

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA E ÂNGULO ZENITAL SOLAR SOBRE O PADRÃO DE
REFLECTÂNCIA BIDIRECIONAL MULTIESPECTRAL DE UMA
COBERTURA VEGETAL NÃO-HOMOGÊNEA

Alexandre Grimaldi de Castro
João dos Santos Vila da Silva
Ademir Fernando Morelli
Pós-Graduação SERE/INPE

Vitor Celso de Carvalho
DPA/INPE
Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP

RESUMO

Foram efetuadas análises exploratórias quanto à influência de características estruturais e biométricas (altura média das plantas, biomassa úmida e seca, número de folhas, número de estratos, área foliar e orientação angular das folhas) e das variações do ângulo zenital solar (15, 25 e 35 graus) sobre os padrões de reflectância bidirecional multiespectral (400 a 900 nm), registrados para uma cobertura vegetal não homogênea. As medidas foram obtidas através da observação de cinco canteiros de mudas de eucalipto (*E. saligna*) com diferentes configurações estruturais, contando com cinco réplicas por tratamento. Utilizou-se dois espectroradiômetros (SPECTRON - SE 590), montados sobre tripês nas alturas de 3,0 e 1,0 metros. O primeiro designado a medir a radiação dos canteiros e o segundo de uma placa padrão (BaSO14), para posterior cálculo dos valores de reflectância aparente. Definiu-se a média e o desvio padrão para cada tratamento, procedendo-se a análise de variância. A aplicação de um teste F permitiu a rejeição da H101 ($P < 0,05$); variações na geometria do dossel influenciam o comportamento espectral de coberturas vegetais. A verificação dos padrões específicos de variância entre tratamentos através do teste de Duncan, permitiu uma diferenciação significativa ($P < 0,05$) em especial quanto as medições realizadas no ângulo zenital solar de 25 graus. A segunda hipótese nula (H102) não foi rejeitada a nível de 5%, influência da variação do ângulo zenital solar sobre o comportamento espectral do dossel. Estas análises foram efetuadas considerando-se a simulação das bandas do Landsat 5 TM (TM2, TM3 e TM4). Observou-se uma correlação significativa (modelo Pearson) ($P < 0,05$) entre parâmetros biométricos e estruturais do dossel sobre os registros radiométricos correspondentes às bandas TM. Em especial quanto a estratificação, biomassa seca e úmida e índice de área foliar (IAF). Análises de regressão linear simples indicaram padrões significativos ($P < 0,05$) entre registros radiométricos (TM3 e TM4) e IAF. Não foi encontrada uma relação significativa entre estes registros e os valores dos índices vegetativos (IV e NDIV), bem como entre os valores de reflectância correspondentes a banda TM2 e demais parâmetros biométricos.

ABSTRACT

An exploratory experiment was designed to analyse the influence of structural and biometrics characteristics (height average of plants, moisture and dry biomass, number of leaves, number of stracts, area and angular orientation of leaves) and solar zenith angular variation (15, 25 and 35 degree) upon the multispectral bidirectional reflectance patterns (400 a 900 nm) of non homogeneous canopy. Measurements were obtained through observations of five stone cutter of eucalyptus seedling (*E. saligna*) with differents structural configurations and five

replies for each treatment. Two spectroradiometers (SPECTRON SE-590) were used for measurements, mounted at 3.0 and 1.0 meters height. The first designed measurement of radiance of stone cutters and the other an standard plate (BaSO₄). The average and standard deviation for each treatment was calculated. The application of F test induced the rejection of H₀₁ ($P < 0.05$); the variations on canopy geometry influence the canopy spectral behaviour. An analyses of the specific variance patterns between treatments was realized through the Duncan test. The second null hypothesis (H₀₂) was not permitting verification the influence of solar zenith variation upon the spectral behaviour of dossels. These analyses were defined considering the simulation of bands TM (TM₂, TM₃ e TM₄) of Landsat 5. There was still verified a significative correlation (Pearson Model) ($P < 0.05$) among the biometric and structural parameters of dossel upon radiometric measurement corresponding TM bands. Especialy stratification, dry and wet biomass and leaf area index (LAI). Simple linear regression analyses denoted significatives patterns ($P < 0.05$) among radiometric records (TM₃ and TM₄) and LAI. There was not found a significative relationship between radiometric values and vegetation index (IV and NDIV), and among the reflectance values (TM₂) and biometric parameters.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento espectral de uma cobertura vegetal não-homogênea é uma função resultante de diversos fatores. Inúmeros estudos observam a geometria do dossel como um aspecto importante. Esta define o montante de vegetação ao qual o sensor é exposto (Curran & Wardley, 1988). A complexidade arquitetural estabelece o padrão específico de interação sensor x alvo.

