

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5247-PRE/1678

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE MUDAS DE *Eucalyptus*
grandis (Hill) Maiden EM DIFERENTES
PERCENTAGENS DE COBERTURA

Silvana Amaral
Marcos Leandro Kazmierczak
Newton Jordão Zerbini
Vitor Celso de Carvalho

Aceito para apresentação no 6º Congresso Florestal
Brasileiro, realizado em Campos do Jordão -
São Paulo - Brasil, de
22 a 27 de setembro de 1990

INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1991

CDU 528.711.7:634

Palavras-Chave: Radiometria; Comportamento Espectral;
Cobertura vegetal; Modelos numéricos;
Índice área foliar; Fitomassa aérea

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*
(Hill) Maiden EM DIFERENTES PERCENTAGENS DE COBERTURA

Silvana Amaral¹
Marcos Leandro Kazmierczak¹
Newton Jordão Zerbini^{1,2}
Vitor Celso de Carvalho¹

¹Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Avenida dos Astronautas 1758 - Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP

²Centrais Elétricas do Norte do Brasil - ELETRONORTE
Departamento de Estudos de Efeitos Ambientais
SCN - Q.06 CJ.A BL.B Sala 1202
70710 - Brasília - DF

RESUMO

Uma proposta alternativa para avaliação da produção florestal consiste na utilização das técnicas de sensoriamento remoto com dados orbitais para definição da resposta espectral da cobertura de florestas, visando a obtenção de um modelo numérico que correlacione a resposta espectral aos parâmetros da vegetação (fitomassa aérea). Realizou-se um experimento no Instituto de Pesquisas Espaciais utilizando-se um radiômetro e mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, para observar o comportamento espectral das mudas com variação das percentagens de cobertura do solo. O estudo apresenta resultados preliminares do comportamento espectral das mudas, simulando uma cobertura florestal homogênea. Utilizando-se os intervalos espectrais de algumas bandas dos sensores TM e HRV, foram gerados modelos numéricos para estimar o índice de área foliar e a fitomassa aérea verde e seca. O modelo linear aplicado mostrou-se eficiente na estimativa dos parâmetros da vegetação, assim como o modelo exponencial permitiu um bom ajuste da relação do fator de reflectância e a percentagem de cobertura.

INTRODUÇÃO

Considerando a diversidade de plantios, o aumento de área reflorestada e a utilização de diferentes técnicas de manejo, torna-se necessário um sistema eficiente de coleta de informações que possibilite o planejamento adequado da produção e que permita traçar políticas de desenvolvimento, exploração e manejo dos

Trabalho apresentado no 6º Congresso Florestal Brasileiro, realizado em Campos do Jordão - São Paulo - Brasil, de 22 a 27 de setembro de 1990.

recursos florestais. A coleta de informações é usualmente efetuada através de técnicas convencionais de levantamento de dados no campo e/ou da utilização de fotografias aéreas. No entanto, torna-se cada vez mais significativa a eficiência da utilização de dados de sensoriamento remoto orbital no levantamento e monitoramento de áreas reflorestadas.

Novas perspectivas têm surgido nesta área, principalmente quanto à quantificação da produção florestal. Esta quantificação depende da relação entre a resposta espectral e parâmetros da vegetação, como a percentagem de cobertura, índice de área foliar e biomassa florestal. Cabe ressaltar que o espectro de áreas florestais é uma mistura de reflectância das plantas, do solo e da sombra, sendo a radiância desta superfície afetada pela intensidade e qualidade espectral da irradiância solar, pela geometria da cobertura e pelo sistema de visada (SHIMABUKURO e SMITH, 1988).

Assim sendo, este trabalho apresenta uma abordagem preliminar e exploratória para explicar a relação entre a percentagem de cobertura vegetal e a resposta espectral de uma espécie florestal (Eucalyptus grandis (Hill) Maiden), analisando a variação dos valores de reflectância com a densidade da cobertura vegetal relacionando-a com parâmetros de índice de área foliar e biomassa.

Pretende-se, desta forma, auxiliar a compreensão dos mecanismos de interação energia x alvo, melhorando a aplicação e o desenvolvimento metodológico de técnicas de sensoriamento remoto orbital para o inventário e manejo florestal, a partir da simulação das respostas em bandas dos sensores HRV-SPOT e TM-LANDSAT.

