

Caracterização espectral de plantios de *Eucalyptus* utilizando dados *Hyperion EO-1* e *SRTM*

Spectral characterization of *Eucalyptus* plantation using *Hyperion EO-1* and *SRTM* data

Vanessa Canavesi¹
Flávio Jorge Ponzoni²

Resumo

A disponibilidade de dados hiperespectrais trouxe expectativas nos meios acadêmicos e empresariais quanto à potencialidade de sua aplicação no setor florestal. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de dados hiperespectrais do sensor *Hyperion EO-1* na caracterização espectral de plantios de *Eucalyptus spp.* e os efeitos da geometria de iluminação nesse processo. Para avaliar a geometria de iluminação foram utilizados dados topográficos provenientes do *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* e as condições de iluminação presentes no momento da aquisição da imagem de satélite, gerando assim um fator de iluminação para a área de estudo. Os dados hiperespectrais foram convertidos para valores de FR de superfície, os quais passaram a constituir os dados fundamentais de todo o trabalho. A área de estudo contemplou os plantios do gênero *Eucalyptus spp.*, pertencentes à empresa Fibria S.A., localizados no município de Capão Bonito (SP). Foram coletados dados de diferentes espécies e em diferentes etapas de desenvolvimento, o que caracteriza diferenças estruturais nos dosséis dos plantios. As componentes principais foram aplicadas nos dados e foram confeccionados gráficos dos fatores referentes às duas primeiras componentes, dos quais foram extraídas informações estruturais sobre os plantios.

Palavras-chave: componentes principais; geometria de iluminação; sensoriamento remoto; dados hiperespectrais.

Abstract

The availability of the hyperspectral data brought expectations in academic and business circles regarding the potential of its application in the forestry sector. The goal of this work was to evaluate the implementation of hyperspectral data of the *Hyperion EO-1* sensor in spectral characterization of the *Eucalyptus spp.*

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Avenida dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, São Paulo, Brasil; E-mail: vanessa.canavesi@inpe.br

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, São Paulo, Brasil; E-mail: flavio@dsr.inpe.br

plantations and the effects of illumination geometry in this process. To assess the illumination geometry, topographical data were used from the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) and illumination conditions present at the time of the acquisition of satellite image, thereby a factor of illumination for the study area. Hyperspectral data were converted to values of surface bidirectional reflectance factor BRDF, which become the fundamental data of all the work. The study included the plantations of the genus *Eucalyptus spp.*, belonging to the company Fibria S.A., located in the Capão Bonito city, state of São Paulo. Data were collected from different species and in different stages of development, indicating structural differences in the plantations canopy. The principals components have been applied to the data and graphics were made of factors relateding to the first two components were made, and they were extracted provided structural information about the species studied.

Key words: principals components; illumination geometry; remote sensing; hyperspectral data.

Introdução

Desde que as primeiras imagens dos satélites da série LANDSAT tornaram-se disponíveis à comunidade científica, muitos estudos têm demonstrado a aplicabilidade das informações espectrais para discriminar diferentes fisionomias vegetais. Juntamente com a capacidade de análise multi-espectral vieram as limitações da utilização desses dados. Cientistas descobriram que alguns objetos da superfície da Terra e em faixas espectrais específicas refletem a energia eletromagnética de maneira semelhante, sendo registradas também similarmente quando captadas por um sensor remoto multi-espectral (CARVALHO et al., 2004), o que caracteriza a já conhecida ambiguidade dos produtos de Sensoriamento Remoto.

