

DISCRIMINAÇÃO DE DIFERENTES ESPÉCIES FORRAGEIRAS POR MEIO DA RESPOSTA ESPECTRAL

Discrimination of different forage species through spectral response

FERRAZ, R. C.
ROBAINA, A. D.
PEITER, M. X.
SOUZA, A. R. C.
SAQUET, D. B.
SOUZA, G. R. C.

Recebimento: 23/08/2011 - Aceite: 11/10/2011

RESUMO: A geotecnologia para mapeamento da distribuição geográfica da cobertura vegetal tem sido amplamente utilizada, mas ainda necessita de contínuo aperfeiçoamento para a discriminação de alvos, sobretudo quando se trata de regiões de pastagens. Para isso, realizamos a mensuração, por espectrorradiometria, de diferentes espécies de gramíneas predominantes na região sul do país, localizadas numa área experimental do campus da Universidade Federal de Santa Maria-RS. A resposta espectral de diferentes espécies foi obtida em ambiente de laboratório. Ao mensurar as folhas de uma coleção de seis gramíneas forrageiras, levamos em consideração um conjunto de detalhes referentes ao momento e tempo de amostragem, visando criar condições semelhantes e uniformidade de procedimentos. Após a análise estatística criteriosa dos dados obtidos em todo o campo espectral, que proporcionou a observação dos níveis de discriminação dos alvos propostos, ressalta-se a importância do infravermelho próximo na diferença de resposta. Foram detectadas diferenças nos comprimentos de onda havendo maior separabilidade espectral na espécie *Panicum maximum* na faixa do infravermelho próximo e a *Pennisetum purpureum* na região do visível.

Palavras-Chave: Espectrorradiometria. Gramíneas. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT: Geotechnology has been widely used to map the geographic distribution of the vegetable coverage, but it still needs continuous improvements to discriminate the targets, especially when we are dealing with pastures.

For that, different species of grass predominating in the south region of the country were measured by spectroradiometry methods, these species were located in an experimental area in the campus of Universidade Federal de Santa Maria – RS. The spectral response of different species was obtained in a laboratory environment. Measuring the leaves of a collection of six species of grasses, a number of details regarding the moment and time of sampling were considered in order to create similar procedure conditions and uniformity. After a careful statistical analysis of the data throughout the spectral field, which provided the observation of the levels of discrimination of the proposed targets, the importance of the near infrared in the difference of response is emphasized. Differences were detected at wavelengths with higher spectral separability in species *Panicum maximum* in the range of near infrared and *Pennisetum purpureum* in the visible region.

Keywords: Spectroradiometry. Grasses. Remote sensing.

Introdução

O sensoriamento remoto utiliza conjuntamente modernos sensores aliados a equipamentos para transmissão e processamento de dados com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2002), utilizando-se de diversas técnicas para o estudo dessas interações com os alvos terrestres. Sousa e Kux (2005), destacam que, para a extração de informações a partir de dados digitais gerados por sensores remotos, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos alvos estudados e dos fatores que interferem nesse comportamento.

Estudos de vegetação também se enquadram nas aplicações do sensoriamento remoto. A partir dos dados obtidos é possível adquirir informações sobre a situação de diversos tipos de vegetação. Corroborando com essa ideia, Cardoso (1996) afirma que diferentes técnicas desta ciência vêm sendo

utilizadas na caracterização espectral da cobertura vegetal em diversos níveis de abordagem. Segundo Girard (1982), a assinatura espectral de plantas também permite a diferenciação de espécies que apresentam arquiteturas e comportamentos fisiológicos diferentes. Portanto, experimentos conduzidos para demonstrar diferenças espectrais entre espécies vegetais em laboratório se tornam necessários (MOREIRA, 2001).

As respostas espectrais das culturas agrícolas podem ser analisadas utilizando-se espectrorradiometria, método com o qual se obtém medidas de reflectância da planta em várias faixas de comprimento de onda geralmente compreendidas nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (BATISTA e RUDORFF, 1990).

É possível realizar a análise partindo da premissa que as plantas emitem e refletem radiação eletromagnética, que pode ser captada por sensores especiais sensíveis a determinados comprimentos de onda, fornecendo informações sobre o vegetal (LAMPARELLI et al. 2001).

