



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-3758-TDL/205

**CORRELAÇÃO DE FITOMASSA FOLIAR DE CAMPO CERRADO
COM DADOS ESPECTRAIS OBTIDOS PELO SISTEMA
MSS/LANDSAT E POR RADIOMETRIA DE CAMPO**

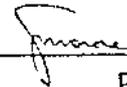
Marisa Dantas Bitencourt Pereira

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,
aprovada em 15 de abril de 1985.

INPE
São José dos Campos
1986

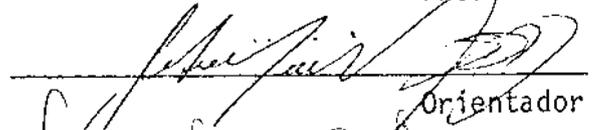
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dra. Evlyn Marcia Leão Moraes Novo



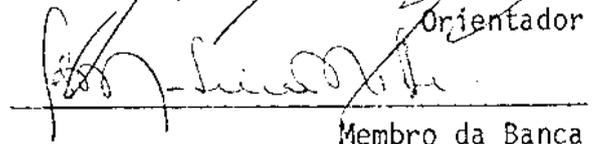
Presidente

Dr. Getúlio Teixeira Batista



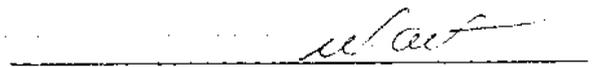
Orientador

Sr. José da Silva Madeira Netto, MSc.



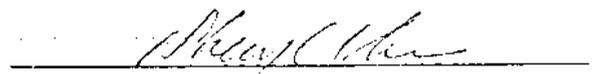
Membro da Banca
-convidado-

Dr. Mário Valério Filho



Membro da Banca

Sra. Sherry Chou Chen, MSc.



Membro da Banca

Candidata: Marisa Dantas Bitencourt Pereira

São José dos Campos, 15 de abril de 1985

Dedico esta Dissertação a minhas filhas: Inaiã e Maíra.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, pelo apoio da do ao Projeto que gerou esta Dissertação fornecendo materiais e equipamentos.

Ao Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado, CPAC/EMBRAPA, pelo apoio dado aos trabalhos de campo realizados nesta pesquisa.

Ao Dr. Getulio Teixeira Batista pela orientação e pelo estímulo dados em todas as etapas deste trabalho.

Ao Sr. José da Silva Madeira Netto, Coordenador do Programa de Avaliação dos Recursos Naturais e Sócio-econômico do CPAC, pelo inestimável apoio e incentivo dado nas diversas etapas deste trabalho.

Aos pesquisadores e funcionários dos Departamentos DSR e DDS pelas inúmeras horas a mim dispensadas respondendo perguntas ou fazendo comentários sobre as diversas etapas deste trabalho. Agradecimento especial para:

- Mestre João Roberto dos Santos (DDS-INPE);
- Mestre Dalton de Morisson Valeriano (DDS-INPE);
- Mestre Juan Verdesio Betancourt (IICA);
- Dra. Evelyn M. L. M. Novo (DSR-INPE);
- Bióloga Semíramis Pedroza de Almeida (Taxonomista especialista em vegetação de Cerrados - CPAC).

