



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5610-PRP/186

**CORRELAÇÃO DE FITOMASSA DE CERRADO COM ÍNDICES VEGETATIVOS
CALCULADOS COM DADOS OBTIDOS PELOS SISTEMAS MSS-TM/LANDSAT
(PROJETO EMBRAPA Nº 026-85-003/2)**

Dalton de Morisson Valeriano

Marisa Dantas B. Pereira*

*Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia da USP

INPE
São José dos Campos
1988

Publicado por:

**Coordenação de Ensino, Documentação e
Programas Especiais - CEP**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515

12201-970 - São José dos Campos - SP - Brasil

Fone: (012) 345.6911

Fax: (012) 345.6919

E-Mail: marciana@sid.inpe.br

- Solicita-se intercâmbio
- Exchange welcome
- Si sollecita intercambio
- Echange souhaité
- Mann bittet un Austausch
- Solicitamos intercambio
- Просим обмена
- 歡迎者作交換
- 出版商交還の品類

Publicação Externa - É permitida sua reprodução para interessados.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5610-PRP/186

CORRELAÇÃO DE FITOMASSA DE CERRADO COM ÍNDICES VEGETATIVOS
CALCULADOS COM DADOS OBTIDOS PELOS SISTEMAS MSS-TM/LANDSAT
(PROJETO EMBRAPA Nº 026-85-003/2)

Dalton de Morisson Valeriano
Marisa Dantas B. Pereira*

*Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia da USP

INPE
São José dos Campos
1988

CORRELAÇÃO DE FITOMASSA DE CERRADO COM ÍNDICES VEGETATIVOS CALCULADOS
COM DADOS OBTIDOS PELOS SISTEMAS MSS-TM/LANDSAT
(PROJETO EMBRAPA Nº 026-85-003/2)

RELATÓRIO FINAL

Dalton de Morisson Valeriano
Departamento de Pesquisas e Aplicações em Sensoriamento Remoto
Instituto de Pesquisas Espaciais-MCT/INPE

Marisa Dantas B. Pereira
Departamento de Ecologia
Instituto de Biociências
Universidade de São Paulo-USP

ABSTRACT

Spectral reflectance measurements of 47 1m² plots of the ground layer of the Savanna of Central Brazil were obtained using a Kimoto PM-12A hand-held radiometer at 13 visible bands and at 4 near-infrared bands. The aboveground phytomass of each plot was clipped, weighted, oven dried and weighted again. An amount of the fresh phytomass (5-15%) was separated from each sample in order to estimate the proportion of the photosynthetically active phytomass. The correlation and regression relationships between the reflectance and phytomass data were examined. The results are: a) fresh and dry total phytomass showed negative correlations for all spectral bands, with highest r^2 at $\lambda = 575$ nm; b) fresh and dry green phytomass presented negative correlations for all visible bands and positive for near infrared bands; c) fresh phytomass (both total and green) shows higher r^2 than dry phytomass; d) the water contents of the total and of the green phytomass present negative correlations with the spectral reflectance in the blue-green spectrum and positive correlations in the near-infrared; d) the bands that present the best positive and negative correlations were combined to generate vegetation indices for the estimation of the green phytomass and the water content. The transformed normalized difference developed for the estimation of the total water content was the index which presented the best correlation ($r = 0,64$).

ÍNDICE GERAL

	<u>Pág.</u>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>MATERIAIS</u>	7
3 - <u>METODOLOGIA</u>	8
3.1 - Aquisição dos dados	8
3.1.1 - Seleção de amostras	8
3.1.2 - Coleta dos dados em campo	10
3.1.2.1 - Posicionamento das amostras	10
3.1.2.2 - Aquisição dos dados radiométricos	11
3.1.2.3 - Aquisição dos dados de fitomassa	13
3.2 - Análise dos dados	14
3.2.1 - Avaliação dos dados LANDSAT	14
3.2.2 - Cálculo da reflectância, fitomassa e teor de água	18
3.2.3 - Análise estatística dos dados	21
3.2.3.1 - Correlação entre reflectância espectral e parâmetros da cobertura vegetal.....	21
3.2.3.2 - Geração de índices de vegetação e correlação com fito massa e teor de água	22
3.2.3.3 - Análise dos dados agrupados	23
4 - <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	24
4.1 - Reflectância espectral	24
4.2 - Fitomassa e teor de água	27
4.3 - Correlação entre reflectância espectral e parâmetros da ve getação	36
4.4 - Correlação entre Índices de vegetação e parâmetros da cober tura vegetal	46
4.5 - Análise dos dados agrupados	56
4.5.1 - Reflectância espectral	56
4.5.2 - Fitomassa	59
4.5.3 - Índices de vegetação	60
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	64
6 - <u>AGRADECIMENTOS</u>	67
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	68

APÊNDICE A - FICHA DE CAMPO PARA REGISTRO DE MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

APÊNDICE B - FICHA DE LABORATÓRIO PARA REGISTRO DOS DADOS DE ENTRADA DE MATERIAL NA ESTUFA

APÊNDICE C - FICHA DE LABORATÓRIO PARA REGISTRO DOS DADOS DE SAÍDA DE MATERIAL DA ESTUFA

APÊNDICE D - ARQUIVO BIOMAS

APÊNDICE E - PROGRAM PRDATA

APÊNDICE F - PROGRAM GERIND

TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Cobertura de nuvem da cena 221/71	15
2 - Sinopse do trabalho executado em campo	18
3 - Reflectância espectral das amostras	25
4 - Parâmetros da vegetação: fitomassa e teor de água	29
5 - Matriz de correlação entre os parâmetros da vegetação	32
6 - Coeficiente de correlação entre reflectância espectral e parâmetros da vegetação	37
7 - Índices de vegetação para fitomassa verde	47
8 - Índices de vegetação para teor de água	48
9 - Coeficientes de correlação entre índices de vegetação e parâmetros da cobertura vegetal	49
10- Médias e coeficientes de variação da reflectância espectral dos pontos amostrais	57
11- Médias e coeficientes de variação da fitomassa dos pontos amostrais	60
12- Valores de reflectância, índices de vegetação, teor de água e melhores resultados da análise regressiva	61

FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Reflectância espectral de uma folha	2
2 - Variação da FRB com o ângulo de elevação solar	4
3 - Disposição das parcelas no ponto amostral	10
4 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo UnB	16
5 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo IBGE	16
6 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo CPAC	17
7 - Reflectância espectral média	24
8 - Reflectância espectral de latossolo	27
9 - Histogramas dos parâmetros de fitomassa	30
10- Histogramas dos parâmetros de teor de água	31
11- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BTF	34
12- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BTS	34
13- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BVF	34
14- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BVS	35
15- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - TAT	35
16- Reflectância espectral de parcelas selecionadas - TAV	35
17- Correlograma da reflectância espectral e BTF	38
18- Correlograma da reflectância espectral e BTS	38
19- Correlograma da reflectância espectral e BVF	40
20- Correlograma da reflectância espectral e BVS	41
21- Correlograma da reflectância espectral e TAT	43
22- Correlograma da reflectância espectral e TAV	43
23- Correlações entre índices de vegetação e fitomassa verde	50
24- Retas de regressão entre índices de vegetação e fitomassa verde	51
25- Correlações entre índices de vegetação e teor de água	52
26- Retas de regressão entre índices de vegetação e teor de água	53
27- Reta de regressão entre PFV e TAT	55
28- Curvas de reflectância espectrais dos pontos amostrais	58
29- Gráfico de dispersão de TAT x PFV	62

APRESENTAÇÃO

Medidas de reflectância espectral ($\rho\lambda$) de 47 amostras de $1m^2$ de estrato rasteiro de cerrado de 9 localidades próximas a Brasília foram obtidas com uso de um radiômetro portátil Kimoto PM-12A em 13 bandas no espectro visível (VIS) e 4 no infravermelho próximo (IVP). A fitomassa aérea de cada amostra foi coletada, pesada, secada em estufa e pesada novamente. Uma alíquota (5-15%) da fitomassa fresca foi separada de cada amostra para a estimativa da proporção de fitomassa verde. Obteve-se os seguintes parâmetros da vegetação: Fitomassa Total Fresca e Seca (BTF e BTS), Fitomassa Verde Fresca e Seca (BVF e BVS) e Teores de Água da Fitomassa Total e Verde (TAT e TAV). Foram investigadas as correlações entre as medidas de $\rho\lambda$ e os parâmetros da vegetação. Para aqueles parâmetros que apresentam faixas espectrais com correlações positivas e faixas com correlações negativas foram calculados Índices de vegetação (IV) com as $\rho\lambda$ das bandas com melhores correlações. Foram obtidos IVs para BVF, BVS, TAT e TAV a partir das seguintes combinações: Razão (R), Diferença (D), Diferença Normalizada (DN) e Diferença Normalizada Transformada (DNT). Os dados referentes a cada localidade foram agrupados. Os comportamentos de suas reflectâncias espectrais foram investigados bem como as relações entre a R e a DNT obtida a partir das $\rho\lambda$ das bandas de 700nm e 850nm e os parâmetros TAT e TAV. Obteve-se os seguintes resultados: a) BTF e BVF apresentam correlações negativas com a $\rho\lambda$ em praticamente todo espectro analisado com máximo r em 650nm para BTF ($r = 0,59$) e em 1050nm para BTS ($r = 0,58$); b) BVF e BVS apresentam correlações negativas com a $\rho\lambda$ nas faixas VIS com máximo em 475nm ($r = 0,48$ para BVF e $r = 0,43$ para BVS) e correlações positivas com a $\rho\lambda$ no IVP com máximo em 850nm ($r = 0,24$ para BVF e $r = 0,18$ para BVS); c) TAT e TAV apresentam correlações negativas com a $\rho\lambda$ nas faixas de 400nm a 500nm, ausência de correlação no restante do espectro VIS e correlação positiva no IVP, sendo que a maior correlação negativa ocorre em 400nm ($r = 0,46$ para TAT e $r = 0,41$ para TAV) e a maior correlação positiva ocorre em 1050nm ($r = 0,51$ para TAT e $r = 0,34$ para TAV); d) As correlações obtidas com os IVs R, DN e DNT são superiores às obtidas com as $\rho\lambda$ individuais, sendo que DN é a combinação com melhor desempenho geral ($r = 0,56$ para BVF; $r = 0,48$ para BVS; $r = 0,61$ para TAT e

e $r = 0,48$ para TAV); e) Exceto para TAT as correlações encontradas com R são próximas às obtidas com DN e DNT; f) Os coeficientes de Variação (CV) da $\rho\lambda$ dos pontos de uma dada localidade são geralmente maiores que os CVs das $\rho\lambda$ de todas as localidades, indicando que a variabilidade da $\rho\lambda$ do estrato rasteiro de Cerrado deve aumentar com o aumento do poder de resolução do sistema sensor; g) As correlações obtidas com os dados agrupados por localidade são superiores às obtidas com as amostras individualizadas, indicando que menor resolução espacial pode levar à maior detectabilidade de características estruturais e condições da cobertura vegetal em estudo, e h) Encontrou-se forte correlação entre TAT e proporção de fitomassa verde que, por este motivo, deve ser o principal aspecto da cobertura responsável pela detecção de TAT.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização, a quantificação e o monitoramento da cobertura vegetal são informações de grande aplicabilidade no estudo das estruturas dos ecossistemas terrestres e de seus processos. Tais estudos fornecem bases para que se maneje adequadamente o ecossistema, orientando o planejamento de sua exploração, acompanhando as suas mudanças e sugerindo medidas para direcionar esta dinâmica no sentido de tornar o ecossistema mais produtivo ou estável.

Um dos objetivos dos programas de observação da Terra através de satélites de sensoriamento remoto é fornecer aquelas informações a respeito da cobertura vegetal. A radiação solar ao ser refletida pela superfície da Terra tem o seu espectro modificado em função das características óticas dos materiais que compõem uma cena desta superfície (e.g. folhas, solo, rochas, galhos), sendo que, frequentemente, a cobertura vegetal é o componente dominante.

Por serem órgãos próprios para a captação da radiação solar, as folhas são as principais responsáveis pelas interações que ocorrem numa cena com vegetação. Os mecanismos pelos quais a radiação eletromagnética (REM) é espalhada e absorvida por uma folha foram compreensivamente sugeridos por Knipling (1970) e envolvem o espalhamento múltiplo da REM no interior da folha, predominantemente nas interfaces entre as paredes celulares das células do mesófilo e as cavidades aéreas. Com isto a trajetória da REM dentro da folha aumenta, melhorando a eficiência da absorção da radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Pelo mesmo processo há forte atenuação da REM nas bandas de absorção da molécula de água.

A retenção da RFA é feita principalmente nos cloroplastos e, em plantas verdes, a clorofila tem o papel preponderante, imprimindo a reflectância espectral das folhas no espectro visível (REM com comprimento de onda (λ) de 400 nm a 700 nm) dois valores mínimos correspondentes às suas bandas de absorção no azul ($\lambda = 400 \text{ nm} - 500 \text{ nm}$) e no vermelho ($\lambda = 600 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$) conforme exposto na Figura 1.

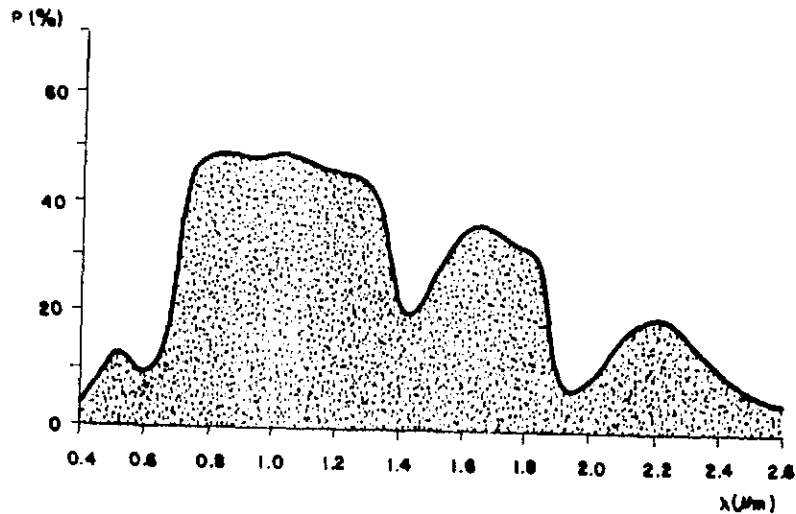


Fig. 1 - Reflectância espectral de uma folha.

No intervalo de 700 nm a 1.300 nm, denominado de infravermelho próximo (IVP) a reflectância da folha é alta devido à ausência de materiais capazes de absorção (Figura 1). Apenas cerca de 10% da radiação incidente é absorvida pela água nesta faixa do espectro. O restante é retornado ou transmitido através da folha em proporções aproximadamente iguais, evidenciando os mecanismos de espalhamentos múltiplos comentados anteriormente.

Nos IVP as diferenças anatômicas entre as espécies vegetais alteram as proporções entre as radiações refletidas e transmitidas (GAUSMAN et al., 1975). Estados ontológicos e fisiológicos, principalmente os relacionados com o estado hídrico, também influenciam a reflectância das folhas no IVP através de modificações na sua estrutura interna (Gates, 1970). Tem-se portanto fundamentos para se extrair da radiação refletida pela vegetação informações sobre a sua composição e estado ecofisiológico.

O intervalo de 1.300 nm a 2.700 nm denominado infravermelho médio (IVM) é caracterizado por duas bandas de absorção da água (\sim 1.400 nm e 1.900 nm). A reflectância espectral de uma folha neste intervalo pode fornecer portanto informações sobre aspectos relacionados com a disponibilidade de água, ainda que aspectos estruturais da folha podem ser também derivados.

Uma revisão atual dos estudos sobre as interações entre radiação eletromagnética e folhas está apresentada em Grant (1987), que amplia a gama de mecanismos, abrangendo, além dos mencionados, reflexão especular na superfície da folha, efeito de pubescência e perturbações fisiológicas causadas por salinidade, nutrição e poluição atmosférica.

Estas são as peculiaridades das interações da REM com folhas. Sua compreensão é fundamental para melhor explorar as informações contidas na reflectância espectral de uma cobertura vegetal mas não são os únicos mecanismos envolvidos. Aspectos angulares, sombras e reflectância do solo também participam da reflectância de uma vegetação (Colwell, 1974-a).

Um dos principais aspectos que deve ser levado em conta ao se considerar a reflectância de uma cena com cobertura vegetal é que ela é dependente dos ângulos de iluminação e de observação. Geralmente ela apresenta um máximo de reflectância na direção do iluminante ou próxima, acompanhada de outro máximo geralmente menor, também no plano de iluminação, perpendicular à direção de iluminação. Quanto maior o ângulo zenital de iluminação mais acentuado este comportamento, enquanto que o inverso faz com que a reflectância hemisférica se aproxime do modelo lambertiano. A função que descreve esta reflectância hemisférica é denominada de função de reflectância bidirecional (FRB) que pode ser calculada empiricamente (Kleman, 1987) ou através de modelos numéricos (Suits, 1972; Kimes & Kirchner, 1982).

O comportamento da FRB em função da elevação solar es
tã ilustrado na Figura 2, numa representação polar descrevendo 180° da
variação azimutal no ângulo de observação enquanto que a sua variação
zenital está representada pelos círculos concêntricos. O Sol se desloca
na metade inferior da linha vertical.

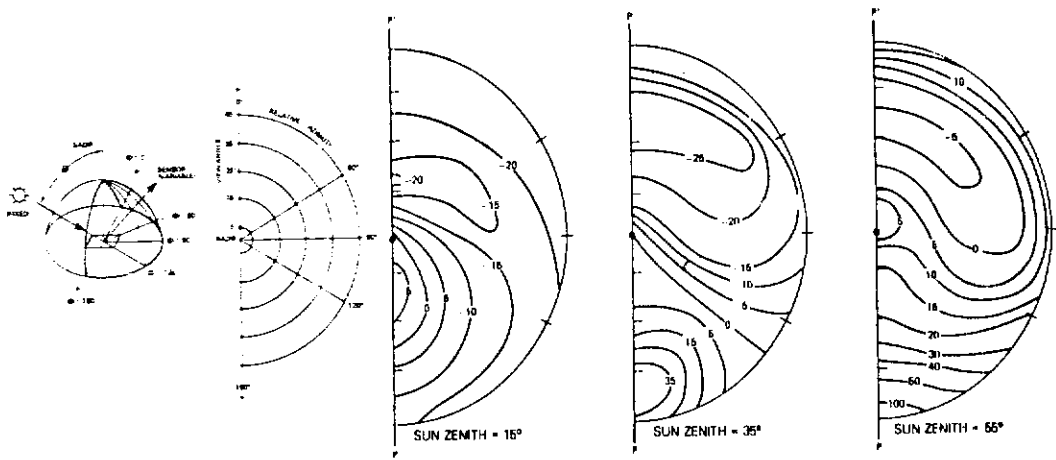


Fig. 2 - Variação da FRB com o ângulo de elevação solar.
FONTE: Schnetzler (1981).

Observa-se na Figura 2 que a FRB apresenta uma baixa va
riação em função do ângulo zenital de iluminação no plano perpendicular
ao plano de iluminação, enquanto que neste se encontra as maiores varia
ções. Medidas oblíquas da FRB devem levar em conta esta peculiaridade.

O efeito da reflectância do solo é variável em função
do índice de cobertura da vegetação e de suas próprias características
ópticas (Colwell, 1974-b). Solos claros realçam o efeito da cobertura ve
getal em reflectância da cena em relação a solos escuros (Heilman &
Boyd, 1986).

Um dos principais efeitos do incremento do Índice de cobertura de uma vegetação é a redução na reflectância da cena no visível, especialmente no azul e no vermelho, acompanhada do aumento da reflectância no infravermelho próximo. Mecanismos de interação REM x folha promovem este comportamento.

Pearson & Miller (1972) após uma investigação das relações entre a reflectância espectral de uma Pradaria Baixa e a sua fitomassa aérea sugerem a combinação das reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho em quociente de modo a explorar as suas características de alta correlação positiva e negativa, respectivamente, com a fitomassa verde. As correlações obtidas entre este parâmetro biofísico da vegetação foi bastante melhorada com o uso da razão entre as duas medidas de reflectância.

Logo a utilização da razão IVP/Vermelho foi investigada em dados do MSS-LANDSAT para o monitoramento das condições da cobertura vegetal por Rouse et al. (1973). Neste trabalho também foi proposto a utilização da diferença normalizada entre as duas medidas espectrais, denominado de Índice de Vegetação e de uma transformação deste através da extração de sua raiz quadrada adicionada de 0,5. A diferença normalizada reduz os efeitos de variação de local, enquanto que a sua raiz reduz a sua variância quando esta acompanha a média.