SENSORIAMENTO REMOTO E VEGETAÇÃO

A vegetação tem seu comportamento espectral determinado, inicialmente, pela interação da radiação eletromagnética com as folhas. Na região do espectro eletromagnético correspondente à faixa do visível (400 a 700 nm), a presença de pigmentos clorofilados é responsável pela absorção da radiação nas porções azul e vermelho, sendo refletida a porção do verde (KNIPLING, 1970).

Na região do infravermelho próximo, os pigmentos são transparentes à radiação. A alta reflectância entre 700 e 1300 nm, característica da vegetação, deve-se à ausência de absorção interna das folhas e ao espalhamento que a radiação sofre conforme ocorrem as refrações e reflexões no mesófilo (pela diferença entre os índices de refração entre as cavidades de ar e as paredes celulares). Desta forma, a radiação no infravermelho próximo pode ser espalhada, e então refletida pela superfície e ainda ser transmitida através do mesófilo (KNIPLING, 1970).

Considerando as interações da radiação com toda a cobertura, a reflectância da copa, na faixa do visível e infravermelho próximo, é menor que a de uma folha, devido à atenuação atmosférica, orientação das folhas,

sombra e solo. A reflectância e a transmitância espectral de uma cobertura são funções da área foliar total, do coeficiente de absorção, do coeficiente de espalhamento e da refletividade de fundo (GATES, 1970).

Como a radiação do infravermelho próximo é transmitida e refletida com eficiência pelas plantas, existe uma relação direta entre o acréscimo de índice de área foliar (IAF) e o aumento da reflectância neste comprimento de onda (MYERS, 1970).

Na região do visível a reflectância diminui com o aumento do índice de área foliar devido ao aumento de absorção da radiação pelos pigmentos. Estas relações mantêm-se até um IAF=4 para as reflectâncias na faixa do visível e IAF=10 para as reflectâncias no infravermelho próximo. Acima destes valores, é alcançado o comportamento assintótico, onde não há mais alteração da reflectância para as variações de IAF (GATES, 1970).

Pode-se caracterizar a vegetação através da determinação de índices de vegetação (IV), que são modelos numéricos que indicam a densidade da vegetação por área, o índice de área foliar e a estimativa de biomassa verde, e que podem ser obtidos através de razões e combinações da radiância em duas bandas espectrais (SANTOS, 1988). A maioria destes índices são baseados na diferença dos valores de reflectância das regiões do infravermelho próximo (IVp) e do vermelho (V).

O índice de cobertura vegetal (% de solo coberto por vegetação) encontra-se relacionado com a reflectância da cobertura vegetal nas faixas do visível e infravermelho próximo. A absorção de radiação visível por pigmentos fotossintetizantes proporciona o decréscimo da reflectância em situações de cobertura vegetal superior a 30%. No infravermelho próximo, a reflectância aumenta com o aumento da cobertura, a partir de 30%, com o conseqüente aumento da transmitância e do espalhamento múltiplo entre as camadas da vegetação (COLWELL, 1974).

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Desenho Experimental

Foram utilizadas 576 mudas de Eucalyptus grandis (Hill) Maiden, de diâmetro de copa e altura total médios de 10 e 50 cm, respectivamente. As mudas foram arranjadas em 6 caixas de isopor, com 96 tubetes cada, simulando uma situação de cobertura vegetal homogênea. O experimento, constituído de uma amostra de 1,20 x 1,20 metros, foi montado segundo o esquema apresentado na Figura 01.

Sobre as caixas de isopor, na base das mudas, foi adicionada uma camada de três centímetros de areia, suficiente para constituir um substrato cujas características encontram-se no Quadro I.

Assim descrita, a amostra simula uma vegetação homogênea, com 100% de cobertura. O raleio das 576 mudas foi feito de forma sistemática, retirando-se 58 mudas a cada tratamento, garantindo a diminuição gradativa desta percentagem ao longo das medições, até que se atingisse a condição de cobertura vegetal nula, ou seja, a resposta espectral da areia.