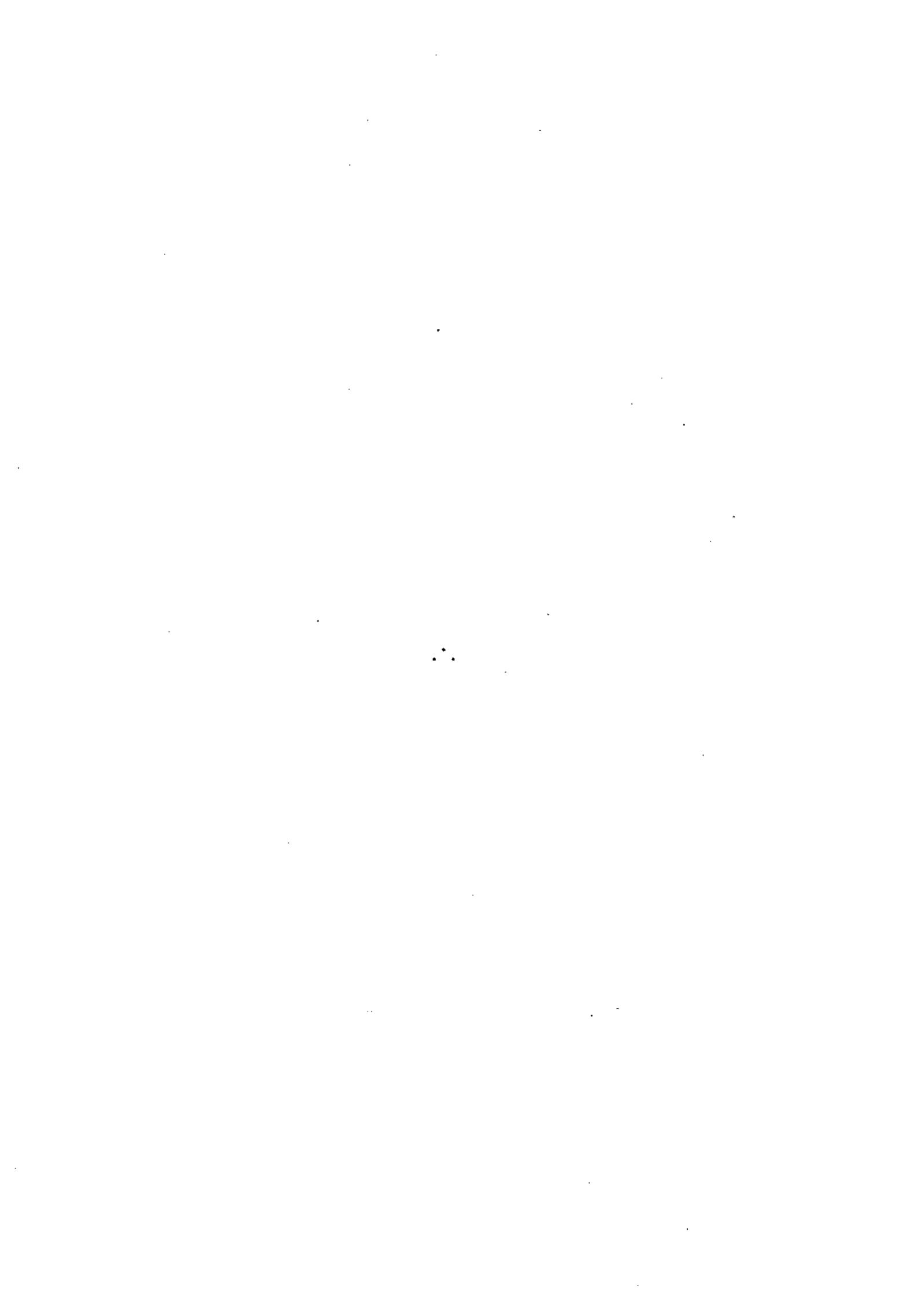
RESUMO

O objetivo deste trabalho é correlacionar dados de fitomassa foliar obtidos no campo de modo destrutivo com a respectiva resposta espectral obtida tanto pelo Sistema MSS-LANDSAT como por radiometria de campo. Ambos os sistemas operam em faixas espectrais similares, a saber, no vermelho e no infravermelho próximo do espectro eletromagnético. O potencial agrícola dos Cerrados do Brasil Central indica a necessidade de uma estimativa precisa e frequente de sua fitomassa, especialmente do Campo Cerrado, que apresenta um estrato herbáceo significativo. Dados de campo foram coletados em junho de 1983 e em maio de 1984, que corresponderam respectivamente ao meio do período seco e ao final do período chuvoso. Foram usadas três imagens do MSS-LANDSAT de datas próximas às dos trabalhos de campo e seus níveis de cinza foram transformados em índices vegetativos. Os resultados mostraram que: a) a fitomassa foliar fresca total variou de 297,9 a 808,0 g/m²; b) a fitomassa obtida de modo destrutivo apresentou correlação linear significativa com alguns dos índices vegetativos testados; c) os índices vegetativos (Razão e TVI) apresentaram correlação linear mais alta com o teor de umidade da vegetação do que com a fitomassa foliar fresca total; d) verificou-se uma alta correlação linear entre os índices vegetativos obtidos a partir de dados do MSS-LANDSAT e de radiometria de campo.



ABSTRACT

The objective of this study is to correlate foliar biomass data obtained in the field by a conventional destructive method with its spectral response from MSS-LANDSAT and from field radiometry. Both systems work in similar spectral bands throughout the red and near infrared wavelenghts. Its great potential for agriculture indicates the need for timely and accurate estimate of biomass of the "Cerrado" of the Central Brazil, specially the "Campo Cerrado", which presents a significant herbaceous stratum. Field data were collected in two periods: June 1983 and May 1984, corresponding to the middle of the dry season and the end of the wet season, respectively. Three MSS-LANDSAT images with dates close to the field work were used and its digital counts were transformed into vegetation indices. Results showed that: a) foliar biomass ranged from 297,9 to 808,0 g/m²; b) clipped foliar biomass presented significant linear correlation coefficient with the tested vegetation indices; c) tested vegetation indices (Ratios and TVIs) correlated better with water content than with total fresh biomass; d) a high linear correlation coefficient between the TVIs obtained with MSS-LANDSAT and field radiometry was observed.



SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 - Comportamento espectral da vegetação	3
2.2 - Medidas espectrais obtidas por satélite	9
2.3 - Medidas radiométricas de campo	14
2.4 - Índices vegetativos	15
2.4.1 - Considerações gerais sobre os IVs	16
2.5 - Comunidade vegetal estudada	18
2.6 - Coleta de fitomassa no campo	23
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u>	25
3.1 - Definição do tamanho das unidades amostrais	25
3.2 - Seleção das unidades amostrais	28
3.3 - Descrição dos SÍTIOS amostrados	31
3.4 - Coleta de dados no campo	33
3.4.1 - Coleta de fitomassa no campo	33
3.4.2 - Coleta de amostras de solo	34
3.4.3 - Medidas radiométricas de campo	34
3.5 - Dados espectrais do sistema MSS-LANDSAT	40
3.5.1 - Produtos MSS-LANDSAT utilizados	40
3.5.2 - Obtenção e tratamento dos dados multiespectrais	40
3.5.3 - Cálculo dos índices vegetativos	43
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	45
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	61
<u>CAPÍTULO 6 - SUGESTÕES</u>	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

APÊNDICE A - MAPA GERAL DO CPAC

APÊNDICE B - VALORES DISCRIMINADOS POR BANDA ESPECTRAL

APÊNDICE C - DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS NAS DATAS E NOS LOCAIS DE
AMOSTRAGENS

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Comportamento espectral padrão de vegetação verde	4
2.2 - Esquema simplificado da energia incidente sobre duas camadas de folhas	5
2.3 - Comportamento espectral de seis camadas de folhas de algodão	6
2.4 - Relação entre radiância e fitomassa foliar (a) no vermelho (Lv); (b) no infravermelho próximo (Livp)	7
2.5 - Comportamento espectral da vegetação verde e morta e de um solo de cor média	8
2.6 - Região Geoeconômica de Brasília que mostra as áreas de estudo (Planaltina e Posse)	19
2.7 - Balanço hídrico e temperatura média mensal de 35 anos de observação em Formosa - GO	20
2.8 - Perfis de vegetação que mostram o conceito "floresta-ecotono-campo" de Cerrado	21
3.1 - Relação entre o número de espécies e o número de elementos amostrais usados para determinar a área mínima do ponto de vista florístico no teste piloto	26
3.2 - Média Móvel dos dados de fitomassa (g/m ²) em função do número de elementos amostrais	27
3.3 - Esquema da obtenção de dados radiométricos no campo	35
3.4 - Localização do SÍTIO I	37
3.5 - Localização dos SÍTIOS II a VI	38
3.6 - Localização dos SÍTIOS VII a XVI	39
4.1 - Relação entre o teor de umidade da vegetação (%) e índices vegetativos: A) TVI6K (campo); B) TVI6S (satélite)	57
4.2 - Relação entre o TVI6K (campo) e o TVI6S (satélite)	59

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Matriz de classificação para áreas de treinamento (L = 5) da passagem de 23.04.1983, órbita e ponto 220/69 LANDSAT-4	30
3.2 - Ângulo de elevação solar das imagens utilizadas	42
3.3 - Valores subtraídos da cena para atenuar efeitos atmosféricos	43
3.4 - Faixas espectrais do sistema MSS-LANDSAT e do radiômetro de campo modelo KIMOTO PM 12A	44
4.1 - Listagem das famílias que compõem o estrato herbáceo dos Campos Cerrados estudados	46
4.2 - Informações gerais sobre os SÍTIOS amostrados	47
4.3 - Fator de reflectância bidirecional (R%), índices vegetativos (R e TVI), teor de umidade da vegetação e fitomassa foliar total referentes aos dezesseis SÍTIOS amostrados ...	49
4.4 - Dados MSS-LANDSAT originais (níveis de cinza médios de 0-255), índices vegetativos (R e TVI), teor de umidade da vegetação e fitomassa foliar fresca total dos dezesseis SÍTIOS amostrados	50
4.5 - Dados MSS-LANDSAT corrigidos (níveis de cinza médios de 0-255), índices vegetativos (R e TVI), teor de umidade da vegetação e fitomassa foliar fresca total dos dezesseis SÍTIOS amostrados	51
4.6 - Erro médio quadrático entre os dados obtidos por satélite e os dados obtidos no campo	54
4.7 - Coeficientes de correlação linear (r) entre fitomassa foliar fresca total e teor de umidade da vegetação e dados espectrais obtidos por radiometria de campo e por satélite	55
4.8 - Análise físico-hídrica das amostras de solos	58
4.9 - Coeficientes de correlação linear entre os TVIs calculados com dados de campo e de satélite	59

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Ocupando cerca de vinte por cento do território nacional com exploração agropecuária extensiva, o Cerrado brasileiro tem uma potencialidade econômica indiscutível. Com uma área de aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros quadrados, torna-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia apropriada para o estudo de sua vegetação.