A medida em que observa-se um aumento do volume de um dossel, espera-se uma diminuição do fator de reflectância do vermelho, assumindo-se um comportamento contrário para o infravermelho próximo. A especificidade destas interações, assim como a influência de outros fatores ambientais, são analisados detalhadamente por diversos autores (Tucker, 1977; Curran, 1983; Jensen, 1983; Gausman, 1985).

Dos diversos fatores envolvidos, a geometria da cobertura assume papel preponderante. Modificações mínimas no alinhamento das folhas podem resultar em variações do comportamento espectral de um dossel (Knipling, 1970; Colwell, 1974) e da magnitude do fator de reflectância bidirecional multiespectral de dosséis não homogêneos. Foram definidas duas hipóteses nulas: H₀₁ - variações da geometria de um dossel não influenciam o comportamento espectral; H₀₂ - variações no ângulo azimutal solar não implicam em modificações do padrão de

reflectância bidirecional multiespectral de um dossel.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento Experimental

O desenho experimental estabeleceu um total de 5 padrões de geometria da cobertura distintos, cada um representado por 5 réplicas. O experimento consistiu na simulação de uma cobertura homogênea. Utilizou-se canteiros de mudas de eucalipto (E. salina) com 120 x 120 cm, cada um destes com 588 mudas. O espaçamento médio entre mudas foi de 5 x 5 cm.

A variação estrutural foi estabelecida através da utilização de duas classes de tamanho de mudas (50-70 cm e 20-40 cm), agrupadas em diferentes proporções em cada série de canteiros (5). Duas destas constituíam formações homogêneas (apenas uma classe de tamanho); as demais apresentavam variações segundo o esquema: 25-75%, 50-50% e 75-25%, referentes a percentagem de cada uma das classes de tamanho na composição dos canteiros. Todos as parcelas experimentais estavam orientados no sentido E-W.

Os canteiros foram recobertos por uma camada de carvão vegetal em pó, com cerca de 1 cm de espessura. Tal procedimento visou minimizar a participação do substrato no fator de reflectância da cobertura. Somente o comportamento do dossel foi considerado na análise final. Uma placa de

referência recoberta de carvão foi utilizada como controle do experimento.

Medidas radiométricas

As medidas foram realizadas através de um espectroradiômetro SPECTRON SE 590. Utilizou-se dois sensores, um designado à leitura de uma placa padrão (BaSO₄) e outro à leitura dos alvos. Este procedimento permitiu o cálculo da reflectância bidirecional. O aparelho utilizado para leitura dos alvos foi colocado a uma altura média de 3 metros, com uma abertura de 15° (FOV). No início de cada sessão ambos os sensores foram intercalibrados através da leitura quase simultânea da placa padrão.

Realizou-se 3 sessões completas de medidas, nos horários correspondentes aos ângulos zenital solar de 35°, 25° e 15°. A variação do ângulo azimutal solar ocorreu somente em função da posição relativa do sol. Estas variações não foram consideradas na análise preliminar dos dados.

Procedeu-se duas leituras sequenciais de um mesmo ponto, registrando-se as médias. Efetuou-se uma filtragem preliminar dos ruídos inerentes ao aparelho, para posterior cálculo do fator de reflectância bidirecional.

Foi disposto um filtro amarelo (Kodak Wratten 12) no elemento ótico dos sensores para evitar o efeito de harmônico, intrínseco do equipamento utilizado. Este implica na alteração dos padrões de reflectância na faixa do infravermelho próximo. Os aparelhos foram operados no intervalo de 480 a 1100 nm. Considerou-se apenas os valores correspondentes à amplitude de 500 a 900 nm na análise e interpretação dos dados.

Medidas Biométricas e Fisionômicas

Uma série de dados fisionômicos e biométricos foram amostrados - altura média das formações, biomassa seca e úmida, número de folhas, número de estratos (por muda e por formação), área foliar e orientação angular das folhas. Estes dados foram inventariados com base em uma amostragem aleatória de 50 mudas por classe de tamanho. Os valores referentes aos demais canteiros foram calculados com base nos dados definidos para as formações homogêneas. O ângulo de inclinação das folhas foi obtido através de um clinômetro, efetuando-se 15 medidas (mudas

completas) por classe de tamanho. A área foliar foi estimada por planimetria - relação peso-área foliar.