2. Medidas Radiométricas no Campo

O radiômetro utilizado foi o SPECTRON SE-590, disponível no LARAD (Laboratório de Radiometria - INPE). Trata-se de um espectrorradiômetro portátil, cujos detetores consistem de uma matriz de fotodiodos de 256 canais, abrangendo a faixa de 400 a 1100 nm em intervalos discretos de 10 nm, cabeça de leitura com campo de visada

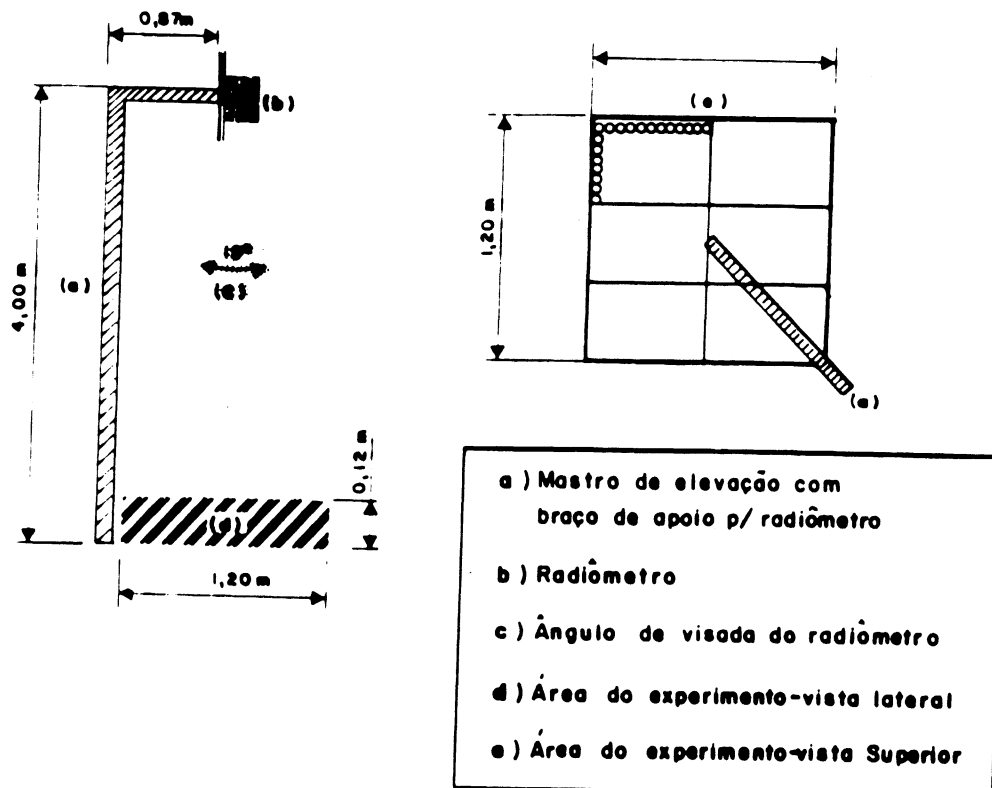


Fig. 1 - Desenho experimental

QUADRO I . Caracterização do substrato utilizado no experimento.

TIPO	GRANULOM. (mm)	PESO (g)	%
ARENOSO	(0.50	44.12	51.48
	0.50 - 0.59	6.99	8.11
	0.59 - 0.71	4.41	5.12
	0.71 - 0.84	7.48	8.68
	0.84 - 1.00	6.11	7.09
) 1.00	16.81	19.52
			100.00

de 15 graus, suspensa em um mastro de elevação de 4,00 m de altura, garantindo uma visada correspondente a

aproximadamente 1 m². Outra cabeça leitora foi instalada sobre um tripé de 1m de altura para medição da placa padrão de Sulfato de Bário, de forma que, após cada leitura do alvo, fosse feita a leitura da placa para determinação do fator de reflectância. A intercalibração dos detetores foi feita com a leitura da placa pelas duas cabeças, no início e final do experimento.

A rede de difração do radiômetro produz harmônicos no início (400 a 500 nm) e no final (900 a 1000 nm) da faixa espectral de medida. Desta forma o sinal nestas duas faixas, medido sobre a placa de referência, é maior que o esperado, o que implica na redução do fator de reflectância para este comprimento de onda. Para eliminar este problema, foram utilizados filtros KODAK WRATTEN 12 acoplados às cabeças de leitura.

A geometria de medição da reflectância bidirecional foi mantida a 45 graus de incidência (zenital) e a 0 grau de observação, para os diferentes tratamentos, conforme a Figura 01.

