalhado dos solos por meio da espectroscopia, tanto de campo como de laboratório, pode fornecer elementos interessantes e ainda praticamente inexplorados no sentido de vir a tornar-se um elemento informativo a mais nos levantamentos de solos (EPIPHANIO et al, 1992). O espectro de reflectância do solo depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica. Os fatores de maior influência na reflectância dos solos são: a umidade, o teor da matéria orgânica, a textura, a cor, a capacidade de troca catiônica, o teor de óxidos de ferro bem como às combinações heterogêneas de minerais, e as suas condições de superfície (MOREIRA, 2003).

Algumas feições típicas no espectro de reflectância dos solos, como as bandas de absorção estão relacionadas com a interação dos átomos ou moléculas dos diferentes constituintes do solo com a radiação eletromagnética em comprimentos de ondas específicos.

O teor e os componentes da matéria orgânica (MO), constituinte primário da coloração do solo, apresenta grande contribuição na reflectância do mesmo, sendo que identificasse um aumento na reflectância quando há um decréscimo no teor de MO no solo. A matéria orgânica pode ainda exercer um efeito de máscara, ou seja, contribuir para a diminuição das feições de absorção de outros constituintes do solo (DALMOLIN, 2002).

Várias feições principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo, no espectro de reflectância dos solos, são atribuídas à presença do ferro. Teores de ferro podem mascarar a presença de matéria orgânica dos solos. A distribuição do tamanho de partículas e a presença de diferentes argilominerais também influenciam no espectro de reflectância. Solos de textura arenosa tendem a ter maior reflectância, devido à sua constituição mineralógica (rica em quartzo), e ao fato de geralmente apresentarem baixos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e água. A diminuição no tamanho da partícula, ou seja, o aumento da proporção da areia fina e areia muito fina, provoca aumento na reflectância em solos de textura arenosa. Para solos de textura média a fina, ocorre o contrário (DALMOLIN et al., 2005).

Em relação à umidade, os solos se tornam mais escuros com o aumento da mesma, ocasionando uma diminuição na sua reflectância ao longo do espectro óptico. O espectro de reflectância dos solos depende do comportamento dos seus componentes minerais e do comprimento de onda analisado (ALVARENGA et al., 2003).

Para avaliar a influência do substrato no comportamento espectral da vegetação, o presente trabalho considerou dois tipos de solos e diferentes percentuais de cobertura verde sobre o solo. O comportamento espectral foi avaliado em termos de curvas de fator de reflectância medidas em laboratório e índices de vegetação: o Índice de Vegetação da Razão Simples (RS), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI).

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição Experimental

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob condições de iluminação e da atmosfera controlados.

Foi utilizado um espectroradiômetro FieldSpec Pro FR com FOV de 25°, uma fonte de iluminação halógena (NORIS - 250W), placa de referência Spectralon, tecido preto (usado de fundo) e amostras de dois tipos de solos, cuja composição está listada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição das amostras de solo contidas nas caixas do experimento

Plintossolo Tb Alico A moderado médio argiloso caulinitico relevo plano (Solo CLARO)	Latossolo Roxo Distrófico Epieutrófico muito argiloso relevo plano (Solo ESCURO).
Material origem: sedimentos argilo-siltosos	Material origem: basalto
Areia grossa: 26 %	Areia grossa: 1%
Areia fina: 23%	Areia fina: 3%
Silte: 10%	Silte: 12%
Argila: 41%	Argila: 84%
C%: 0,19	C%: 0,35
pH (H ₂ O): 5,3	pH (H ₂ O): 5,1
T: 1,18	T: 6,2
V%: 1,18	V%: 24
Fe ₂ O ₃ : 1,2	Fe ₂ O ₃ : 27,9
Al ₂ O ₃ : 15,1	Al ₂ O ₃ : 21,7
SiO ₂ : 18,7	SiO ₂ : 26,1
TiO ₂ : 1,08	TiO ₂ : 3,71
Cor Munsell: 10YR 6/3	Cor Munsell: 10R 3/4
Nome-cor: bruno-claro-acinzentado	Nome-cor: vermelho-escuro-acinzentado
Ki: 2,11	Ki: 2,02

Para a simulação de uma cultura, os solos foram condicionados em caixas quadradas com 25 cm de lado e 3 cm de altura, pintadas com tinta preta, para evitar interferência da cor da caixa no espectro medido. Os vegetais da cultura na simulação são representados por pedaços de folhas verdes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cortadas em forma de retângulo (3cm x 4cm) e posicionados em “linhas de plantio”. Tiras de folhas cortadas com 1 cm de largura e 10 cm comprimento foram posicionadas entre as “linhas de plantio”, a fim de simular diferentes porcentagens de coberturas verdes (0%, 50% e 100%).