Nesse contexto, a visão sinóptica dos dados remotamente sensoriados pelo sistema MSS-LANDSAT possibilita a identificação de zonas com padrão homogêneo de vegetação, enquanto a repetitividade de recobrimento possibilita o estudo da variação sazonal. Além disso, a resposta espectral da vegetação, expressa através de índices vegetativos (indicadores da densidade de vegetação por área), vem apresentando alta correlação com fitomassa obtida no campo, que é também uma medida de densidade por área. Esses índices vêm sendo propostos para auxiliar no monitoramento da produtividade, principalmente de pastagens, uma vez que a fitomassa do estrato herbáceo-arbustivo reflete a capacidade de suporte para o pastoreio.

Contudo, a grande limitação da utilização destes índices é a dificuldade de estabelecer modelos adequados para eliminar o efeito atmosférico na obtenção de dados orbitais.

O objetivo deste trabalho é correlacionar os dados de fitomassa obtidos no campo, através de métodos tradicionais, com a respectiva resposta espectral obtida tanto pelo sistema MSS-LANDSAT como por radiometria de campo. Ambos os sistemas de medidas de resposta espectral apresentam seus sensores nas mesmas faixas do espectro eletromagnético, especificamente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Para isso, selecionaram-se comunidades de Campo Cerrado que possuem um estrato herbáceo predominante, que ocupam áreas com extensão compatível com a resolução espacial do Sistema MSS-LANDSAT e se apre

sentam quase sempre em relevos aplainados. Com estas características torna-se potencialmente possível o desenvolvimento de modelos de estimativa de fitomassa foliar.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Sensoriamento remoto é o processo de obter informações espectrais sobre um objeto sem ter contacto físico com ele. Diversos são os sistemas que poderiam ser chamados de sensores remotos. Contudo, esse termo está associado predominantemente a sistemas que registram informações sobre os diversos alvos da terra, seja com sensores no campo, em aviões ou em satélites. Nesse trabalho, a vegetação será tratada como o mais importante dos alvos; em segundo lugar, o solo.

A radiação solar refletida tem sido a forma de energia mais estudada em sensoriamento remoto de vegetação, embora a região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho termal e as microondas sejam também utilizadas. Ao entrar em contacto com o alvo, a radiação eletromagnética pode ser absorvida, transmitida e refletida. Esses três fenômenos ocorrem em função da estrutura fundamental de cada alvo. No caso específico, a vegetação interage com a radiação de maneira diferente em cada faixa do espectro eletromagnético. A Figura 2.1 mostra uma curva padrão da resposta espectral de vegetação onde se nota um pico de absorção na região do azul e outro na região do vermelho, ambos devidos à presença da clorofila. Nota-se também um leve pico de alta reflectância na região do verde. Na transição do vermelho para o infravermelho próximo (IVP), nota-se um acentuado aumento na reflectância, o qual se mantém ao longo da faixa do IVP, diminuindo somente na região do infravermelho médio.

Na faixa do visível (400 - 680 nm) os pigmentos existentes na folha verde são responsáveis pela sua resposta espectral, apresentando uma forte absorção da radiação incidente nas regiões do azul e do vermelho. Essa absorção é inversamente proporcional à reflectância nessa faixa.