A sensibilidade destes índices à fitomassa verde é válida dentro de um determinado intervalo de variação do Índice de área foliar (IAF) da cobertura vegetal (Tucker, 1977). Isto porque em baixos valores de IAF o solo domina a reflectância da cena e em valores superiores a 8 a reflectância espectral de ser sensível a variações no IAF uma vez que as folhas dos estratos inferiores da cobertura vegetal têm modesta contribuição na reflectância da cena.

Outras variáveis biofísicas de coberturas vegetais herbáceas podem ser estimadas indiretamente através dos referidos índices como por exemplo o teor de água na cobertura vegetal (Tucker, 1979). A atividade fotossintética da cobertura vegetal pode ser estimada através destas combinações de medidas de reflectância, uma vez que estas estão relacionadas com a quantidade de material fotossinteticamente ativo na vegetação (Sellers, 1985).

Esta possibilidade tem sido explorada no sentido de monitorar a dinâmica da cobertura vegetal através de satélites meteorológicos como o AVHRR-NOAA (Tucker & Sellers, 1986; Townshend et al. 1987).

No Brasil, um estudo pioneiro investigou as relações entre fitomassa total e teor de água do estrato rasteiro do Cerrado e medidas radiométricas feitas em campo e dados do MSS-LANDSAT (Pereira, 1986). Encontrou-se baixas correlações entre a fitomassa e os dados radiométricos. Porém, são encorajadoras as relações obtidas entre diferenças normalizadas transformadas e teores de água da vegetação.

Este trabalho se propõe a continuar e ampliar os esforços realizados em Pereira (1986) no sentido de:

- Investigar através de medidas de campo as relações entre a reflectância espectral do estrato rasteiro do Cerrado e parâmetros de fitomassa total, fitomassa verde, teor de água total, teor de água da fitomassa verde.
- Desenvolver índices de vegetação apropriados para cada um destes parâmetros e avaliar seus desempenhos como estimadores.
- Adaptar estes índices a dados do TM e MSS-LANDSAT e verificar suas relações com os parâmetros biofísicos medidos em campo.

Além destes objetivos específicos, este trabalho pretende subsidiar o conhecimento sobre as características óticas da cobertura vegetal do Cerrado e suas relações com sua estrutura e condições ecofisiológicas. O domínio destas relações poderá levar ao desenvolvimento de sistemas de monitoramento destes parâmetros vegetacionais com base em sistemas sensores orbitais.

A dinâmica da ocupação do Cerrado, suas queimadas cíclicas e correspondente impacto sobre o ciclo do Carbono e o fato do Cerrado reagir prontamente a variações climáticas são propriedades e características desta vegetação que justificam o desenvolvimento de tais sistemas de monitoramento.

2. MATERIAIS

- Radiômetro Kimoto PM-12A
- CCT com dados TM-LANDSAT órbita/ponto/quadrante 221/71/X de 2-9-85.
- Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais. Image-100
- Balança de precisão Metler PL1200
- Estufas
- Tesourão de poda
- Estacas e barbante
- Sacos plásticos e de papel

3 - MÉTODOS

3.1 - AQUISIÇÃO DOS DADOS

3.1.1 - SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

Procurou-se realizar uma amostragem capaz de observar coberturas com valores de fitomassa o mais variado possível. Para isto recorreu-se a uma imagem TM-LANDSAT 221/71 de 02/09/85 que cobre parte da área do Distrito Federal.

Inicialmente selecionou-se áreas de Cerrado possíveis de serem estudadas, considerando estado de conservação, extensão, acessibilidade e possibilidade de ser permitida a realização da amostragem. As seguintes áreas foram escolhidas: Parque Nacional de Brasília (IBDF), Fazenda Água Branca (UnB), reserva do Roncador (IBGE) e área da EMBRAPA/CPAC reservada a experimentos, referida internamente no CPAC como "Chapadão".

Havia disponibilidade dos dados TM-3, TM-4 e TM-5 do quadrante LANDSAT acima referido, gravados em CCT. Estes dados foram analisados com o uso do Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais Image-100 (I-100).

As possíveis áreas de estudo foram localizadas e ampliadas à escala de 1:25.000 ou 1:50.000, dependendo do seu tamanho, na tela do monitor de TV do I-100. Os histogramas de distribuição de níveis de cinza dos referidos canais TM-LANDSAT foram analisados, e o que apresenta maior variância é o canal TM-5.

Considerando que a variância dos níveis de cinza de uma imagem está relacionada com sua entropia e, conseqüentemente com seu conteúdo de informação, selecionou-se o canal TM-5 para se realizar uma estratificação preliminar das áreas de estudo.

A reflectância de coberturas vegetais não florestais na faixa espectral observada pelo TM-5 é bastante influenciada pela fitomassa verde (Curran et al., 1987). Sugeriu-se então as premissas de que uma estratificação dos níveis de cinza desta banda geraria categorias ordenadas em função da fitomassa e de que esta ordenação de fitomassa ainda seria mantida após o período chuvoso. Com base nelas procedeu-se a estratificação dos níveis de cinza utilizando o algoritmo de fatiamento disponível no I-100 (Ribeiro et al. s.d.).

Com a opção "Manual", observou-se que os níveis de cinza das áreas de Cerrado de interesse Campo Limpo, Campo Sujo de Cerrado e Cerrado Ralo, conforme Ribeiro et al., (1983) se situam próximos da moda do histograma. Selecionou-se então a opção "Equidistribuição" para realizar o fatiamento orientado à discriminação dos níveis de cinza de maior frequência.

Este fatiamento foi utilizado para classificar as cenas que enquadram as áreas de estudo. Da tela de TV foram tiradas fotografias e campos homogeneamente classificadas nas categorias de interesse (as 4 ou 5 categorias intermediárias, dependendo da cena) foram nelas assinaladas. Estes campos foram transferidos para as cartas topográficas com o uso do restituidor aproximado Kartoflex.

Com este procedimento supõe-se ter selecionado áreas para amostragem com homogeneidade interna e representativas de vários níveis de quantidade de fitomassa.

Procurou-se contactar os órgãos responsáveis pelas áreas de estudos para obter permissão para a execução das amostragens nas áreas do CPAC, da UnB e do IBGE.

Nestas 3 áreas foram feitas observações da fitomassa em 16 locais (CPAC-9, UnB-4, IBGE-3) sendo que 10 foram acompanhadas de medidas radiométricas.

3.1.2 - COLETA DE DADOS EM CAMPO

3.1.2.1 - POSICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

Em cada local selecionado para coleta de dados de campo foi amostrado um ponto para ser correlacionado com os dados MSS e TM-LANDSAT. Em cada ponto amostral foi composto de 9 parcelas de 1m^2 cada, de modo a obter a informação na área mínima indicada para observar a fitomassa do estrato rasteiro de Cerrado (Meirelles, 1981, Batmanian, 1983).

Distribuiu-se estas 9 parcelas em 1 hectare de acordo com a disposição descrita na Figura 3.

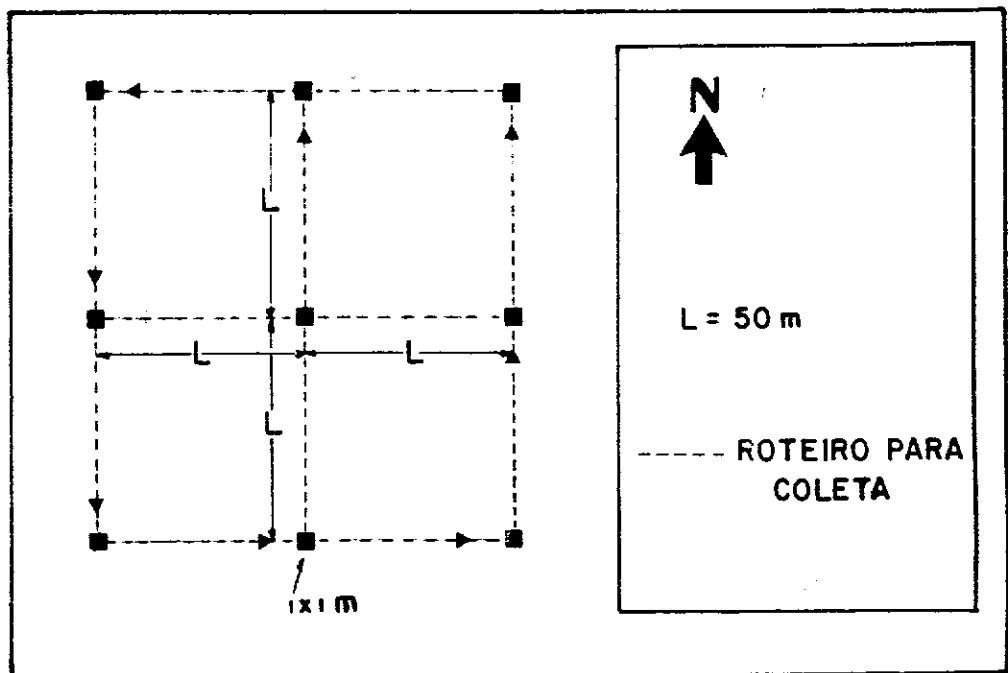


Fig. 3 - Disposição das parcelas no ponto amostral.

Com isto intencionou-se coletar dados em uma área compatível com a área coberta por 4×4 pixels ($120\text{m} \times 120\text{m}$) que seria a dimensão da amostra a ser extraída dos dados TM-LANDSAT. Esta dimensão foi considerada como ideal por ser pequena o bastante para permitir a observação de um grande número de amostras homogeneamente classificadas no procedimento anterior, e grande o bastante para evitar problemas de posicionamento.

Observa-se que, conforme consta nos resultados, poucos foram os pontos em que todas as 9 parcelas foram observadas. Nem sempre o tempo disponível para a coleta de dados foi o bastante para que se procedesse as 9 observações. Nuvens também prejudicaram as medidas radiométricas.

As coletas de dados foram feitas na parte da manhã durante o período de 27/5 a 23/6 de 1986. Os horários de início e término das medidas dependiam das facilidades logísticas fornecidas pelo CPAC (Viatura e auxiliares), variando, respectivamente em torno das 9:00hs e 12:00hs.

A parcela central do ponto amostral era localizada a partir das contas topográficas e posicionando com uso de bússola e trena. A partir deste posicionamento as demais parcelas eram localizadas e visitadas de acordo com o roteiro apresentado na Figura

O local exato de cada parcela foi determinado pelo lançamento a esmo de uma estaca, cuja ponta indicava o canto SW da parcela. Esta era abandonada e nova parcela escolhida se o local sorteado apresentasse termiteiro, grande formigueiro e árvore ou arbusto. A parcela era definida por 4 estacas ligadas por barbantes com 1m de extensão. As estacas eram fixadas no solo, mantendo os barbantes esticados a cerca de 30cm de altura, delimitando um quadrado de 1m de lado.

3.1.2.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS RADIOMÉTRICOS

As medidas radiométricas foram feitas com uso do radiômetro portátil Kimoto PM-12A. Sua configuração é de modo a apresentar a medida da radiância do alvo num mostrador projetado no sistema ótico que permite a observação da cena que está sendo medida. Sua operação não permite portanto a utilização de hastes para medidas verticais. Estas são possíveis com aparatos para elevar ambos o radiômetro e o operador como escadas e "cherry-pickers".

Considerando que o tempo disponível para realizar as coletas de dados era exíguo para atingir as 9 parcelas previstas e que algumas amostras eram relativamente distantes das estradas, optou-se pela aquisição das medidas em visada oblíqua, que independe de qualquer aparato de sustentação e, por isso, é mais rápida de se executar.

Procurou-se observar a parcela a um ângulo de visada de 45° mantendo uma distância entre a parcela e o observador equivalente à sua altura. Com a opção de campo de visada de 10° , a área efetivamente observada em cada medida era de aproximadamente $0,25 \text{ m}^2$.

A fim de amenizar os efeitos das variações angulares do fator de reflectância bidirecional em função da variação do ângulo de iluminação, que são mais pronunciadas no plano de iluminação, conforme já referido, as observações foram realizadas perpendicularmente a este plano.

Para o cálculo da reflectância utilizou-se como refletor padrão uma placa de madeira de $1\text{m} \times 1\text{m}$ pintada com Sulfato de Bário (BaS). Esta era posicionada ao lado da parcela de modo a permitir a sua observação como o mesmo ângulo de visada como o simples deslocamento lateral do observador.

Cada medida era efetuada através do registro de uma observação na placa da BaS, três na parcela seguidas de uma outra na placa de referência. Com estas réplicas intenciona-se atenuar os efeitos das variações de alta frequência nas condições de iluminação por interferência da atmosfera. Como o campo de visada é menor que a parcela as observações foram padronizadas com a seguinte sequência: uma no setor com maior fitomassa, a seguinte no de menor fitomassa e o terceiro num setor intermediário.

De cada parcela foi registrado o horário do início da aquisição dos dados, descrição das condições de iluminação (nuvens, névoa, etc.) e as 5 medidas nas 17 faixas do espectro, conforme exemplo no Anexo A. Não se coletou os dados radiométricos quando o sol estava encoberto.

3.1.2.3 - AQUISIÇÃO DE DADOS DE FITOMASSA

Efetuada a aquisição dos dados radiométricos procedia-se a coleta da fitomassa aérea da parcela. Inicialmente retirava-se a fitomassa de uma faixa de cerca de 20cm em torno da parcela. As partes das plantas de dentro da parcela que passaram de seu limite eram podadas e retiradas. Do mesmo modo galhos e folhas que penetravam no espaço definido pela parcela eram podados e coletados para pesagem. Com este procedimento procurava-se isolar o material a ser coletado para evitar contaminação com material externo à amostra.

A fitomassa do interior da parcela era podada rente ao chão e imediatamente acondicionada em saco plástico. Este era etiquetado e guardado em lugar à sombra para posterior transporte ao laboratório. Não foram coletados restos de queimadas nem folhas mortas destacadas das plantas.

Ao término do tempo para coleta de dados as fitomassas acondicionadas nos sacos plásticos eram transportadas para o laboratório para pesagens e secagem.

O material de cada parcela era distribuído em uma bandeja metálica e picotado com o uso da tesoura de poda a pedaços de no máximo 10cm. Com isto procurava-se obter um material homogeneizado, para permitir a aquisição de uma amostra representativa para a estimativa da proporção de fitomassa fotossinteticamente ativa. Esta amostra era obtida pela retirada ao acaso de uma alíquota com cerca de 10% do material homogeneizado. O restante do material era acondicionado em saco de papel de peso conhecido, pesado e colocado em estufa a 70°C por 48 horas.

Da alíquota triou-se o material fotossinteticamente ativo (folhas vivas e hastes clorofiladas) do inativo. Estes foram acondicionados, pesados e levados a estufa da mesma maneira que o restante da fitomassa não triada.

Após o período de secagem, cada material foi pesado, dis pensado e o seu saco de papel novamente pesado. Exemplos de fichas pa ra registro de entrada e saída de material na estufa estão apresenta dos nos anexos B e C, respectivamente.

3.2 - ANÁLISE DE DADOS

3.2.1 - AVALIAÇÃO DOS DADOS LANDSAT

Lembra-se que o objetivo deste trabalho é avaliar as rela ções entre tres tipos de medidas: fitomassa calculada pelo método de co lheita, reflectância medida em campo com espectrorradiômetro portátil e reflectância estimada a partir de dados dos sensores TM e MSS -LANDSAT.

A rigor, as comparações das medidas tomadas em campo com as obtidas pelo LANDSAT só são possíveis se houver simultaneidade en tre os momentos das respectivas coletas de dados. Diante da impratica bilidade de se realizar todas as medidas simultâneas às passagens do satélite, optou-se pela realização da coleta de dados ao longo de um mês, aproximadamente.

Escolheu-se o período de maio-junho para a realização das medidas de campo. Este, por ser o início do período seco do regime cli mático local combina a presença ainda considerável da fitomassa verde e a alta probabilidade de se obter dados LANDSAT sem cobertura de nu vem. Seriam considerados como dados LANDSAT úteis ao trabalho, aqueles adquiridos durante o período de coleta de dados em campo. Este período poderia ser ampliado em duas semanas antes e após o intervalo ideal acima referido se neste não houvesse disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvem. Dados LANDSAT coletados fora deste intervalo se riam inadequados ao trabalho uma vez que se incorreria em comparações de dados com quase dois meses de defasagem, o que seria contraproducen te numa pesquisa de cunho quantitativo como esta.

A Tabela 1 demonstra que as condições de nebulosidade nos dados LANDSAT foram bastante desfavoráveis ao desenvolvimento do trabalho.

TABELA 1

COBERTURA DE NUVEM DA CENA 221/71

DATA	COBERTURA DE NUVEM
16-5-86	>50%
1-6-86	>50%
17-6-86	10%
3-7-86	30%

Os dados referentes as datas de 16/5, 1/6 e 3/7 estão totalmente prejudicados pela nebulosidade. Na data de 17/6 as nuvens cobrem totalmente a área de estudo da UnB e parcialmente as do IBGE e do CPAC. As Figuras 4, 5 e 6 demonstram a distribuição das nuvens nas três áreas de estudo e as posições aproximadas das amostragens realizadas em campo.

Nota-se que a maioria dos pontos que não foram encobertos pelas nuvens se situam próximos a elas, o que sugere a possibilidade de contaminação por névoas ou de irradiância anormal devido ao espalhamento da radiação solar que ocorre nas bordas das nuvens.

Em vista desta perda de observação de pontos por cobertura de nuvens e do risco de condições anômalas de irradiância nos pontos restante decidiu-se pelo abandono dos objetivos relacionados com os dados TM e MSS-LANDSAT.

Fig. 4 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo UnB.

Fig. 5 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo IBGE.

Fig. 6 - Composição colorida de dados TM-LANDSAT da área de estudo CPAC.

Nota-se que a maioria dos pontos que não foram encobertos pelas nuvens se situam próximos a elas, o que sugere a possibilidade de contaminação por névoas ou de irradiância anormal devido ao espalhamento da radiação solar que ocorre nas bordas das nuvens.

Em vista desta perda de observação de pontos por cobertura de nuvens e do risco de condições anômalas de irradiância nos pontos restantes decidiu-se pelo abandono dos objetivos relacionados com os dados TM e MSS-LANDSAT.

Deste modo o trabalho passa a se concentrar na análise das relações entre medidas radiométricas e medidas relativas à fitomassa e ao teor de água do estrato rasteiro do Cerrado.

Foram visitados 16 pontos amostrais, onde a fitomassa foi coletada em um número variável de parcelas, o que foi função do tempo dispendido na coleta. Destes 16 pontos, em 9 foram feitas medidas radiométricas, sendo que o número de parcelas em que isto foi logrado variou em função do tempo disponível e da condição de iluminação. A Tabela 2 resume estes dados.

TABELA 2

SINOPSE DO TRABALHO EXECUTADO EM CAMPO

PONTO	Nº PARCELAS QUE AMOSTROU		Nº PARCELAS DADOS UTILIZADOS
	FITOMASSA	REFLECTÂNCIA	
CPAC-1	9	4	0
2	7	7	3
3	9	6	4
4	8	8	7
5	9	9	7
6	7	7	6
7	9	0	0
8	9	8	8
9	9	0	0
UnB-1	4	4	4
2	7	5	3
3	9	6	5
4	9	0	0
IBGE-1	9	0	0
2	9	0	0
3	9	0	0
TOTAL - 16	132	64	56

3.2.2 - CÁLCULO DA REFLECTÂNCIA, FITOMASSA E TEOR DE ÁGUA

Foi criado um arquivo de dados denominados "BIOMAS" no computador Burroughs 6800 do INPE para o armazenamento dos dados brutos coletados em campo. O arquivo BIOMAS é apresentado no anexo D. Nele constam o número da parcela, ordenadas sequencialmente de 1 a 64, a hora do início da coleta de dados, as medidas radiométricas nas 17 faixas espectrais correspondentes respectivamente à 1ª observação na pla

ca de referência, as três observações no alvo de interesse e a última na placa de referência. Constou também para cada parcela os valores das pesagens feitas no laboratório, já descontados os pesos dos sacos de papel: fitomassa total fresca, fitomassa verde fresca, fitomassa verde seca, fitomassa não verde fresca, fitomassa não verde seca, fitomassa total seca, respectivamente.

Um programa em linguagem FORTRAN, denominado PRDATA (Preparação dos dados) foi desenvolvido para efetuar o cálculo da reflectância e dos parâmetros de fitomassa e teor de água e arquivá-los em formatação apropriada à aplicação das rotinas estatísticas do BASIS (Borroughs Advanced Statistical Inquiring System) Borroughs, disponível no Burroughs 6800 do INPE. Este programa é apresentado no Anexo E.

