

# REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE FOLHAS "ex situ": UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA

Flávio Jorge Ponzoni  
Deptº de Pesquisa e Aplicações em Sensoriamento Remoto  
Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE  
Av. dos Astronautas, 1758  
12201 - São José dos Campos-SP

Mário Takao Inoue  
(Bolsista do CNPq)  
Deptº de Silvicultura e Manejo  
Curso de Engenharia Florestal  
Universidade Federal do Paraná-UFPR  
Rua Bom Jesus, 650  
80030-Curitiba-Pr

## RESUMO

Foram realizadas medições em condições de laboratório para a determinação da reflectância espectral de folhas extraídas de *Eucalyptus* sp. e acículas extraídas de *Araucária angustifolia*, usando um espectrorradiômetro Spectron SE-590. As folhas de *Eucalyptus* foram submetidas a diversos tempos de armazenamento compreendidos entre a coleta e as medições espectrorradiométricas, com o objetivo de detectar diferenças entre amostras provenientes de tempos diferentes de armazenamento. As acículas de *Araucária* foram provenientes de indivíduos que apresentavam diferentes níveis de danos causados por ataque fúngico radicular. Foram detectadas diferenças significativas entre as reflectâncias espectrais de amostras provenientes destes indivíduos. São apresentados os resultados, acompanhados de discussão sobre os procedimentos adotados e sugestões para futuros experimentos dessa natureza.

## ABSTRACT

Laboratory spectral measurements were carried out in order to determine the *Eucalyptus* sp. and *Araucária angustifolia* detached leaves spectral reflectance, using a Spectron radiometer SE-590. The *Eucalyptus* sp. leaves were stored for several storage times in order to detect reflectance differences. The *Araucária* leaves were collected from trees which presented different fungi attack levels. The results of these experiments were presented, including a methodological discussion and suggestions.

## 1. INTRODUÇÃO

A otimização da utilização de dados de sensoriamento remoto a níveis de aeronave e orbital só é atingida através do pleno conhecimento dos processos envolvidos na interação material/energia para específicas feições e objetos existentes na superfície terrestre.

A estimativa de parâmetros biofísicos de determinadas tipologias vegetais tem sido conduzida através dos chamados Modelos de reflectância de copa, que incluem variáveis ambientais e da vegetação considerada. Dentre as variáveis da vegetação destaca-se a reflectância espectral de folhas pela sua importância nos resultados destes modelos e que portanto, deve ser determinada com significativo nível de confiabilidade. No Brasil pouco tem sido feito visando a determinação da reflectância espectral de folhas, ora por deficiência instrumental, ora pela falta de conhecimento metodológico que a viabilize.

O objetivo deste trabalho é avaliar uma

metodologia de coleta de dados espectrorradiométricos que permita detectar diferenças na reflectância de folhas "ex situ" de *Eucalyptus* sp. e de *Araucária angustifolia*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos para a determinação do fator de reflectância. Num destes experimentos foram consideradas folhas extraídas de *Eucalyptus* sp. (Eucalipto) que foram submetidas a tempos de armazenamento diferentes antes da realização das medições espectrorradiométricas; no outro experimento foram consideradas acículas extraídas de *Araucária angustifolia* (Pinheiro) de árvores que apresentavam diferentes níveis de danos estes causados por um fungo que ataca o sistema radicular.

Em ambos os experimentos foi usado o radiômetro Spectron SE-590, da Spectron Eng. Company que possui 256 bandas espectrais que se estendem de 0,4µm até 1,1µm, a intervalos de 0,03µm.

Este equipamento possui como configuração básica uma unidade controladora e uma unidade de coleta de dados. Na primeira estão inseridos a fonte alimentadora de energia, bateria, gravador de fita ("tape record") e um microprocessador. Na unidade de coleta de dados estão os dispositivos óticos mecânicos e eletrônicos responsáveis pela detecção e transformação da energia proveniente do objeto visualizado por esta. A varredura espectral se dá automaticamente pela ação de comandos específicos da unidade controladora e o tempo consumido nesta operação pode ser considerado instantâneo. Os dados coletados ficam disponíveis em uma memória virtual e são passíveis de registro em fita magnética para posterior processamento em microcomputador.

## 2.1 - LOCAL E CONDIÇÕES ADOTADAS NA CONDUÇÃO DAS MEDIDAS ESPECTRORRADIOMÉTRICAS

As medidas espectrorradiométricas foram conduzidas nas chamadas condições de laboratório. Para tanto, em ambos os experimentos, procurou-se recriar as mesmas condições ambientais adotadas pelo Laboratório de Radiometria do Instituto de Pesquisas Espaciais (LARAD/INPE), que atualmente é o laboratório mais especializado no País em medidas dessa natureza.