Ponzoni (2001) enfatiza que quando se realiza coleta de dados em laboratório, comumente considera-se as folhas para realizar a

coleta dos dados radiométricos, com o objetivo de caracterizar espectralmente fenômenos e/ou aspectos relacionados ao processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação. Ainda Colwell (1974), considera que a análise do comportamento espectral das folhas, é o comportamento mais comumente utilizado por serem elementos de vegetação que mais contribuem para o sinal a ser detectado pelos sensores

O tamanho da estrutura celular da folha é grande quando comparado aos comprimentos de onda eletromagnética. Apenas uma pequena quantidade de luz é refletida das células da camada epidérmica, enquanto a maior parte é transmitida para o mesofilo esponjoso onde os raios incidem frequentemente nas paredes celulares, sendo refletidos se os ângulos de incidência forem suficientemente grandes (PONZONI, 2001).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar espectralmente amostras de espécies vegetais forrageiras, analisando o comportamento das curvas de reflectância e transmitância a partir de dados obtidas em laboratório.

Material e Metodologia

O estudo foi realizado sobre a coleção de gramíneas perenes e semi-perenes da área da Zootecnia, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, conforme Figura 1, localizado no centro geográfico do Rio Grande do Sul, entre os meridianos 53°30'22" e 54°19'32" de longitude oeste e entre os paralelos 29°20'28" e 30°00'16" de latitude sul, região onde ocorre a transição entre a Depressão Central Sul-Rio-Grandense e o Planalto Meridional Brasileiro.

Foram utilizadas seis espécies de gramíneas: V1 - *Brachiaria brizantha* (braquiária), V2 - *Cynodon dactylon* (coast-cross), V3 - *Paspalum notatum* (pensacola), V4 - *Pennisetum purpureum* (capim elefante), V5 - *Cynodon spp* (tifton 85) e V6 - *Panicum maximum* (capim colômbio). As gramíneas encontram-se sob mesmas condições agrônomicas e cultivadas sobre o solo Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico Típico (PVAd), e coletadas no período outonal de forma que as plantas apresentam estágios assemelhados de maturação fisiológica.

ria), V2 - *Cynodon dactylon* (coast-cross), V3 - *Paspalum notatum* (pensacola), V4 - *Pennisetum purpureum* (capim elefante), V5 - *Cynodon spp* (tifton 85) e V6 - *Panicum maximum* (capim colômbio). As gramíneas encontram-se sob mesmas condições agrônomicas e cultivadas sobre o solo Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico Típico (PVAd), e coletadas no período outonal de forma que as plantas apresentam estágios assemelhados de maturação fisiológica.

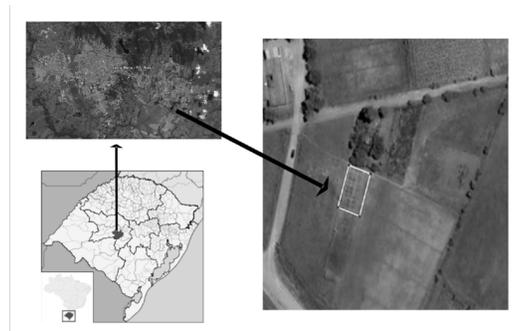


Figura 1 - Área experimental de pastagens do Curso de Zootecnia da UFSM

As amostras foram coletadas aleatoriamente, em toda a extensão da parcela, e encaminhadas, imediatamente, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Santa Maria, visando manter sua composição e estado de conservação. Uma nova sub-amostragem foi realizada para selecionar 30 amostras de partes intermediárias de folhas para análise de resposta de reflectância.

As medições radiométricas foram realizadas no Laboratório de Sensoriamento Remoto da UFSM (Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias), com a utilização de um espectrorradiômetro FieldSpec®3 conectado a unidade RTS-3ZC³ (esfera integradora). Foram obtidas, então, as medidas de radiância refletida da face dorsal das folhas

Como padrão de referência, foi utilizada uma placa branca de sulfato de bário considerada como padrão de 100% de reflectância. A razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície de uma amostra e o fluxo radiante espectral refletido pelo material de referência, iluminado e visado nas mesmas condições que a superfície da amostra, gera o “fator de reflectância bidirecional espectral” (NICODEMUS et al., 1977).