A reflectância foi calculada de acordo com a equação:

$$\text{REFL} = 10^{-\frac{(\bar{P}L - \overline{OBS})}{x}} \times 100$$

onde: REFL = Reflectância

$\bar{P}L$ = média das medidas de reflectância da placa.

\overline{OBS} .: média das medidas de reflectância do alvo.

A fitomassa total fresca (BTF) foi lida diretamente do arquivo BIOMAS e corresponde à variável T. A fitomassa total seca (BTS) foi calculada pela soma:

$$\text{BTS} = \text{TS} + \text{VS} + \text{VNS}$$

onde TS = fitomassa total seca

VS = fitomassa verde seca

VNS = fitomassa não-verde seca

A fitomassa verde fresca (BVF) foi estimada a partir de sua proporção observada no material triado, extrapolada para toda a fitomassa encontrada na parcela amostrada. Deste modo a BVF é dada por:

$$BVF = \left(\frac{VF}{VF+VNF} \right) \times BTF$$

onde: VF = fitomassa verde fresca

VNF = fitomassa não-verde fresca

Analogamente a fitomassa verde seca (BVS) foi estimada por:

$$BVS = \left(\frac{VS}{VS+VNS} \right) \times BTS$$

O teor de água da fitomassa total (TAT) foi estimado pelo percentual da diferença encontrada entre BTF e BTS em relação ao BTF:

$$TAT = \left(\frac{BTF-BTS}{BTF} \right) \times 100$$

Do mesmo modo o teor de água da fitomassa verde TAV foi dado por:

$$TAV = \left(\frac{BVF-BVS}{BVF} \right) \times 100$$

Com estes resultados foram criados os arquivos REFBT, REFBV, REFTA e PARVEG, que são tabelas preparadas para aplicação da rotina "MULTR" que calcula as correlações entre as colunas das tabelas. O arquivo REFBT contém os dados de reflectância espectral e BTF e BTS, REFBV contém reflectância espectral e BVF e BVS e o arquivo REFTA contém as medidas de reflectância espectral e TAV e TAT. PARVEG armazena os parâmetros da cobertura vegetal BTF, BTS, BVF, BVS, TAT e TAV.

Foram excluídos destes arquivos os dados obtidos nas parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 17, 19, 25, 30, 36, 55, 56, 64. Os quatro primeiros foram rejeitados por terem sido feitas as suas pesagens com uma balança diferente da utilizada nas demais medidas e os restantes por apresentarem valores anômalos no arquivo BIOMAS possivelmente devidos a erros grosseiros. Com isto o número de parcelas analisadas foi reduzido para 47.

3.2.3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

3.2.3.1 - CORRELAÇÃO ENTRE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL E PARÂMETROS DA COBERTURA VEGETAL

Utilizou-se o programa MULTR (Multiple Linear Regression Analysis) do BASIS. Este programa calcula o coeficiente de correlação linear entre duas ou mais variáveis, gerando, entre outras estatísticas, a matriz de correlação e, para o caso de análise de duas variáveis, um gráfico de dispersão dos pontos com a reta de regressão assinada.

Utilizando-se como dados de entrada os arquivos REFBT, REFV e REFTA procedeu-se a execução do programa para cada combinação de valor de reflectância espectral e valor de fitomassa ou de teor de água. Os parâmetros de vegetação foram considerados variáveis independentes e as medidas de reflectância dependentes. Este procedimento foi portanto realizado para as 102 (3 x 2 x 17) combinações de reflectância espectral e parâmetros de vegetação. Deste resultado construiu-se corelogramas para cada parâmetro da vegetação descrevendo o valor do coeficiente de correlação para cada comprimento de onda, grau de correlação entre os parâmetros de vegetação BTF, BTS, BVF, BVS, TAT e TAV foi examinado através da aplicação do MULTR e este conjunto de variáveis, armazenado no arquivo PARVEG. Convencionou-se o TAV como variável dependente e as demais independentes.

3.2.3.2 - GERAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E CORRELAÇÃO COM FITOMASSA E TEOR DE ÁGUA

Os índices de vegetação propostos para análise neste trabalho (i.e.: razão, diferença, diferença normalizada e diferença normalizada transformada) se baseiam no comportamento divergente da reflectância espectral nas faixas do visível e do infravermelho próximo.

Estabeleceu-se como critério para a determinação das faixas espectrais a serem utilizadas no cálculo dos índices de vegetação, selecionar para cada parâmetro da vegetação aquelas que apresentarem os maiores valores absolutos de coeficientes de correlação (positivos e negativos).

Deste modo não foi possível gerar índices para os parâmetros fitomassa total fresca (BTF) e fitomassa total seca (BTS), uma vez que só se obteve valores negativos de coeficiente de correlação entre estes parâmetros e as medidas de reflectância espectral.

Selecionou-se as faixas espectrais de 475 nm e 850 nm para a geração de índices para estimar os parâmetros relacionados com a fitomassa verde (BVF e BVS). Para estimar os teores de água TAT e TAV foram selecionadas as faixas de 400 nm e 1.050 nm.

Foi criado um programa em FORTRAN para o cálculo destes índices e armazenamento dos resultados em arquivos apropriados para a aplicação do MULTR. Este programa, denominado GERIND está apresentado no anexo F. Os arquivos por ele gerado denominam-se INDBF e INDTA. O primeiro contém os índices para fitomassa verde e os valores de BVF e BVS para cada parcela e o segundo armazena os valores dos índices para a estimativa do teor de água e os valores de TAT e TAV.

Com o uso do programa MULTR do BASIS foi realizada a análise de correlação linear entre cada índice de vegetação e os parâmetros a que são destinados a estimar. Considerou-se os parâmetros da vegetação como as variáveis independente e os índices como dependentes. Gráficos de barra foram construídos para representar os resultados encontra

dos. Construiu-se também os gráficos de dispersão e a reta de regressão dos Índices de vegetação que apresentaram maior coeficiente de correlação (r). Foram calculados também os coeficientes de determinação (r^2) entre os Índices de vegetação e os parâmetros da vegetação.

3.2.3.3 - ANÁLISE DOS DADOS AGRUPADOS

Com o objetivo de comparar estes resultados com os descritos em Pereira (1986) e para avaliar o procedimento de seleção de amostras usado neste trabalho, efetuou-se para cada ponto amostral, o agrupamento dos valores de fitomassa obtidos no campo e os valores de reflectância espectral nas faixas do radiômetro KIMOTO PM 12A utilizado.

Calculou-se, nos 9 pontos, os valores de média e desvio padrão dos seguintes parâmetros: reflectância, BTF, BTS, BVF, BVS, TAT e TAV.

Construiu-se gráficos de comportamento espectral médio dos nove pontos estudados.

Construiu-se também um gráfico da TAT versus BVF/BTF para averiguar a relação entre teor de água e proporção de verde nos pontos estudados.

4- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1- REFLECTÂNCIA ESPECTRAL

Os resultados do cálculo de reflectância espectral são apresentados na Tabela 3, acrescidos dos valores de média (\bar{x}), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (C.V.), encontrados em cada comprimento de onda. As médias e os desvios padrões estão apresentados na Figura 7.

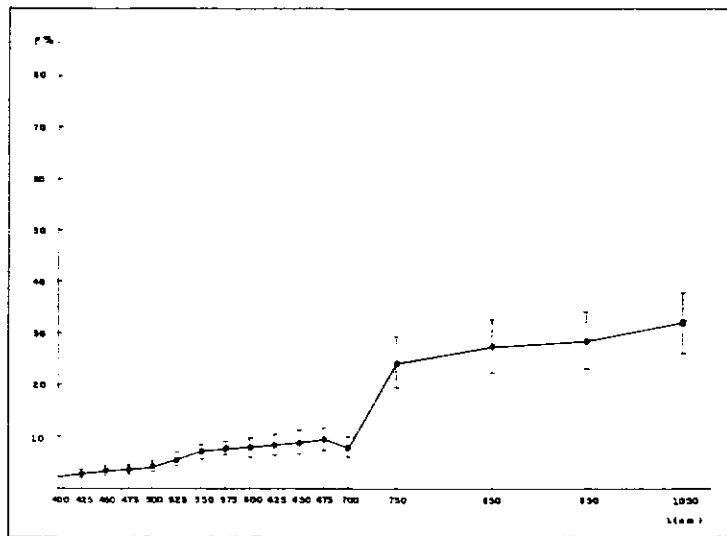


Fig. 7 - Reflectância espectral média.

TABELA 3

REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DAS AMOSTRAS

	400	425	450	475	500	525	550	575	600
1.85	2.15	2.71	2.51	3.16	4.30	6.81	6.81	6.81	
2.15	2.51	2.93	3.41	4.30	5.41	6.81	6.81	6.81	
1.41	1.71	2.15	2.15	2.71	3.69	5.01	5.62	5.84	
2.71	3.29	3.69	4.30	4.82	6.81	8.91	9.62	9.62	
2.71	3.69	3.69	4.30	5.01	6.81	8.58	8.58	9.62	
2.15	2.33	2.93	3.69	4.14	5.84	7.08	7.36	7.36	
1.58	2.15	2.42	2.71	3.11	5.01	6.81	6.31	7.08	
2.71	3.55	3.98	3.29	5.21	7.94	9.62	10.00	10.00	
2.07	2.93	3.55	3.98	4.64	7.36	9.26	9.62	10.00	
1.58	1.65	2.15	2.71	2.82	4.64	5.62	5.01	5.01	
2.07	2.71	3.41	3.41	4.30	6.07	8.91	8.58	8.58	
2.33	2.93	3.69	3.83	4.30	6.81	6.81	7.94	8.58	
2.51	2.71	3.41	3.16	3.98	6.81	6.81	8.58	8.58	
1.71	2.15	2.71	3.04	3.83	5.21	7.08	7.36	6.81	
3.29	3.98	5.01	5.01	5.84	8.25	9.26	10.80	10.80	
3.29	4.30	4.14	4.64	5.41	6.56	7.36	9.26	9.26	
3.16	3.83	3.98	4.47	5.21	7.08	8.91	9.26	9.26	
2.93	3.41	4.30	4.30	4.64	5.84	7.36	8.58	8.58	
2.93	3.83	4.64	5.41	6.31	7.94	10.00	10.80	10.00	
2.51	2.71	2.93	3.29	4.14	4.47	5.84	6.31	7.36	
2.33	3.16	3.16	3.98	4.30	6.56	7.36	6.31	7.08	
1.71	2.15	2.00	2.51	3.16	4.30	5.84	6.31	6.31	
2.07	2.33	2.93	3.29	3.16	4.47	5.01	6.31	5.84	
2.71	3.29	3.69	4.47	4.30	6.81	7.64	8.58	8.58	
2.33	2.42	2.71	3.41	3.98	5.84	6.56	6.31	6.31	
2.51	3.83	3.83	4.64	5.01	6.31	7.94	10.00	10.00	
2.15	3.16	3.55	3.98	4.30	5.84	7.36	7.64	8.58	
2.93	3.98	3.98	5.01	6.31	7.94	10.80	11.22	10.39	
2.51	2.93	3.69	4.14	4.30	6.56	7.94	9.26	9.26	
2.51	5.01	4.64	5.41	6.31	7.36	9.26	9.62	12.59	
2.71	2.71	3.69	3.41	3.98	5.41	6.81	7.94	7.94	
2.93	3.29	3.69	4.30	4.17	5.84	7.08	7.94	9.62	
2.51	3.29	3.16	3.98	5.01	6.31	7.94	8.91	10.00	
2.00	3.16	2.71	3.41	3.98	5.41	6.81	7.64	8.58	
2.42	2.71	3.04	3.41	3.98	5.01	6.31	7.94	8.58	
2.51	3.04	3.83	3.69	4.30	5.84	7.94	6.81	6.81	
2.93	3.55	3.69	4.14	4.82	6.07	7.64	7.94	7.94	
2.71	3.55	3.98	3.41	3.98	5.41	6.81	7.94	7.94	
2.41	3.16	3.55	3.69	4.30	5.41	6.81	7.94	8.58	
1.71	2.33	2.71	3.16	3.16	3.69	5.84	5.01	5.01	
2.51	2.51	2.71	3.98	3.69	4.64	6.31	5.41	6.31	
1.04	3.16	4.64	4.64	4.64	3.41	6.31	7.94	7.94	
3.16	2.24	2.51	3.41	4.14	5.01	6.81	5.84	6.31	
2.00	2.15	2.51	2.93	3.16	5.01	4.64	6.31	4.64	
3.41	3.41	3.41	3.69	5.21	6.31	6.31	6.81	7.94	
3.41	4.30	4.82	3.98	5.01	5.84	7.36	6.81	8.58	
2.33	2.93	2.93	3.41	3.98	4.64	6.31	5.01	5.41	
\bar{X}	2,43	3,03	3,41	3,77	4,36	5,83	7,29	7,77	8,06
D.P.	0,54	0,72	0,74	0,74	0,86	1,18	1,34	1,61	1,71
C.V.(%)	22	24	22	20	20	20	18	21	21

(Continua)

Tabela 3 - Conclusão

625	650	675	700	750	850	950	1.050
6.81	6.81	7.36	6.81	25.12	29.29	29.29	31.62
7.94	10.00	9.26	8.58	21.54	21.54	21.54	27.12
5.84	5.84	6.31	5.21	21.54	25.12	25.12	29.29
9.62	10.80	11.22	9.26	35.48	34.15	38.31	39.81
9.62	10.80	10.80	8.58	21.54	25.12	28.18	31.62
7.36	9.26	10.00	7.36	25.12	27.12	27.12	34.15
7.08	6.81	7.94	6.31	23.26	31.62	31.62	31.62
10.00	10.80	12.59	10.00	29.29	36.87	31.62	39.81
10.00	10.39	10.00	8.91	34.15	38.31	42.99	50.12
5.01	5.21	5.62	5.01	19.95	25.12	25.12	29.29
8.58	10.80	10.39	8.58	29.29	36.87	34.15	39.81
8.58	9.62	9.26	8.58	25.12	29.29	29.29	31.62
8.58	10.39	8.58	8.58	27.12	31.62	29.29	34.15
6.81	8.58	9.62	7.36	25.12	31.62	31.62	34.15
10.80	12.59	10.00	10.00	25.12	27.12	27.12	31.62
9.26	9.26	10.80	7.94	21.54	29.29	27.12	31.62
9.26	10.39	11.22	10.00	25.12	31.62	31.62	31.62
8.58	9.62	10.00	8.58	25.12	31.62	31.62	31.62
11.22	11.66	12.59	12.59	28.18	29.29	35.48	35.48
7.36	7.36	7.94	7.94	17.11	21.54	21.54	27.12
7.08	7.94	10.00	7.36	20.73	26.10	26.10	28.18
5.41	5.41	6.81	4.64	23.26	21.54	25.12	31.62
5.84	6.56	8.25	5.84	19.95	25.12	25.12	29.29
10.39	11.66	11.22	9.26	23.26	25.12	25.12	31.62
5.84	6.31	7.94	5.84	28.18	31.62	31.62	31.62
10.00	10.00	10.80	8.58	27.12	23.26	29.29	34.15
8.58	8.58	8.58	7.64	29.29	30.43	34.15	36.87
12.59	11.66	13.59	10.80	30.43	35.48	39.81	41.37
8.58	10.80	11.66	9.26	34.15	39.81	36.87	39.81
13.59	12.59	13.59	10.80	27.12	25.12	31.62	36.87
9.26	10.80	10.00	8.58	25.12	29.29	29.29	36.87
10.39	11.66	11.66	10.00	29.29	27.12	30.43	35.48
11.66	11.66	12.59	10.00	27.12	23.26	29.29	36.87
9.26	9.26	9.26	7.36	27.12	23.26	29.29	34.15
9.26	9.26	10.00	8.91	25.12	29.29	29.29	34.15
6.81	8.58	10.00	6.81	25.12	29.29	34.15	31.62
8.58	10.00	12.59	9.26	21.54	27.12	27.12	31.62
7.94	7.94	8.58	9.26	21.54	27.12	27.12	31.62
8.58	9.26	10.00	8.91	21.54	27.12	27.12	31.62
5.41	5.62	5.41	5.01	14.68	18.48	18.48	21.54
5.41	6.07	12.12	6.31	14.68	18.48	18.48	21.54
8.58	9.26	8.25	7.36	17.11	23.26	25.12	22.39
6.81	6.81	7.36	7.36	18.48	23.26	25.12	23.26
5.41	4.64	6.31	5.84	18.48	21.54	18.48	21.54
9.26	6.81	9.26	7.36	21.54	25.12	26.10	25.12
8.58	8.58	10.00	6.81	31.62	19.95	23.26	29.29
6.07	6.31	5.84	5.84	15.85	19.95	21.54	23.26
8,37	8,96	9,64	8,03	24,37	27,46	28,60	32,06
1,98	2,15	2,08	1,73	4,95	5,18	5,32	5,75
24	24	22	22	20	19	19	18

Observa-se na Tabela 3 e na Figura 7 uma clara diferença entre os comportamentos espectrais das parcelas nos espectros visível e infravermelho próximos. No visível (vis, $\lambda = 400 - 700\text{nm}$) encontra-se ρ_λ médias com valores inferiores a 10% e baixa variabilidade, com CVs oscilando entre 0,20 e 0,25.

Na faixa do infravermelho próximo (IVP, $\lambda = 750-1050\text{nm}$) as médias variam de 25 a 30%, exibindo também baixa variabilidade.

As ρ_λ médias são sempre crescentes em relação ao espectro exceto na banda $\lambda = 700\text{ nm}$, onde ocorre uma pequena redução em relação ao valor da banda $\lambda = 675\text{ nm}$. Portanto, não se observa a depressão típica de uma curva de ρ_λ de uma cobertura vegetal, que se estende por todo o vermelho ($\lambda = 600\text{ a }700\text{nm}$).

Este fato indica a possibilidade de uma forte contribuição do solo na reflectância do estrato rasteiro do Cerrado. Epiphonio e Vitorello (1984) realizando medidas de reflectância espectral de latossolos no Distrito Federal, com a mesma geometria de iluminação e observação adotada neste trabalho, encontraram curvas de reflectância que indicam um forte aumento neste valor na faixa de 600 a 700nm em relação ao observado nos comprimentos de onda menores. Este resultado está apresentado na Figura 8.

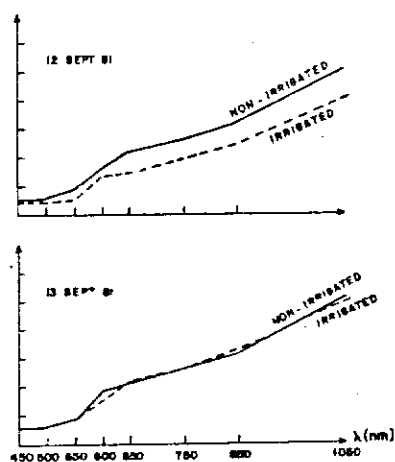


Fig. 8 - Reflectância espectral de latossolo.
FONTE: (Epiphonio & Vitorello, 1984).

Comparando as Figura 7 e 8 observa-se comportamentos semelhantes na faixa de 400 a 550nm e divergente daí em diante, onde o solo nu apresenta valores de $\rho\lambda$ sempre maiores que o coletado neste trabalho.

4.2 - FITOMASSA E TEOR DE ÁGUA

A Tabela 4 apresenta os valores encontrados nas 47 parcelas para BTF, BTS, BVF, BVS, TAT e TAV, acompanhados dos respectivos médios, desvios padrões e coeficientes de variação.

Observa-se a variabilidade maior dos parâmetros de fitomassa em relação aos de teor de água. Isto é indicado pelos coeficientes de variação, que apresentam valores entre 0,38 e 0,44 para os primeiros e de 0,10 e 0,22 para os teores de água. Este fato, associado ao de que o C.V. de BTS (0,44) é maior do que o C.V. de BTF (0,38) indica que há na fitomassa uma proporção bastante variável de fitomassa com baixo teor de água, presumivelmente fitomassa morta e tecidos de sustentações da fitomassa viva.

A Figura 9 ilustra a distribuição dos parâmetros de fitomassa apresentados na Tabela 4, agrupados em intervalos de 100g. Nota-se um amplo intervalo de distribuição de fitomassa total (200 - 1400g para BTF e 100 - 1100g para BTS) e a ausência de uma moda pronunciada nestes dois histogramas. Isto demonstra que a população amostrada a nível de parcela é adequada à análise da correlação com outros parâmetros. Porém este fato não pode ser considerado como um resultado do procedimento de Seleção de Amostras, uma vez que este foi para seleção dos pontos de 9 parcelas para comparação com os dados LANDSAT. Na Análise dos Dados Agrupados em pontos tem-se a avaliação dos resultados da seleção de amostras.