Outro fator importante e que exerce influência nos resultados da aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto sobre estudos e/ou avaliação da cobertura florestal, refere-se ao relevo. Dadas as grandes extensões territoriais ocupadas por plantios florestais comerciais, por exemplo, é esperado que estes

ocupem terreno com relevo diferenciado. Essa variação de relevo implicará, então, diferenças nas quantidades de radiação eletromagnética recebida pelos plantios para um mesmo posicionamento solar. Como consequência, espera-se que um sensor, remotamente situado, registre diferenças na radiância refletida por plantios florestais, mesmo que estes sejam compostos por indivíduos de mesma espécie e idade, cultivados em um mesmo espaçamento e submetidos a tratamentos culturais idênticos. Esse fato pode ser explicado pelas características anisotrópicas da cobertura vegetal, as quais foram apontadas por Liesenberg et al. (2007), Pocewicz et al. (2007), Steininger (2000), dentre outros autores.

Além disso, a utilização de dados de sensores remotos no estudo de variáveis estruturais de ambientes florestais pode estar limitada às resoluções espacial e espectral do sensor utilizado, à variabilidade espectral das folhas que compõem os dosséis analisados, às reflectâncias adicionais à folhagem como, por exemplo, o sub-bosque, a estrutura da vegetação, as condições de iluminação e a

arquitetura da copa (GONG et al., 1997; GOODWIN et al., 2005).

Novos sensores foram desenvolvidos dotados de aperfeiçoamentos significativos nos domínios radiométrico, espacial e espectral bem como na relação sinal-ruído. A alta resolução espacial pode facilitar a localização e o delineamento de copas individuais, enquanto que a alta resolução espectral pode facilitar a identificação de feições relacionadas às propriedades biofísicas e bioquímicas (GROSS; SCOTT, 1998). A disponibilidade de dados hiperespectrais aerotransportados e orbitais trouxe expectativas positivas ao setor florestal. Os dados coletados em bandas estreitas e de forma contígua no espectro eletromagnético podem permitir, por exemplo, a identificação de diferenças estruturais e bioquímicas decorrentes da adoção de tratamentos culturais diferenciados, auxiliando assim no processo de tomada de decisão no cotidiano de empresas florestais.

Sensores hiperespectrais geram grande volume de dados e algumas técnicas podem ser requeridas para avaliar estes dados; uma delas é a Análise das Componentes Principais. O cálculo das componentes principais é um método bem conhecido de transformação estatística muito utilizado no Sensoriamento Remoto e visa à geração de imagens não correlacionadas, podendo reduzir, assim, a dimensionalidade dos dados. Isso é feito reescrevendo as coordenadas de amostras em outro sistema cartesiano, ou seja, as variáveis originais geram, por meio de combinações lineares, componentes principais em um número igual às variáveis de entrada. As componentes principais são, então, obtidas em ordem decrescente de variância onde a componente principal 1 retém mais informação estatística que a componente principal 2 e, assim por diante; a última

componente principal geralmente contém ruídos (JOLLIFFE, 2002; RICHARDS; JIA, 2006).

O presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar espectralmente plantações do gênero *Eucalyptus spp.*, desenvolvendo-se em diferentes posições do terreno (condições de iluminação) e em estágios de desenvolvimento distintos. Para isso foram utilizados dados hiperespectrais do sensor Hyperion e dados topográficos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e a análise de componentes principais.

Metodologia

A área de estudo compreende os plantios florestais do gênero *Eucalyptus spp.* pertencentes à empresa Fibria S.A., situados no município de Capão Bonito (Figura 1) na Região Sudoeste do estado de São Paulo, a 24°00'14" latitude Sul e a 48°20'54" longitude Oeste. Distanto 226km da capital, abrange uma área de 1.642km², com altitude média de 705m.

O município de Capão Bonito está localizado na Depressão Periférica Paulista. O relevo predominante na área de estudo é constituído, basicamente, por colinas de topos convexos e tabulares. As altimetrias predominantes estão entre 600 e 700m e as declividades das vertentes entre 10 e 20% (ROSS; MOROZ, 1997). Tais características geomorfológicas apontam para um relevo ondulado, o que implica localidades com diferentes níveis de iluminação no terreno.