O experimento conduzido com as folhas de Eucalipto foi conduzido nas dependências do Centro de Treinamento da New Holland, situado na Fazenda Canguiri de propriedade da Universidade Federal do Paraná (UFPr).

Foi escolhida uma sala que permitisse seu total escurecimento o qual foi conseguido com o auxílio de folhas de cartolina preta fixas do lado externo da única janela existente nesta sala. Uma mesa comum de cozinha, medindo aproximadamente 1,0 x 1,5m, foi usada como plataforma para suportar o equipamento (radiômetro) e as amostras a serem medidas. Como fonte luminosa foi usado um projetor comum de slides que foi disposto sobre uma escada metálica de armar, de forma a ser posicionado aproximadamente 80cm acima do plano da mesa. O projetor foi orientado, através de suportes, de forma a iluminar o plano da mesa num ângulo de 45°. A lâmpada deste projetor era de 150Watts.

A unidade coletora do radiômetro foi fixa na armação de uma luminária de lentes que foi adaptada para tal. Como resultado esta unidade pode ser mantida fixa de forma a visar verticalmente as amostras a serem medidas. O ângulo de abertura adotado no experimento foi de 15° e, uma vez que a unidade coletora foi mantida a 50cm acima do plano da mesa, a área visualizada por esta unidade foi de aproximadamente 15cm (elemento de resolução espacial).

O mesmo procedimento foi adotado na condução do experimento referente as amostras extraídas de Pinheiro quanto aos critérios de controle das variáveis ambientais, contudo este experimento foi conduzido nas dependências da indústria de madeiras Giacomet-Marodim, lo-

calizada na município de Quedas do Iguaçu (Pr). Da mesma forma como aconteceu na Fazenda Canguiri, um laboratório foi montado numa sala cedida pela empresa, segundo os mesmos moldes do anterior.

## 2.2 - DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Em ambos os experimentos foi realizada uma análise de variância onde os diferentes tempos de armazenamento, compreendido entre a coleta das folhas de Eucalipto e suas medições espectrorradiométricas, e os níveis de danos apresentados pelos indivíduos de Pinheiro, foram considerados como tratamentos de um experimento inteiramente casualizado. Dadas as limitações de espaço disponível em fita magnética para o registro dos dados provenientes das medições, foram possíveis realizar 10 repetições por tratamento. As médias foram comparadas através do teste Tukey, ao nível do 5% de probabilidade (Gomes, 1963).

## 2.3 - COLETA, ARMAZENAMENTO E ORIENTAÇÃO DAS FOLHAS DE EUCALIPTO

O experimento envolvendo as folhas extraídas de Eucalipto foi concebido de forma a detectar possíveis diferenças no fator de reflectância destas folhas, submetidas a tempos diferentes de armazenamento compreendidos entre a coleta e as medições espectrorradiométricas.

Foi escolhido um indivíduo de Eucalipto que continha folhas em abundância e de fácil acesso, que se encontrava praticamente isolado, recebendo luz solar de todas as direções. Este indivíduo não foi abatido, sendo que para a extração das folhas foi utilizado um podão.

Uma vez extraídas, as folhas eram introduzidas em sacos pretos de polietileno com capacidade para 100 litros, os quais foram mantidos abertos, imediatamente encaminhadas ao laboratório e lá mantidas sob ausência da luz e a temperatura ambiente.

O experimento foi então constituído por 6 tratamentos (Tempos de armazenamento), tendo cada um 10 repetições constituídas individualmente por um grupo de folhas. Estes grupos foram arranjados sob a unidade de coleta do radiômetro, formando um quadrado de aproximadamente 30cm de lado, contendo uma única camada de folhas, que por sua vez foram orientadas de forma que a direção do feixe de luz incidente fosse coincidente com seus eixos longitudinais; ainda somente foi considerada a reflectância da face ventral. Um pano preto fosco foi utilizado como fundo ("background"), uma vez que a camada de folhas não era contínua.

As repetições foram feitas sobre as folhas não repostas, ou seja, uma mesma folha não foi utilizada mais do que uma vez na coleta dos dados espectrorradiométricos.

Os tratamentos foram então constituídos pelos seguintes tempos de armazenamento:

- 0 → medições imediatamente após a coleta;
- 5 → medições 5 horas após a coleta;
- 8 → medições 8 horas após a coleta;
- 24 → medições 24 horas após a coleta;
- 32 → medições 32 horas após a coleta;
- 127 → medições 127 horas após a coleta;

## 2.4 - COLETA E ORIENTAÇÃO DAS FOLHAS DE PINHEIRO

Plantios de Pinheiro foram percorridos tendo-se como orientação um trabalho de fotointerpretação realizado previamente por Lingnau (no prelo) no qual foram cartografadas as classes relativas aos níveis de danos identificados. Um indivíduo representativo de cada nível de dano e do substrato denominado afloramento rochoso (AFR) foi abatido para que pudessem ser extraídas suas acículas, que em seguida foram submetidas as mesmas condições de armazenamento conferidas às folhas de Eucalipto. A coleta destas folhas foi conduzida de forma a garantir o tempo mínimo entre a coleta e as medições espectrorradiométricas; para tanto os indivíduos foram abatidos numa sequência sincronizada com o andamento das medições.

