

ANÁLISE MULTIVARIADA DE COMPORTAMENTOS ESPECTRAIS DE FOLHAS EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO

Yane de Freitas da Silva¹, Itallo Dirceu Costa Silva², Cristhy Willy da Silva Romero³, Thiago de Andrade Águas⁴, Edlene Aparecida Monteiro Garçon⁵, Thiago Luís Brasco⁶, Gleyce Kelly Dantas Araújo Figueiredo⁶, Jansle Vieira Rocha⁷, Rubens Augusto Camargo Lamparelli⁸

¹Doutoranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, yane.silva@feagri.unicamp.br; ²Mestrando em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, i208291@dac.unicamp.br; ³Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, cristhy.romero@feagri.unicamp.br; ⁴Doutorando em Ciência do Solo, FCAV - Unesp – Jaboticabal – São Paulo – Brasil, thdeandrade@gmail.com; ⁵Mestranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, e226157@g.unicamp.br; ⁶Engenheiro Agrícola e Técnico do Laboratório de Agricultura de Precisão, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, thiago.brasco@feagri.unicamp.br; ⁷Docente na Feagri – Unicamp – São Paulo – Brasil, gleyce@g.unicamp.br; ⁸Docente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, jansle@g.unicamp.br; ⁹Docente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, rubens.lamparelli@gmail.com.

RESUMO

O estudo do comportamento espectral permite a modelagem estatística de dados, empregando métodos simples e multivariados de análise, tais como técnicas de regressão múltipla, de análise de agrupamentos e de análise de componentes principais. O uso dessas técnicas permite selecionar, agrupar e quantificar a participação dos fatores determinantes da produção que estão associados com a variação da resposta fisiológica da planta em dado local. O objetivo do trabalho foi analisar através da estatística multivariada o comportamento espectral de folhas de café, ingá e fotínia. As análises foram feitas no LeafClip e os agrupamentos gerados no STATISTICA. Foi utilizada a resposta espectral de folhas secas, sadia, em senescência e de tonalidades vermelha e amarela. A metodologia apresentada foi capaz de explicar 79,53% da variabilidade dos dados inseridos, mesmo com apenas 10 tipos de folhas. A utilização da análise multivariada sobre o estudo demonstrou-se adequada, evidenciando a melhor interpretação das curvas espectrais e destacando os diferentes pigmentos existentes nas folhas.

Palavras-chave — assinatura espectral, espectroscopia, estatística multivariada.

ABSTRACT

The study of spectral behavior allows the statistical modeling of data, using simple and multivariate analysis methods, such as multiple regression techniques, group analysis and principal component analyzes. The density type has not associated, associated and quantified the participation of determinants of the production that are associated with a determination of physiological response of the plant in found local. The objective of this work was to analyze the spectral behavior of the coffee leaves, ingá and

phototonia using multivariate statistics. As described in the LeafClip and the groupings generated in STATISTICA. The spectral correspondence of dry, healthy leaves in senescence and red and yellow tones was killed. The explanation of the dashboard was able to explain 79.53% of the variability of the inserted data, even with only 10 types of sheets. The use of the multivariate analysis on the study was adequate, evidencing a better interpretation of the curves and highlighting the different forms of expression in the leaves.

Key words — spectral signature, spectroscopy, multivariate statistics.

1. INTRODUÇÃO

O aprimoramento do conhecimento da interação da resposta eletromagnética da vegetação tem ocorrido pela realização de estudos no tema referido por “comportamento espectral da vegetação”, utilizado para representar as características de reflectância eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas (dossel). Para caracterizar o comportamento espectral da vegetação, é preciso conhecer o processo de interação eletromagnética em termos de três fenômenos físicos: reflectância, transmitância e absortância. Contudo, a maioria dos casos que envolvem o uso do sensoriamento remoto em estudos da vegetação inclui a reflectância como o fenômeno mais analisado[1].

O comportamento espectral de uma folha é a função de sua composição, morfologia e estrutura interna [1] [2]. Na região do visível a clorofila das folhas responde pela maior parte da reflectância espectral. Os valores percentuais desses pigmentos existentes nas folhas podem variar bastante de espécie para espécie. A energia incidente é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou fluorescência, e também fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos por meio da fotossíntese [2].

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância, consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de Componentes Principais (CP). O objetivo principal da ACP é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares são chamadas de CP e são não correlacionadas entre si [3].

O objetivo do trabalho foi analisar o comportamento espectral de folhas de café, ingá e fotínia através de CP.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em folhas de café (*Coffea arabica*) e folhas coloridas de Fotínia (*Photinia frasen*) e Ingá (*Inga sessilis*), para analisar a comparação entre folhas saudáveis, em senescência, a variação de reflectância em parte dorsal e frontal e a variação de coloração comparando o café com as demais culturas (Tabela 1).