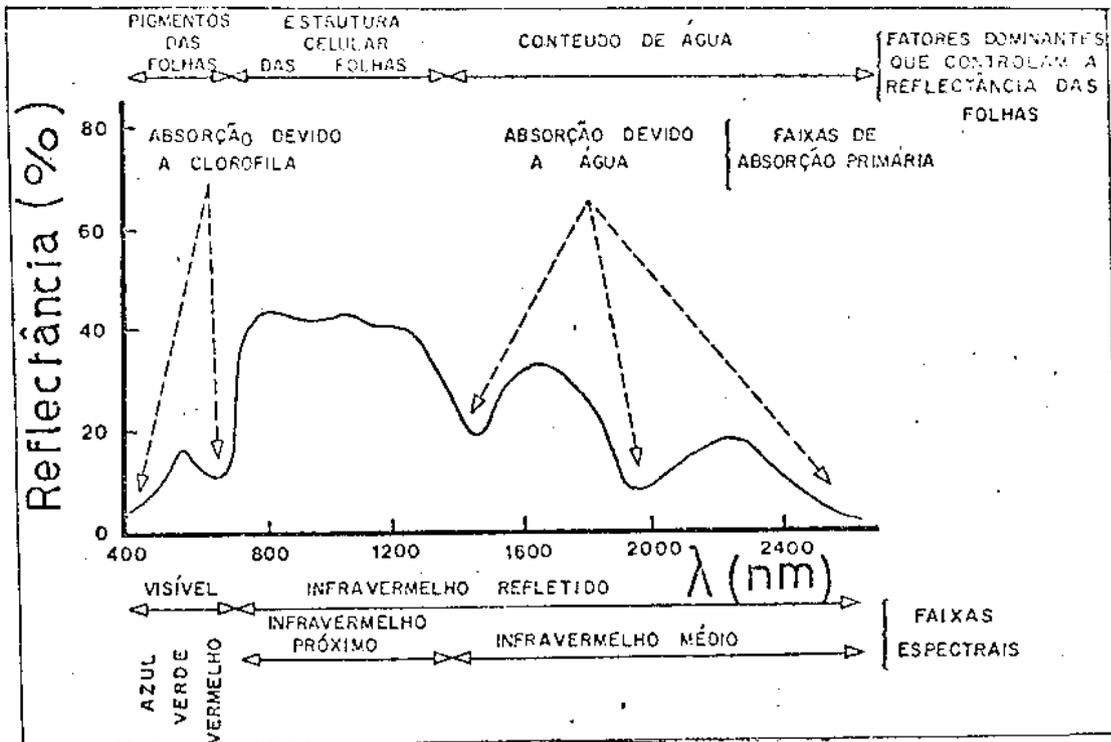


Fig. 2.1 - Comportamento espectral padrão de vegetação verde.
FONTE: Hoffer (1978).

Na porção do espectro referente ao infravermelho próximo (690 - 1100 nm) ocorre exatamente o inverso. As folhas verdes absorvem muito pouca energia nessa região do espectro, apresentando uma alta reflectância causada pelo espalhamento resultante dos diferentes índices de refração do líquido intracelular (1,33) e dos espaços intercelulares (1,0) do mesofilo (Gausman, 1974). Ao investigar as razões biofísicas da reflectância foliar, concluiu-se que ao incidir em uma camada de folhas essa radiação reflete cerca de 50% e transmite o restante. Se essa porção transmitida encontrar outra camada de folhas, o processo se repetirá e assim sucessivamente. Hoffer (1978), baseado nas experiências de Myers (1970), elaborou o modelo de camadas apresentado na Figura 2.2, que ilustra a transparência parcial das folhas à radiação do infravermelho próximo para duas camadas de folhas.

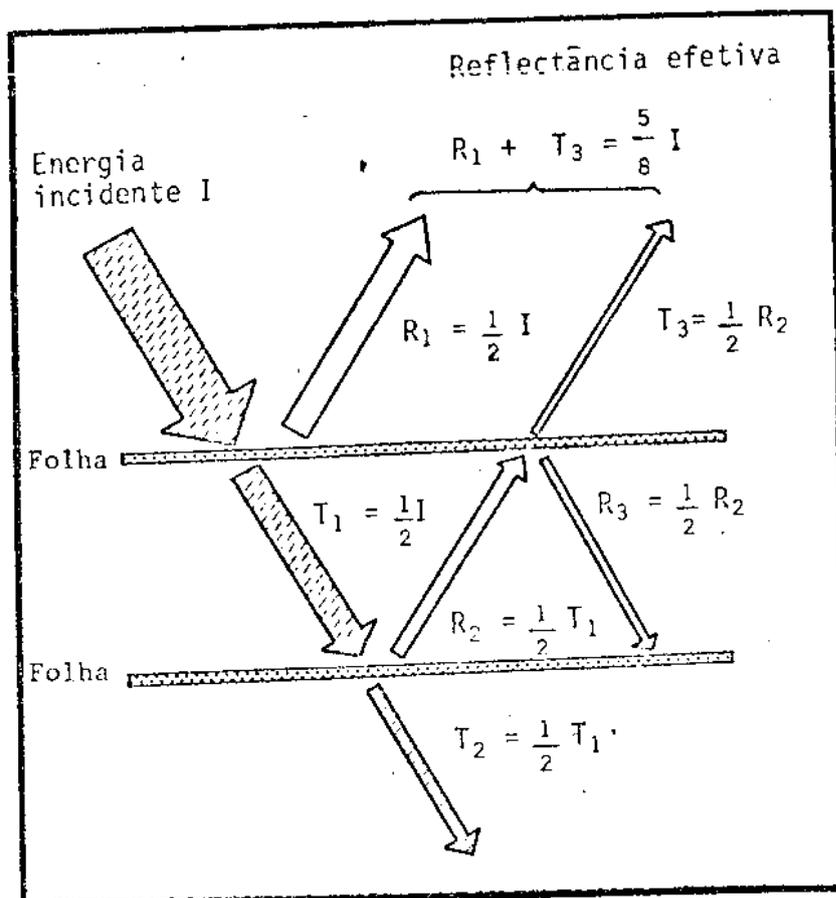


Fig. 2.2 - Esquema simplificado da energia incidente sobre duas camadas de folhas.

FONTE: Hoffer (1978).

Myers (1970) testou em laboratório como a variação no número de camada de folhas afetaria a resposta espectral da vegetação na região do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP) e médio do espectro eletromagnético. A Figura 2.3 mostra que não há diferença alguma na resposta espectral da vegetação na região do V ao estudar o comportamento de 1 a 6 camadas de folhas. Na região do IVP, por sua vez, a resposta espectral da vegetação mostrou-se bastante sensível da primeira a terceira camadas, deixando de ser tão sensível da quarta camada em diante. A partir da sexta camada de folhas o aumento na reflectância mostrou-se pouco significativo.