Assim como no experimento conduzido com as folhas de Eucalipto, as acículas de Pinheiro foram arranjadas mantendo-se a coincidência entre os eixos longitudinais destas e a direção dos raios luminosos incidentes a 45°, oriundos do projetor. Contudo, convém salientar que as acículas não foram extraídas, mantendo-se aqui também uma camada única de acículas sobre um pano preto como fundo.

Como tratamentos foram considerados os níveis de danos identificados por Lingnau (no prelo) e uma característica edáfica particular que foi considerada como passível de investigação; assim:

TRATAMENTO	NÍVEL DE DANO
0 →	planta sadia
1 →	nível 1
2 →	nível 2
3 →	nível 3
4 →	planta morta (folhas secas)
AFR →	afloramento rochoso

## 2.5 - MEDIÇÕES ESPECTRORRADIOMÉTRICAS

Uma vez que um grupo de folhas e/ou acículas encontrava-se convenientemente disposto sob a unidade de coleta do radiômetro, seguiam-se as medições espectrorradiométricas. O registro em fita magnética dos dados espectrais dava-se instantaneamente. Cada registro foi denominado "espectro" e constituiu um arquivo passível de posterior processamento em um microcomputador. Para cada tratamento foram registrados 10 espectros, sendo que estas 10 medidas foram intercaladas com a determinação da reflectância de uma placa padrão de sulfato de bário (para a determinação da irradiância)

## 2.6 - PROCESSAMENTO DOS DADOS

As fitas magnéticas foram encaminhadas às dependências do LARAD/INPE, onde encontravam-se disponíveis os equipamentos e programas computacionais destinados ao processamento dos dados registrados.

Nesta etapa foram utilizados a unidade de controle do radiômetro e um microcomputador da linha PC-XT.

Os arquivos gravados em fita magnética foram transferidos ao microcomputador e posteriormente foram gravados em disco flexível de 5 1/4" de dupla face. Através de um programa específico foram gerados novos arquivos contendo o fator de reflectância para cada espectro oriundo das amostras. Segundo o algoritmo implementado através deste programa o fator de reflectância foi calculado pela divisão dos dados referentes a cada espectro das amostras, pelos dados referentes ao espectro da placa padrão obtido num horário mais próximo. Os novos arquivos contendo o fator de reflectância de cada repetição para cada tratamento, foram gravados em disco flexível no formato ASCII, o que permitiu sua utilização em um microcomputador da linha MSX, através do qual foram confeccionados programas em linguagem BASIC, para realizar cálculos referentes a simulação das bandas do sensor Thematic Mapper (TM), a análise de variância e confecção de gráficos.

### 2.6.1 - SIMULAÇÃO DAS BANDAS TM

Para facilitar o tratamento estatístico destes dados foram calculadas as médias dos fatores de reflectância compreendidos entre 0,44 a 0,55  $\mu\text{m}$  (banda TM1), 0,55 a 0,60  $\mu\text{m}$  (banda TM2) e 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$  (banda TM3). Cada tratamento originou 10 médias para cada uma destas bandas as quais foram comparadas entre si através da análise de variância.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 - EUCALIPTO: CONDIÇÕES DE LOCAL (LABORATÓRIO), ARMAZENAMENTO, PREPARO, ARRANJO E MEDIÇÕES ESPECTRORRADIOMÉTRICAS

Aparentemente foram reproduzidas fielmente as condições ambientais adotadas pelo LARAD/INPE em medições dessa natureza. Contudo a lâmpada de halogênio de 150 watts existente no projetor de slides utilizado como fonte luminosa, quase comprometeu todo o experimento devido a sua baixa intensidade. O fato de ter sido mantida fixa aproximadamente 80cm das amostras durante as medições e sob um ângulo de 45°, contribuiu ainda mais para a diminuição da intensidade luminosa. Um outro problema ocorreu ainda relacionado ao projetor de slides, desta vez pela não retirada de um filtro infravermelho existente nestes projetores para atenuar o calor incidente sobre os slides. Este descuido impediu que a energia proveniente desta região do espectro eletromagnético que era emitido pela lâmpada, incidisse sobre as amostras que passaram, obviamente, a não refle-

tir nessa região. A análise experimental ficou restrita, portanto, a região compreendida entre 0,4µm a 0,77µm.