Para o presente trabalho foram utilizados dados do sensor Hyperion EO-1, o qual gera imagens com resolução radiométrica de 16 bits em 242 faixas espectrais compreendidas de 356 a 2578 nm de maneira contígua. A resolução espacial das imagens é de trinta

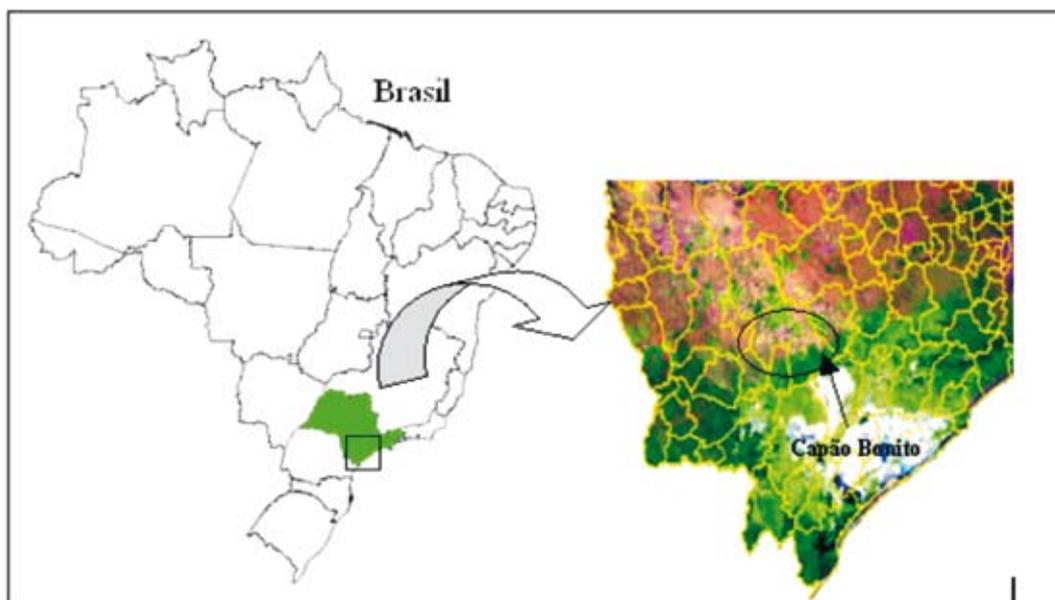


Figura 1. Localização da área de estudo
Figure 1. Study area location

metros e cada cena gerada possui 7,7km de largura por 42km de extensão (BECK, 2003). Para sua plena utilização, as imagens devem ser submetidas à etapa de pré-processamento que inclui a correção atmosférica e a minimização dos ruídos (DATT et al., 2003).

Foi adquirida uma imagem Hyperion EO-1 do dia 20 de agosto de 2003, a qual foi submetida a processo de correção atmosférica, correção geométrica e eliminação de ruídos, resultando em uma imagem georreferenciada contendo o Fator de Reflectância (FR) de superfície. Maiores detalhes podem ser obtidos em Canavesi (2008).

Os dados topográficos da área de estudo foram gerados por Valeriano (2004) e se fundamentaram em dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) extraídos do site na Internet do USGS (*United States Geological Survey*), onde os dados estão disponíveis com uma resolução espacial de 3" ou 90m. O Modelo Digital de Elevação (MDE) original, derivado do SRTM, foi convertido para um

novo modelo, no qual algumas características foram melhoradas como a resolução espacial de 3" para 1", remoção de falhas, redução de artefatos e distribuição da aleatoriedade. A interpolação por krigeagem foi utilizada para gerar o novo MDE. Foram geradas também variáveis básicas locais obtidas com operações de vizinhança, como a declividade do terreno ou ângulo zenital, orientação das vertentes ou ângulo azimutal (VALERIANO, 2005).