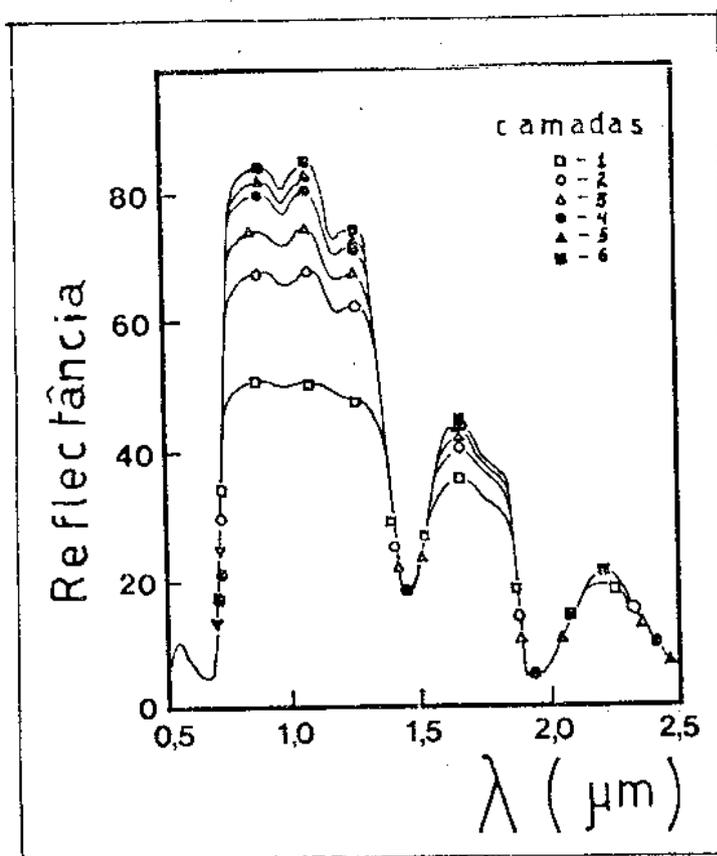


Fig. 2.3 - Comportamento espectral de seis camadas de folhas de algodão.

FONTE: Myers (1970).

Desde Myers e Allen (1968) que se acredita que as mudanças na densidade foliar da cobertura vegetal causam variações na sua resposta espectral, as quais podem ser usadas para avaliação de parâmetros agrícolas.

Hoffer e Johansen (1969) foram os primeiros a indicar a necessidade de uma análise apropriada da assinatura espectral da vegetação a fim de que se pudessem monitorar as diversas coberturas vegetais.

A partir de Pearson e Miller (1972) a resposta espectral da vegetação vem sendo exaustivamente estudada para estimar fitomassa foliar. Os primeiros passos foram dados com medidas radiométricas de algumas espécies feitas em laboratório e no campo. Com o advento dos sen

sores orbitais, diversos pesquisadores iniciaram estudos das relações da resposta espectral com a fitomassa foliar.

Tucker e Maxwell (1976) e Tucker (1977b) apontam as faixas espectrais do vermelho (630 - 690 nm) e do infravermelho próximo (750 - 800 nm) como as mais apropriadas para esse estudo. O comportamento espectral da fitomassa fresca no V e no IVP no intervalo de zero a 1040 g/m² é mostrado na Figura 2.4. Pode-se notar que no intervalo de 300 a 800 g/m² o comportamento espectral das duas faixas está bem próximo da linearidade. Os gráficos dessa figura também indicam que a resposta espectral da fitomassa no V apresenta baixa sensibilidade, uma vez que atinge o patamar da curva ao redor dos 300 g/m². A resposta espectral da fitomassa no IVP, contudo, dirige-se ao patamar mais suavemente, o que denota uma sensibilidade maior dessa faixa à variação de fitomassa fresca.

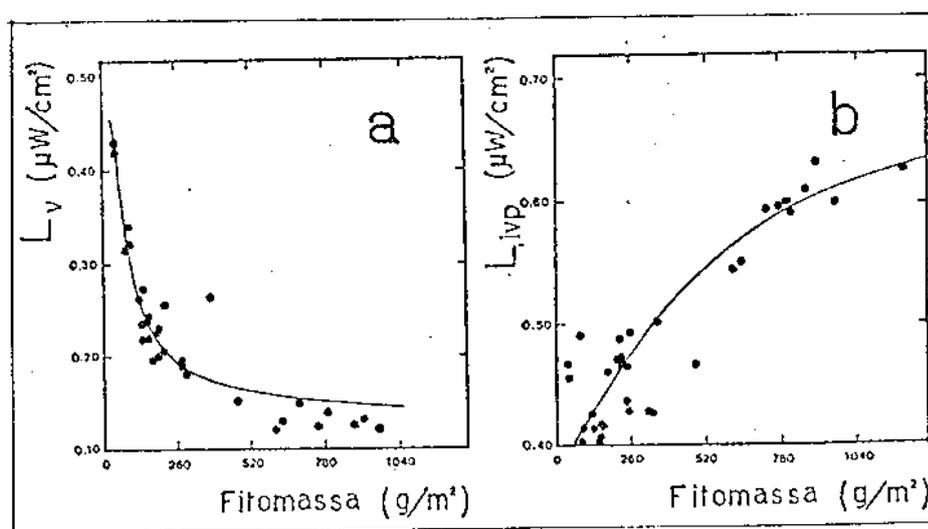


Fig. 2.4 - Relação entre radiância e fitomassa foliar (a) no vermelho (L_v); (b) no infravermelho próximo (L_{ivp}).