Na Figura 9 observa-se também a redução do intervalo e a ocorrência de moda pronunciada nos histogramas de fitomassa verde quando estes são comparados aos de fitomassa total. Considera-se isto como indicação de maior homogeneidade na distribuição da fitomassa verde em relação à fitomassa total o que reforça a dedução chegada a partir da análise da Tabela 4.

TABELA 4

PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO: FITOMASSA E TEOR DE ÁGUA

	BTF	BTS	BVF	BVS	TAT	TAV
	565.24	321.49	345.53	175.82	43.52	45.11
	338.67	200.03	252.33	143.82	40.59	43.00
	1010.40	508.48	685.55	338.78	49.68	50.58
	583.24	342.16	330.18	172.14	41.33	47.86
	273.03	183.08	107.44	63.15	32.95	41.22
	528.14	285.97	324.88	161.15	45.85	50.40
	662.08	423.01	362.11	201.78	36.11	44.28
	630.13	355.73	388.29	179.44	43.55	53.79
	712.91	407.81	430.17	202.09	42.80	53.02
	1175.20	656.95	432.05	199.35	40.89	53.86
	634.87	388.83	372.34	199.60	38.75	46.39
	460.17	284.92	234.68	123.43	38.08	47.41
	495.08	314.56	245.60	125.42	36.46	48.93
	590.11	367.70	369.48	179.01	37.69	51.55
	914.52	632.68	270.40	142.07	30.82	47.46
	489.51	379.89	117.99	69.80	22.39	40.84
	630.68	466.14	141.75	82.83	26.09	41.57
	735.92	528.84	289.73	157.69	28.14	45.57
	771.21	572.36	182.97	104.28	25.78	43.00
	1108.54	827.34	257.61	132.02	25.37	48.75
	768.62	552.46	278.34	158.73	27.94	42.97
	752.32	409.53	489.05	248.30	45.56	49.23
	793.10	455.61	406.79	201.18	42.55	50.55
	492.89	314.65	267.87	152.81	36.16	42.95
	1035.56	579.42	603.98	302.34	44.05	49.94
	465.77	287.82	220.19	124.95	38.21	43.25
	746.59	437.59	513.78	287.88	41.39	44.01
	331.64	238.56	205.92	133.85	28.07	35.00
	966.28	532.65	452.46	219.17	44.88	51.56
	266.46	161.19	123.45	64.78	39.51	47.53
	641.56	362.32	350.30	170.47	43.53	51.34
	521.21	312.28	307.32	145.47	40.09	52.67
	371.16	233.77	171.13	90.76	37.02	46.97
	411.65	255.27	210.19	115.50	37.99	45.05
	568.68	353.24	315.08	170.93	37.88	45.75
	1383.91	887.26	796.76	453.04	35.89	43.14
	932.30	611.97	323.94	173.89	34.36	46.32
	1180.03	839.25	497.28	309.85	28.88	37.69
	843.09	563.86	270.26	160.10	33.12	40.76
	1182.17	871.06	218.81	116.38	26.32	46.81
	1091.82	809.63	329.87	174.27	25.85	47.17
	985.52	731.35	275.74	150.45	25.79	45.44
	1108.98	865.04	275.54	170.26	22.00	38.21
	927.61	641.60	223.54	135.32	30.83	39.46
	1338.04	1005.51	417.59	254.08	24.74	39.16
	997.71	779.53	283.14	171.73	21.87	39.35
	772.58	568.35	218.91	131.37	26.43	39.99
\bar{X}	748,70	492,53	323,16	173,22	35,06	45,76
DP	287,58	217,45	140,70	73,87	7,56	4,68
CV (%)	38	44	44	43	22	10

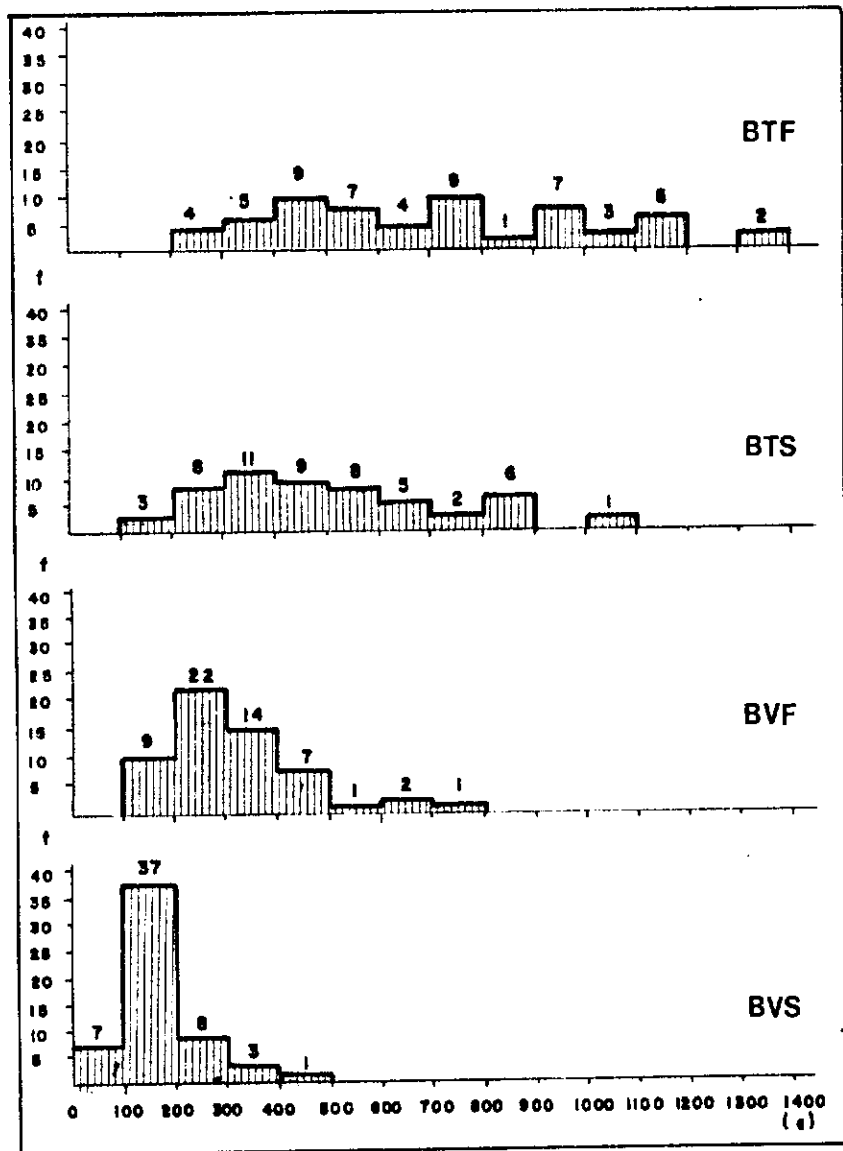


Fig.9 - Histograma dos parâmetros de fitomassa.

Os histogramas das distribuições de TAT e TAV agrupados em intervalos de 5% estão apresentados na Figura 10.

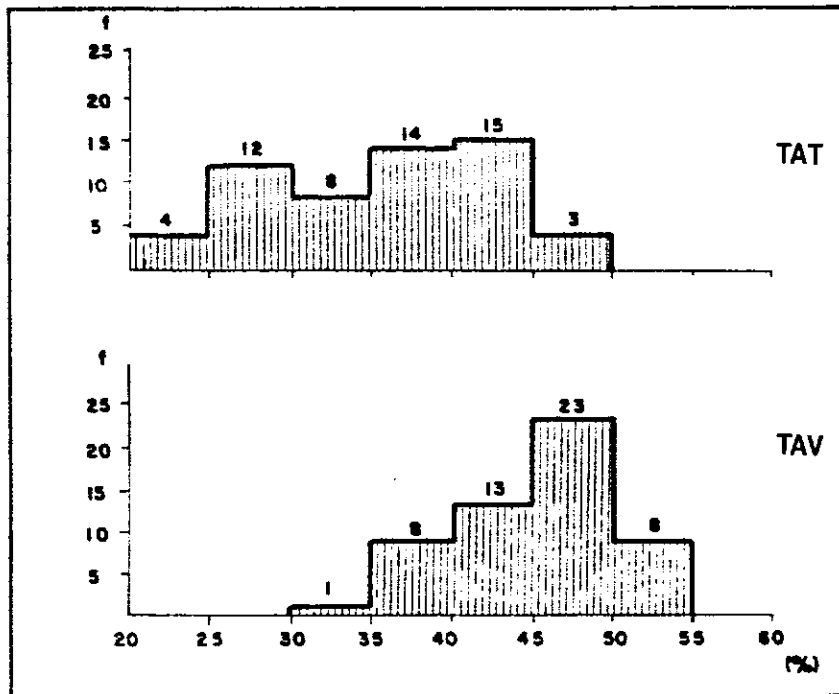


Fig. 10 - Histogramas dos parâmetros de teor de água.

Nota-se na Figura 10 frequências bem distribuídas dentro do intervalo de variação em TAT e uma tendência de agregamento em torno da média em TAV. Atribui-se esta diferença ao fato de que o material tirado para o cálculo de TAV consiste principalmente de folhas, tratando-se, portanto, de uma população melhor definida do que o que foi considerado para o cálculo de TAT, que consiste de caules vivos e mortos e folhas mortas.

O resultado da análise de correlação entre os parâmetros da vegetação estão apresentados como matriz de correlação na Tabela 5.

TABELA 5

MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO

	BTF	BTS	BTF	BVS	TAT	TAV
BTF	1,00	0,96	0,56	0,61	-0,30	-0,01
BTS		1,00	0,36	0,43	-0,54	-0,20
BVF			1,00	0,98	0,47	0,37
BrS				1,00	0,33	0,18
TAT					1,00	0,70
TAV						1,00

Os altos coeficientes de correlação observados entre BTF e BTS ($r = 0,96$) e BVF e BVS ($r = 0,98$) indicam que, apesar do grande número de espécies encontrados no estrato rasteiro do cerrado (Pereira, 1986), a água presente em BTF e em BVF é proporcional aos seus valores de fitomassa, não alterando, portanto, as relações entre estes valores quando retirada no processo de secagem.

Os coeficientes de correlação entre as medidas de fitomassa verde e total demonstram uma baixa dependência da quantidade de fitomassa verde em relação à fitomassa total. Derivando-se os coeficientes de determinação a partir dos valores de r tem-se que apenas 31% da variação de BVF é explicado pela variação de BTF, valor este que se reduz a 18% quando se compara BVS e BTS. Novamente tem-se uma evidência da alta variabilidade da fitomassa não verde.

Esta variabilidade é também evidenciada pelos valores negativos de r encontrados entre os parâmetros de teor de água e os de fitomassa total. Credita-se isto ao fato de que a fitomassa verde possui valores baixos e pouco variáveis, conforme observado na análise da figura 9, ficando, portanto, os incrementos da fitomassa total condicionados à variação da fitomassa não verde. Como esta apresenta baixo teor de água, evidenciado pelo menor valor médio de TAT em relação a TAV (Tabela 4), tem-se uma relação inversa entre a fitomassa total e os valores de teor de água total. Naturalmente a relação de TAV com a fitomassa total é muito fraca, se aproximando mesmo da ausência

de correlação.

A correlação maior entre TAT e BVF ($r = 0,47$) do que a encontrada entre TAT e BVS ($r = 0,33$) é indicativo de que a fitomassa verde tem grande contribuição ao teor de água da fitomassa total.

As correlações positivas entre TAV e os parâmetros de fitomassa verde indicam que esta é maior nos locais onde há maior disponibilidade de água, considerando TAV como indicador de disponibilidade de água.

TAV e TAT apresentam alta correlação positiva ($r = 0,70$) entre si. Considerando que há pouca dependência entre a fitomassa total e a verde, conforme deduzido da análise das correlações entre BTF e BVF e entre BTS e BVS, pode-se concluir de TAV tem participação relevante no valor de TAT.

Para ilustrar as relações entre os parâmetros da vegetação e o comportamento de sua reflectância espectral e permitir uma análise preliminar destas relações, construiu-se um gráfico para cada parâmetro da vegetação descrevendo a curva de reflectância espectral das parcelas que apresentam para o dado parâmetro, o maior valor, o menor valor e o valor mais próximo da média. As Figuras 11-16 apresentam estes gráficos.

Nas Figuras 11 e 12 pode-se verificar que as parcelas de maior fitomassa (BTF e BTS), apresentam menor reflectância que as demais na faixa do VIS (400 - 700nm). A maior atividade fotossintética destas coberturas e a alta reflectância do solo (que deve ser menos exposto nestas parcelas), principalmente em comprimentos de onda superiores a 550nm, podem ser responsabilizados por este comportamento. No IVP as parcelas de maior fitomassa apresentam menor reflectância que as parcelas de fitomassa mediana tanto para BTF e BTS, enquanto que a de menor fitomassa se comporta de modo variável. Presume-se que menor fitomassa levam a maiores percentuais de sombra na cena, o que poderia justificar a primeira observação, enquanto que a segunda pode estar evidenciando a influência do solo.

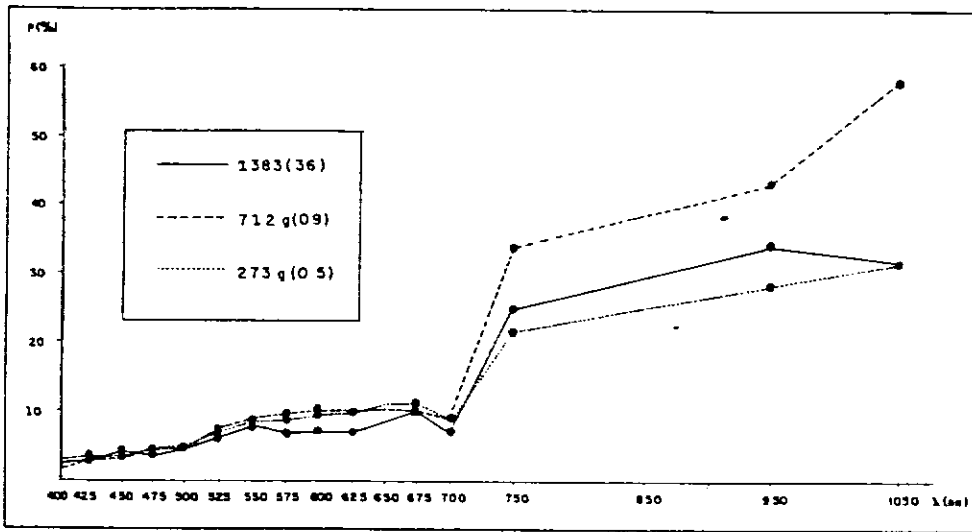


Fig. 11 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas BTF.

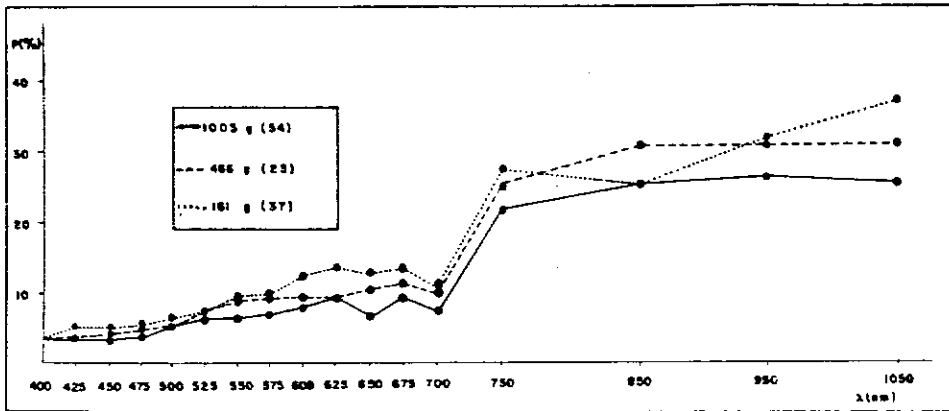


Fig. 12 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BTS.

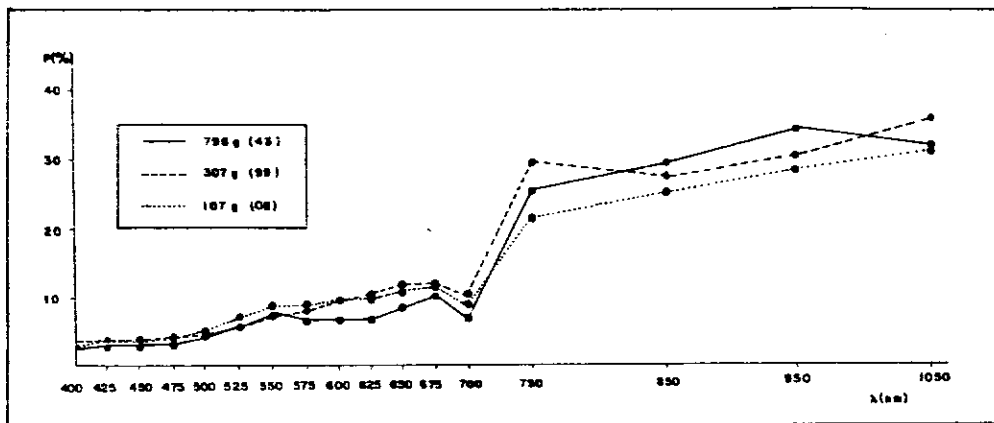


Fig. 13 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BVF.

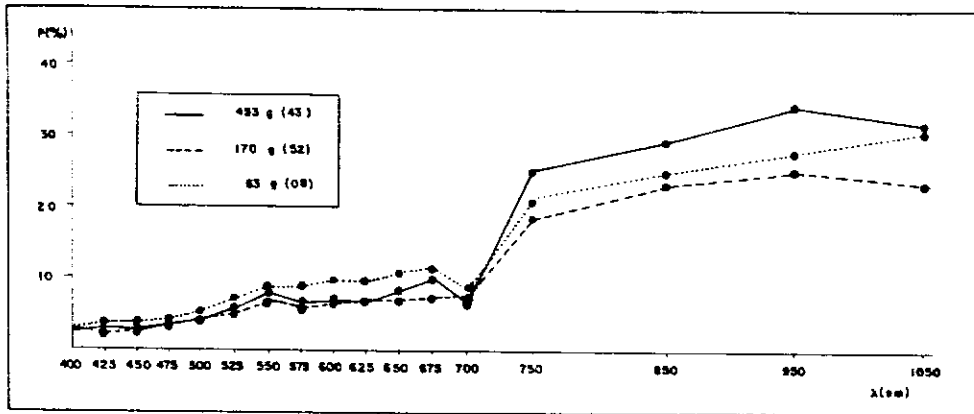


Fig. 14 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas - BVS.

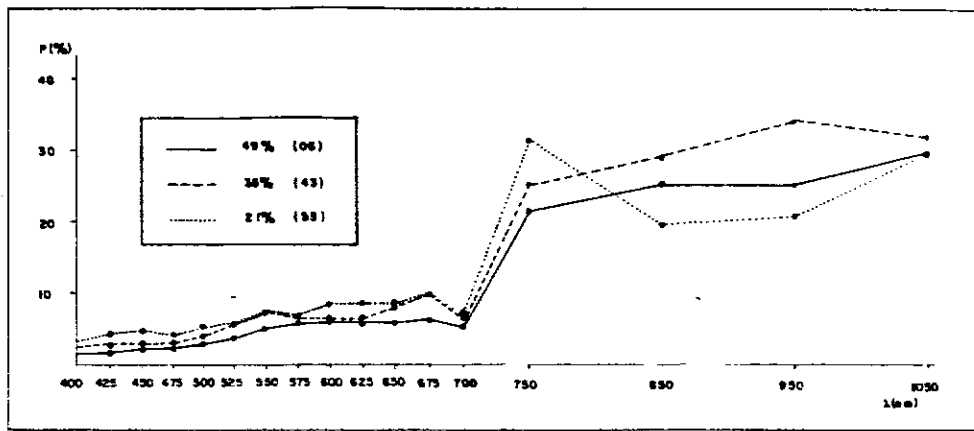


Fig. 15 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas - TAT.

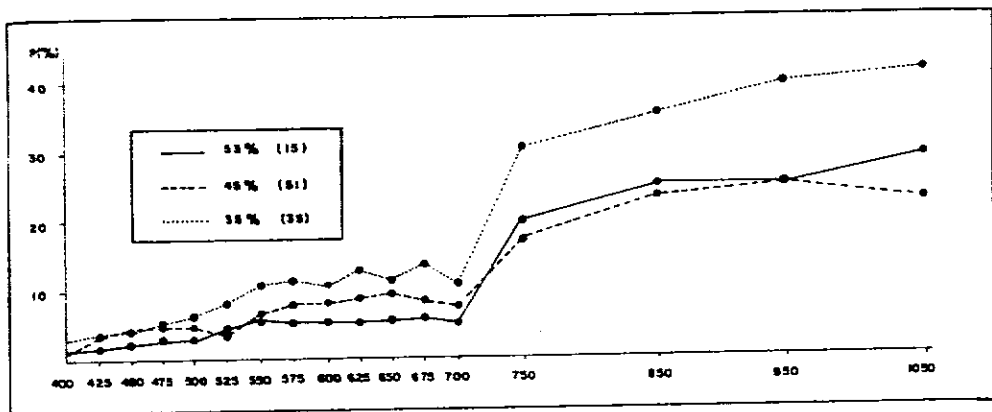


Fig. 16 - Reflectância espectral de parcelas selecionadas - TAV.