Os sacos pretos de polietileno de 100 litros foram aficientes no armazenamento e transporte do material coletado. Acredita-se que tenham sido igualmente eficientes no retardamento do processo de degradação das folhas submetidas a diferentes períodos de armazenamento, pois impediram satisfatoriamente a incidência de luz sobre as folhas, mantiveram o microambiente de seu interior saturado de umidade e por terem sido mantidos no interior do laboratório, mantiveram-se sob temperatura estável; contudo nenhum procedimento foi adotado para comprovar cientificamente estas afirmações.

Para o preparo do material e amostras surge-se a atuação de uma equipe composta por duas pessoas, sendo uma destas responsável pela individualização das folhas, enquanto a outra posicionaria estas sob a unidade de coleta do espectrorradiômetro. No presente trabalho estas operações foram realizadas por uma única pessoa o que implicou num consumo de tempo relativamente grande. Para o preparo e arranjo das folhas foram gastos em média 5 minutos por amostra. Sendo mantidas iluminadas durante esta operação, talvez possam ter ocorrido alterações fisiológicas significativas, influenciando os resultados das medições.

A operação de medição espectrorradiométrica e gravação dos dados dava-se instantaneamente com a ação de um comando na unidade de controle do equipamento. Neste momento torna-se imprescindível a disposição de um osciloscópio para a visualização instantânea dos dados coletados.

### 3.1 - PINHEIRO: CONDIÇÕES DE LOCAL (LABORATÓRIO), ARMAZENAMENTO, PREPARO, ARRANJO E MEDIÇÕES ESPECTRORRADIOMÉTRICAS

Os resultados relativos a condições de local, armazenamento e preparo foram os mesmos alcançados no experimento realizado com as folhas de Eucalipto.

As acículas foram orientadas sob a unidade de coleta do radiômetro de forma que o eixo principal dos ramos que as continham ficasse com a direção dos raios luminosos provenientes do projetor. Dadas as limitações de tempo e pessoal envolvido nesta fase do experimento, as acículas não foram extraídas de seus ramos o que dificultou a operação de arranjo e consequentemente introduziu uma variabilidade grande de arranjo entre amostras, com a presença de sombras, ângulos diferentes de exposição a luz, etc.

### 3.3 - EUCALIPTO: RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Figura 1 ilustra os gráficos de uma repetição para cada um dos tratamentos considerados.

A faixa espectral considerada nos cálculos e comparação entre tratamentos ficou compreendida entre 0,37 a 0,87µm. Para esta faixa pode-se constatar que a forma das curvas apresentadas na Figura 1 é muito semelhante a forma típica da curva do fator de reflectância da vegetação, contudo a partir de aproximadamente 0,77µm há uma degradação das curvas sob a forma de pontos dispersos aleatoriamente. Isso comprova a não existência de energia na região do infravermelho incidente sobre as amostras. Ainda para a região compreendida entre 0,4 a 0,68µm há uma tendência de crescimento dos valores dos fatores de reflectância a medida que estende-se os tempos de armazenamento (tratamento). Para facilitar a visualização desta afirmação, foi confeccionado um gráfico contendo os fatores de reflectância médios para as bandas TM1, TM2 e TM3, o qual encontra-se apresentado na Figura 2.

A significância destas diferenças foi determinada pela análise de variância destas médias a qual será apresentada a seguir.

#### 3.3.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A análise de variância entre as médias dos tratamentos foi conduzida sobre os dados referentes a simulação das bandas TM individualmente (por banda).

No tratamento "8" os arquivos pertinentes as repetições 3 e 7 foram perdidos no processo de transferência destes da fita magnética para o disco flexível. Desta forma a análise de variância foi conduzida considerando o caso de duas parcelas perdidas em um experimento inteiramente casualizado, conforme procedimento apresentado por Gomes (1963).

A Tabela 1 mostra o quadro da análise de variância para a banda TM1.

A significância de F a 5% de probabilidade de indicou a existência de diferença entre pelo menos duas médias, justificando-se portanto a aplicação do teste de Tukey, o qual foi também aplicado ao mesmo nível de significância (5%). O valor considerado para a comparação entre as médias foi  $\Delta = 1,51$ , contudo a média do tratamento "8" foi comparada com  $\Delta = 1,6$ , conforme procedimento apresentado por Gomes (1963). A comparação final entre as médias para a banda TM1 ficou então:

Tratamento	Médias
127 -----	6,9929*
32 -----	6,2705**
24 -----	6,1257**
8 -----	5,7749***
5 -----	4,9632 **
0 -----	4,2386 *

Nota-se portanto que para a banda TM houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos "5" e "127", "0" e "24". "0" e "32" e finalmente "0" e "127". Através desse resultado pode-se concluir que alterações significativas

tivas na reflectância das folhas de Eucalipto correspondente a essa banda espectral só foram detectadas 24 horas após sua coleta.

A Tabela 2 mostra o quadro da análise de variância para as médias dos tratamentos considerando a banda TM2.