As coletas e análises das amostras de folhas foram realizadas no dia 16/04/2018, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

Foram utilizados os instrumentos: FieldSpec, Leaf Clip, Fibra Óptica, Fonte de Iluminação, Software RS2 para conferir e um microcomputador, para os devidos registros e processamento das médias radiométricas. O FieldSpec é um espectrorradiômetro que realiza medidas de vários parâmetros, bem como a reflectância solar, a radiância e irradiância [4], e opera na faixa espectral entre 350-2500 nm, por meio de 03 detectores: VNIR (350-1000 nm); SWIR (1001-1800 nm); SWIR (1801- 2500 nm). O Leaf Clip foi configurado para registrar 30 leituras por amostra, gerando uma curva espectral média. A calibração com a placa Spectralon foi realizada a cada troca de folha.

Após a espectroscopia, os dados foram padronizados e submetidos à análise de agrupamento e a de componentes principais (CPs), para classificar cada folha por comportamento espectral e agrupar as que possuem as características semelhantes com o uso do software Statistica.

Tabela 1. Descrição das plantas utilizadas na espectroscopia.

Nome Científico	Característica da planta	Sigla
<i>Coffea arabica</i>	Verde – sadia – parte frontal	FSADF
<i>Coffea arabica</i>	Verde – sadia – parte dorsal	FSADD
<i>Coffea arabica</i>	Seca – parte frontal	FSECF
<i>Coffea arabica</i>	Seca – parte dorsal	FSECD
<i>Coffea arabica</i>	Senescência – parte frontal	FSENF
<i>Coffea arabica</i>	Senescência – parte dorsal	FSEND
<i>Photinia frasen</i>	Vermelha – parte frontal	FVERM F
<i>Photinia frasen</i>	Vermelha – parte dorsal	FVERM D
<i>Inga sessilis</i>	Amarela – parte frontal	FAMF
<i>Inga sessilis</i>	Amarela – parte dorsal	FAMD

3. RESULTADOS

A análise de agrupamento relacionou as folhas de acordo com sua variação (Figura 1), isto é, segundo seu comportamento espectral dentro das amostras, representada pela variação do conjunto de características que define as folhas, sendo justificada pela Figura 2, a qual se consegue notar dois agrupamentos, FVERMD e FVERMF versus os demais, considerando que as folhas em senescência tiveram desempenho baixo comparada com as demais.

Para comparar o comportamento espectral das amostras, foram geradas suas curvas espectrais (Figura 03), ilustrando a reflectância em relação aos comprimentos de onda das folhas. A folha amarela apresentou entre 550 a 1100 nm, um drástico aumento da reflectância em função da baixa quantidade de pigmentos absorvedores de energia e em razão da interação da radiação com a estrutura celular. A folha verde, na região entre 450-720 nm, apresentou duas bandas de absorção, a primeira entre 450-500 nm e a segunda, entre 650-700 nm. E a folha vermelha por não possuir a quantidade de clorofila como as outras duas folhas, foi a que teve menos reflectância comparada com as demais.

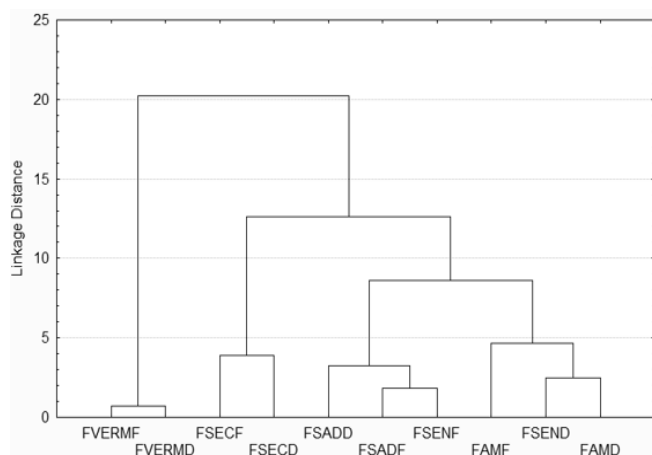


Figura 1. Dendrograma dos comportamentos espectrais.

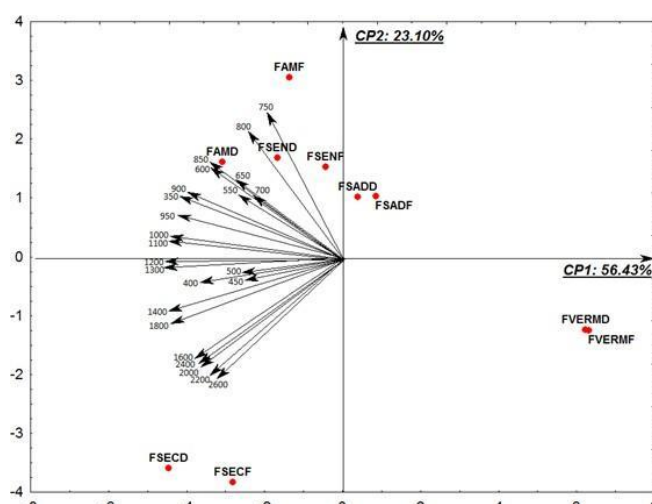


Figura 2. Gráfico Biplot com os comportamentos espectrais de cada folha pelo comprimento de onda.