A partir do fator de reflectância bidirecional das plantas, foram então obtidas as curvas espectrais de cada espécie. Para cada amostra analisada, foram efetuadas 30 (trinta) repetições, sendo utilizado o valor obtido da média das leituras. Os dados originais foram coletados com auxílio do software RS3 e convertidos para o formato texto pelo software ASD ViewSpecPro Versão 4.05, para posterior processamento e análise estatística.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 6 tratamentos (espécies) e 30 repetições. Para análise dos resultados, foi adotado o software Minitab, versão 16.1. A análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5% foi aplicada separadamente para cada espécie, considerando a variação da reflectância em função do comprimento de onda para detectar se houve diferença significativa na reflectância. Nas médias em que a ANOVA foi significativa, o teste de Tukey foi aplicado ao nível de 5% de probabilidade, com o objetivo de se analisar os contrastes entre as médias e verificar quais foram significativamente diferentes.

Resultados e Discussão

Analisando-se a resposta espectral obtida pela mensuração das seis espécies de forrageiras, observa-se que apresentam diferenças acentuadas na região do visível e do infravermelho próximo, que são relacionadas com o teor de pigmentos e atividade fotossintética

e, associada à estrutura das folhas (Figura 2). Ainda, pode-se observar que na região do infravermelho ocorre maior reflectância.

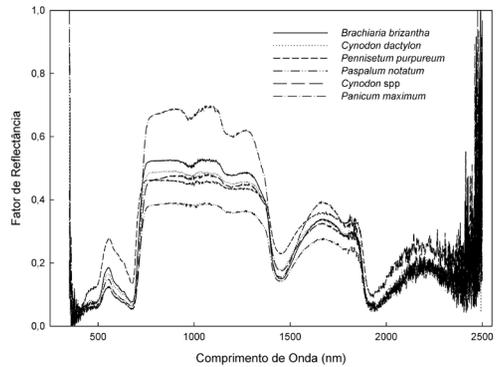


Figura 2 - Resposta espectral das gramíneas com comprimento de onda entre 350nm a 2500 nm.

Conforme Ponzoni (2001), a estrutura foliar é mais facilmente detectada a partir dos sensores remotos que operam na região do infravermelho, pois quanto maior for a espessura foliar, maior é o espalhamento da radiação interna incidente, que ocasiona maior reflectância.

Ao aplicar a análise da variância entre as espécies sob o comprimento de onda entre 350 nm a 2500 nm, pode-se observar que uma ou mais médias apresentaram variação significativa entre os valores de reflectância, conforme Tabela 1 .

Tabela 1 – Análise da Variância (ANOVA) para o comprimento de onda entre 350nm a 2500 nm nas diferentes espécies de gramíneas.

Causa da Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Tabelado
Tratamento	5	12,7011	2,5402	94,28	0,0
Erro	12852	346,2711	0,0269		
Total	12857	358,9722			

Aplicando o teste de médias ($P < 0,05$), pode-se observar que apenas as espécies *Cynodon dactylon* e *Cynodon spp* não apresentaram diferenças significativas, o que pode ser atribuído ao fato de pertencerem ao mesmo gênero e características semelhantes.

Tabela 2 – Comparação de média pelo Teste de Tukey a nível de 5% de significância o comprimento de onda entre 350nm a 2500 nm nas diferentes espécies de gramíneas.

Variedade	Média
<i>Panicum maximum</i>	0,3241 a
<i>Pennisetum purpureum</i>	0,3019 b
<i>Brachiaria brizantha</i>	0,2843 c
<i>Cynodon dactylon</i>	0,2683 d
<i>Cynodon spp</i>	0,2584 d
<i>Paspalum notatum</i>	0,2259 e

Conforme Muhammed e Larsolle (2003), as diferenças na reflectividade podem ser utilizadas para discriminação de espécies vegetais e condições em que a planta se encontra além de características das folhas. Nos comprimentos de onda do visível, a maioria da energia que chega na folha verde é absorvida e muito pouca é transmitida através da mesma. A alta absorção nesses comprimentos de onda é devida às duas bandas de absorção da clorofila (azul e vermelha) e o pico de reflectância nesta região ocorre aproximadamente em 540 nm, que é a região do verde. (COURA et al., 2005)

Na Figura 3 pode-se observar a resposta espectral das variedades de gramíneas na região do visível, com comprimento de onda entre 450nm e 690 nm.

A espécie *Pennisetum purpureum* apresentou maior fator de reflectância, principalmente entre os comprimentos de 521nm a 545nm. Neste sentido, a espécie absorve menos energia que as demais espécies comparadas, sendo que as espécies *Paspalum notatum* e *Cynodon spp* apresentam comportamento visualmente semelhante.