Análise dos dados

Procedeu-se a uma análise de variância entre as médias dos fatores de reflectância bidirecional amostradas para cada canteiro, bem como destas em diferentes horários de observação - teste F de médias ($P < 0,05$). O teste de Duncan foi utilizado para análise dos dados agrupados por canteiro, de forma a permitir a discriminação das amostras quanto à variação dos valores médios entre os períodos de observação.

Foram efetuadas análises de correlação múltipla e regressão linear simples entre valores biométricos, índices de vegetação e reflectância média (bandas TM). O modelo de análise de componentes principais foi utilizado na discriminação da importância relativa das diversas variáveis consideradas. A aplicação deste modelo baseou-se nas matrizes de correlação - modelo de Pearson.

3. RESULTADOS

Influência da Geometria

A fim de determinar o efeito da geometria do dossel sobre os padrões de reflectância bidirecional multi-espectral, foram calculadas a média e o desvio padrão para cada um dos canteiros em diferentes horários. A partir destes dados, foram plotadas curvas sobrepostas dos cinco canteiros para cada um dos horários de observação (fig. 1).

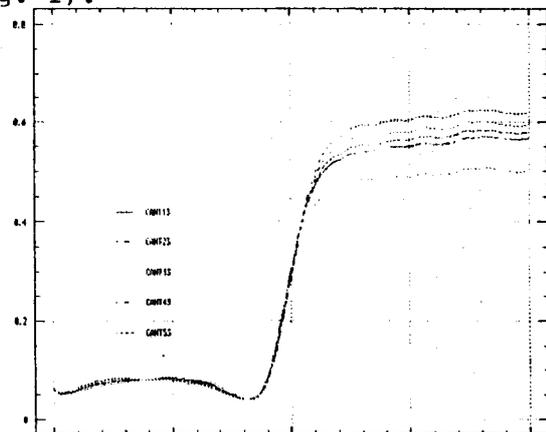


Fig. 1 - Curvas para os cinco canteiros horário 3 (0 a 15°)

A aplicação do teste F permitiu a detecção de uma variabilidade

significativa do fator de reflectância bidirecional atribuída a cada canteiro. Considerou-se um nível de significância de 5% ($P < 0,05$) como satisfatório para a rejeição da H_0 . A distinção entre os canteiros foi observada de forma predominante na faixa espectral correspondente ao infravermelho próximo (IVP - 700 a 900 nm). O comportamento das curvas de reflectância de diferentes canteiros na região do visível não apresentou variação significativa.

A variância registrada para todos os canteiros nos três horários de observação foi semelhante. O valor mais elevado de F foi atribuído às medidas realizadas no horário 1 (0,35). A variância residual foi menor neste período.

O teste de Duncan foi aplicado para verificação dos padrões específicos de variabilidade de cada canteiro em função do horário de leitura - análise de agrupamento. Novamente foram considerados os valores médios do fator de reflectância.

As observações correspondentes ao horário 1 ($\bar{0}, 35$) indicaram uma diferenciação significativa apenas entre os canteiros homogêneos - apenas uma classe de tamanho. Somente no horário 2 ($\bar{0}, 25$) foi possível denotar uma diferenciação significativa entre todos os canteiros. O horário 3 indicou uma variação semelhante a observada para o horário 1, com a diferenciação significativa apenas dos canteiros homogêneos (100% de determinado tamanho de muda).

Os resultados obtidos através da análise de correlação múltipla (modelo de Pearson), indicaram padrões coerentes com a expectativa teórica. Foram observados de correlação significativos entre todos os parâmetros biométricos e os fatores de reflectância bidirecional correspondentes às bandas 2, 3 e 4 do sensor Thematic Mapper (Landsat/TM). Considerou-se os valores médios de cada canteiro para os três horários.

Os resultados indicaram padrões de correlação semelhantes para os três horários. A banda TM4 apresentou alta correlação com todos os dados biométricos. Os índices situaram-se sempre acima da faixa de 85%. A correlação com os valores registrados para a banda TM3 foram igualmente elevados nos três horários. Valores de correlação negativos acima de 90%.