Também nas Figuras 13 e 14, referentes à fitomassa verde, verifica-se maiores valores de reflectância no VIS por parte da parcela de menor valor de fitomassa, porém não tão diferenciados quanto os observados nas Figuras 11 e 12. Atribui-se isto à baixa atividade de fotossintética das parcelas de baixa fitomassa. Inversamente ao observado nas Figuras 11 e 12 tem-se uma alta reflectância no IVP por parte das parcelas com maior fitomassa. Tal pode ser manifestações da alta reflectância das folhas verdes nesta faixa do espectro e é uma evidência do comportamento independente da fitomassa verde em relação à fitomassa total.

Nas Figuras 15 e 16, referentes aos teores de água, observa-se exceto pela parcela de menor TAV (parcela 35), todas têm comportamento semelhantes na faixa do visível. Assinala-se que a parcela 35 possui fitomassa total de 331g, enquanto que as demais a têm superior a 900g, a que pode ser atribuído este comportamento peculiar desta parcela. Excluindo esta parcela por este mesmo motivo tem-se no IVP comportamentos bastante semelhantes entre as demais parcelas para TAV, enquanto que para TAT estes são distintos, porém não ordenados.

Pode-se também observar nas Figuras 11 - 16 que todas apresentam o mesmo comportamento espectral na faixa do vermelho ($\lambda = 600 - 700 \text{ nm}$) que foi ressaltado na análise da Figura 7, que é a presença de uma depressão na reflectância espectral na banda de 700 nm. Sabendo que o pico da absorção da clorofila se situa em 680 nm aproximadamente, atribui-se a não ocorrência da depressão na faixa de 675 nm à alta reflectância do solo nesta faixa do espectro. Porém como este efeito do solo não se manifesta na faixa de 700 nm, onde sua reflectância é ainda maior, sugere-se também que há a possibilidade de que, pelo menos na faixa de 675 nm, o radiômetro utilizado não estava corretamente calibrado.

4.3- CORRELAÇÃO ENTRE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL E PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO

Na Tabela 6 apresenta-se os coeficientes de correlação obtidos entre as medidas de reflectância espectral e os parâmetros da

vegetação. Os coeficientes de correlação foram considerados baixos, sendo que o maior foi o encontrado entre BTF e a reflectância na banda da 650nm ($r = 0,59$). A maior correlação para BTS é com $\lambda = 1.050\text{nm}$ ($r = -0,58$). BVF e BVS apresentam melhores correlações com a mesma faixa espectral $\lambda = 475\text{nm}$ ($r = -0,48$ para BVF e $r = 0,43$ para BVS). A melhor correlação com TAT é positiva ($r = 0,51$ com $\lambda = 1.050\text{nm}$) enquanto que TAV tem melhor r negativamente com $\lambda = 400\text{nm}$ ($r = 0,41$).

Encontrou-se correlação negativa entre reflectância espectral e os parâmetros de vegetação por todo o espectro visível, exceto em 4 casos, que, por serem de valores muito baixos (0,00; 0,03; 0,08; 0,11), podem ser considerados como casos de ausência de correlação.

No infravermelho próximo ocorrem correlações negativas para os parâmetros de fitomassa total e predominantemente positivas para os demais parâmetros.

Com os coeficientes de correlação linear por faixa espectral construiu-se correlogramas descrevendo o comportamento destes coeficientes para cada parâmetro da vegetação. As Figuras 17 e 18 apresentam os correlogramas obtidos para BTF e BTS.

TABELA 6

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL E PARÂMETROS DA VEGETAÇÃO

PARVEG \ (nm)	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	750	850	950	1.050
BTF	-0,02	-0,30	-0,15	-0,29	-0,33	-0,41	-0,41	-0,51	-0,53	-0,56	-0,59	-0,45	-0,46	-0,38	-0,22	-0,32	-0,48
BTS	0,11	-0,15	-0,04	-0,15	-0,19	-0,35	-0,35	-0,47	-0,47	-0,47	-0,53	-0,38	-0,37	-0,47	-0,32	-0,40	-0,58
BVF	-0,30	-0,45	-0,30	-0,48	-0,45	-0,28	-0,25	-0,34	-0,38	-0,45	-0,38	-0,30	-0,42	0,13	0,24	0,18	0,10
BVS	-0,21	-0,37	-0,24	-0,43	-0,39	-0,27	-0,24	-0,34	-0,38	-0,43	-0,39	-0,30	-0,39	0,08	0,18	0,15	0,02
TAT	-0,46	-0,35	-0,34	-0,37	-0,35	-0,04	-0,06	-0,03	0,00	-0,06	0,06	-0,03	-0,10	0,43	0,36	0,34	0,51
TAV	-0,41	-0,45	-0,24	-0,29	-0,33	-0,11	0,12	-0,05	-0,04	-0,15	0,03	-0,05	-0,12	0,23	0,27	0,51	0,34

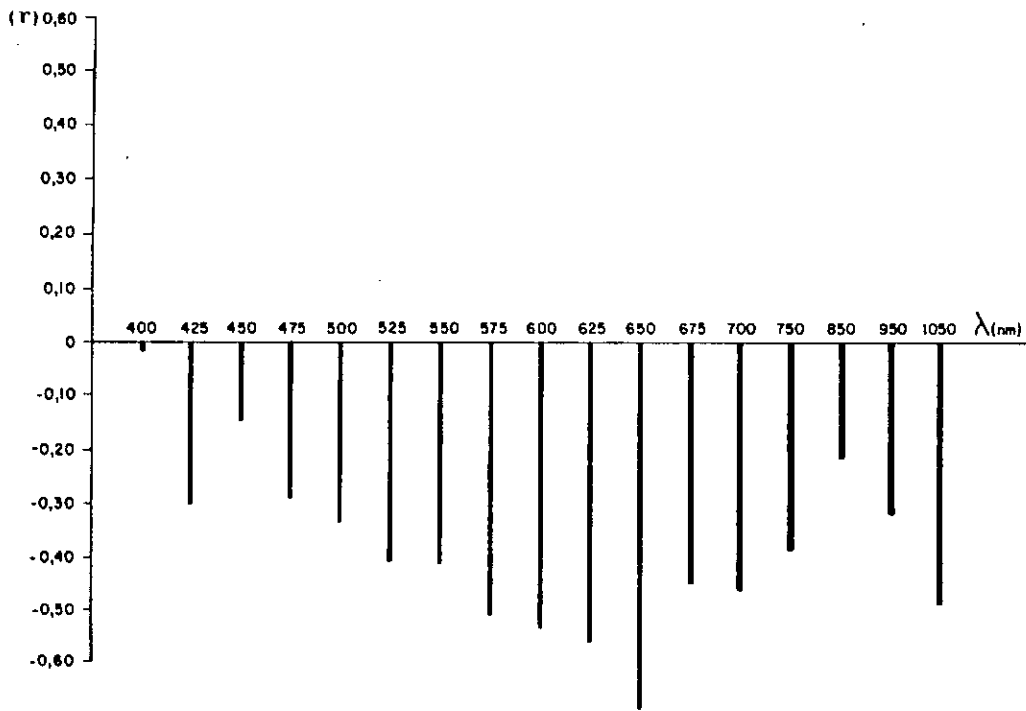


Fig. 17 - Correlograma da reflectância espectral e BTF.

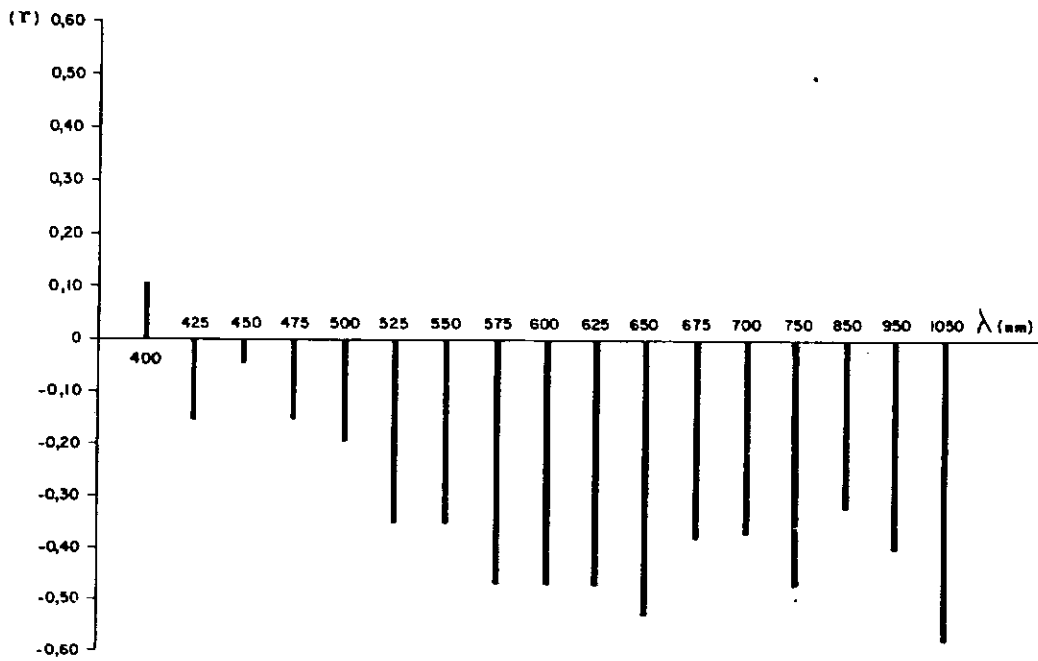


Fig. 18 - Correlograma da reflectância espectral e BTS.

O coeficiente de correlação apresenta comportamentos ao longo do espectro bastante semelhantes para os dois parâmetros, o que pode ser consequência da alta correlação observada entre BTF e BTS ($r = 0,96$), indicada na Tabela 5.

Observa-se que os valores absolutos de r para BTF são maiores que os encontrados para BTS no espectro visível ($\lambda = 400 - 700$ nm), enquanto que o inverso ocorre no infravermelho próximo ($\lambda = 750 - 1050$ nm).

Supõe-se que o aumento da variabilidade dos dados que se verifica após a secagem da fitomassa total, indicada pelo valor de C.V. na Tabela 4, seja o mecanismo responsável pela menor correlação para BTS no espectro visível. Lembra-se que nesta faixa do espectro correlações negativas entre reflectância e fitomassa são esperadas, uma vez que é nela que ocorre a absorção da radiação eletromagnética pelos pigmentos fotossintetizantes. Como o resultado encontrado está demonstrando corretamente a participação da fitomassa no comportamento espectral de uma cobertura vegetal, pode-se atribuir as diferenças encontradas entre as correlações da reflectância espectral com BTS e BTF à estrutura destes dados.

Por outro lado, as correlações negativas observadas entre reflectâncias espectrais no IVP e a fitomassa total (fresca e seca), em princípio está em desacordo com o que é esperado. Como nesta faixa do espectro as folhas verdes apresentam alta reflectância, e sabendo que estas compreendem em média 43% da fitomassa total fresca e 36% da fitomassa total seca encontrada, esperava-se obter correlações positivas para BTF e BTS no IVP. O fato de aí se encontrar valores negativos de r deve ser devido à participação da fitomassa não-verde, à cobertura do solo e à presença de sombras no campo de visada do radiômetro. A primeira possui reflectância no IVP menor que a fitomassa verde devido à sua opacidade para o caso dos caules e à redução na quantidade de espaços intercelulares para o caso de folhas mortas. A sombra é resultante da rugosidade da estrutura espacial da comunidade do estrato rasteiro de Cerrado que está diretamente relacionada com

a fitomassa, o mesmo valendo para a cobertura do solo.

Em face destes fatores pode-se justificar as correlações negativas e o fato de que no IVP encontra-se coeficientes maiores em BTS do que em BTF. Este último ocorre porque a água retirada na secagem deve estar predominantemente presente na fitomassa verde, cujo papel no comportamento espectral da cobertura vegetal estudado no IVP é antagônico em relação ao comportamento encontrado.

Finalmente, numa análise conjunta dos dois correlogramas, ressalta-se que, em ambos, o valor absoluto do coeficiente de correlação tende a ser alto a medida que se desloca em direção ao vermelho ($\lambda = 600 - 700 \text{ nm}$). Secundariamente tem-se a região do IVP ($\lambda = 750 - 1050$) que também exibe um aumento na correlação, principalmente no caso da BTS.

Já a fitomassa verde apresenta no visível três bandas com alta correlação no VIS e uma no IVP, conforme pode ser constatado nas Figuras 19 e 20. Tanto BVF quanto BVS têm as melhores correlações negativas nas faixas de 475 nm, 625 nm e 700 nm e um pequeno máximo de correlação positiva em 850 nm.

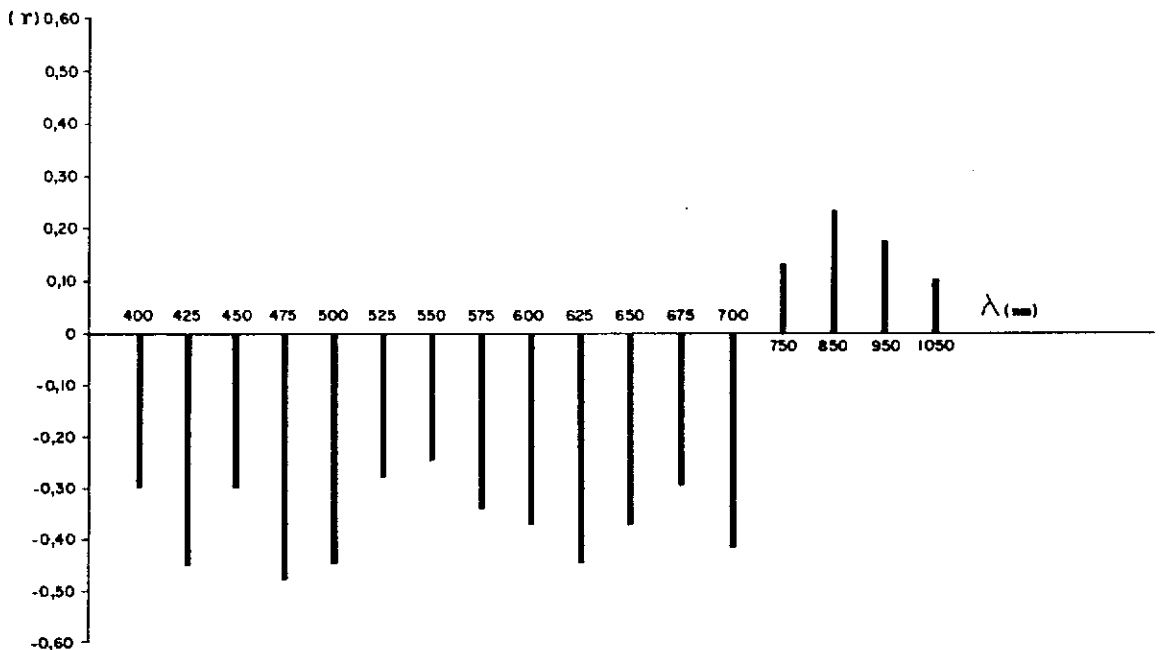


Fig. 19 - Correlograma da reflectância espectral e BVF.

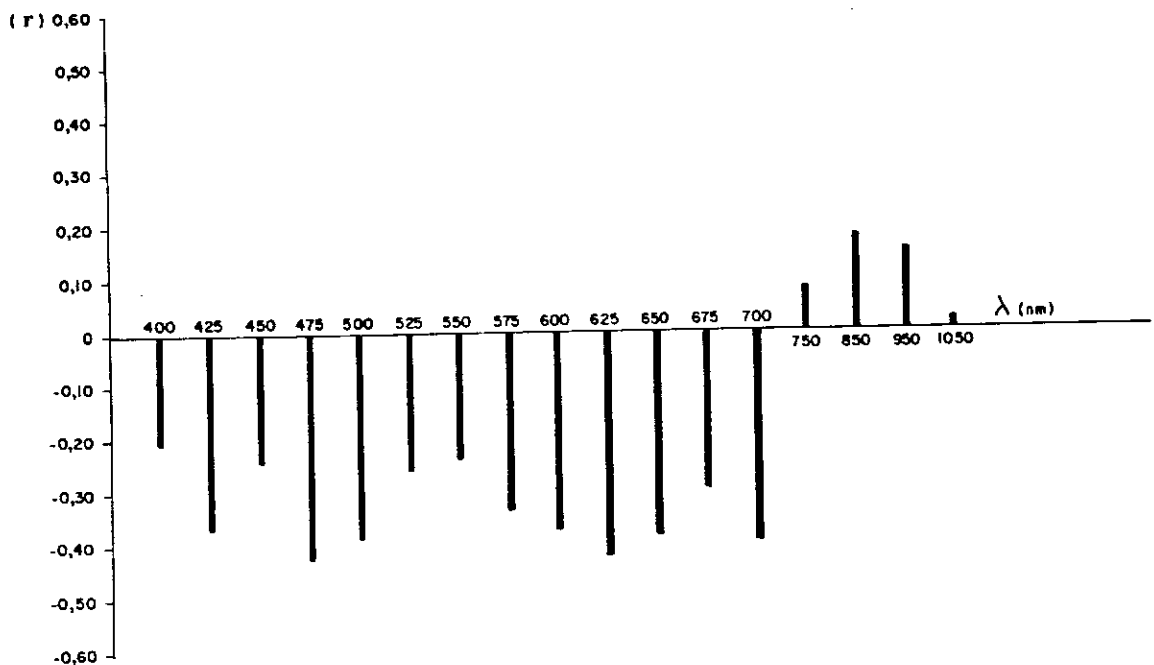


Fig. 20 - Correlograma da reflectância espectral e BVS.

Comparando-se as figuras 19 e 20 nota-se claramente que os comportamentos dos dois correlogramas são bastante semelhantes, o que, assim como o constatado para BTF e BTS, deve ser consequência da alta correlação entre BVF e BVS ($r = 0,98$), indicada na Tabela 5. Em geral, os coeficientes de correlação de BVF são maiores que os de BVS, porém com diferenças bem menores que as encontradas entre as correlações de fitomassa total, o que prejudica a análise de melhor desempenho de BVF em relação a BVS.

Pode-se discriminar nas figuras 19 e 20 três intervalos do espectro: um de 400 nm a 500 nm, outro de 525 a 700 nm e o terceiro correspondente ao IVP.

O primeiro intervalo, que corresponde ao azul, é a faixa do espectro onde a fitomassa verde absorve fortemente a radiação solar devido à ação conjunta da clorofila e dos pigmentos auxiliares, o que deve ser o fenômeno responsável pela alta correlação encontrada na faixa de 475 nm.

O segundo intervalo abrange o pico da reflectância de folhas verdes no visível, que ocorre em torno de 550 nm, e a faixa do

vermelho, onde a clorofila provoca uma forte absorbância nas folhas com um pico de 675 nm. As baixas correlações encontradas em 525 nm e 550 nm são atribuídas à referida baixa absorbância das folhas ali encontradas.

Já na faixa do vermelho ($\lambda = 600 - 700$ nm), o comportamento do coeficiente de correlação está em desacordo com o esperado. O fato de que a correlação aumenta gradativamente de 525 nm até 625 nm parece ser uma clara manifestação da absorbância causada pela clorofila, o que deveria ser mais acentuado nas faixas de 650 nm e 675 nm. A ocorrência de dois máximos de correlação negativa vizinhos a este intervalo onde há uma sensível redução no valor de r leva à suspeita de que problemas de calibração podem ter prejudicado as medidas nestas faixas.

As correlações positivas encontradas no infravermelho próximo são manifestações da alta reflectância da fitomassa foliar nesta faixa do espectro. O fato de os valores destas correlações serem baixos deve ser atribuído à interferência da fitomassa não verde, às sombras causadas pela cobertura vegetal e, principalmente, à alta reflectância que o solo apresenta no IVP. Esta, ilustrada na figura 8, provoca alta reflectância nas áreas com pouca fitomassa, mascarando a manifestação da fitomassa verde.

Para os parâmetros de teor de água, obteve-se correlogramas que, conforme pode ser observado nas Figuras 21 e 22, se comportam semelhantemente em TAT e TAV. Isto pode ser uma indicação de que a água presente na fitomassa total esteja predominantemente contida na fitomassa verde.