Seguiu-se a aplicação do teste de Tukey, tendo sido considerados os valores  $\Delta = 1,88$  para a comparação da média do tratamento "8" e  $\Delta = 1,77$  para a comparação das demais. Como resultado obteve-se:

Tratamento	Médias
127 -----	8,7666*
32 -----	7,8178**
24 -----	7,5802**
8 -----	7,2029**
5 -----	6,1778 **
0 -----	5,1730 *

Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos "5" e "127", "0" e "24", "0" e "32" e finalmente "0" e "127". Pode-se concluir portanto que alterações significativas na reflectância das folhas de Eucalipto correspondente a essa banda espectral só foram detectadas 8 horas após a sua coleta.

Finalmente a Tabela 3 mostra o quadro da análise de variância para as médias dos tratamentos considerando a banda TM3.

Seguindo-se a aplicação do teste de Tukey, considerando  $\Delta = 1,68$  para a comparação da média do tratamento "8" e  $\Delta = 1,57$  para a comparação das demais médias. O resultado ficou portanto:

Tratamento	Médias
127 -----	7,8247*
32 -----	6,8877**
24 -----	6,7994**
8 -----	6,3720**
5 -----	5,6337 **
0 -----	4,4683 *

Este resultado encontrado foi exatamente igual ao alcançado na comparação entre as médias realizadas para a banda TM2, existindo portanto diferenças significativas entre os mesmos tratamentos.

### 3.4 - PINHEIRO: RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os dados gravados em fita magnética foram processados da mesma forma como foram aqueles gerados nos experimentos envolvendo as folhas de Eucalipto. A Figura 3 ilustra os gráficos de repetições específicas de cada um dos níveis de danos ("tratamentos") considerados.

Aqui também pode-se verificar a degradação das curvas após 0,77 $\mu$ m. Com exceção do gráfico referente ao nível de dano "4", cuja curva é significativamente diferente das demais, todos os demais gráficos apresentaram-se seme-

lhantes entre si, com valores maiores no fator de reflectância nas regiões do verde (0,56 $\mu$ m) e vermelho (de 0,7 $\mu$ m a 0,77 $\mu$ m), quando comparado com os resultados alcançados no experimento anterior.

A Figura 4 mostra o gráfico contendo os valores dos fatores de reflectância versus as bandas TM.

A análise deste gráfico permite observar que há uma tendência de ocorrerem maiores valores dos fatores de reflectância com o aumento do nível de dano para as bandas consideradas. Ainda pode-se verificar a forma bastante distinta das demais curvas apresentada pela curva de reflectância do nível de dano "4". Vale a pena salientar que as acículas da árvore correspondente a este nível de dano apresentavam-se com uma coloração marrom (acículas secas). A diferença entre as médias foi estudada através da análise de variância a qual será apresentada a seguir.

#### 3.4.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

No processamento dos dados não houve perda de arquivos a análise de variância foi conduzida considerando um experimento inteiramente casualizado. A Tabela 4 mostra o quadro da análise de variância para as médias dos tratamentos para a banda TM1.

Para a comparação entre médias foi considerado  $\Delta = 1,95$  resultando em:

Tratamento	Médias
3 -----	6,8952*
2 -----	6,8367*
1 -----	6,1960**
0 -----	5,5931**
AFR -----	5,4939**
4 -----	4,8212 *

Tem-se portanto que houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos "4" e "2" e finalmente "4" e "3". Para essa banda TM1 a reflectância foi significativamente menor nas amostras do nível de dano "4", comparado com a reflectância das amostras provenientes dos níveis "3" e "2".

A Tabela 5 mostra o quadro da análise de variância para as médias dos tratamentos, considerando agora a banda TM2.

Para comparação entre médias foi considerado o  $\Delta = 2,53$  resultando em:

Tratamento	Médias
3 -----	9,6679*
2 -----	8,5934**
1 -----	8,0687**
4 -----	7,7293**
AFR -----	6,9945 *
0 -----	6,6683 *

Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos AFR e "3" e finalmente "0" e "3".

A Tabela 6 mostra o quadro da análise de variância para as médias dos tratamentos considerando a banda TM3.

Para comparação entre médias foi considerado  $\Delta = 2,26$  resultando em:

Tratamento	Médias
4 -----	11,4940
3 -----	7,4386*
2 -----	7,1899*
1 -----	5,9299*
AFR -----	5,4729*
0 -----	5,3683*

Houve portanto diferença significativa entre a média do tratamento "4" e todas as demais que não diferiram entre si.