Para a banda TM2 observou-se uma variação mais acentuada entre os três períodos. Nos horários 1 e 3 registrou-se uma correlação na faixa de 75%, decrescendo para cerca de 35% no segundo período.

Os índices de vegetação empregados na análise dos dados (NDVI e VI) não acusaram uma correlação significativa com nenhum dos registros (TM2, 3 e 4). Apesar da relação intrínseca com as bandas TM3 e 4, os valores de correlação para estes índices situaram-se sempre abaixo de 50%.

A relação entre os índices de vegetação e os parâmetros biométricos não apresentou índices significativos. Foram encontrados valores negativos sempre na faixa de 60%. Correlação elevada foi registrada apenas entre os dois índices utilizados, cerca de 99%

TABELA 1
ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA BANDA TM4.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA : TM4 - 059

| CAUSA DE VARIACAO | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|------|--------|------|
| CANTEIROS | 4 | .075 | .00075 | 25** |
| RESIDUO | 20 | .007 | .00025 | |
| TOTAL | 24 | .082 | | |

ANÁLISE DE VARIÂNCIA : TM4 - 059

| CAUSA DE VARIACAO | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|------|--------|---------|
| CANTEIROS | 4 | .07 | .00075 | 18,75** |
| RESIDUO | 20 | .01 | .00004 | |
| TOTAL | 24 | .08 | | |

ANÁLISE DE VARIÂNCIA : TM4 - 059

| CAUSA DE VARIACAO | G.L. | S.Q. | Q.M. | F |
|-------------------|------|------|--------|--------|
| CANTEIROS | 4 | .038 | .00095 | 6,33** |
| RESIDUO | 20 | .003 | .00015 | |
| TOTAL | 24 | .041 | | |

Os resultados obtidos são coerentes com a expectativa teórica. A banda TM4 (IVP) apresentou níveis de correlação elevados ($P < 0,05$) sobre a maioria dos parâmetros biométricos considerados, tal como altura média, biomassa seca e úmida e índice de área foliar. Observou-se um aumento do fator de reflectância em função tanto da biomassa como do IAF.

Os padrões de reflectância bidirecional na faixa espectral correspondente ao vermelho (TM3) apresentaram-se coerentes com o esperado, embora com uma variação antagônica ao observado para a banda

TM4. Observou-se uma diminuição dos valores de reflectância em função tanto de um aumento da biomassa (seca e fresca) como do IAF. E ainda, uma correlação negativa com o padrão de reflectância da banda TM2 (verde), embora não tenha alcançado valores significativos ($P < 0,05$).

Com o intuito de definir de forma mais objetiva a relação entre o padrão de reflectância das bandas TM 3 e 4 com o IAF, utilizou-se de um modelo de regressão linear simples. A banda TM4 apresentou índices de regressão (r^2) na faixa de 0,80, o valor mais elevado sendo observado para o horário 1 (0 35 ϕ). A relação entre a banda TM3 e o IAF apresentou valores igualmente altos, com uma maior variação entre os horários. O valor mais elevado foi encontrado para o período 3 (0 15 ϕ) (Tabela 2). Considerou-se um nível de significância de 5%, definindo o padrão de reflectância como variável dependente em todas as análises de regressão.

TABELA 2
ÍNDICES DE REGRESSÃO (r $P < 0,05$) PARA A RELAÇÃO TM3 E TM4 SOBRE IAF (variáveis dependentes e independentes respectivamente)

| | r^2 | r | a | b | Razão F |
|------|-------|----------|-----------|------|---------|
| TM21 | 32,04 | 0,57 | 4,81 E-4 | 0,07 | 1,41 |
| TM31 | 69,08 | -0,83 | -4,18 E-3 | 0,10 | 6,70 |
| TM41 | 80,23 | 0,89 | 0,04 | 0,44 | 12,17 |
| TM22 | 00,00 | -5,67E-7 | -5,15 E-7 | 0,07 | 0,00 |
| TM32 | 81,26 | -0,90 | -4,82 E-3 | 0,11 | 13,01 |
| TM42 | 79,10 | 0,89 | 0,04 | 0,45 | 11,35 |
| TM23 | 37,18 | 0,61 | 1,28 E-3 | 0,07 | 1,77 |
| TM33 | 83,50 | -0,91 | -3,53 E-3 | 0,10 | 15,18 |
| TM43 | 80,14 | 0,89 | 0,04 | 0,42 | 12,11 |

Analisou-se, ainda, a relação entre a banda TM2 e o IAF, não sendo encontrados valores significativos de correlação ($P < 0,05$) (Tabela 3).