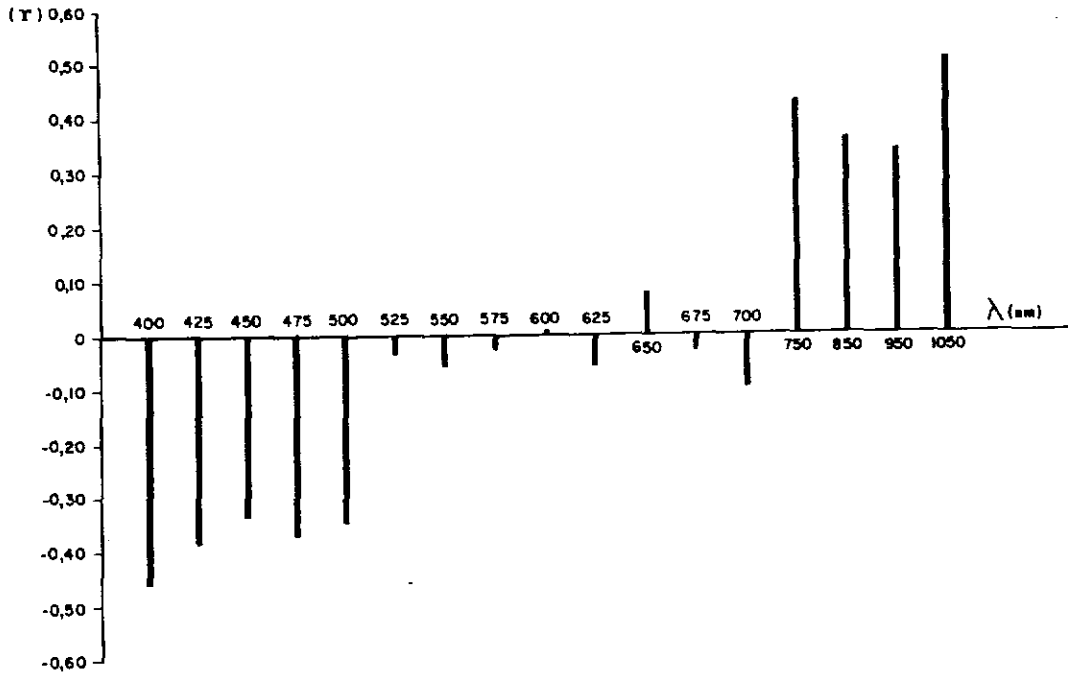


Fig. 21 - Correlograma da reflectância espectral e TAT.

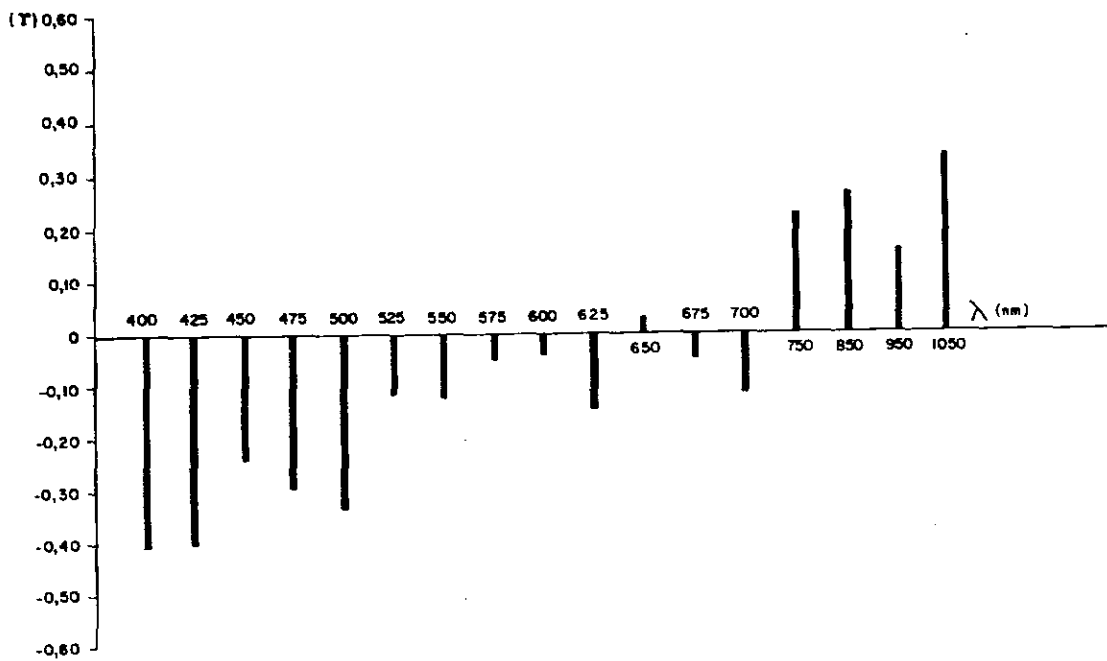


Fig. 22 - Correlograma da reflectância espectral e TAV.

Também neste caso têm-se três regiões do espectro com comportamento bastante distintos: uma região de correlação negativa, entre 400nm e 525nm, esta seguida de um intervalo onde a correlação é praticamente nula, que se estende de 550nm a 700nm e a terceira, correspondendo ao IVP, onde há correlação positiva entre os parâmetros de teor de água e as medidas radiométricas. Lembra-se que no intervalo de 400nm a 1050nm a água possui absorvância muito baixa e portanto o seu teor na cobertura vegetal se manifesta nos dados radiométricos de maneira indireta, ou seja, pelas propriedades óticas dos tecidos que contêm água.

Numa rápida análise das médias representadas na Tabela 4, tem-se que os 35,06% de TAT quando convertido para peso absoluto (TAT x BTF) corresponde a uma média de 262,49g de água por parcela. Analogamente encontra-se o valor de 147,88g de água presente na fitomassa verde por parcela. Tem-se portanto que a fitomassa verde contém em média 56,34% da água presente na cobertura vegetal. Por outro lado, relacionando BVS a BTS, encontra-se que, em termos de peso seco, a fitomassa verde compreende em média, apenas 35,17% da fitomassa total. Supõe-se então que as regiões do espectro que apresentam boa correlação com a fitomassa verde devem ser também apropriadas à quantificação do teor de água na cobertura vegetal.

Esta suposição encontra apoio nos resultados no que se refere às 1ª e 3ª regiões do espectro referidas para as Figuras 21 e 22 e está completamente em desacordo com os resultados encontrados na 2ª região espectral.

Na 2ª região tem-se baixíssimas correlações entre reflectância e teor de água enquanto que a fitomassa verde possui correlações comparáveis às encontradas com as faixas do azul. Supõe-se que a fitomassa não-verde e as sombras provoquem interferências na reflectância da cobertura vegetal em estudo capazes de mascarar a manifestação das folhas.

Esta interferência da fitomassa total portanto parece ser a responsável pela baixa correlação encontrada para os teores de água no intervalo de 525nm a 700nm, onde a fitomassa verde possui uma boa relação com os dados radiométricos. Por outro lado, a ausência da manifestação da fitomassa total na faixa de 400nm resultou em um alto valor do coeficiente de correlação da reflectância espectral e os teores de água.

No infravermelho próximo os valores destes coeficientes de correlação são surpreendentemente altos quando comparados com os encontrados para fitomassa verde no mesmo setor do espectro. Sugere-se que no IVP a relação entre teor de água e reflectância espectral seja também manifestação do comportamento antagônico que se observa entre fitomassa total e teor de água, evidenciado pelas correlações negativas que estes parâmetros apresentam na Tabela 5. Reduções na fitomassa total redundam em maiores teores de água segundo a Tabela 5 e, em maiores reflectâncias no IVP, conforme consta na Tabela 6. Naturalmente este mecanismo leva às altas correlações positivas entre TAT e TAV e a reflectância no IVP.

4.4 - CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PARÂMETROS DA COBERTURA VEGETAL

Os índices de vegetação (I.V.) propostos para análise neste trabalho são combinações de duas medidas de reflectância que devem se comportar inversamente em função do parâmetro a que ele é destinado a indicar. Como visto na introdução, os índices de vegetação descrevem a diferença entre estas duas medidas. Eles são portanto adequados à combinação de uma medida de reflectância positivamente correlacionada com o parâmetro em questão com outra negativamente correlacionada. Por este motivo, não se apresenta índices de vegetação para estimar fitomassa total fresca e seca. Uma tentativa de se gerar IVs para estes parâmetros através da adição sucessiva das 4 medidas de reflectância melhor correlacionadas se revelou infrutífera.

Para os parâmetros de fitomassa verde e os de teor de água se calculou 4 índices combinando as respectivas medidas de reflectância espectral com melhor correlação positiva, abaixo referida como A, com a melhor correlação negativa (B). A e B selecionados para os índices de fitomassa verde são respectivamente as reflectâncias em 850nm e em 475nm e para os índices de teor de água estas bandas são as de 1050nm e de 400nm.

Os quatro índices calculados são a razão simples (R), a diferença (D), a diferença normalizada (DN) e a diferença normalizada transformada (DNT), sendo que:

$$R = \frac{A}{B}$$

$$D = A - B$$

$$DN = \frac{A - B}{A + B}$$

$$DNT = \sqrt{\frac{A - B}{A + B} + 0,5}$$

Os Índices obtidos para fitomassa verde são apresentados na Tabela 7 e os Índices de vegetação para teor de água estão na Tabela 8.

TABELA 7

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA FITOMASSA VERDE (850nm e 475nm)

R	D	DN	DNT	
11.87	26.78	0.84	1.16	
6.32	18.13	0.73	1.11	
11.88	22.97	0.84	1.16	
7.84	29.85	0.78	1.13	
5.84	20.82	0.71	1.10	
7.35	23.43	0.76	1.12	
11.87	28.91	0.84	1.16	
11.81	33.58	0.84	1.16	
5.83	34.33	0.81	1.15	
9.27	22.41	0.81	1.14	
10.81	33.46	0.83	1.15	
7.65	25.46	0.77	1.13	
10.81	28.46	0.82	1.15	
10.40	28.58	0.82	1.15	
5.41	22.11	0.69	1.09	
6.31	24.65	0.73	1.11	
7.07	27.15	0.75	1.12	
7.85	27.32	0.76	1.12	
5.41	23.88	0.69	1.09	
6.85	18.25	0.73	1.11	
6.86	22.12	0.74	1.11	
8.88	19.03	0.79	1.14	
7.84	21.83	0.77	1.13	
5.82	20.65	0.70	1.09	
9.27	28.21	0.81	1.14	
5.81	18.62	0.67	1.08	
7.85	26.45	0.77	1.13	
7.88	30.47	0.75	1.12	
9.82	35.67	0.81	1.15	
4.84	19.71	0.65	1.07	
8.59	25.88	0.79	1.14	
6.31	22.82	0.73	1.11	
5.84	19.28	0.71	1.10	
6.82	19.85	0.74	1.12	
8.59	25.88	0.79	1.14	
7.94	25.60	0.78	1.13	
6.85	22.98	0.74	1.11	
7.95	23.71	0.78	1.13	
7.35	23.43	0.76	1.12	
5.85	15.32	0.71	1.10	
4.84	14.50	0.65	1.07	
5.81	18.62	0.67	1.08	
6.82	19.85	0.74	1.12	
7.85	18.61	0.76	1.12	
6.81	21.43	0.74	1.12	
5.81	15.97	0.67	1.08	
5.85	16.54	0.71	1.10	
\bar{X}	7,54	23,69	0,75	1,12
DP	1,97	5,13	0,05	0,02
CV	0,26	0,22	0,07	0,02

TABELA 8

INDICES DE VEGETAÇÃO PARA TEOR DE ÁGUA (850nm e 400nm)

R	D	DN	DNT	
15.83	27.44	0.88	1.18	
10.72	19.39	0.82	1.15	
17.82	23.71	0.89	1.18	
12.80	31.44	0.85	1.16	
9.27	22.41	0.81	1.14	
12.61	24.97	0.85	1.16	
20.81	30.04	0.90	1.19	
13.81	34.16	0.86	1.17	
18.81	36.24	0.90	1.18	
15.80	23.54	0.88	1.18	
17.81	34.80	0.89	1.18	
12.57	26.56	0.85	1.16	
12.60	29.11	0.85	1.16	
18.49	29.91	0.90	1.18	
8.24	23.83	0.78	1.13	
8.90	26.00	0.80	1.14	
10.01	28.46	0.82	1.15	
10.79	28.69	0.83	1.15	
10.00	26.36	0.82	1.15	
8.58	19.03	0.79	1.14	
11.20	23.77	0.84	1.16	
12.60	19.83	0.85	1.16	
12.14	23.05	0.85	1.16	
9.27	22.41	0.81	1.14	
13.57	29.29	0.86	1.17	
9.27	20.75	0.81	1.14	
14.15	28.28	0.87	1.17	
12.11	32.55	0.85	1.16	
15.86	37.30	0.88	1.18	
10.01	22.61	0.82	1.15	
10.81	26.58	0.83	1.15	
9.26	24.19	0.80	1.14	
9.27	20.75	0.81	1.14	
11.83	21.26	0.84	1.16	
12.10	26.87	0.85	1.16	
11.87	26.78	0.84	1.16	
9.26	24.19	0.80	1.14	
10.01	24.41	0.82	1.15	
10.39	24.51	0.82	1.15	
10.81	16.77	0.83	1.15	
7.36	15.57	0.76	1.12	
22.37	22.22	0.91	1.19	
7.36	20.10	0.76	1.12	
10.77	19.54	0.83	1.15	
7.37	21.71	0.76	1.12	
5.85	16.54	0.71	1.10	
8.56	17.62	0.79	1.14	
\bar{X}	11,90	25,03	0,83	1,15
DP	3,62	5,15	0,04	0,02
CV	0,30	0,21	0,05	0,02

Pode-se observar nas Tabelas 7 e 8 o efeito da normalização sobre o coeficiente de variação dos índices que com a sua aplicação se reduzem de uma a duas ordens de grandeza.

A análise de correlação linear realizadas entre estes índices e os respectivos parâmetros da vegetação resultou em coeficientes de correlação maiores que os encontrados na análise com as medidas radiométricas individualizadas. Isto pode ser constatado na Tabela 9.

TABELA 9

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E
PARÂMETROS DA COBERTURA VEGETAL

<u>ÍNDICE</u> <u>PARVEG</u>	R	D	DN	DNT
BVF	0,55	0,31	0,56	0,55
BVS	0,46	0,24	0,48	0,48
TAT	0,49	0,41	0,61	0,59
TAV	0,46	0,32	0,48	0,48

Numa inspeção do conjunto apresentado na Tabela 9 tem-se, em geral, a DN como o índice com melhor correlação e a D com o pior, sendo que o desempenho da DN é igualado por DNT para os casos de fitomassa verde. Exceto para TAT os coeficientes de correlação obtidos em R são bastante próximos aos de DN e DNT.

Com os valores dos coeficientes de correlação obtidos em BVF e BVS construiu-se os gráficos de barra apresentados na Figura 23.

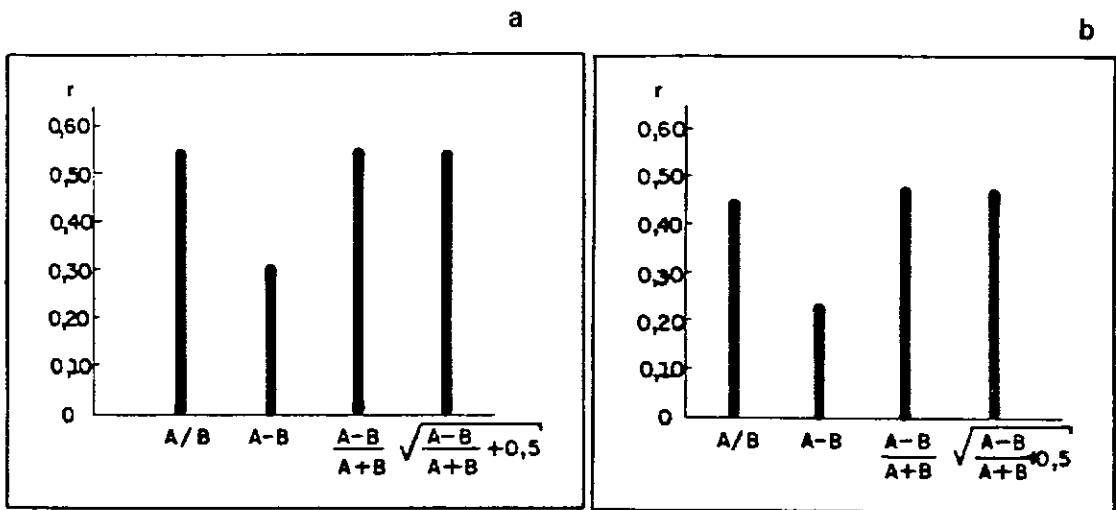


Fig. 23 - Correlações entre Índices de vegetação e fitomassa verde.
(a = BVF, b = BVS).

Comparando os gráficos apresentados nas Figuras 23-a e 23-b observa-se que as correlações são menores em BVS, porém mantendo a mesma relação entre si que a que se verifica em BVF. Considera-se que as baixas correlações obtidas com a fitomassa seca seja consequência da redução da correlação entre reflectância espectral e fitomassa verde que se dá após a secagem do material, comentada na análise das Figuras 19 e 20. Já a manutenção da mesma relação entre os coeficientes de correlação de BVF e de BVS deve ser decorrência do alto grau de correlação verificado entre estes dois parâmetros (Tabela 5).

Selecionou-se os conjuntos BVF x DN e BVS x DN para a elaboração de gráficos de dispersão contendo as retas de regressão a fim de ilustrar estas relações e permitir a avaliação dos seus graus de aderência. Estes gráficos estão apresentados na Figura 24.

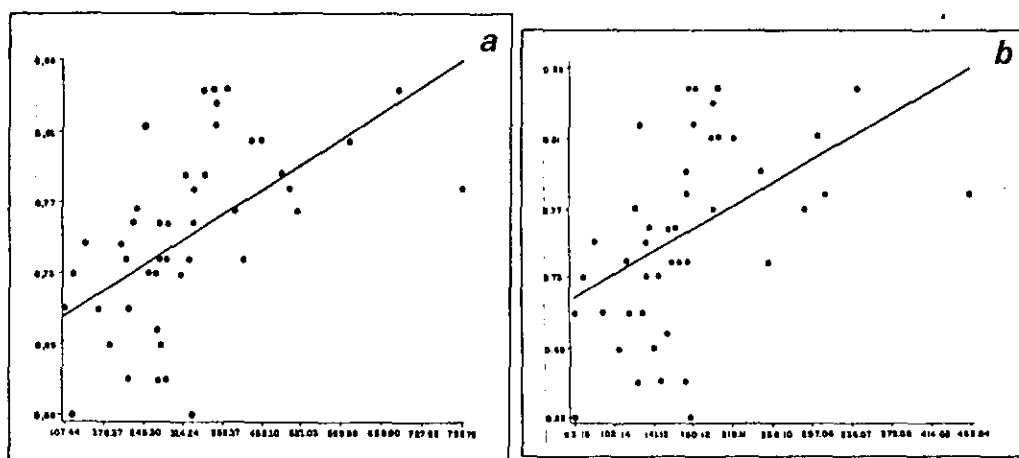


Fig. 24 - Retas de regressão entre índices de vegetação e fitomassa verde (a = BVF, b = BVS).

Nota-se claramente pela comparação das Figuras 24-a e 24-b que a secagem da fitomassa verde provoca uma concentração de pontos com baixo valor de fitomassa o que diminui a aderência destes à reta levando à redução do coeficiente de determinação de $r^2 = 0,31$ para $r^2 = 0,23$.

Ressalta-se que as dispersões dos pontos encontradas nas Figuras 24-a e 24-b não configuram o comportamento assintótico característico de coberturas vegetal com altos valores de fitomassa. Conclui-se por isto que a cobertura vegetal analisada está dentro do intervalo ideal para a quantificação de fitomassa por técnicas de radiometria, e que as baixas correlações verificadas neste trabalho são decorrências da diversidade florística e estrutural desta cobertura e da interferência do solo no seu comportamento espectral.

Os coeficientes de correlação obtidos para os parâmetros de teor de água foram utilizados na elaboração de gráficos semelhantes aos da Figura 23 e que estão apresentados na Figura 25.