Analisando os resultados obtidos nas três bandas TM consideradas pode-se verificar aspectos importantes. Primeiramente nota-se que para a banda TM1 a média do tratamento "4" foi significativamente diferente das médias dos tratamentos "3" e "2", tendo um valor inferior, ou seja, as amostras provenientes do nível de dano "4" refletiram menos energia na região do azul (0,44nm a 0,5nm) em relação às amostras provenientes dos níveis "2" e "3". Na região do verde (banda TM2) do tratamento "0" (planta sadia) tornou-se diferente da média do tratamento "3", indicando que nesta faixa espectral (banda TM2) as plantas saudias refletem menos energia quando comparadas com aquelas que apresentam o nível de dano "3". Em termos práticos, as plantas saudias apresentam acículas com uma coloração verde de tonalidade mais escura que as acículas de plantas que apresentam o nível de dano "3". Na região do vermelho (0,63nm a 0,69nm - banda TM3) somente a média do tratamento "4" diferiu das demais, o que podia ser esperado uma vez que as acículas dos indivíduos analisadas apresentavam uma coloração marrom avermelhado (acículas completamente secas). Importante salientar que em nenhuma das bandas TM houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos "1", "2" e "3", indicando que estas bandas não são as mais propícias para diferenciá-los entre si. Ainda com o aumento do comprimento de onda (TM1+TM2+TM3), as médias do tratamento "4" mostraram uma igual tendência de aumento; isso pode ser verificado no gráfico da Figura 4.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na condução de experimentos futuros para a determinação da reflectância de folhas "ex situ" alguns cuidados devem ser tomados em relação as fases de escolha de indivíduos dos quais se fará a extração do material a ser espectralmente medido, coleta e armazenamento deste material, simulação das condições ambientais ótimas (laboratório) para as medições, arranjo adequado do material sob o equipamento, que por sua vez deverá ser o mais adequado a natureza e objetivos do experimento, gravação e processamento dos dados gerados,

bem como sua visualização e finalmente o delineamento estatístico a ser adotado. Cada experimento em particular deverá ter uma prévia definição destes aspectos, com particulares critérios e procedimentos.

Em ambos os experimentos conduzidos foram adotados exatamente os mesmos procedimentos em todas as suas fases. Dadas as diferenças morfológicas, estruturais e arquitetônicas de ambos os gêneros considerados (Eucalipto e Pinheiro) foi constatada a necessidade de adaptações destes procedimentos de forma particularizada. Esta necessidade foi principalmente sentida na fase de arranjo do material a ser medido sob a unidade de coleta do espectrorradiômetro. As acículas de Pinheiro são de difícil manuseio e apresentam, mesmo para um único indivíduo, grandes variações em seus ângulos de inserção nos ramos. Para eliminar este problema, as acículas poderiam ser retiradas dos ramos e seguir-se-ia um procedimento semelhante ao adotado no arranjo das folhas de Eucalipto as quais foram dispostas lado a lado numa única camada, voltadas todas com a mesma face em direção a unidade de coleta do instrumento. Contudo há de se considerar que esta operação demanda mais tempo o que poderia comprometer a estabilidade do estado fisiológico destas acículas, acarretando em influências indesejáveis sobre o resultado das medições.

O critério estabelecido no armazenamento das folhas de Eucalipto foi arbitrário e portanto passível de maiores e completas investigações. Temperatura, luminosidade e umidade são parâmetros que poderiam ser explorados em experimentos futuros, incluindo uma discussão mais aprofundada dos aspectos fisiológicos envolvidos no processo, a luz do comportamento espectral do material analisado. O termo comportamento espectral inclui a determinação da transmitância e absorvância espectrais, além da reflectância espectral aqui considerada. Para tanto o equipamento utilizado deve ser previamente selecionado, conhecendo-se com exatidão os objetivos a serem alcançados e as disponibilidades de equipamento. Assim como já foi mencionado anteriormente, a quase totalidade dos trabalhos envolvendo a determinação do comportamento espectral de folhas "ex situ" valerão-se de espectrofotômetros por permitirem a determinação da reflectância e transmitância espectrais. O espectrorradiômetro aqui utilizado em sua configuração básica foi eficiente e de fácil manuseio, contudo as medições só puderam ser realizadas sobre grupos de folhas com a consequente inclusão de sombras e descontinuidade da camada de folhas e acículas que por certo interferiram nas medições. Quando o interesse é o estudo do comportamento espectral de folhas isoladas o espectrofotômetro parece ser o equipamento mais adequado, quando comparado com o espectro radiômetro.