Essas informações permitiram a identificação de locais que, no momento da passagem do satélite, tivessem condições de iluminação idênticas. Para isso foi calculado o Fator de Iluminação, cujo cálculo é demonstrado na Equação 1 (VALERIANO, 2006):

$$F = \sqrt{((\cos(\varphi_{x,y} - \varphi_s) + (\cos(\theta_{x,y} - \theta_s))^2} \quad (1)$$

Onde:

$\varphi_{x,y}$ = orientação das vertentes ou imagem azimute

φ_s = azimute solar (no momento de aquisição da imagem)

$\theta_{x,y}$ = declividade ou imagem zênite
 θ_s = zênite solar (no momento de aquisição da imagem)

Essa equação não contempla o ângulo de visada do sensor, pois o mesmo se encontra ao nadir. A equação foi inserida no aplicativo ENVI 4.2 e, por meio da ferramenta matemática de bandas, foi gerada a imagem “Fator de Iluminação”. A imagem resultante foi fatiada em cinco classes descritas a seguir: uma classe onde as árvores estariam plantadas em terreno plano e recebendo raios solares de maneira uniforme, denominada plano; duas classes nas quais as árvores estavam se desenvolvendo em terreno inclinado e recebendo iluminação direta (muito iluminado e iluminado) e duas classes também em terreno inclinado, porém recebendo iluminação de forma indireta (pouco iluminado e escuro). Utilizando o processo de fatiamento, foi gerada uma imagem temática no aplicativo SPRING 4.2. A classe muito iluminado foi descartada, pois havia poucos *pixels* dessa classe na área de estudo.

Foram coletadas amostras de FR de superfície das imagens contemplando plantios com indivíduos de diferentes idades e se desenvolvendo em diferentes condições de iluminação. De posse da planilha com os valores do FR de superfície para todas as amostras coletadas, foram elaborados gráficos (comprimento de onda x FR de superfície) para mesmas espécies e idades e em diferentes condições de iluminação.

Considerando a relativa similaridade entre curvas do FR de superfície provenientes de diferentes tipos de dosséis (no caso deste trabalho, de diferentes plantios florestais), algo comum quando da caracterização espectral de dosséis vegetais, foi aplicada a técnica de componentes principais, objetivando a

identificação ou a quantificação de diferenças nessas curvas. Para isso, foram calculadas as componentes principais no aplicativo SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 10.0. Utilizando-se os auto-vetores gerados para cada banda, foram calculadas as Componentes Principais 1 e 2 por meio da ferramenta *Band Math* do ENVI 4.2. Os fatores gerados para cada amostra foram salvos em uma tabela os quais foram utilizados para a seleção das amostras de treinamento

Resultados

Cálculo do fator de iluminação e definição de classes de iluminação

A imagem Hyperion foi coletada no dia 20/08/2003 e, para esta imagem, havia um azimute solar e um zênite solar no momento da aquisição, os quais foram utilizados como dados de entrada na Equação 1, considerando o horário de passagem do satélite e as coordenadas geográficas da área de estudo que definiram o posicionamento solar e do sensor.

$\varphi_{x,y}$ = orientação das vertentes ou imagem azimute

φ_s = azimute solar = 46,150468

$\theta_{x,y}$ = declividade ou imagem zênite

θ_s = zênite solar = 49,522817

A imagem obtida pelo cálculo do fator de iluminação continha valores variando entre 0,65 a 1,39. Os valores menores que 1 indicam vertentes voltadas para o lado oposto ao Sol, ou seja, *pixels* com pouca iluminação ou escuros. Valores maiores que 1 indicam vertentes voltadas para o Sol, ou seja, *pixels* iluminados e valores muito próximo a 1 indicam locais planos. Essa imagem foi fatiada em cinco classes arbitrariamente definidas: muito iluminado (1,242 a 1,39), iluminado (1,094 a 1,242), plano (0,946 a 1,094), pouco

iluminado (0,798 a 0,946) e escuro (0,650 a 0,798). A figura 2 mostra uma fração da área de estudo discretizada nas classes de iluminação estabelecidas e o posicionamento dos talhões (em vermelho). A classe de iluminação “muito iluminado” foi descartada, pois não havia amostras suficientes (número de *pixels*) na área de estudo.