TABELA 3
MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON HORÁRIO 1 (0 - 35 ϕ)

| H | FUF | FUT | FSF | EST | HF | NDI | IVI | TM21 | TM31 | TM41 |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H | 1,0000 | ,9998 | 1,0000 | ,9994 | 1,0000 | 1,0000 | -,6624 | -,6220 | ,5669 | -,8215 |
| FUF | ,9998 | 1,0000 | ,9999 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | -,2232 | -,2626 | -,3189 | -,0816 |
| FUT | ,9999 | ,9998 | 1,0000 | ,9998 | 1,0000 | 1,0000 | -,6655 | -,6261 | -,5594 | -,8312 |
| FSF | ,9994 | ,9999 | ,9998 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | -,2292 | -,2585 | -,3266 | -,0810 |
| EST | ,9998 | ,9998 | ,9998 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | -,6635 | -,6279 | -,5682 | -,8218 |
| HF | ,6624 | ,6624 | ,6624 | ,6624 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| NDI | -,6624 | -,6624 | -,6624 | -,6624 | -,6624 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| IVI | -,6220 | -,6220 | -,6220 | -,6220 | -,6220 | -,6635 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| TM21 | ,5669 | ,5669 | ,5669 | ,5669 | ,5669 | ,5682 | -,5679 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| TM31 | -,8215 | -,8215 | -,8215 | -,8215 | -,8215 | -,8212 | -,8212 | -,8212 | 1,0000 | 1,0000 |
| TM41 | -,0816 | -,0816 | -,0816 | -,0816 | -,0816 | -,0810 | -,0810 | -,0810 | -,0810 | 1,0000 |
| H | - Altura | | | | | | | | | |
| FUF | - Peso Úmido Folhas | | | | | | | | | |
| FUT | - Peso Úmido Total | | | | | | | | | |
| FSF | - Peso Seco Folhas | | | | | | | | | |
| EST | - Peso Seco Total | | | | | | | | | |
| HF | - Índice de Área Foliar | | | | | | | | | |
| NDI | - Índice Vegetativo Diferença Normalizada | | | | | | | | | |
| IVI | - Índice Vegetativo Índice Simples | | | | | | | | | |
| TM21 | - Banda 2 TM (| | | | | | | | | |
| TM31 | - Banda 3 TM (| | | | | | | | | |
| TM41 | - Banda 4 TM (| | | | | | | | | |

Não foi possível realizar uma análise discriminante das variáveis observadas, em função do número reduzido de amostras. Todavia, foi efetuada uma análise exploratória (componente principal), com base nas matrizes de correlação de Pearson geradas na etapa anterior.

Esta análise indica o componente 1 como responsável por cerca de 90% da variabilidade observada para as bandas TM3 e 4. Possivelmente, este corresponde ao IAF, encontrado como altamente correlacionado com os padrões de reflectância observados.

Influência do ângulo zenital solar

Ao contrário do aspecto geometria de cobertura, não foi possível rejeitar a Ho2, referente a influência do ângulo zenital solar sobre o comportamento espectral do dossel. A análise de variância entre as médias foi realizada de forma semelhante a anterior, considerando-se um nível de significância de 5% ($P < 0,05$) como satisfatório. Apenas os dados referentes ao canteiro 5 (banda TM4) apresentaram um resultado significativo (fig.5). Aplicando-se o teste de Duncan, foi possível diferenciar apenas os dados referentes ao período 2 (0 25 ϕ) (apenas para o canteiro 5). Os resultados deste teste são descritos na Tabela 4.

TABELA 4
RESULTADOS DO TESTE DE DUCAN (a) PARA CADA UM DOS CANTEIROS EM DIFERENTES HORÁRIOS, E (b) PARA O CANTEIRO 5

| | TM4 - 35 | TM4 - 25 | TM4 - 15 |
|------------|-----------|----------|-----------|
| Canteiro 4 | 0,623 a | 0,633 a | 0,612 a |
| Canteiro 5 | 0,605 a d | 0,612 b | 0,587 b |
| Canteiro 2 | 0,586 b d | 0,595 c | 0,571 b e |
| Canteiro 1 | 0,566 b | 0,582 d | 0,557 c e |
| Canteiro 3 | 0,513 c | 0,526 e | 0,496 d |

Obs: A coincidência de uma mesma letra para médias distintas, indica a ocorrência de diferença não significativa.