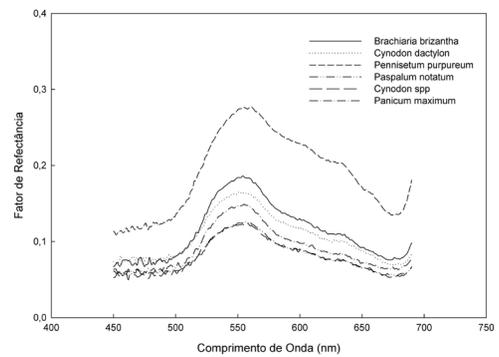
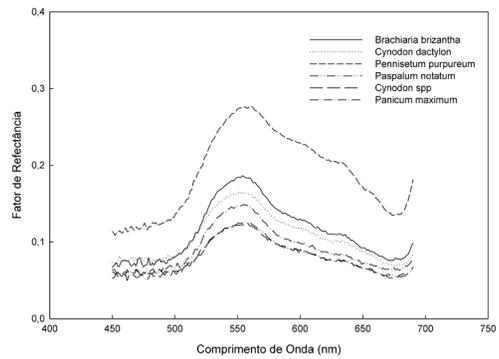


Figura 3 - Resposta espectral das gramíneas com comprimento de onda na região do visível (450nm a 690nm).

A ANOVA apresentada na Tabela 3 demonstra que as diferenças entre as reflectâncias médias nas seis espécies são significativas, em no mínimo um par de médias, para o comprimento de onda na região do visível.

Tabela 3 – Análise da Variância (ANOVA) para o comprimento de onda na região do visível (450nm a 690nm) nas diferentes espécies de gramíneas.

Causa da Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Tabelado
Tratamento	5	2,05987	0,41197	358,84	0,00
Erro	1440	1,65320	0,00115		
Total	1445	3,71307			

Na análise de Tukey (Tabela 4), constatou-se que as espécies *Brachiaria brizantha* e *Cynodon dactylon*, e *Paspalum notatum* e

Cynodon spp, apresentaram características semelhantes entre si, diferindo das demais espécies.

Tabela 4 - Comparação de media pelo Teste de Tukey a nível de 5% de significância o comprimento de onda entre 450nm a 690nm, nas diferentes espécies de gramíneas.

Variedade	Média
<i>Pennisetum purpureum</i>	0,18913 a
<i>Brachiaria brizantha</i>	0,11294 b
<i>Cynodon dactylon</i>	0,10545 b
<i>Panicum maximum</i>	0,09006 c
<i>Paspalum notatum</i>	0,08003 d
<i>Cynodon</i> spp	0,07897 d

A Figura 4 demonstra a diferença entre a resposta espectral de cada variedade e o alto valor de reflectância. Nessa região, a espécie *Panicum maximum* destaca-se com maior reflectância dentre as analisadas e a *Paspalum notatum* apresenta maior absorção de energia.

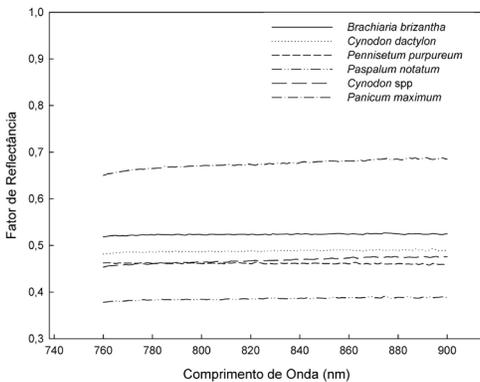


Figura 4 - Resposta espectral das gramíneas com comprimento de onda na região do infravermelho próximo (760nm a 900nm).

Para Hoffer (1978), no infravermelho há um aumento significativo da reflectância quando comparamos com a região visível do espectro eletromagnético. Nessa região, a vegetação verde é caracterizada pela alta reflectância, alta transmitância e baixa absorptância.

Aplicando a análise da variância (ANOVA) para a resposta espectral de cada espécie nos comprimentos de onda de 760 e 900 nm nesta região do infravermelho, pode-se observar diferença significativa entre as médias.

Tabela 5 - Análise da Variância (ANOVA) para o comprimento de onda na região do infravermelho próximo (760nm a 900nm) nas diferentes espécies de gramíneas.