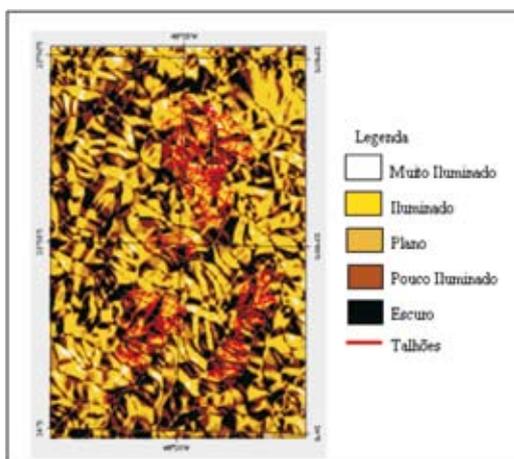


Figura 2. Classes de iluminação referentes à imagem de 2003

Figure 2. Illumination classes for 2003 image

Caracterização espectral dos dosséis de *Eucalyptus*

Foram analisadas curvas espectrais de talhões que se desenvolviam nas quatro classes de iluminação consideradas. Espécies foram denominadas por números, pois se tratam de clones geneticamente melhorados e que, na maioria das vezes, não correspondiam a uma única espécie e sim a uma associação delas. Vale salientar que as espécies 5 e 6 estavam com sete anos de idade em 2003 (ano de aquisição da imagem), as espécies 1 e 3 com três anos e a espécie 4 com dois anos.

Na figura 3, são apresentados os espectros médios para as espécies 5 e 6. No

primeiro gráfico os espectros se sobrepõem, porém quando se consideram diferentes condições de iluminação, estes espectros se diferenciam, principalmente na região do infravermelho próximo (700 a 1300nm). Esse fato, no entanto, não se deve a diferenças estruturais nos plantios e sim a diferenças nas condições de iluminação, decorrentes das variações do relevo no momento em que a imagem foi adquirida.

Observa-se, portanto, que a análise sobre curvas espectrais, assim como fazem profissionais que as utilizam para identificar a presença de componentes químicos em solos, por exemplo, para o caso da cobertura vegetal, não constitui prática que resulte em algo trivial de ser elaborado. Assim, outra abordagem pode ser dada empregando-se a análise de componentes principais.

A figura 4 apresenta um gráfico contendo a dispersão dos dados provenientes da primeira e segunda componentes (PC1 e PC2).

A análise deste gráfico é similar àquela que seria realizada a partir das componentes *Brightness* e *Greenness* (Figura 5) descritas por Kauth; Thomas (1976), ou seja, no eixo “y” destes gráficos os maiores valores estariam associados às maiores proporções de vegetação dentro de um determinado *pixel*, enquanto que em “x”, os maiores valores estariam associados à maior participação do solo ou neste estudo, de dosséis melhor iluminados. Nesse contexto e considerando ainda a conceituação já apresentada das componentes principais, espera-se que amostras dos dosséis mais velhos e com menos biomassa foliar se posicionem mais à direita em PC1, enquanto dosséis mais jovens e com maiores valores de biomassa foliar, tenderiam a se posicionar mais à esquerda e na porção superior de PC2, ou seja, valores negativos para o eixo x e positivos para o eixo y.