As análises de regressão não detectaram uma variação significativa entre os diferentes horários - relação TM4 e IAF. Apesar dos resultados observados para a relação IAF x TM3 apresentarem uma maior variabilidade, esta não foi suficiente para definir uma diferenciação significativa para os padrões registrados para diferentes horários.

4. DISCUSSÃO

Os objetivos definidos para este experimento foram parcialmente alcançados, com a rejeição da H_0 . Todavia, fica evidenciada a necessidade de um replanejamento experimental para a definição mais precisa dos parâmetros biométricos que influenciam mais diretamente padrões de reflectância bidirecional multiespectral. A impossibilidade de discriminação destes parâmetros restringe o potencial de inferência sobre padrões generalizáveis. A restrição analítica foi diretamente relacionada ao número reduzido de amostras.

Os resultados obtidos para a relação geometria do dossel x fator de reflectância bidirecional (bandas TM3 e 4), foram coerentes com o observado por outros autores. A diferenciação ($P < 0,05$) significativa entre canteiros é um indicativo da influência deste fator no comportamento espectral de um dossel. Todavia, ressalta-se a necessidade de um maior detalhamento da investigação, objetivando o reconhecimento dos parâmetros balizadores da resposta espectral.

A ausência de registros quantitativos quanto ao percentual de cobertura e sombras restringe igualmente uma análise mais crítica dos resultados. Ambos os fatores, indiretamente relacionados à geometria, são importantes na definição dos padrões de reflectância bidirecional de uma cobertura vegetal (Ranson et al., 1987; Kimes et al., 1986).

A definição precisa da influência dos parâmetros biométricos é de suma importância tanto para a compreensão dos processos fundamentais como para o estabelecimento de procedimentos operacionais em S.R.

Um aspecto importante trata da definição dos padrões interativos (sinérgicos) entre os diversos parâmetros descritores da geometria de um dossel. Apesar de ter-se reconhecido a preponderância de uma variável na definição dos padrões de reflectância bidirecional (análise componente principal), resta analisar os aspectos sinérgicos envolvidos.

A definição de parâmetros de monitoramento, tal como parâmetros agrônômicos, parece passível de realização. Os níveis de correlação, bem como as equações de regressão, apresentaram valores significativos ($P < 0,05$). Em especial a relação entre a

banda TM4 e o IAF indicam uma expectativa positiva de monitoramento remoto da estrutura de um dossel. Ressalta-se, todavia, que os níveis assintóticos definidos em literatura (IAF = 12) não foram alcançados.

A relação entre TM4 e IAF não foi inteiramente coerente com o esperado, embora tenha-se definido uma correlação da ordem de 0,80 ($P < 0,05$). A variação do fator de reflectância bidirecional não foi inteiramente coerente em função dos resultados obtidos para o canteiro 5 (50% x 50%). Embora este tenha apresentado valores de IAF, PUF, PUT, PSF e PST inferiores ao do canteiro 2 (75%, 25%), os valores de reflectância foram maiores. Este comportamento pode ser atribuído a padrões de sombreamento diferenciados. Todavia não foi possível tecer considerações conclusivas em função da ausência de dados relativos ao percentual de sombra para cada canteiro/horário.

As potencialidades de aplicação dos resultados obtidos no reconhecimento dos padrões reais (condições de campo) devem ser analisados com parcimônia. Embora tenha-se definido uma distinção significativa ($P < 0,05$) das diferentes estruturas, entende-se como prematura uma generalização dos resultados. Como referido anteriormente, componentes de cena não foram analisados neste estudo em função do caráter eminentemente de simulação. São frequentes as referências às influências do substrato sobre os padrões de reflectância bidirecional de uma cobertura vegetal. Estas influências não foram observadas em função das condições de controle estabelecidas para este experimento.

A impossibilidade de rejeição da H_0 - influência da variação do ângulo zenital solar - indica igualmente a necessidade de um maior refinamento estrutural do planejamento experimental. Os resultados alcançados não permitiram corroborar observações de outros autores, de uma influência significativa da variação do ângulo solar sobre os padrões de reflectância bidirecional, sobretudo na faixa do IVP. Talvez seja recomendável a extensão do período de observação.