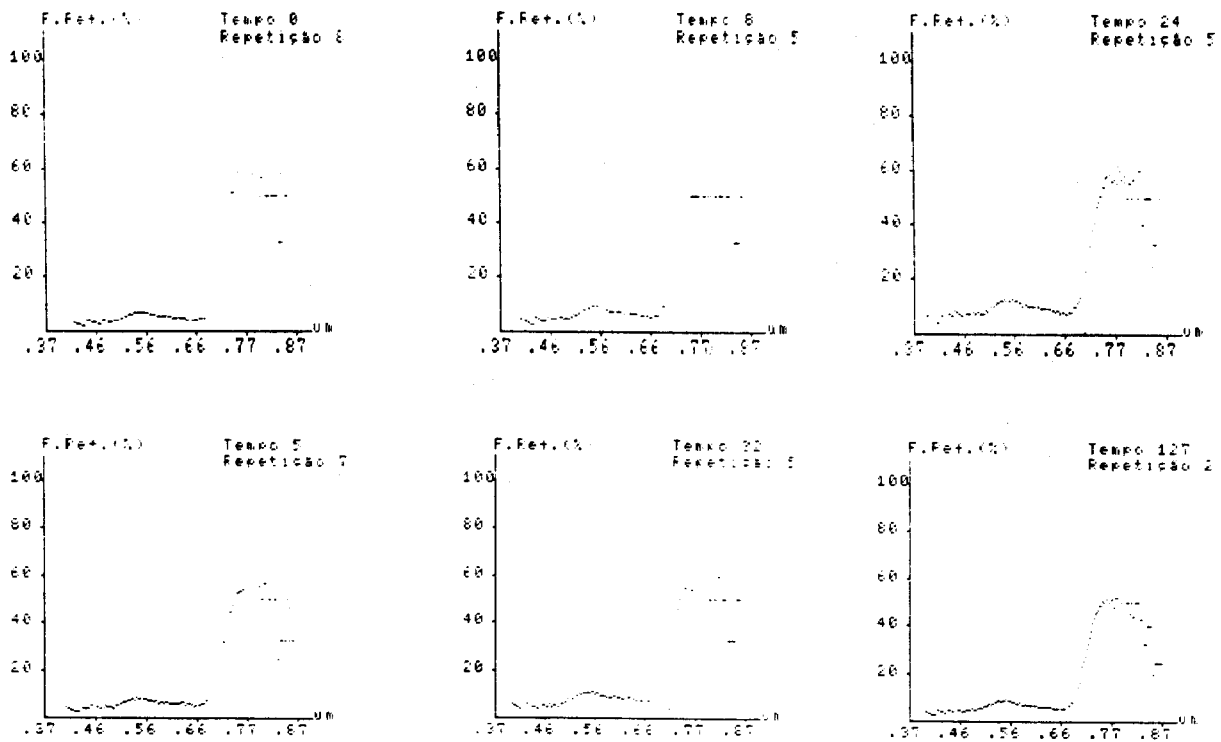


Fig. 1 - Reflectância espectral de folhas de Eucalipto submetidas a períodos de armazenamento.

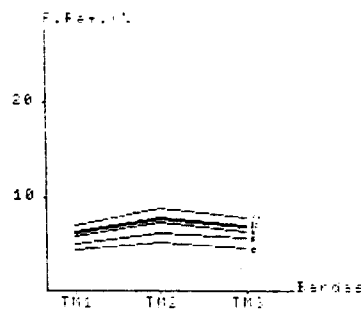


Fig. 2 - Reflectância espectral das folhas de Eucalipto x bandas TM por tempo de armazenamento.

TABELA 1  
ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS MÉDIAS DOS  
TRATAMENTOS BANDA TM1

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	48,57	9,71	3,12	7,49*
Resíduo	52	67,41	1,30	1,14	
Total	57	115,98			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 2  
ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS MÉDIAS DOS  
TRATAMENTOS BANDA TM2

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	80,94	16,19	4,02	9,01*
Resíduo	52	93,38	1,80	1,34	
Total	57	174,32			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

**TABELA 3**  
**ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS MÉDIAS DOS TRATAMENTOS BANDA TM2**

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	80,94	16,19	4,02	9,01*
Resíduo	52	93,38	1,80	1,34	
Total	57	174,32			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