O experimento foi executado em dia sem cobertura de nuvens, em horário compreendido entre 10 e 14 horas, em local plano, com cobertura de grama batatais, livre da interferência de alvos próximos.

3. Medidas Dendrométricas

Mediu-se os valores de fitomassa aérea através de uma amostra de 30 mudas, que foram pesadas (peso verde total), submetidas a secagem em estufa (70 graus por 48 horas) e novamente pesadas (peso seco total).

O índice de área foliar foi estimado a partir da amostragem de 30 mudas, que tiveram suas folhas fotocopiadas e digitalizadas para que, com o uso do programa CAREA, fosse estimada a área foliar média por planta. Considerando-se o número de plantas por tratamento, a área foliar média por planta e a área total do experimento, determinou-se o índice de área foliar para cada tratamento.

4. Tratamento dos Dados

As medidas dos valores de radiância média gerados pelo radiômetro foram convertidas em reflectância através da divisão pelos valores registrados para a placa padrão.

As curvas de resposta espectral para cada tratamento foram geradas com o pacote gráfico Grapher. Com o pacote estatístico Statgraph foram feitas análises de correlação linear simples entre os valores de percentagem de cobertura e os valores de reflectância média e biomassa, e de reflectância média para intervalos discretos de comprimento de onda correspondentes aos do sensor HRV-SPOT, bandas 1 (500 - 590 nm), 2 (610 - 680 nm) e 3 (790 - 890 nm) e TM-LANDSAT, bandas 2 (520 - 600 nm), 3 (630 - 690 nm) e 4 (760 - 900 nm).

As relações entre os parâmetros da vegetação e as variáveis radiométricas foram submetidas à análise de regressão para determinar as equações que melhor modelassem estas relações.

Os índices de vegetação Razão Simples (RAZ) e Diferença Normalizada (NDVI) foram calculados e correlacionados com o índice de área foliar (IAF), biomassa verde (BIOVER) e biomassa seca (BIOSEC).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Curvas de Resposta Espectral

As Figuras 2 e 3 apresentam os espectros dos tratamentos com as respectivas percentagens de cobertura. Pode-se verificar que a tendência geral dos espectros, à medida que diminui a percentagem de cobertura, é o aumento da reflectância na região do visível e o decréscimo na região do infravermelho próximo, conforme anteriormente descrito por COLWELL (1974).

Numa abordagem similar, estudando o efeito da percentagem de cobertura na reflectância de um cultivo de algodão, Huete (1987) e Huete et al. (1985) observaram correlações entre os valores de reflectância e as diferentes percentagens de cobertura do solo. No intervalo entre 20% e 75% de cobertura a contribuição do solo para a reflectância foi mais significativa que a resposta da vegetação.

Resultados inesperados foram encontrados ao se comparar as curvas de reflectância a cada nova percentagem de cobertura. A curva correspondente a 50% de cobertura encontra-se, na região do infravermelho próximo, com valores inferiores aos da curva de 40%; o mesmo foi observado entre as curvas de 90% e 80%. Tais resultados não foram justificados pela literatura existente, podendo-se supor que sejam decorrentes de algum problema do equipamento utilizado, visto que na região do visível as curvas apresentam coerência, comparadas com as existentes na literatura consultada.

2. Simulação de Dados Orbitais

O Quadro II apresenta os valores médios de reflectância para as bandas 2, 3 e 4 do TM e 1, 2 e 3 do HRV, e as Figuras 4 e 5 mostram estes valores plotados por percentagem de cobertura e ajustados exponencialmente.

QUADRO II. Valores médios de reflectância por banda, para cada tratamento.

TRAT	TM2	TM3	TM4	HRV1	HRV2	HRV3
100	.059	.040	.517	.056	.036	.520
90	.061	.043	.477	.058	.039	.480
80	.072	.052	.496	.068	.049	.500
70	.078	.061	.474	.074	.058	.477
60	.092	.079	.466	.087	.076	.470
50	.098	.091	.439	.092	.087	.443
40	.116	.115	.446	.109	.110	.451
30	.160	.169	.407	.152	.165	.411
20	.181	.199	.395	.173	.195	.399
10	.221	.255	.392	.213	.250	.397
0	.240	.280	.395	.231	.279	.400