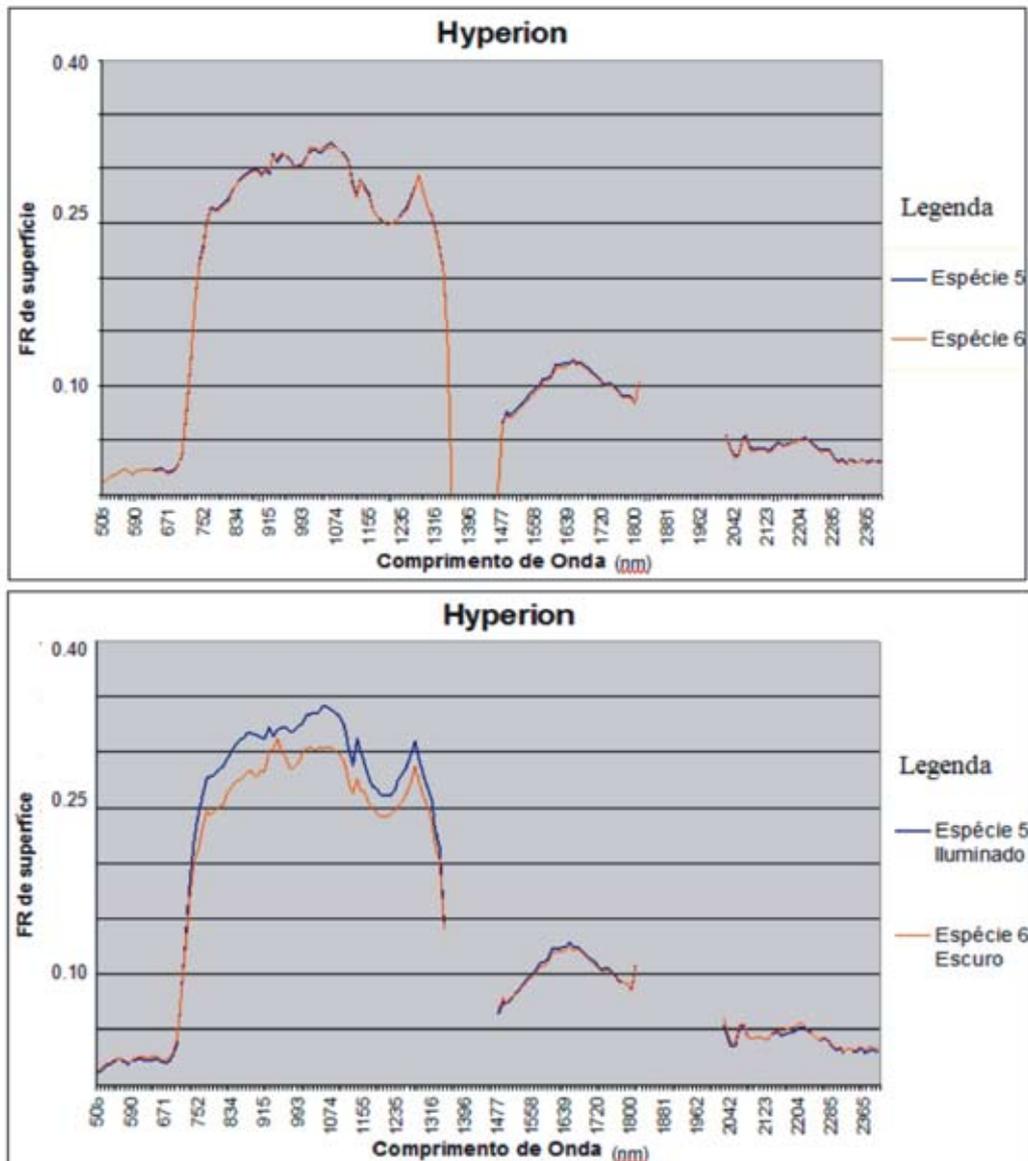


Figura 3. Comparação entre os espectros médios para espécies sem considerar a iluminação (acima) e os espectros para duas diferentes classes de iluminação

Figure 3. Comparison between the spectra average for the species without considering the illumination (above) and the spectra for two different classes of illumination

O posicionamento das amostras dentro desse espaço bidimensional é dependente das propriedades espectrais de cada um dos dosséis (plantios) considerados neste estudo. Explicam esse posicionamento, então, as características espectrais dos elementos que compõem os dosséis como folhas, galhos,

troncos e substrato (solo ou material vegetal derramado); a iluminação e a arquitetura dos indivíduos que compõem os dosséis. Evidentemente que, intrínsecos a todos esses aspectos, estão aqueles ligados à idade, aos espaçamentos adotados nos plantios e às espécies.