FONTE: Tucker (1977a), adaptado por Tucker (1979).

Segundo Tucker (1979), o uso dessas duas faixas é facilitado pelo fato de estarem próximas uma da outra no espectro eletromagnético, o que permite o uso da simples razão entre faixas para compensar as diferenças de intensidade do fluxo solar em cada uma delas. Em

bora a luz solar refletida pela vegetação verde tenha características espectrais distintas da refletida isoladamente pelo solo, o que se tem na prática é que a radiação recebida nos sensores constitui-se da soma tória da energia refletida por todos os alvos que integram a área com preendida pelo ângulo de visada do equipamento sensor. A Figura 2.5 mostra as diferenças entre as reflectâncias da vegetação verde, da vegetação morta e de um solo de cor média. Como a resposta espectral do solo se assemelha à de vegetação morta, ao estudar o complexo solo-vegetação deve-se estar seguro de que há pelo menos 50% de vegetação viva na área estudada (Tucker, 1977b).

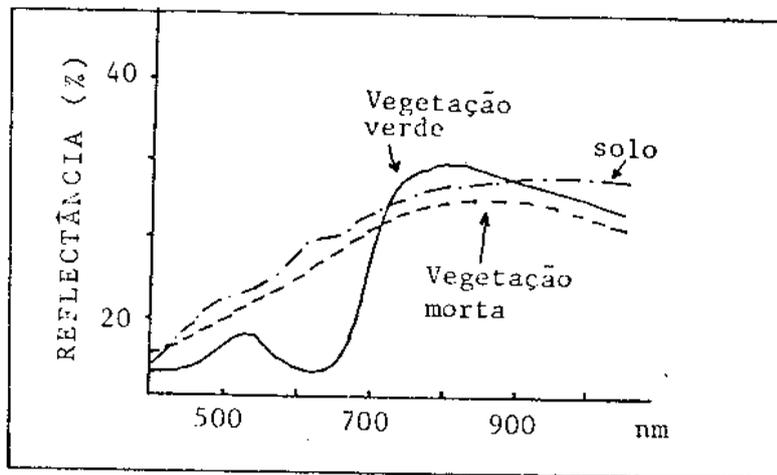


Fig. 2.5 - Comportamento espectral da vegetação verde e morta e de um solo de cor média.

FONTE: Tucker and Miller (1977), adaptado por McDaniel and Haas (1982).

Para atenuar o problema de interferência espectral do solo quando se deseja estudar o comportamento espectral da vegetação no campo, Colwell (1974b) sugere que se faça razão das faixas infravermelho por vermelho, em vez de utilizar as respostas espectrais individualmente. Segundo esse autor, a razão entre bandas parece ser uma ferramenta útil, uma vez que se têm na prática solos com uma mesma classificação que podem apresentar respostas espectrais diferentes, dependendo da quantidade de matéria orgânica presente e da disponibilidade de água,

entre outros fatores. Ao correlacionar essas razões com os valores de fitomassa obtidos no campo, observou-se que a razão entre bandas não-correlatas apresentou maior sensibilidade para predizer fitomassa. É importante salientar que para um resultado favorável a variação de cor entre os solos não deve ser muito grande.

Segundo Colwell (1974a), a sombra da vegetação é um outro elemento que deve ser considerado. Para esse autor o alvo vegetação é composto de diferentes componentes tais como galhos, tamanho de folhas e sombras, entre outros. Considera também que a reflectância bidirecional da vegetação é mais representativa do que a hemisférica e que a primeira depende dos ângulos zenital, azimutal e de observação. A sombra é também função desses três ângulos. Sendo o ângulo de observação a componente mais facilmente controlável, esse autor sugere que as medidas devem ser verticais sempre que possível, uma vez que a razão entre bandas não é muito eficiente em normalizar condições de sombreamento em virtude de a variação na intensidade da sombra ser maior no V do que no IVP.

O comportamento espectral da vegetação pode ser registrado em plataformas orbitais, como é o caso do Sistema MSS-LANDSAT, e em condições de campo com radiômetro. A distância entre o sistema sensor e o alvo requer uma superfície refletora mais próxima de uma superfície lambertiana (ao nível orbital) e menos próxima de uma superfície lambertiana (no campo).