Os dados de fator de reflectância foram representados em forma de gráficos de curvas espectrais a fim de representar o comportamento espectral de cada amostra e buscar correlacionar as curvas com as variáveis dos tipos de solos, porcentagem de cobertura e ângulo de visada.

2.2 Medições Espectroradiométricas

Devido às dificuldades técnicas na obtenção da reflectância espectral em experimentos de campo e em laboratório, obtém-se, na prática, uma grandeza equivalente denominada de Fator de Reflectância (Equação 1) que é a razão entre a radiância espectral de uma amostra (alvo) pela radiância espectral de uma superfície lambertiana ideal, sob as mesmas condições de iluminação e observação:

$$FR_{medido} = L_{\lambda,alvo} / L_{\lambda,referencia} \quad (1)$$

Onde: FR_{medido} é o fator de Reflectância medido; $L_{\lambda,alvo}$ a radiância espectral da amostra e $L_{\lambda,referencia}$ a radiância espectral da placa de referência.

A repetitividade é o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição (INMETRO, 2007). A repetitividade está associada à probabilidade de que o valor do erro esteja dentro de uma determinada faixa. Assim, foram realizadas três repetições em locais ligeiramente diferentes, a fim de tornar as medições mais representativas das condições pretendidas.

Para obter a incerteza das medições, foram consideradas as incertezas estatísticas. Com os três valores do FR_{medido} foi calculada a média e o seu desvio padrão amostral. Quando o desvio padrão amostral era muito diferente das outras medidas optou-se por retirar umas das três medições (aquela com maior diferença). De posse das duas medições escolhidas, foi então recalculada a média e o novo desvio padrão, o qual se enquadra com os demais desvios padrões. Ressalta-se que apenas 4 (quatro) de 180 (cento e oitenta) medições foram excluídas.

Em seguida, utilizando-se da Equação 2, calculou-se o desvio padrão da média (σ_m), pois o amostral não correspondia à incerteza do valor mais provável (valor médio). Assim, calculou-se o σ_m , para estabelecer a dispersão dos valores médios em relação ao verdadeiro:

$$\sigma_m = \sigma_p / \sqrt{n} \quad (2)$$

Onde: σ_p é o desvio padrão e n é o número de medições.

Depois de calculado o desvio padrão da média, foi estimada a incerteza expandida (σ_{EXP}), com o valor esperado de uma fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (INMETRO, 2003). Assim, para compensar a estimativa baseada em um número finito de dados, a σ_{EXP} é obtida multiplicando-se a estimativa da incerteza, σ_m , pelo fator t de Student conforme a Equação 3:

$$\sigma_{EXP} = t \times \sigma_m \quad (3)$$

Onde: t é o fator t -student, que é tabelado em função do tamanho da amostra n (ou do grau de liberdade ν) e do nível de confiança desejado. Neste trabalho foi considerado o intervalo de confiança de 68,3%, ($t=1,32$), para três medições e $t=1,84$, para duas medições.

2.3 Calibração do sistema

Como a placa de referência não era perfeitamente lambertiana, foi necessário calcular o fator de calibração espectral (k_λ), em função da razão entre a radiância espectral da placa de referência ($L_{\lambda, referencia}$) e da radiância espectral de uma placa padrão ($L_{\lambda, Padrao}$) (Equação 4).

$$k_\lambda = L_{\lambda, referencia} / L_{\lambda, Padrao} \quad (4)$$

Como e dispunha de apenas uma medição da placa padrão e uma da referência, optou-se por utilizar o menor desvio padrão obtido na medição do solo exposto para ser a incerteza do fator de calibração (σ_k).

A partir do valor calculado de k_λ , é possível gerar o fator de reflectância espectral (FR_λ) da amostra corrigido em relação à placa de referência, por meio da Equação 5:

$$FR_\lambda = FR_{medida} \times k_\lambda \quad (5)$$

Como o valor de FR_λ é obtido de maneira indireta, ou seja, é dependente de FR_{medida} e k_λ , foi necessário calcular a incerteza final de FR_λ (σ_{final}) obtido pela Equação 6:

$$\sigma_{final} = FR_\lambda \sqrt{(\sigma_{EXP} / R_{medida})^2 + (\sigma_k / k_\lambda)^2} \quad (6)$$

Onde: σ_{EXP} e σ_k são as incertezas de FR_{medida} e k_λ , respectivamente.