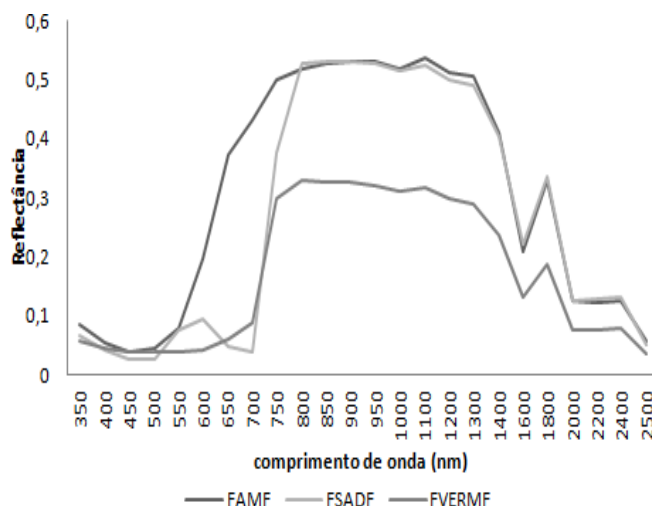


Figura 3. Comportamento espectral em três folhas com diferentes pigmentos.

4. DISCUSSÃO

O reconhecimento de padrões se dá pelas propriedades espectrais distintas nas diferentes espécies, que as agruparam e distinguiram por faixa espectral. Esta técnica tem sido aplicada com sucesso em estudo de espectrorradiometria de espécies vegetais [5,6].

Os dois CPs, que são os fatores principais que estão influenciando esses dados, a reflectância e o comprimento de onda, tiveram uma interação de 79,53% da variação total dos comportamentos espectrais analisados (Figura 2).

Quando analisada a variância da CP1, têm-se um comprimento de onda maior nas FVERMD e FVERMF por ter os dados estatísticos mais próximos a CP1, ficando assim, a FSECD com os valores de comprimento de onda menores comparadas com os demais comportamentos, conforme a Figura 3. Em relação a reflectância, têm-se a FAMF como a folha com maior reflectância e a FSECF com a menor.

Ao analisar a curva espectral em relação a pigmentação de cada folha, têm-se, de acordo com a figura 2, uma melhor resposta na faixa de 850 nm para a FAMD e a FSEND na faixa de 750-800 nm. As curvas espectrais mais fortes em relação ao comprimento de onda foram 1200 nm e 1300 nm e em relação à reflectância foi a faixa de 750 nm.

Ao aferir a análise multivariada, têm-se tendência comparando a CP2 que, quanto maior o teor de clorofila na folha, menor é a sua porcentagem total de reflectância, corrobora assim com a Figura 3, em que mostra as curvas espectrais dos três principais pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas.

5. CONCLUSÕES

A estatística multivariada foi capaz de agrupar, conforme semelhanças da resposta espectral, cada folha de acordo com sua característica fisiológica. A utilização de análise multivariada sobre os dados amostrais demonstrou-se adequada, conseguindo agrupar as folhas com reflectâncias próximas e sua interação quanto à senescência, coloração e teor de umidade, evidenciou a melhor interpretação das curvas espectrais e destacando os diferentes pigmentos existentes nas folhas. A metodologia apresentada foi capaz de explicar 79,53% da variabilidade dos dados inseridos, mesmo com apenas 10 tipos de folhas.

O recurso utilizado apresentou vantagens na interpretação dos dados de reflectância, uma vez que facilita a visualização e dá pesos, a partir das componentes principais, para cada elemento a ser estudado, tendo ele mais ou menos interação com, no caso, a resposta espectral. Esse método de análise pode corroborar com trabalhos que utilizem imagens multispectrais para mapeamentos diversos, uma vez que comprovam, por métodos estatísticos, a reflectância emitida por determinado tipo de folha.

6. REFERÊNCIAS

- [1] NOVO, E. M. L. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 308 p., 1992.
- [2] PONZONI, F. L. Resposta espectral da vegetação. In: p. 157-199. In: MENESES, P. R. E NETTO, J. S. M. Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos espectrais. Brasília - DF: Unb, Planaltina Embrapa Cerrados, 262 p., 2001.
- [3] HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. E&S Engineering and Science, p. 83 - 90, 2016.
- [4] ALVARENGA, S. B.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectroradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. Anais...São José dos Campos: INPE, p.739 – 747, 2003.
- [5] PAZ, C. R.; SAQUET, D. B.; FERRAZ, R. C.; PEREIRA, R. S.; COSTA, V. P. Discriminação de diferentes espécies de pastagens com uso da espectrorradiometria. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais. INPE, Natal, RN, p. 1175-1181, 2009.
- [6] WATANABE, F. S. Y.; IMAI, N. N.; BOSCHI, L. S.; PITELLI, R. L. C. M. Caracterização de plantas aquáticas submersas a partir de dados de espectrorradiometro no reservatório de Nova Avanhandava – Rio Tietê/SP. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais. INPE, Curitiba, PR, p. 8500-8507, 2011.