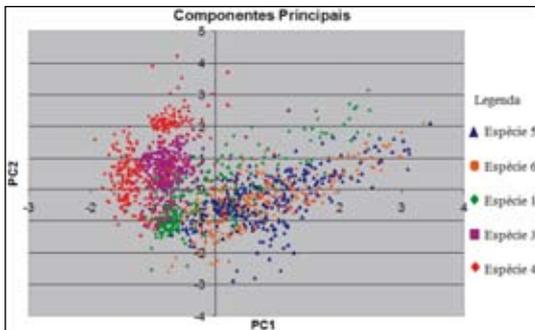


Figura 4. Primeiros dois fatores referentes às componentes principais 1 e 2 para as espécies de *Eucalyptus spp*

Figure 4. The first two factors for the principals components 1 and 2 for the species of *Eucalyptus spp*

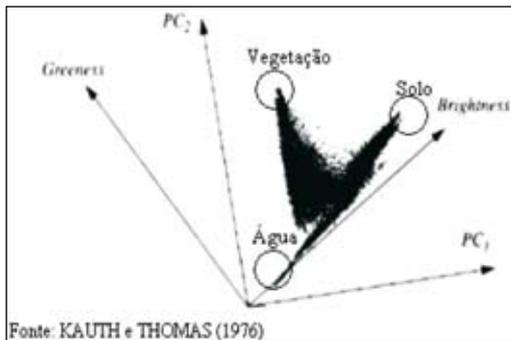


Figura 5. Distribuição hipotética dos *pixels* de uma imagem de um sensor remoto nos conceitos das componentes principais (PC1 e PC2) e Brightness e Greenness

Figure 5. Hypothetical Distribution of pixels in an image of a remote sensor in concepts of core components (PC1 and PC2) and Brightness and Greenness

Observando a figura 4 é possível verificar que existem dois agrupamentos: um conjunto de pontos obtidos a partir das amostras de dosséis mais velhos (espécies 5 e 6) e outro conjunto de pontos obtidos a partir de dosséis mais jovens (espécies 1, 3 e 4). As espécies jovens apresentam dosséis com grande quantidade de biomassa foliar e um conseqüente maior adensamento do dossel com menor penetrabilidade da luz solar.

Os dosséis das espécies 5 e 6 eram mais velhos, com cerca de sete anos de idade, verificando-se, então, o inverso do que foi encontrado em dosséis jovens, ou seja, pouca biomassa foliar e dossel mais aberto. As espécies 3 e 4, localizadas na parte superior do gráfico, o que indica que seus dosséis apresentam maior quantidade de cobertura vegetal. A espécie 1 está posicionada na parte inferior esquerda, local representado por *pixels* referentes a corpos d'água ou regiões mais sombreadas da imagem.

Quando a iluminação é considerada, é possível então identificar condições de iluminação em que as espécies se diferenciam (Figura 6). As espécies 5 e 6 que estavam quase que sobrepostas na figura 4, se distanciam em condições de iluminação distintas (*pixels* coletados em locais iluminados e escuros). O mesmo ocorre para as demais espécies analisadas (1, 3 e 4), porém as amostras das espécies 3 e 4 coletadas nas mesmas condições de iluminação se separam e a espécie 1 se separa das demais em amostras coletadas em locais escuros da imagem.