2.4 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação (IV) são combinações de razões de reflectâncias em diferentes bandas do espectro, sendo que, na sua maioria, utilizam informações contidas nas reflectâncias referentes às faixas espectrais do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP), pois são as faixas do espectro electromagnético que contêm a maior variação de resposta espectral para a vegetação. Eles têm sido utilizados como indicadores de presença e condição da vegetação devido a sua correlação com as variáveis biofísicas da vegetação, como IAF, biomassa e percentagem de cobertura vegetal.

O RS é especialmente sensível a variações na biomassa ou no IAF, e é estimado por uma simples razão de valores de reflectância contidos em bandas do IVP e V (Equação 7).

$$RS = IVP / V \quad (7)$$

O índice que tem função similar ao RS é o NDVI (Equação 8), normalmente mais utilizado, que possibilita separar áreas de maior e menor concentração de material fotossinteticamente ativo. No NDVI há grande correlação com variáveis biofísicas do dossel com valores que variam entre 0 e 1 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V) \quad (8)$$

A fim de minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação, foi introduzido um fator L no NDVI, obtendo-se o SAVI (Equação 9), o qual faz parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste. O fator L é uma constante de ajuste para minimizar o efeito do solo, e no trabalho foi utilizado L= 0,5.

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (IVP - V)}{(L + IVP + V)} \quad (9)$$

Para a avaliação dos três índices foram utilizados os valores de fator de reflectância médio, simulando as bandas (B3 e B4) do sensor TM a bordo do satélite Landsat-7.

3. Resultados e Discussão

Foi observada uma grande diferença na amplitude do fator de reflectância entre os dois tipos de solos, conforme ilustrado nos gráficos das Figuras 1 (A) e (B). O solo escuro apresentou valores bem menores em todo o espectro, causados provavelmente pela presença de matéria orgânica nesse solo, que absorveu grande quantidade da radiação incidente. Pode-

se verificar que no solo escuro ocorreu uma acentuada depressão na região próxima a 450nm e uma concavidade em 900nm. A partir dessas feições pode-se identificar a presença de ferro na amostra. Em ambas as amostras, solo claro e escuro, observam-se duas bandas de absorção bem centuadas próximas a 1400nm e 2200nm, indicando a presença de caulinita ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$) (CROWLEY; VERGO, 1988), com maior intensidade no solo claro. Há outra banda de absorção em 1900 nm, possivelmente produzida pela umidade nos dois tipos de solo.

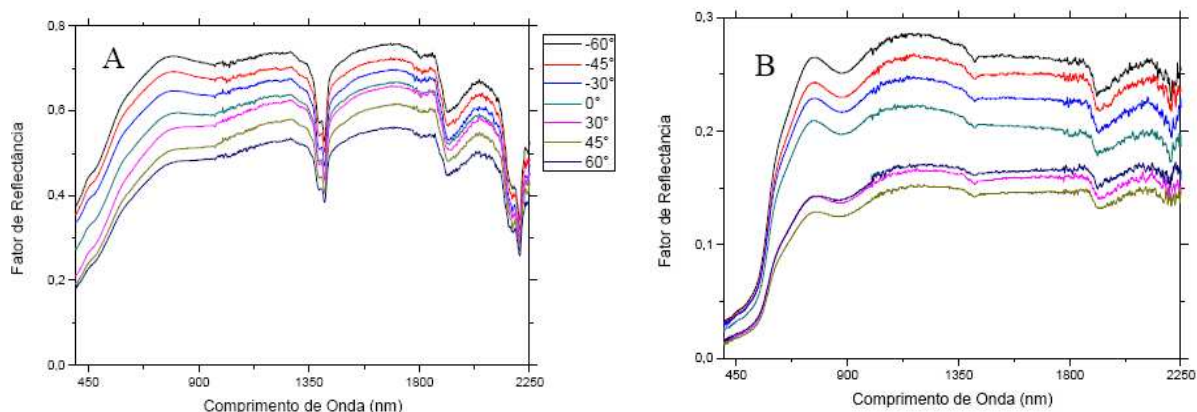


Figura 1. (A) solo claro; (B) solo escuro (ambos sem vegetação).