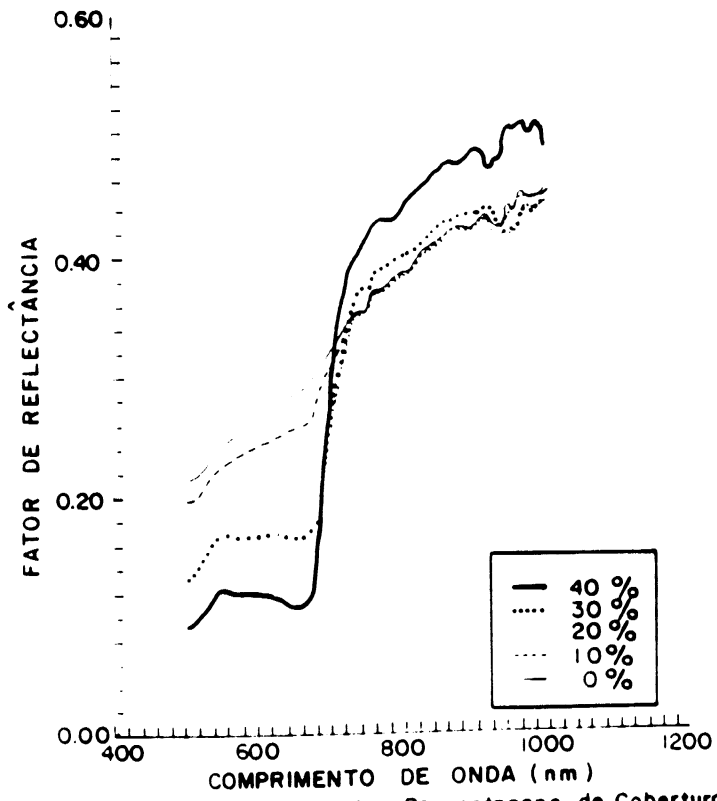


Fig.02 - Espectros das Percentagens de Cobertura

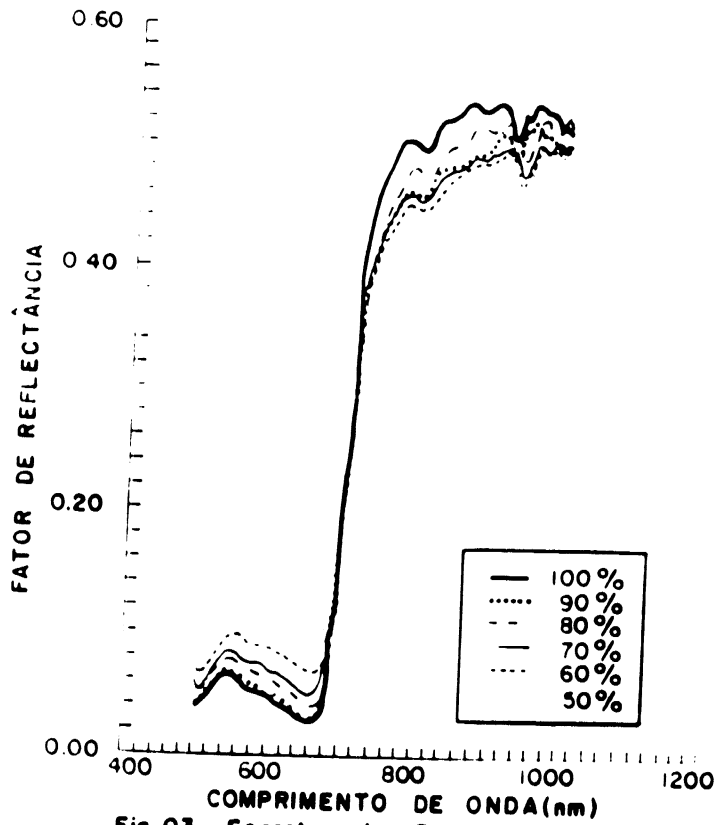


Fig.03 - Espectros das Percentagens de Cobertura

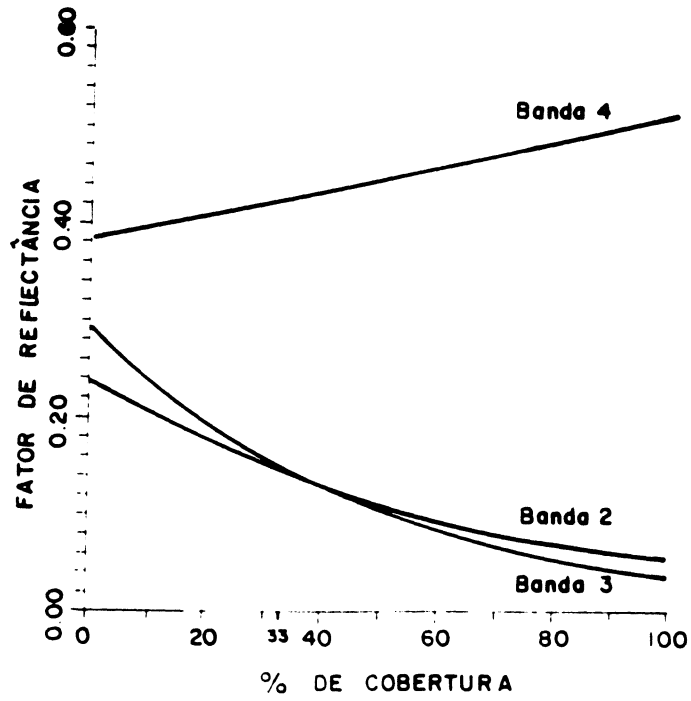


Fig.04 - Reflectância para Bandas 2,3 e 4 (TM)
por percentagem de cobertura

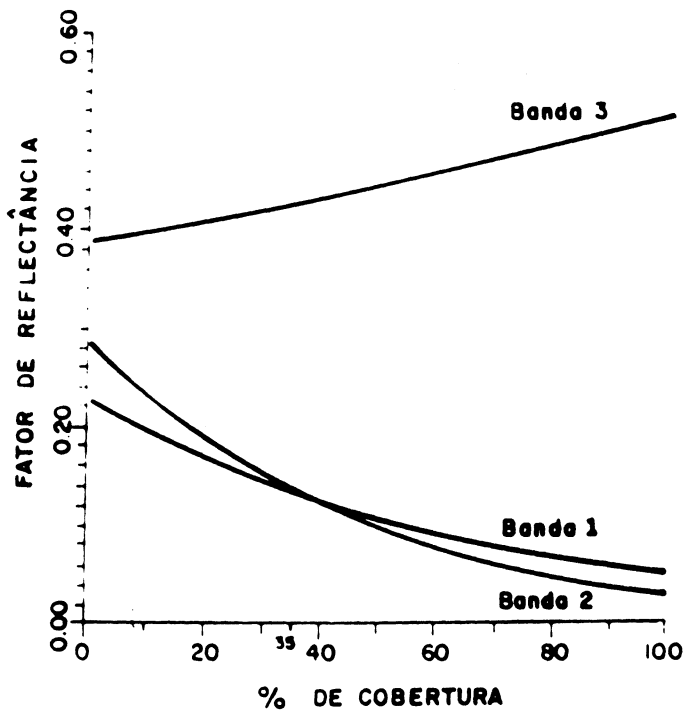


Fig.05 - Reflectância para Bandas 1,2 e 3 (HRV)
por percentagem de cobertura

Neste quadro pode-se observar que as bandas TM3 e HRV2 foram as que apresentaram maior amplitude para os valores em cada percentagem de cobertura, indicando assim uma maior sensibilidade quanto à presença dos componentes solo e vegetação. Nas Figuras 4 e 5, observa-se que as curvas na região do verde e vermelho, para ambos os sensores, têm um ponto de intersecção próximo a 34% de cobertura.

Observa-se ainda uma alta correlação entre as bandas 1 e 2 do HRV-SPOT e as bandas 2 e 3 do TM-Landsat, respectivamente, devido à semelhança entre as faixas espectrais compreendidas pelos sensores. Deste modo, as correlações entre o comportamento espectral da cobertura e os parâmetros da vegetação foram efetuadas considerando-se apenas a banda do sensor que apresentou os melhores resultados naquela faixa do espectro.

A configuração observada para a curvas (Figuras 4 e 5) em 0% e 100% de cobertura corresponde à usualmente descrita na literatura. A reflectância para uma cobertura de solo apresenta valores maiores para a região do vermelho do que aqueles obtidos para a região do verde. Para uma cobertura de vegetação predominante, há maior reflectância do verde em relação ao vermelho. Complementando os valores intermediários, entre 0% e 100%, e traçando as curvas do verde e vermelho, têm-se em um ponto qualquer a intersecção das mesmas.