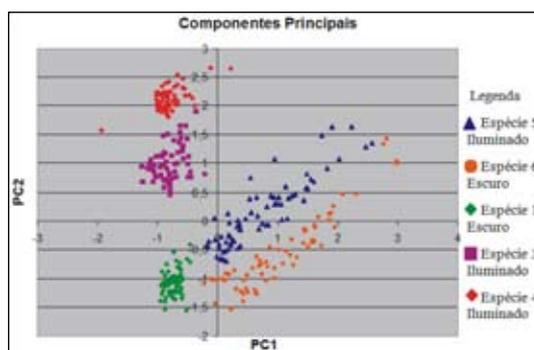


Figura 6. Primeiros dois fatores referentes às componentes principais 1 e 2 (PC1 e 2) para as cinco espécies de *Eucalyptus spp.* em diferentes classes de iluminação

Figure 6. The first two factors for the principals components 1 and 2 (PC1 and (2) for the five species of *Eucalyptus spp.* in different illumination classes

A análise das componentes principais auxiliam então na caracterização espectral da cobertura vegetal pois, através dela, facilita-se a análise dos fatores que influenciariam nessa caracterização.

Conclusões

As componentes principais reduzem a dimensionalidade de dados oriundos de sensores hiperespectrais e sua análise permite uma visualização dos dados em um gráfico

de duas dimensões, de onde é possível extrair informações relevantes. No estudo de plantios florestais foi possível identificar indivíduos com idades diferentes e, conseqüentemente, com propriedades estruturais distintas. A geometria de iluminação exerce influência no processo de caracterização espectral de dosséis do gênero *Eucalyptus* utilizando dados de um sensor remoto. Quando ela foi considerada, foi possível separar espectralmente as amostras coletadas para as cinco espécies em diferentes idades.

Referências

BECK, R. **EO-1 User Guide**. 2003. 74 p. Online, disponível em: <<http://eo1.usgs.gov/documents.php>>. Acesso em: 02 mai, 2010.

CANAVESI, V. **Aplicação de dados Hyperion EO-1 no estudo de plantações de Eucalyptus spp.** 2008. 124 f. (INPE-15316-TDI/1360). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18%4080/2008/07.01.14.06/doc/publicacao.pdf>>.

CARVALHO, L. M. T.; CLEVERS, J. G. W.; SKIDMORE, A. K.; JONG, S. M. Selection of imagery data and classifiers for mapping Brazilian semideciduous Atlantic forests. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, n. 3, p. 173-186, 2004.

DATT, B.; McVICAR, T. R.; VAN NIEL, T. G.; JUPP, D. L. B.; PEARLMAN, J. S. Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p. 1246-1259, 2003.

GONG, P.; PU, R.; YU, B. Conifer species recognition: an exploratory analysis of *in situ* hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n. 2, p. 189-200, 1997.

GOODWIN, N.; TURNER, R.; MERTON, R. Classifying *Eucalyptus* forests with high spatial and spectral resolution imagery: an investigation of individual species and vegetation communities. **Australian Journal of Botany**, v. 53, n. 4, p. 337-345, 2005.

GROSS, H.; SCOTT, J. Applications of spectral analysis and image fusion techniques or images sharpening. **Remote Sensing of Environment**. v. 63, p. 85-94, 1998.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2. ed. UK: Springer, 2002. 487 p.

KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. The tasseled cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 1976. West Lafayette, Indiana. **Proceedings of Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data**. Edited by Purdue University, Indiana, 1976. p. 4B41-4B51.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 1-2, p.276-286, 2007.

POCEWICZ, A.; VIERLING, L. A.; LENTILE, L. B.; SMITH, R. View angle effects on relationships between MISR vegetation indices and leaf area index in a recently burned ponderosa pine forest. **Remote Sensing of Environment**, n. 107, p. 322-333, 2007.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4 ed. Germany: Springer, 2006. 439 p.

ROSS, J. L. S; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. v. 1, Escala 1:500.000. 1997.

STEININGER, M. K. Satellite estimation of tropical secondary forest above ground biomass: data from Brazil and Bolivia. **International Journal of Remote Sensing**, n. 21, p. 1139-1157, 2000.

VALERIANO, M. M. **Equação para o cálculo do fator de iluminação**. São José dos Campos, 2006.

_____. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, INPE, 2005. p. 3595-3602.

_____. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p.