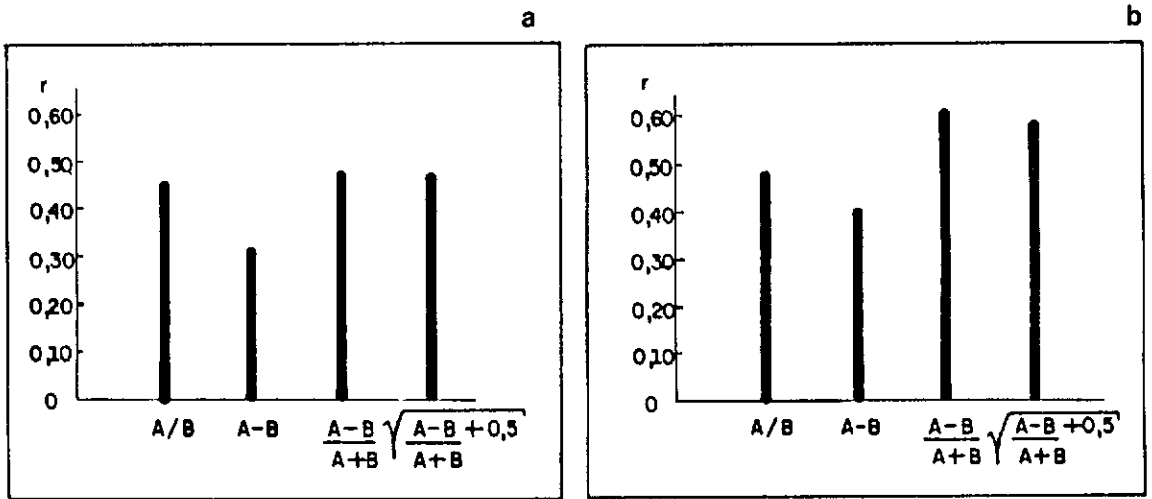


Fig. 25 - Correlações entre índices de vegetação e teor de água (a = TAT, b = TAV).

Pode-se observar na Figura 25-a que os índices normalizados têm desempenho superior que os demais, sendo que a correlação entre TAT e DN é a melhor correlação entre dado radiométrico e parâmetro da vegetação verificada neste trabalho ($r = 0,61$). Os coeficientes de correlação encontrados em TAV (Figura 25-b) se comportam de modo semelhante que os obtidos para fitomassa total com R, DN e DNT com correlações comparáveis com pequena superioridade dos índices normalizados.

Tem-se então que a normalização gera índices substancialmente melhores apenas para a detecção de TAT, ou melhor, de seu indicador, conforme comentado anteriormente

As retas de regressão obtidas em TAT e TAV e a dispersão dos pontos estão apresentadas na Figura 26.

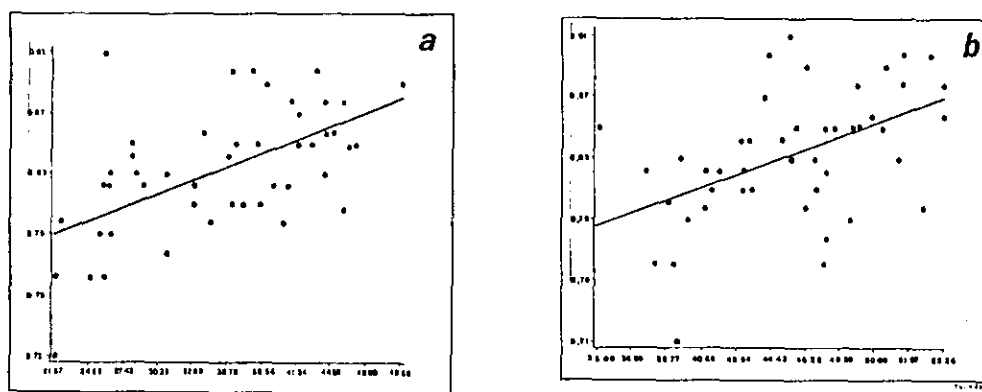


Fig. 26 - Retas de regressão entre índices de vegetação e teor de água (a = TAT, b = TAV).

Observa-se na Figura 26-a que os pontos se dispõem em torno da reta de regressão de modo regular no intervalo de variação de TAT. Já em TAV tem-se uma concentração de pontos com valores altos. Estes comportamentos são reflexos diretos da distribuição destes parâmetros indicada na Figura 10, indicando que a distribuição de um dado parâmetro pode ser determinante à sua detectabilidade por meios radiométricos.

A análise das correlações entre os índices de vegetação e os parâmetros da cobertura vegetal levou a algumas sugestões interessantes, derivadas a partir do efeito da normalização dos índices sobre o seu desempenho.

Considera-se que a principal vantagem que os índices normalizados apresentam em relação aos índices de razão, é a redução dos efeitos dos componentes do complexo solo-vegetação que atuam na sua reflectância do mesmo modo em todas as medidas.

Uma extensão desta pesquisa seria necessário para verificar quais componentes se comportam com regularidade na reflectância de uma cena produzida pelo estrato rasteiro do Cerrado nas bandas consideradas. Porém, mesmo sem as suas identificações, pode-se afirmar, a partir dos resultados deste trabalho, que a detecção da fitomassa verde e do seu teor de água independe da ação destes componentes, uma vez que os valores dos coeficientes de correlação de R, DN e DNT são semelhantes em BVF, em BVS e, em menor grau, em TAV. Isto pode indicar que nas faixas de 475 nm e 850 nm a fitomassa verde tem uma participação dominante na reflectância da cobertura vegetal estudada. Pode-se concluir o mesmo para o indicador de TAV nas faixas de 400 nm e 1050nm. Nenhuma consideração sobre a natureza deste indicador pode ser extraída deste resultado.

Já o incremento nas correlações obtidas em TAT com os índices normalizados quando comparadas à obtida com R demonstra que a participação do indicador de TAT na reflectância do estrato rasteiro do Cerrado, nas faixas de 400 nm e 850 nm, é perturbado pelos demais componentes da cena que têm participação regular na sua reflectância.

Sabendo que a fitomassa total apresenta correlações negativas com a reflectância por todo o espectro investigado, pode-se supor que ela seja um destes elementos de comportamento regular. Combinando esta suposição como fato de que é na fitomassa verde que a maior parte do teor de água está presente, chegou-se à sugestão de que o indicador de TAT esteja vinculado simultaneamente a estes dois parâmetros.

A fim de verificar esta possibilidade, avaliou-se a correlação entre TAT e a proporção de fitomassa verde (PFV) presente na fitomassa total, em termos de peso fresco, que é dada por:

$$PFV = \frac{BVF}{BTF} \times 100$$

A Figura 27 exibe o gráfico de dispersão obtido entre PFV e TAT e a reta da regressão entre estes dois parâmetros.

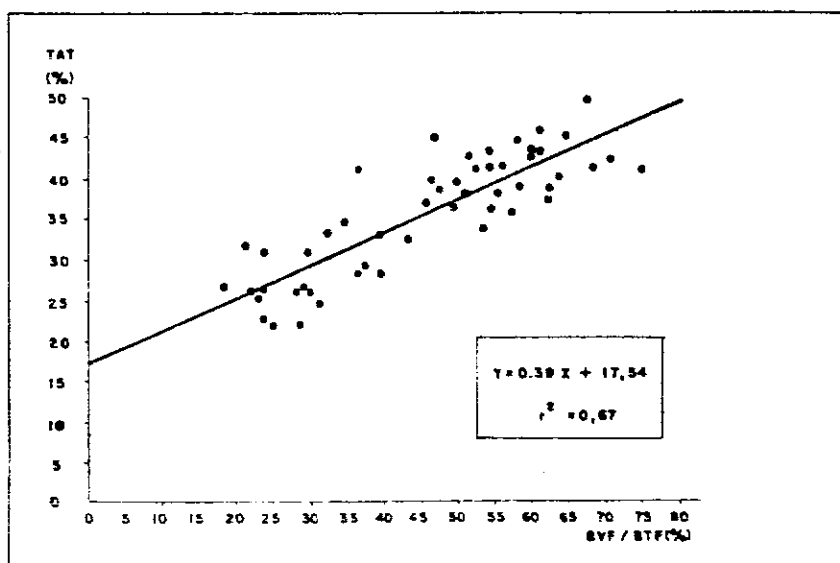


Fig. 27 - Reta de regressão entre PFV e TAT.

O coeficiente de correlação calculado entre PFV e TAT é de 0,82 o que é realmente uma confirmação de que TAT está sendo indicado não pela fitomassa verde em seu valor absoluto mas sim pela sua proporção na fitomassa total.

Novamente depara-se com a necessidade de se estender a pesquisa com um enfoque analítico, avaliando separadamente o comportamento espectral da fitomassa verde, da fitomassa morta, do solo e das áreas sombreadas, para que se possa determinar que variável ou combinação de variáveis está sendo detectada não só em TAT mas também nos demais parâmetros da vegetação.

Resultados de estudos deste tipo poderiam alimentar modelos de reflectância espectral de coberturas vegetais. Uma vez validado um modelo para determinado tipo de comunidade vegetal poder-se-á invertê-lo e determinar, de modo confiável, parâmetros estruturais desta comunidade, e de sua condição fisiológica, a partir de medidas radiométricas.

4.5- ANÁLISE DOS DADOS AGRUPADOS

4.5.1- REFLECTÂNCIA ESPECTRAL

Os valores de média (\bar{x}) e coeficiente de variação da reflectância espectral calculada para os 9 pontos amostrais em que se coletou dados de fitomassa e de reflectância estão apresentados na tabela 10.

Observa-se que, exceto para o ponto UnB-1, tem-se, em geral, coeficientes de variação oscilando em torno de 20% podendo em alguns casos atingir valores superiores à unidade. Considera-se isto uma indicação de alta variabilidade do comportamento da reflectância espectral, o que sugere a necessidade de se desenvolver um critério para definição de área mínima para amostragem, apropriada à obtenção de medidas radiométricas.

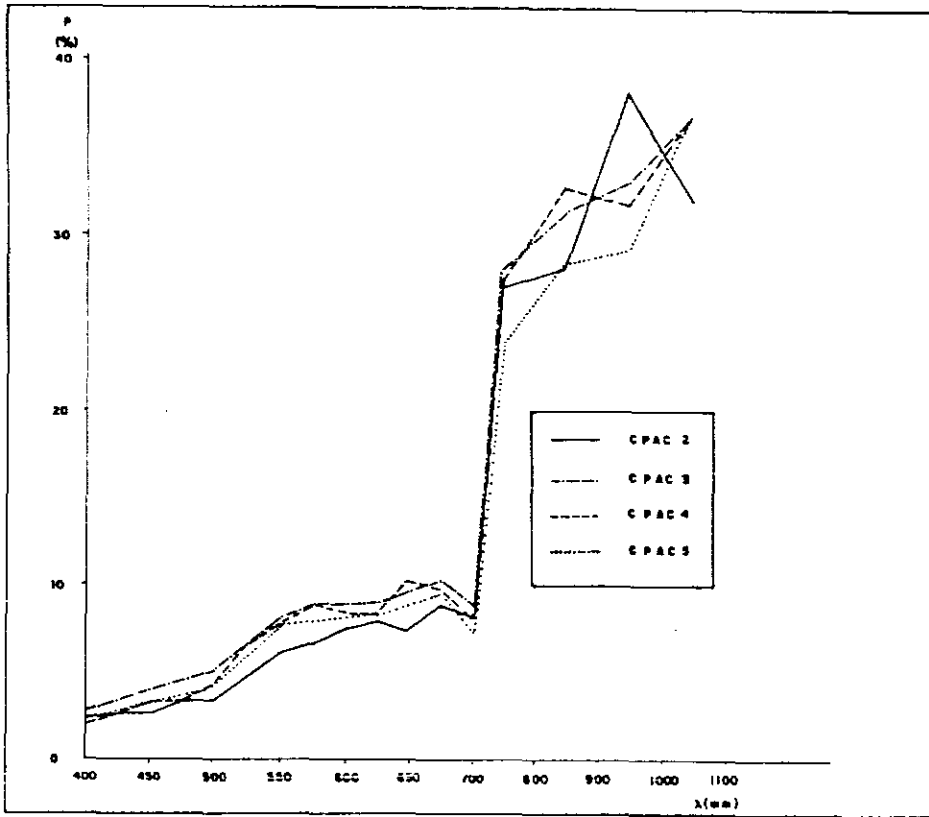
Os valores de média da Tabela 10 foram utilizados na elaboração de gráficos de reflectância espectral, sendo que, para evitar a confusão entre as curvas, elas foram arbitrariamente separadas em 2 grupos.

Estes gráficos estão apresentados na Figura 28.

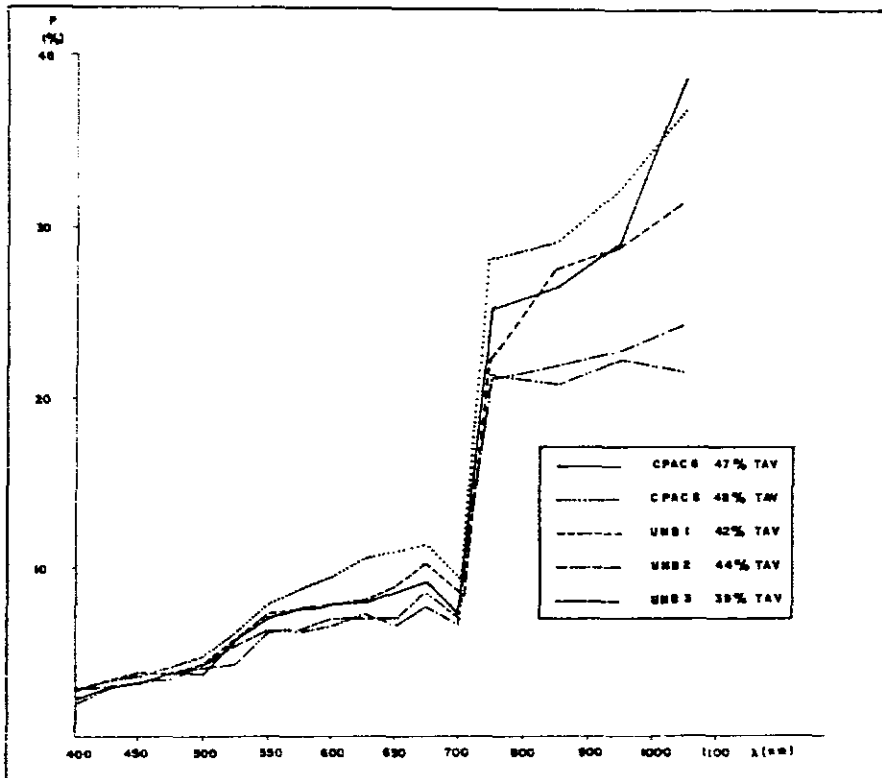
TABELA 10

MÉDIAS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DOS PONTOS AMOSTRAIS

P _λ %	CPAC-2		CPAC-3		CPAC-4		CPAC-5		CPAC-6		CPAC-8		UnB-1		UnB-2		UnB-3		S	CV	
	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV	\bar{x}	CV			
400	2,3	0,29	2,3	0,21	2,1	0,19	2,9	0,12	2,3	0,18	2,6	0,12	2,7	0,06	2,1	0,32	2,7	0,24	2,4	0,27	0,11
425	2,6	0,31	2,9	0,23	2,7	0,29	3,5	0,15	2,9	0,21	3,4	0,23	3,3	0,08	2,8	0,16	3,0	0,30	3,0	0,30	0,10
450	3,6	0,12	3,1	0,18	3,3	0,35	4,0	0,18	3,2	0,21	3,6	0,17	3,8	0,05	3,6	0,25	3,2	0,30	3,4	0,28	0,08
475	3,4	0,38	3,6	0,21	3,4	0,13	4,4	0,15	3,8	0,21	4,1	0,18	3,7	0,08	3,8	0,14	3,4	0,11	3,7	0,32	0,09
500	3,4	0,20	4,2	0,16	4,2	0,17	5,1	0,15	3,7	0,45	4,8	0,21	4,3	0,08	4,0	0,14	4,3	0,19	4,2	0,48	0,12
525	4,8	0,27	6,1	0,14	6,5	0,17	6,7	0,18	5,8	0,20	6,2	0,16	5,7	0,06	4,2	0,18	5,4	0,41	5,7	0,76	0,13
550	6,2	0,22	7,7	0,12	7,9	0,19	8,1	0,17	7,0	0,18	7,9	0,18	7,3	0,08	6,1	0,04	6,3	0,16	7,2	0,75	0,10
575	6,7	0,12	8,0	0,16	8,9	0,13	8,8	0,21	7,7	0,19	8,8	0,14	7,6	0,07	6,2	0,18	6,2	0,12	7,7	1,00	0,13
600	3,6	0,27	8,2	0,16	8,5	0,21	8,8	0,14	7,9	0,22	9,60	0,15	7,8	0,09	7,0	0,24	6,6	0,25	8,1	0,87	0,11
625	7,9	0,30	8,2	0,16	8,5	0,21	9,0	0,16	7,9	0,28	10,6	0,17	8,0	0,10	6,9	0,25	7,2	0,23	8,2	1,02	0,12
650	7,5	0,21	9,0	0,21	10,3	0,10	9,8	0,18	8,5	0,29	11,0	0,11	8,9	0,10	6,9	0,24	6,6	0,21	8,7	1,43	0,16
675	8,9	0,34	9,6	0,16	9,7	0,21	10,3	0,13	9,2	0,19	11,5	0,14	10,3	0,16	8,5	0,31	7,7	0,24	9,6	1,05	0,11
700	8,5	0,34	7,6	0,17	8,2	0,20	9,0	0,19	7,3	0,25	9,5	0,12	8,6	0,01	7,0	0,21	6,6	0,12	8,0	0,91	0,11
750	27,0	0,31	27,9	0,33	27,4	0,15	23,9	0,16	25,9	0,13	28,2	0,11	22,4	0,08	21,4	0,61	21,2	0,01	25,0	2,66	0,11
850	28,0	0,18	31,3	0,17	32,4	0,14	28,2	0,12	26,6	0,14	29,1	0,20	27,7	0,04	20,9	0,13	22,0	0,10	27,4	3,64	0,13
950	38,2	0,20	33,0	0,17	31,7	0,16	29,2	0,15	29,2	0,14	32,0	0,13	28,9	0,12	22,3	0,17	22,9	0,13	29,7	4,65	0,16
1050	32,0	0,13	36,7	0,17	36,7	0,17	37,5	1,30	38,8	1,06	37,0	0,07	31,6	0,08	21,7	0,06	24,5	0,12	32,3	5,69	0,18



a



b

Fig. 28 - Curvas das reflectâncias espectrais dos pontos amostrais.

Pode-se observar que todas as curvas apresentam uma forma característica, ou seja, forte absorção nas faixas do visível em oposição a uma forte reflectância nas faixas do infra-vermelho próximo.

Entretanto, todas as curvas apresentam uma acentuada depressão na faixa centrada nos 700 nm. Como as clorofilas presentes na fitomassa fotossinteticamente ativa absorve radiação na faixa 630-690 nm é de se esperar que esta depressão ocorresse nas faixas centradas nos 650 ou 675 nm.

Comparando-se estas curvas com aquelas apresentadas na figura 8, tem-se certeza de que estas curvas referem-se de fato às reflectâncias espectrais devidas a vegetação uma vez que na faixa 700 nm os solos predominantes em Cerrados apresentam cerca de 20% de reflectância enquanto que as medidas obtidas neste trabalho estão entre 8 e 10% de reflectância. Além do mais, as curvas de solo não apresentam nenhuma depressão na faixa dos 700 nm.

4.5.2- FITOMASSA

Calculou-se as médias e coeficientes de variação dos dados de fitomassa dos nove pontos. Os resultados estão na Tabela 11.

TABELA 11

MÉDIAS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DA FITOMASSA DOS PONTOS AMOSTRAIS

Pontos	BTF	CV	BTS	CV	BVF	CV	BVS	CV
CPAC-2	512	0,52	289	0,42	337	0,55	178	0,48
3	553	0,31	331	0,31	303	0,37	160	0,36
4	649	0,36	388	0,34	341	0,24	167	0,21
5	759	0,25	550	0,25	228	0,31	125	0,28
6	675	0,32	393	0,28	387	0,40	205	0,38
8	510	0,44	306	0,37	267	0,40	139	0,35
UnB- 1	1085	0,23	726	0,22	472	0,50	274	0,50
2	955	0,23	696	0,24	233	0,31	130	0,24
3	1029	0,21	772	0,23	284	0,28	173	0,28

Neste conjunto de dados observa-se que o C.V. mais alto (0,52), também corresponde ao ponto CPAC-2, que ainda pode ser considerado baixo.

4.5.3- ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Supondo que a absorção registrada nas 9 curvas de reflectância, na faixa dos 700 nm, seja devida as clorofilas presentes na vegetação estudada, procedeu-se ao cálculo dos índices de vegetação utilizando as reflectâncias médias dos 9 pontos nas faixas 700 e 850 nm. Os índices calculados são R e DNT, sendo que este último corresponde ao TVI citado em Pereira (1986). Estes índices foram então relacionados com os TAT, TAV e a proporção de fitomassa verde (PFV) dos 9 pontos amostrais.