Considerando os resultados de Huete (1987) e Huete et al. (1985), anteriormente citados, e observando as Figuras 4 e 5 pode-se inferir que a partir do ponto de intersecção de aproximadamente 34% de cobertura, a resposta da vegetação predomina em relação à do solo.

3. Parâmetros Dendrométricos

Os valores de IAF, BIOVER e BIOSEC foram obtidos multiplicando-se o valor médio calculado com base na amostragem, pelo número de mudas de cada tratamento (percentagem de cobertura). As biomassas verde e seca apresentam um comportamento linear em razão da utilização dos valores médios de 2,741 g e 0,979 g por planta, respectivamente. Da mesma forma, o IAF foi calculado com base no valor médio de 85,886 cm² por planta.

4. Análise de Correlação:

Simulação x Parâmetros Dendrométricos

A partir dos valores calculados de reflectância média das bandas 3 e 4 do TM e 2 e 3 do HRV, obteve-se os valores dos índices de vegetação:

$$\text{Razão Simples (RAZ)} = IVp/V$$

$$\text{Diferença Normalizada (NDVI)} = (IVp-V)/(IVp+V).$$

As correlações entre IAF, BIOVER e BIOSEC e os valores médios de reflectância podem ser observadas no Quadro III.

QUADRO III. Correlação ($\times 10^{-3}$) entre as variáveis envolvidas (nível de significância de 90%).

	T M 2	T M 3	T M 4	H R V 1	H R V 2	H R V 3	TR MA Z	TN MD V I	HR RA VZ	HN RD VV I
IAF	-957	-521	962	-954	-954	960	973	972	969	971
BIOVER	-957	-521	962	-954	-954	960	973	972	969	971
BIOSEC	-957	-521	962	-954	-954	960	973	972	969	971

Estes resultados mostram uma alta correlação entre as variáveis analisadas, confirmando observações anteriores (Holben et al., 1980). Os valores de correlação são maiores para os canais do infravermelho próximo TM4 e HRV3, sendo que os valores mais elevados correspondem aos de razão simples dos canais TM4/TM3. Deve-se observar que as diferenças não são significativas.

5. Análise de Regressão

Com base nestes dados, realizou-se a análise de regressão com a utilização de um modelo linear simples ($Y = a + bX$), entre as variáveis dependentes (IAF, BIOVER e BIOSEC) e as variáveis independentes (bandas individuais dos sensores, RAZ e NDVI). As equações que apresentaram os maiores valores de R² e menor erro padrão (Syx) encontram-se no Quadro IV.

A escolha de um modelo de regressão linear simples baseou-se no fato de os parâmetros referentes à cobertura apresentarem comportamento linear. Embora todas as equações selecionadas tenham apresentado um alto coeficiente de regressão, o erro padrão da estimativa foi significativo, devido ao pequeno número de pontos utilizados.

QUADRO IV. Equações selecionadas para estimar os parâmetros da vegetação.

EQUAÇÃO	R ²	Syx
IAF = -9.411 + 24.959 (TM4)	0.9268	0.3261
IAF = -9.675 + 25.322 (HRV3)	0.9230	0.3344
IAF = 0.151 + 0.276 (TMRAZ)	0.9473	0.2768
IAF = -0.489 + 4.366 (HRVNDVI)	0.9446	0.2837
BIOVER = -3004.410 + 7967.850 (TM4)	0.9269	104.0520
BIOVER = -3088.740 + 8083.890 (HRV3)	0.9231	106.7100
BIOVER = 48.296 + 87.940 (TMRAZ)	0.9473	88.3744
BIOVER = -271.299 + 1393.850 (HRVNDVI)	0.9446	90.5854
BIOSEC = -1073.100 + 2845.950 (TM4)	0.9268	37.1851
BIOSEC = -1103.220 + 2887.134 (HRV3)	0.9230	8.1347
BIOSEC = 31.411 + 17.254 (TMRAZ)	0.9473	31.5683
BIOSEC = 96.902 +- 497.872 (HRVNDVI)	0.9446	32.3573