5. CONCLUSÕES

Ressalta-se o caráter exploratório atribuído a este experimento. Entendendo-se como contribuição maior deste estudo a possibilidade de fundamentação de planejamentos experimentais mais

detalhados. A partir das constatações definidas neste estudo, é possível verificar a necessidade de um planejamento mais criterioso do experimento, principalmente no que concerne à amplitude de amostragem necessária. É recomendável um maior detalhamento do papel atribuído a cada um dos parâmetros biométricos, descritores da geometria de um dossel.

A formalização matemática dos padrões interativos entre as diversas variáveis arroladas nesta investigação é igualmente recomendável. Tal procedimento pode assumir um caráter prospectivo e predictivo, subsidiando o desenvolvimento de estudos teóricos e aplicados. Tal procedimento deve ser fundamentado, todavia, em análises quantitativas e extensivas, com um maior detalhamento das condições de contorno do modelo a ser proposto.

A aplicabilidade dos padrões e relações reconhecidas entre a geometria, parâmetros biométricos e padrões de reflectância bidirecional multiespectral deve ser abordada com restrições. Embora tenha-se alcançado resultados significativos, a condição de simulação estabelecida neste experimento não permite uma extrapolação direta com as condições observadas em campo - abordagem a nível de cena. Uma série de fatores condicionantes adicionais devem ser considerados, de forma a fundamentar experimentalmente as observações realizadas neste estudo.

Embora parcialmente coerentes com resultados descritos em literatura, os padrões observados referem-se a um número restrito de observações sob condições particulares. Uma generalização das informações obtidas deve ser atribuída a uma maior fundamentação teórica, bem como a definição precisa dos padrões interativos das diversas variáveis arroladas na definição dos fatores de reflectância bidirecional de coberturas vegetais não-homogêneas, as quais apresentam um comportamento não lambertiano.

6. BIBLIOGRAFIA

CIHLAR, J. et al. Procedures for the description of agricultural crops and soils in optical and microwave remote sensing studies. International Journal of Remote Sensing, 8: 427-39, 1987.

COLWELL, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. 046

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9. University of Michigan, Ann Arbor, Proceedings. (University of Michigan, Ann Arbor) pp. 1061-85, 1974.

CURRAN, P.J. Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index. Philosophical Transactions of the Royal Society, Serie A 309: 257-70, 1983.

CURRAN, P.J. & WARDLEY, N.W. Radiometric leaf area index. International Journal of Remote Sensing, 9(2): 259-74, 1988.

GAUSMAN, H.W. Plant leaf optical properties in visible and near infrared light. (Lubbock, Texas, Texas Tech Press), 1985.

JACKSON, R.D. & PRINTER, P.J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. Remote Sensing of Environment, 20: 43-56, 1986.

JENSEN, J.R. Biophysical remote sensing. Annals of the Association of American Geographers, 73: 111-32, 1983.

KIMES, D.S. & KIRCHNER, J.A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. International Journal of Remote Sensing, 4: 257-71, 1983.

KIMES, D.S. et al. Directional reflectance factor distributions for cover types on northern Africa. Remote Sensing of Environment, 18: 1-19, 1985.

KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infra-red radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1: 15-59, 1970.

PINTFR, P.J. et al. Sun angle and canopy architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. International Journal of Remote Sensing, 6: 1813-25, 1985.

RANSON, K.J. et al. Variation in spectral response of soybeans with respect to illumination, view and canopy geometry. International Journal of Remote Sensing, 6: 1827-42, 1985.

RANSON, K.J. & DAUGHTRY, C.S.T. Scene shadow effects on multispectral response. IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, GE 25(4): 502-09, 1987.

TUCKER, C.J. Spectral estimation of grass canopy variables. Remote Sensing of Environment, 6: 11-26, 1977.

VERHOEF, W. & BUNNICK, N.J.J. Influence of crop geometry on multispectral reflectance determined by the use of canopy reflectance models. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING, Avignon, France (Versailles: INRA) Proceedings International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 273-89, 1981.

WARDLEY, N.W. et al. Remote sensing of structurally complex semi-natural vegetation - an example for heathland. International Journal of Remote Sensing, 8: 31-42, 1987.

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos à FLORIN Florestadora S/A. pela concessão das instalações, equipamentos, mudas e auxílio na montagem do experimento.