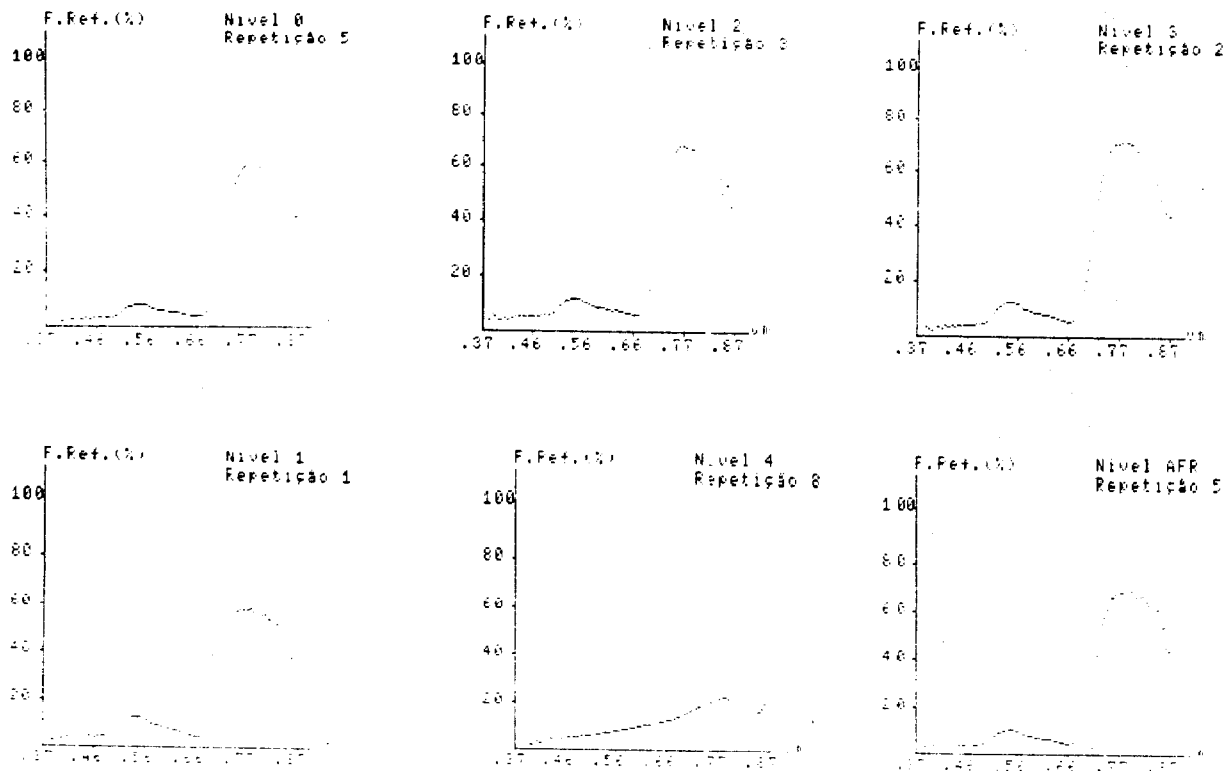


Fig. 3 - Reflectância das acículas de Pinheiro provenientes de indivíduos que apresentavam diferentes níveis de danos.

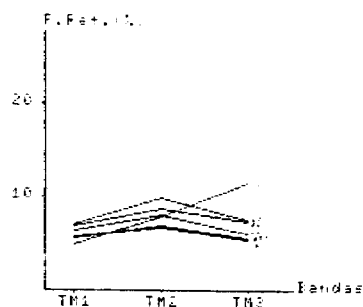


Fig. 4 - Reflectância das acículas de Pinheiro x bandas TM, por tratamento (nível de dano).



TABELA 4  
ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA AS MÉDIAS DOS  
TRATAMENTOS BANDA TM1

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	33,47	6,69	2,59	3,02*
Resíduo	54	119,70	2,22	1,49	
Total	59	153,16			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 5  
ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA AS MÉDIAS DOS  
TRATAMENTOS BANDA TM2

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	59,84	11,97	3,46	3,10*
Resíduo	54	208,43	3,86	1,96	
Total	59	268,27			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 6  
ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA AS MÉDIAS DOS  
TRATAMENTOS BANDA TM3

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	DESVIO	F
Tratamento	5	264,31	52,86	7,27	16,99*
Resíduo	54	168,04	3,11	1,76	
Total	59	432,35			

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

O sistema de gravação de dados apresentou duas limitações principais, sendo uma referente a necessidade de um grande número de fitas magnéticas (cada fita permitiu o registro de 80 arquivos-espectro) e estas fitas não constituem um meio seguro de armazenamento de dados sendo passíveis de danos mecânicos e/ou eletrônicos. A minimização destes problemas pode ser atingida pela utilização de um microcomputador acoplado diretamente ao espectrorradiômetro durante as medições permitindo o registro dos dados em disco flexível ou rígido e a visualização direta dos dados imediatamente após as medições, eliminando inclusive a necessidade do os

ciloscópio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOMES, P. Estatística experimental. Universidade Estadual de São Paulo-USP. Piracicaba, 1983.
- GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance of near-infrared. *Photogrammetric Engineering*. 183-191 p., 1974.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, U.R. Spectral properties of plants. *Appl. Opt.*, 4:11-20, 1965.
- GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews*. Harward Acad. Publishers. Great Britain. Vol. 4, pp. 1-212, 1988.
- KUMAR, R. Radiation from plants-reflection and emission: a review. *Purdue Research Foundation*. RP. 5543, 88 p., 1972.
- NORMAN, J.M.; WELLES, J.M.; WALTER, E.A. Contrasts-among bidirectional reflectance of leaves, canopies and soils. *IEEE Trans. Geosci. Remote sens.*, GE-23,659-668, 1985.
- TUCKER, C.J.; GARRATT, M.W. Leaf optical system modeled as a stochastic process. *Appl. Opt.*, 16:635-642, 1977.