Quando foram adicionadas fileiras de vegetação entre o dossel, simulando a presença de cobertura vegetal rasteira, houve um aumento na porcentagem de cobertura vegetal sobre o solo. Ao analisar o comportamento espectral do dossel simulado pelo experimento, foi observada a influência dos fatores referentes à atividade fotossintezante da vegetação na faixa do visível, estrutura interna da folha na faixa do infravermelho próximo e conteúdo de água no infravermelho médio. Para efeito de comparação, foram plotadas apenas as medidas a nadir para comparar o efeito dos diferentes percentuais de cobertura entre as fileiras do dossel em relação à contribuição do solo na reflectância, conforme o ilustrado no gráfico da Figura 2.

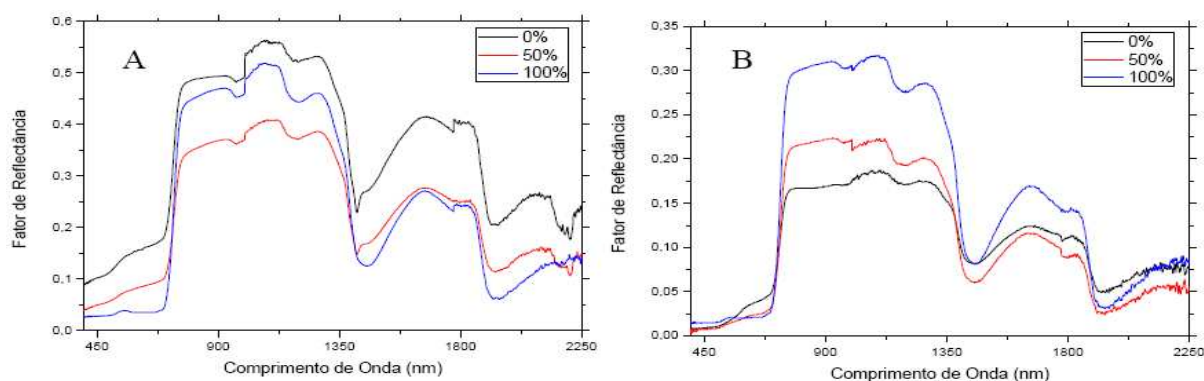


Figura 2. (A) solo claro; (B) solo escuro (ambos com asfileiras de vegetação entre o dossel).

Na faixa do visível, houve uma diminuição do fator de reflectância principalmente devido às bandas de absorção na região do azul e do vermelho pela clorofila, nas amostras de ambos os tipos de solo. Já no infravermelho próximo, como a radiação é espalhada devido à estrutura interna da vegetação, em geral, há um aumento da reflectância nesta região. No entanto, isso só pôde ser observado nos percentuais de cobertura de 50% e 100% na amostra do solo escuro. No solo claro, a presença da vegetação diminuiu a reflectância em todos os comprimentos de onda de um modo geral. No infravermelho médio, o fator de reflectância foi muito atenuado nas amostras com os dois tipos de solo, contendo duas acentuadas bandas de

absorção em 1400nm e 1900nm, devido à quantidade de água no interior da estrutura foliar da vegetação. Em suma, o aumento na porcentagem de cobertura vegetal diminuiu o fator de reflectância do solo claro e aumentou do solo escuro, principalmente nas regiões do infravermelho próximo e médio, pois a vegetação reflete menos que o solo claro e mais que o solo escuro nestas faixas espectrais. No geral, em relação às incertezas finais para 50% de cobertura vegetal entre as fileiras foi de 15%. O comportamento espectral do dossel também é fortemente influenciado pela geometria do dossel, pela geometria de iluminação (posição da fonte de radiação) e de visada (posição do sensor). Neste experimento, foi simulado um dossel composto por folhas dispostas verticalmente, e por isto verificaram-se duas situações distintas. Quando o sensor foi posicionado na direção oposta à fonte de iluminação, a porção da vegetação medida foi a “mal iluminada”. Assim, o fator de reflectância foi menor do que o de quando disposto na mesma posição da fonte de iluminação, ou seja, na porção “bem iluminada” (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

No que se refere aos índices de vegetação (Figura 3), os maiores valores observados foram devidos ao aumento de cobertura vegetal entrelinhas, exceto para o SAVI. Para o solo descoberto, que reflete no visível e no infravermelho próximo em uma intensidade similar, o NDVI e o SAVI aproximaram-se de 0 e o RS de 1. Já a vegetação apresentou NDVI, SAVI e RS altos, pois a diferença é acentuada entre o visível e o infravermelho. O índice que apresentou maior influência em relação aos diferentes percentuais de cobertura foi o RS. A amplitude de variação dos valores do índice RS foi bastante alta, principalmente nas amostras de solo escuro e na cobertura de 100% de vegetação no solo claro. O NDVI não apresentou muito efeito do solo na amostra de solo escuro, mas no caso do solo claro, o efeito da contribuição do solo no sinal foi maior.