Para efeito de avaliação das equações obtidas, calculou-se os parâmetros da vegetação. Foram encontrados erros a 90% de cobertura que podem ser atribuídos à erros de medição, e erros para coberturas inferiores a 50%, causados pela contribuição do solo e à natureza não linear do aumento da reflectância.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando as condições específicas do experimento realizado, pode-se afirmar que:

- apesar da amostragem fraca, os espectros, assim como os valores médios de reflectância por banda, apresentaram a evolução da diminuição da percentagem de cobertura vegetal de maneira lógica;

- baseado nos resultados de reflectância das diferentes percentagens de cobertura, pode-se concluir, para o presente experimento, que a contribuição do solo passa a ser dominante próximo ao valor de 34% de cobertura;

- não foi possível quantificar a contribuição do solo e da sombra na resposta do alvo para cada tratamento, porém pode-se obter uma boa estimativa dos parâmetros da vegetação (IAF, BIOVER e BIOSEC) a partir de dados radiométricos;

- recomenda-se para estudos desta natureza o uso de bandas do infravermelho próximo TM4 e HRV3, e os índices de vegetação razão simples para imagem TM e diferença normalizada para imagem HRV, devido à alta correlação com os parâmetros da vegetação;

- o modelo linear aplicado mostrou-se eficiente na estimativa dos parâmetros da vegetação, assim como o modelo exponencial permitiu um bom ajuste da relação entre o fator de reflectância e a percentagem de cobertura;

- os resultados obtidos são de grande valia para a determinação da cobertura florestal utilizando-se dados orbitais. A partir de um experimento simulando uma situação real de campo, há possibilidade de aplicação destes conhecimento para avaliação da produtividade, combinados com informações de campo;

- a transformação do número digital de um píxel em reflectância, para estudos utilizando-se dados orbitais, é recomendada por permitir uma análise mais correta do ponto de vista físico, além de possibilitar a determinação da percentagem de cobertura de áreas de interesse, utilizando-se equações simples;

A linha de pesquisa seguida neste estudo pode servir de base para futuros trabalhos que serão desenvolvidos com a utilização de dados obtidos por sensores de terceira geração (MODIS, HIRIS, EOS).

Recomenda-se testar o emprego de outros modelos de regressão, como exponencial, enésima ordem, múltipla, para relacionar os parâmetros da vegetação com dados radiométricos, bem como aumentar a intensidade de amostragem.

ABSTRACT

An alternative proposal for evaluating the forest production consists on the use of remote sensing techniques to define the spectral response of the forest canopy. It aims the development of a numerical model to correlate the spectral response to the vegetation parameters (aerial phytomass). An experiment was accomplished at Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, making use of SPECTRON SE/590 radiometer and seedlings of Eucalyptus grandis (Hill) Maiden to observe the spectral response of seedlings varying the percentage of forest cover. The study presents preliminary results concerning the spectral response of seedlings, simulating an homogeneous forest canopy. Numerical models were obtained to evaluate the leaf area index and green and dry aerial phytomass using the intervals of TM and HRV sensors bands. The applied linear model was efficient to estimate the parameters of vegetation. The exponential model allowed a suitable adjustment between the reflectance factor and the percentage of forest cover.

AGRADECIMENTOS

À FLORIN - Florestamento Integrado S.A., pelo apoio dado ao desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao Engenheiro Florestal João Leite e à Técnica Rosana.

BIBLIOGRAFIA

- COLWELL, L.E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3(2):175-183. 1974.
- GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Remote sensing with special reference to agricultural and forestry. Washington, 1970.
- HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. Assessing leaf area and leaf biomass with spectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46:651-656, 1980.
- HUETE, A.P.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. Remote Sensing of Environment, 17:37-53. 1985.
- HUETE, A.T. Soil-dependent spectral response in a development plant canopy. Agronomy Journal, 79(1):61-68. 1987.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1(2):155-159. 1970.

MYERS, V.I. Soil, water and plant relations. In:
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Remote sensing with
special reference to agricultural and forestry.
Washington, 1970.

SANTOS, J.R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado:
estimativa e correlação com dados do sensor Thematic
Mapper do satélite Landsat. Curitiba, 1988. 156p.
Tese de Doutorado - Universidade Federal do Paraná.

SHIMABUKURO. Y. E.; SMITH, J.A. Imagens sombra para áreas
reflorestadas de Eucalyptus e Pinus obtidas de medidas
multiespectrais do Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 11-15 out.
1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988. v.3.
p.572-577.