Os valores de TAT, TAV e PFV foram calculados a partir dos dados da Tabela 11, sendo que:

$$\overline{TAT} = \frac{BTF - BTS}{BTF}, \quad \overline{TAV} = \frac{BVF - BVS}{BVF} \quad e$$

$$PFV = \frac{BVF}{BTF} \times 100$$

Na Tabela 12 apresenta os parâmetros acima mencionados bem como os resultados das análises de regressão entre \overline{TAT} , \overline{TAV} e os índices R e DNT e PFV e DNT.

TABELA 12

VALORES DE REFLECTÂNCIA, ÍNDICES DE VEGETAÇÃO, TEOR DE ÁGUA E MELHORES RESULTADOS DA ANÁLISE REGRESSIVA

Ponto	% Reflectância Média		Índices de Vegetação		PFV (%)	\overline{TAT} (%)	\overline{TAV} (%)
	700 nm	850 nm	R	DNT			
CPAC-2	8,3	28,0	3,4	1,24	66	44	47
3	7,6	31,3	4,1	1,28	55	40	47
4	8,2	32,4	3,9	1,27	53	40	51
5	9,0	28,2	3,1	1,22	30	28	45
6	7,3	26,6	3,6	1,25	57	42	47
8	9,5	29,1	3,1	1,21	52	40	48
UnB- 1	8,6	27,7	3,2	1,22	43	33	42
2	7,0	20,9	3,0	1,21	24	27	44
3	6,6	22,0	3,3	1,23	28	25	39

R x TAT	$r^2=0,34$	$b=-1,02$	$a=10,73$	$r=0,58$
R x TAV	$r^2=0,21$	$b=49,51$	$a=-0,94$	$r=0,46$
DNTxTAV	$r^2=0,30$	$b=-155,60$	$a=154,49$	$r=0,55$
DNTxTAT	$r^2=0,53$	$b=36,98$	$a=7,62$	$r=0,73$

Aqui nos dados agrupados também o teor de água apresenta melhor desempenho entre o parâmetro de fitomassa e o DNT entre os índices. Entretanto, houve uma sensível melhora nos coeficientes de determinação em relação aos resultados das 56 parcelas.

Com a finalidade de observar se o teor de água encontrado está de fato relacionado com a fitomassa verde, correlacionou-se linearmente os valores de \overline{TAT} e \overline{PFV} da Tabela 12.

O resultado desta análise pode ser vista no gráfico de dispersão da Figura 29 onde se observa um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,96$) bastante superior ao observado na Figura 27 que mostra \overline{TAT} x \overline{PFV} para as 56 parcelas amostradas.

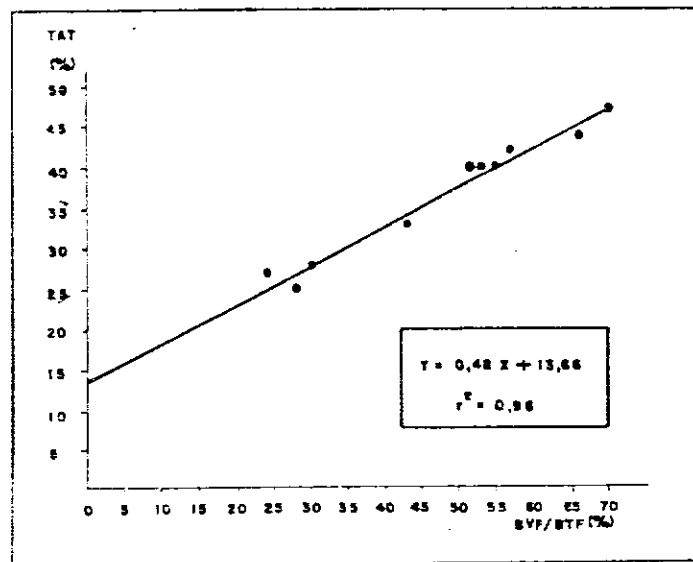


Fig. 29 - Gráfico de dispersão entre \overline{TAT} x \overline{PFV} .

Como o resultado dos pontos se sobressaem aos das parcelas tanto nas análises anteriores como nesta, pode-se inferir que ao se analisar a fitomassa com sua resposta espectral obtida por radiometria em um elemento amostral do tamanho do diâmetro obtido por um ângulo de abertura de 10^0 e uma altura de aproximadamente 1,70 m ,

como foi o caso deste trabalho, dá-se excessiva ênfase a parâmetros perturbadores, tais como solo nu, vegetação morta e sombreamento. Fica aqui a sugestão de se estudar qual vem a ser a altura ideal para se efetuar medidas radiométricas no campo não só nestas comunidades vegetais, mas em outras também.

5. CONCLUSÕES

- As curvas de reflectância obtidas nas parcelas e nos dados agrupados apresentam o comportamento típico de coberturas vegetais: baixa reflectância no visível, com dois mínimos no azul e no vermelho e alta reflectância no infravermelho próximo. Pode-se portanto afirmar que a cobertura vegetal é o fator dominante no comportamento da reflectância espectral do alvo estudado.
- O deslocamento da depressão da reflectância da faixa de 650-675 nm para a de 700 nm pode ser decorrência de má calibração do radiômetro utilizado ou de interferência de outros fatores nesta faixa espectral. Supõe-se que o solo seja o possível responsável por esta interferência e sugere-se um estudo para averiguar esta anomalia no comportamento encontrado.
- Os pontos amostrais apresentam reflectância espectral com Coeficiente de Variação interno (considerando as parcelas que os compõem) bastante variável, oscilando de 0,06 a 1,30. Sabendo que entre estes pontos o C.V. oscila entre 0,8 e 0,18, tem-se que o estrato rasteiro do Cerrado apresenta alta variabilidade de alta frequência espacial e baixa variabilidade de baixa frequência espacial. Prevê-se como implicação direta deste comportamento uma dificuldade na utilização de sistemas sensores de alta resolução espacial como o TM-LANDSAT e o SPOT para a caracterização e o monitoramento desta cobertura vegetal. Pelos mesmos motivos considera-se apropriada a utilização de sistemas sensores de baixa resolução espacial para o monitoramento das condições ecofisiológicas e de fitomassa verde do segmento do Cerrado analisado, respeitando, naturalmente, as limitações de escala.
- A fitomassa total das parcelas variou de 273 g/m² a 1384 g/m² sendo que quando se considera este resultado agrupado por ponto amostral tem-se este intervalo reduzido para o de 512 g/m² a 1085 g/m². Comparando estes resultados agrupados com os obtidos em Pereira (1986) em que estes variam de 298 g/m² a 808 g/m², conclui-se que o esforço de seleção de amostras não resul

tou no melhoramento esperado na dispersão dos valores de fitomassa. Atribui-se este fracasso à homogeneidade da cobertura em estudo, referida no parágrafo anterior.

- Nas parcelas foram encontrados valores de TAT entre aproximadamente 22% e 50%, que, quando agrupados por ponto amostral, situam-se entre 25% e 44%. Esta pequena redução na amplitude pode ser indicativo de que TAT representa as comunidades vegetais melhor do que os parâmetros de fitomassa.
- Considerando que, conforme discutido na análise da Tabela 4, há evidência de que TAT é condicionado principalmente pela fitomassa verde, conclui-se que este parâmetro seja o que melhor caracteriza as comunidades estudadas e que a fitomassa não verde prejudica esta caracterização.
- Esta perturbação da fitomassa não-verde na caracterização da comunidade vegetal está espelhada nas correlações negativas encontradas entre a fitomassa total e a reflectância espectral nas faixas do infravermelho próximo. Supõe-se dois mecanismos que possam atuar para esta relação: 1) aumento no percentual de área com sombra em função do aumento da fitomassa, o que implicaria em menor reflectância do tipo de cobertura estudada; 2) menor reflectância da fitomassa não verde no infravermelho próximo em relação ao solo e à fitomassa verde. A determinação do papel de cada um destes mecanismos na reflectância do estrato rasteiro do Cerrado, que aqui se sugere como extensão deste trabalho, será de grande importância na validação de sistemas de sensoriamento remoto para o monitoramento das condições da cobertura vegetal do Cerrado.
- Uma vez que a fitomassa total e a proporção de fitomassa verde encontrada no estrato rasteiro do Cerrado são parâmetros dependentes da ocorrência de queimadas, sugere-se complementar o estudo acima proposto com a análise do impacto da queimada no comportamento da reflectância espectral do Cerrado. Supõe-se que o histórico recente de uma área de Cerrado seja um aspecto determinante nas relações entre parâmetros vegetacionais e reflectância espectral.

- Por apresentar correlações negativas com a reflectância espectral em praticamente todas as bandas analisadas, considera-se que a fitomassa total não é um parâmetro para ser estimado através dos índices de vegetação analisados. Sugere-se que a sua estimativa deva ser feita com o uso de medidas de reflectância espectral obtidas no intervalo de 550 nm a 700 nm, no qual se encontrou as melhores correlações entre estas medidas e a fitomassa total.
- Por outro lado a fitomassa verde e demais parâmetros da vegetação por ela indicada, se mostraram passíveis de serem quantificadas através de índices de vegetação. Se encontrou correlações positivas entre fitomassa verde e reflectância espectral no IVP e negativa no espectro visível, o que está de acordo com o que se espera do comportamento das folhas. Estas correlações são baixas devido à interferência causada pelos demais componentes da fitomassa. Apesar disto, considera-se como encorajadora a aplicabilidade de índices de vegetação derivados de satélites de recursos naturais e meteorológicos ao monitoramento das condições ambientais do Cerrado, uma vez que o estrato rasteiro responde de modo direto e bastante rápido a variáveis ambientais, especialmente à disponibilidade de água.
- Os resultados obtidos para os teores de água na vegetação apoiam esta consideração. O fato de se ter encontrado, assim como em Pereira (1986), as melhores correlações entre índices de vegetação e teores de água indica que os mecanismos pelos quais estes parâmetros se manifestam na vegetação são passíveis de serem detectados radiometricamente. Encontrou-se evidências de que este mecanismo envolve a proporção de fitomassa verde em relação ao total, uma vez que esta proporção é bem correlacionada com o teor de água total.
- A comparação dos resultados obtidos com os índices de vegetação leva à constatação de que a normalização geralmente leva a melhores correlações, sendo que em termos gerais a DN é o índice mais indicado para o monitoramento da fitomassa verde e do teor de água do estrato rasteiro do Cerrado.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Dr. José Madeira Neto do CPRC/ EMBRAPA, cujos esforços e orientações viabilizaram este projeto. Agrade-se também os Drs. John Hay e Laércio L. Leite do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade de Brasília e aos Drs. Bráulio Dias e Geraldo Ismael Rocha da Fundação Zoobotânica de Brasília do IBGE que gentilmente permitiram a execução das medidas de campo na Fazenda Água Branca da UnB e na Reserva do Roncador do IBGE. Finalmente registra-se a gratidão à Sra. Lucimar Moreira Ribeiro, do CPAC, pelo apoio logístico na execução das tarefas de campo e à Sra. Eliana Miglioranza do INPE pelo auxílio na utilização das rotinas de pacote estatísticos BASIS e a Sra. Vera Lúcia de Andrade pela datilografia deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- BATMANIAN, G.J. *Efeito do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes de estrato rasteiro de um Cerrado*. Brasília. Tese de Mestrado em Ecologia. Dept. Biol. Veg., Inst. Cien. Biol., Universidade de Brasília. 1983.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* V3(3):165-183. 1974a.
- COLWELL, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9 Ann Arbor, MI, 1974. *Proceedings*. ERIM, Ann Arbor, MI, 1974b, p 1061-1085.
- CURRAN, P.J.; WILLIAMSON, H.D. GLAI estimation using measurements of red, near infrared and middle infrared radiance *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* V53(2):181-186. 1987.
- EPIPHANIO, J.C.N.; VITORELLO, I. Inter-relationships between view angles (azimuth) and surface moisture and roughness conditions in field-measured radiometer reflectances of an oxisol. 2º Colloque Internationale de Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Bordeaux, 12-16 Sept. 1983. Ed. INRA Publ. 1984 (*Les Colloques de l'INRA nº 23*). p.185-192.
- GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. National Academy of Science, Washington D.C. 1970. p.224-252.
- GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A.; WIEGAND, C.L.; ESCOBAR, D.E.; RICHARDSON, A.J. *The leaf mesophylls of twenty crops, their light spectra, and optical and geometrical parameters*. USDA Technical Bulletin Nº 1465. 1975.
- GRANT, L. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sensing of Environment* V22():309-322. 1987.
- HEILMAN, J.L.; BOYD, W.E. Soil background effects on the spectral response of a three-component rangeland scene. *Remote Sensing of Environment*. V19(2):127-137. 1986.

- KIMES, D.S.; KIRCHNER, J.A. Radiative transfer model for heterogeneous 3-D scenes. *Applied Optics* V21(22):4119-4129. 1982.
- KLEMAN, J. Directional reflectance factor distribution for two forest canopies. *Remote Sensing of Environment*. V23():83-96. 1987.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*. V1():155-159. 1970.
- MEIRELLES, M.L. *Produção primária e suas relações com fatores ambientais em pastagem artificial e Campo Sujo do Cerrado queimado e natural*. Brasília. Tese de Mestrado em Ecologia. Inst. Biol., Universidade de Brasília. 1981.
- PEARSON, R.L.; MILLER, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National grassland, Colorado. In: ERIM Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor MI, 1972. *Proceedings*. ERIM, Ann Arbor, MI, 1972. V2:1357-1381.
- PEREIRA, M.D.B. *Correlação de fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo*. São José dos Campos, INPE, 1986 (INPE-3758-TDL/205).
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual do usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. São José dos Campos, INPE, s.d. 158p.
- RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACÊDO, J.; SILVA, J.A. *Os principais tipos fisionômicos da região dos Cerrados*. Planaltina, D.F., CPAC/EMBRAPA. Boletim de Pesquisa nº 21. Julho, 1983. 28p.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. 3rd ERTS symposium, NASA SP-351 I:309-317. 1973.

- SCHNETZLER, C.C. Effect of Sun and sensor geometry, canopy structure and density, and atmospheric condition on the spectral response of vegetation, with particular emphasis on across-track pointing. In: INCRA, Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Colloque International Avignon, FR. 1981. p.509-520.
- SELLERS, P.J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal on Remote Sensing* V6(8):1335-1372. 1985.
- SUITS, G.H. The calculation of the directional reflectance of a vegetative canopy. *Remote Sensing of Environment* V2(2):117-125. 1972.
- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O.; KALB, V. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing* V8(8):1189-1207. 1987.
- TUCKER, C.J. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied Optics* V16(5):1151-1157. 1977.
- TUCKER, C.J. Red and Photographic Infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. V8(2):127-150, 1979.
- TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* V7(11):1395-1416. 1986.

APÊNDICE A

FICHA DE CAMPO PARA REGISTRO DE MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

PARCELA: _____ CONDIÇÕES DO TEMPO: _____

HORA: _____

λ	REFERÊNCIA	OBJETO			REFERÊNCIA
	1	1	2	3	1
400					
425					
450					
475					
500					
525					
575					
600					
625					
650					
675					
700					
750					
850					
950					
1050					

APÊNDICE B

FICHA DE LABORATÓRIO PARA REGISTRO DOS DADOS DE ENTRADA DE MATERIAL NA ESTUFA

PARCELA	TOTAL	SACO	ALÍQUOTA	MATERIAL VERDE	SACO	MATERIAL NÃO-VERDE	SACO
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

PONTO: _____

DATA: _____

APÊNDICE C

FICHA DE LABORATÓRIO PARA REGISTRO DOS DADOS DE SAÍDA DE MATERIAL DA ESTUFA

PARCELA	TOTAL	SACO	MATERIAL VERDE	SACO MATERIAL NÃO-VERDE	SACO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

PONTO: _____

DATA: _____

APENDICE E

PROGRAMA PRDATA

```
FILE 1(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="BIOMAS")
FILE 5(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFBT")
FILE 6(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFBV")
FILE 7(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFTA")
FILE 8(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="PARVEG")
  DIMENSION PL1(20),PL2(20),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20)
  *,REFL(70,20),T(70),VF(70),VS(70),VNF(70),VNS(70),TS(70),
  *BTF(70),BTS(70),BVF(70),BVS(70),TAT(70),TAV(70),
  K=0
20 K=K+1
35 DO 70 I=1,17
  READ(1,50) PL1(I),OBS1(I),OBS2(I),OBS3(I),PL2(I)
50 FORMAT(5F3.1)
  REFL(K,I)=(1./(10**(((PL1(I)+PL2(I))/2.)-((OBS1(I)+OBS2(I)+
  *OBS3(I))/3.))))*100
70 CONTINUE
  READ(1,80) T(K),VF(K),VS(K),VNF(K),VNS(K),TS(K)
80 FORMAT(3X,F6.2,4(2X,F4.2),2X,F5.2)
  BTF(K)=T(K)
  BTS(K)=TS(K)+VS(K)+VNS(K)
  BVF(K)=(VF(K)/(VF(K)+VNF(K)))*BTF(K)
  BVS(K)=(VS(K)/(VS(K)+VNS(K)))*BTS(K)
  TAT(K)=((BTF(K)-BTS(K))/BTF(K))*100
  TAV(K)=((BVF(K)-BVS(K))/BVF(K))*100
95 IF(K.EQ.64) GO TO 100
  GO TO 20
100 DO 120 K=5,53
  IF(K.EQ.9)GO TO 120
  IF(K.EQ.17)GO TO 120
  IF(K.EQ.30)GO TO 120
  WRITE(5,110) (REFL(K,I),I=1,17),BTF(K),BTS(K)
  WRITE(6,110) (REFL(K,I),I=1,17),BVF(K),BVS(K)
  WRITE(7,110) (REFL(K,I),I=1,17),TAT(K),TAV(K)
  WRITE(8,115)BTF(K),BTS(K),BVF(K),BVS(K),TAT(K),TAV(K)
115 FORMAT(6 F8.2)
110 FORMAT(17F6.2,2F8.2)
120 CONTINUE
  LOCK 5
  LOCK 6
  LOCK 7
  LOCK 8
  STOP
  END
```

APÊNDICE F

PROGRAMA GERIND

```
FILE 3(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFBT")
FILE 4(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFBV")
FILE 5(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="REFTA")
FILE 7(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="INDBT")
FILE 9(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="INDBV")
FILE 11(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="INDTA")
DIMENSION REFL(70,20),BVF(70),BVS(70),TAT(70),TAV(70),
*RAZAO(70),DIF(70),AV(70),AVT(70)
C*          INDICES PARA BIOMASSA VERDE
00 50 K=1,50
READ(4,40)(REFL(K,I),I=1,17),BVF(K),BVS(K)
40 FORMAT(17F6.2,2F8.2)
RAZAO(K)=REFL(K,15)/REFL(K,4)
DIF(K)=REFL(K,15)-REFL(K,4)
AV(K)=DIF(K)/(REFL(K,15)+REFL(K,4))
AVT(K)=SQRT(AV(K))+0.5
WRITE (9,50)RAZAO(K),DIF(K),AV(K),AVT(K),BVF(K),BVS(K)
50 FORMAT(4F6.2,2F8.2)
60 CONTINUE
C*          INDICES PARA TEOR DE AGUA
00 90 K=1,56
READ(5,70)(REFL(K,I),I=1,17),TAT(K),TAV(K)
70 FORMAT(17F6.2,2F8.2)
RAZAO(K)=REFL(K,15)/REFL(K,1)
DIF(K)=REFL(K,15)-REFL(K,1)
AV(K)=DIF(K)/(REFL(K,15)+REFL(K,1))
AVT(K)=SQRT(AV(K))+0.5
WRITE (11,80)RAZAO(K),DIF(K),AV(K),AVT(K),TAT(K),TAV(K)
80 FORMAT(4F6.2,2F8.2)
90 CONTINUE
LOCK 7
LOCK 9
LOCK 11
STOP
END
```

**PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
EDITADAS PELO INPE**

RELATÓRIOS DE PESQUISA

- Reportam resultados de pesquisa tanto de natureza técnica quanto científica.

NOTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS

- Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, software, sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados e atlas, e documentação de projetos de engenharia.

MANUAIS TÉCNICOS

- Descrevem normas, procedimentos, instruções e orientações.

PUBLICAÇÕES DIDÁTICAS

- Apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

TESES E DISSERTAÇÕES

- Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

PUBLICAÇÕES SERIADAS

- Periódicos Técnico-científicos: Boletim de Sensoriamento Remoto, Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática.
- Anais de Eventos