Causa da Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Tabelado
Tratamento	5	6,611325	1,322265	62758,8	0
Erro	840	0,017698	0,000021		
Total	845	6,629023			

Comparando as médias ($p < 0,05$), observa-se que as espécies diferem entre si, não apresentando comportamento semelhantes, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação de media pelo Teste de Tukey a nível de 5% de significância o comprimento de onda entre 760nm a 900 nm nas diferentes espécies de gramíneas.

Variedade	Média
<i>Panicum maximum</i>	0,67494 a
<i>Brachiaria brizantha</i>	0,52368 b
<i>Cynodon dactylon</i>	0,48804 c
<i>Cynodon</i> spp	0,46789 d
<i>Pennisetum purpureum</i>	0,46139 e
<i>Paspalum notatum</i>	0,38572 f

Com esse comportamento, as espécies são mais facilmente identificadas na região do infravermelho próximo do que no visível. Para Verbyla (1995), a reflectância no infravermelho próximo poderá ser influenciada pelas variações na forma e na orientação das folhas das plantas e pela quantidade de ar existente dentro da célula de cada folha. As variações dos valores de reflectância no infravermelho próximo são mais úteis do que os valores de reflectância no visível.

Conclusão

A resposta espectral obtida pela mensuração das seis espécies de gramíneas apresenta diferenças acentuadas na região do visível e do infravermelho próximo, sendo essas regiões associadas ao teor de pigmentos e

atividade fotossintética e, associada à estrutura das folhas.

Os instrumentos de sensoriamento remoto possibilitam identificar e caracterizar espectralmente as espécies de forrageiras estudadas no trabalho e pode-se constatar que nos comprimentos de onda do Infravermelho próximo (760-900nm) houve melhor diferenciação entre as espécies quando comparado com a região do visível.

AUTORES

Rafael Camargo Ferraz - Aluno de doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Santa Maria, RS. E-mail: rafacerraz@gmail.com.

Adroaldo Dias Robaina - Professor titular Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS. E-mail: diasrobaina@gmail.com.

Marcia Xavier Peiter - Professora Adjunta Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS. E-mail: mpeiter@gmail.com

Angélica Rossana Castro de Souza - Mestranda em Geomática - Universidade Federal de Santa Maria, RS. E-mail: angelsubio@gmail.com.

Danieli Batistela Saquet - Professora Universidade Tecnológica do Paraná, PR.

Gessiana Raquel Castro de Souza - Mestranda em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, RS. E-mail: gsouped@yahoo.com.br.

REFERÊNCIAS

BATISTA, G.T., B.F.T. RUDORFF. Spectral response of soybean by field radiometry. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 45. p 111-121. 1990.

CARDOSO, P.C.S., PONZONI, F.J. Caracterização espectral de folhas extraídas de cinco diferentes espécies. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 1996. **Anais...** Salvador: INPE. p. 891-896. 1996.

COLLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v.3, n.3, p. 175-183, 1974.

COURA, S. M.C.; et al. Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. e *Cassia macranthera* DC. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia: INPE. p. 1477-1484. 2005.

- GIRARD, C.M. Estimation of phenological stages and physiological states of grassland from remote sensing data. **Vegetation**, v.48, p.219-226, 1982.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M., Ed. **Remote Sensing the Quantitative Approach**, New York: McGraw Hill, 1978. cap. 5, p. 89-228.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 63-91, 157-166. 250 p. 2001.
- MUHAMMED, H. H.; LARSOLLE, A. Feature vector based analysis of hyperspectral crop reflectance data for discrimination and quantification of fungal disease severity in wheat. **Biosystems Engineering**. v. 86, p 125-134, 2003.
- LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: fundamentos e aplicação. **Série Engenharia Agrícola**, v.2, p. 09-11, 56-71. 2001.
- NICODEMUS, F.E., et al. **Geometrical considerations and nomenclature for reflectance**. Washington, D.C., U. S. Department of Commerce, 1977. 52p.
- NOVO, E.M.L. M.. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 2002. 308p.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. da S. M. (Org.). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, UnB, 2001.
- SOUSA, R.C.A.; KUX, H.J.H. Comportamento espectral de alvos urbanos: simulação com as bandas do satélite CBERS. In:XII SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia (Goias). **Anais...Goiânia**: INPE, 2005. p. 1099-1106.
- VERBYLA, D. **Satellite remote sensing of natural resources**. New York. USA. 1995. 198p