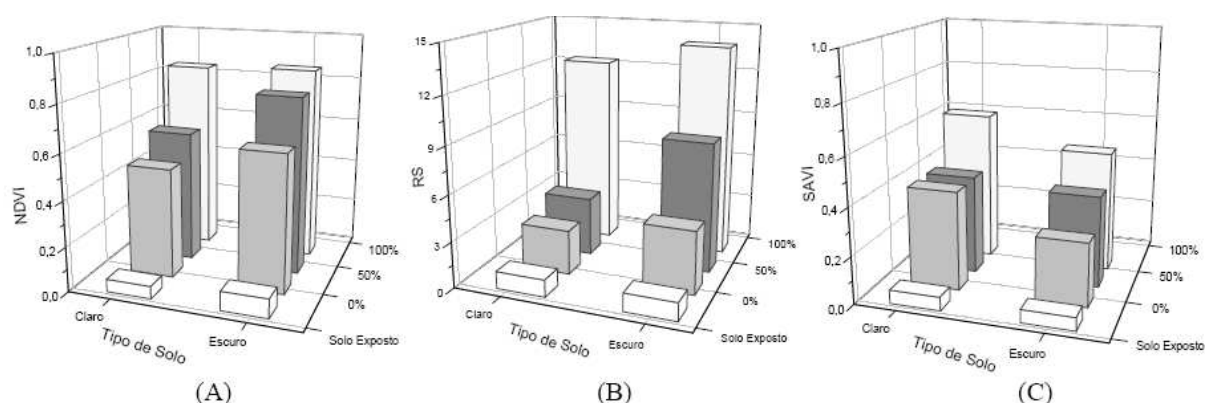


Figura 3. Índices de vegetação para diferentes percentuais de cobertura entre as fileiras do plantio do solo claro e escuro e visada a nadir: (A) NDVI; (B) RS; (C) SAVI.

4. Conclusões

Os diferentes tipos de solo, com propriedades de maior ou menor reflectância, tiveram diferentes proporções de influência nos sinais registrados pelo espectrorradiômetro, medido indiretamente pelo fator de reflectância calculado. O solo claro, por ter uma maior reflectância em todo espectro, proporcionou o aumento da reflectância em função do aumento de sua contribuição no sinal. Já o solo escuro teve uma tendência de diminuição da reflectância com o aumento da sua contribuição. Estes efeitos foram observados principalmente na região do infravermelho próximo e médio.

O índice que apresentou melhor desempenho na diminuição do efeito do solo pela contribuição do sinal registrado pelo sensor foi o SAVI e o pior foi o RS. No NDVI o maior efeito do solo foi apenas na amostra de solo claro.

Referências Bibliográficas

Alvarenga, B. S; D'arco, E; Adami, M; Formaggio, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE 2003. Artigos, p. 739- 747.

Crowley, J.K.; Vergo, N. Near-infrared reflectance spectra of mixtures of kaolingroup minerals: use in clay mineral studies. **Clays and Clay Minerals**, n.36, p.310-316, 1988.

Dalmolin, R. S. D. Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas espectrais de Latossolos de diferentes ambientes. 2002. 151f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

Dalmolin, R. S. D; Gonçalves, C. N; Klamt, E; Dick, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, mar abr, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ct/v35n2/a42v35n2.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.

Epiphanyo, J. C. N.; Formaggio, A. R.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São Jose dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 132 p. (INPE-5424-PRP/172). Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.23.05>>. Acesso em: 18 jul. 2009.

Formaggio, A. R. Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbitais, de campo e de laboratório. 1983. 140 p. (INPE-2878-TDL/144). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1983.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade (INMETRO), **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição**, 3 ed., Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**, 5 ed., Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/vim.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

Luiz, A. J. B; Barros, M. G. M; Formaggio, A. R; Epiphanyo, J. C. N. Comportamento espectral associado a parâmetros agronômicos de soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE 2001. Artigos, p. 103- 110.

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

Ponzoni, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: Sensoriamento Remoto - reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001., Cap. 5, p. 157-202.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p.7-40.