2.2 - MEDIDAS ESPECTRAIS OBTIDAS POR SATÉLITE

As informações sobre os alvos captadas pelos sensores colocados a bordo de um satélite são recebidas por uma estação rastreadora e, posteriormente, são enviadas a uma estação processadora que as transformará em dados compatíveis com computador (fitas CCTs) e/ou em produto fotográfico. Em ambas as formas cada ponto na cena é o resultado da somatória das informações espectrais contidas em um elemento de resolução ou "pixel", que no caso do MSS-LANDSAT-4 e 5 corresponde a

82,7x57 m. Portanto uma cena toda tem 2237x3246 "pixels", correspondentes a uma área no terreno de 185 km por 185 km.

Conforme descrito por Tucker (1980), a precisão radiométrica dos Sistemas MSS de ambos os satélites (LANDSATs 4 e 5) são iguais, ou seja, de seis "bits". Isso equivale a dizer que a quantificação da radiância que chega aos sensores é da ordem de 64 níveis. Vários ganhos e "offsets" são fornecidos com o objetivo de combinar a variação dinâmica da cena com a capacidade de quantificação do sistema. No caso do INPE, as quatro faixas do MSS são descomprimidas com igual peso a fim de atingir os níveis de 0-255. Estes níveis são associados às informações contidas em cada "pixel" e passam a ser chamados de níveis de cinza.

Quando se analisa um ponto no terreno sensoriado ao nível orbital, a radiância registrada corresponde à energia proveniente da integração dos alvos e a energia proveniente do espalhamento atmosférico, conforme a equação:

$$L = E \rho \tau + B, \quad (2.1)$$

onde:

L = radiância de um ponto no terreno;

E = irradiância solar total;

ρ = reflectância integrada dos alvos medidos;

τ = transmitância atmosférica;

B = espalhamento atmosférico.

Essa energia proveniente do alvo é a informação útil e o fator adicionado (B) é a informação indesejável.

Conclui-se assim que variações nas condições de iluminação (E), de reflectância do alvo (ρ) e de condições de transmitância

(r) afetam a resposta espectral final de modo multiplicativo e o espalhamento atmosférico de modo aditivo (Kriesler et alii, 1969).

As condições de iluminação vão interferir no produto final se a área for muito acidentada e/ou se uma análise sazonal for requerida.

As condições de reflectância do alvo afetam o produto final a medida que integram a informação espectral dos alvos inscritos no elemento de resolução terrestre. Segundo Maxwell (1975), se o alvo desejado for vegetação, é preciso levar em conta que alguma porcentagem de solo poderá estar presente, cuja resposta afetará de modo multiplicativo a resposta da vegetação. Uma tentativa para atenuar esse efeito é utilizar a razão entre as bandas não-correlatas, uma vez que a resposta espectral do solo do visível ao infravermelho fotográfico é quase linear, o que permite o cancelamento dos fatores multiplicativos ao fazer a razão.

Dependendo da trajetória da radiação através da atmosfera e da quantidade de micropartículas presentes, verifica-se um espalhamento maior ou menor dessa energia. O espalhamento atmosférico adiciona uma quantidade extra de brilho à resposta espectral de cada "pixel", que é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Em outras palavras, o espalhamento acrescenta mais brilho à região de menores comprimentos de onda, o que diminui o contraste das respostas nas faixas do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP).

O espalhamento mais frequente é o molecular ou Rayleigh, de responsabilidade de partículas cujo diâmetro é muito menor que o comprimento de onda. Em toda reação de oxidação ocorre formação de "fumaças" cujo diâmetro de suas partículas varia de 10 a 500 nm (Dennis, 1976). Segundo este autor, a oxidação de florestas produz partículas de fumaça com os menores diâmetros e a oxidação de produtos industriais, as de maiores diâmetros. Estas últimas tendem a se aglomerar mais fortemente que as de menor diâmetro. Assim, espera-se que as tão comuns

queimadas sejam responsáveis (se não totalmente, pelo menos de parte) pelo espalhamento Rayleigh. Embora com um certo comprometimento, existem algumas maneiras de atenuar esse espalhamento. Uma dessas maneiras consiste em extrair da imagem todo o brilho excedente com base em critérios entre os quais os métodos de Turner et alii (1971) e de Taranik (1978 a,b) são os mais conhecidos. Todos estes pesquisadores procuraram extrair o brilho excedente. Turner et alii (1971) obtiveram os parâmetros para extração através da análise de regressão das respostas espectrais de diversos alvos em duas faixas não-correlatas. Taranik (1978b), por sua vez, obteve os seus parâmetros pesquisando o comportamento espectral de alvos como sombra de relevo ou água sabidamente limpa.

No que se refere às distorções devidas às condições de iluminação, novos parâmetros devem ser considerados. Quando a reflectância de um alvo é percebida por satélite, considera-se que se trata de uma superfície lambertiana (plana e perfeitamente difusa). Quando o alvo a ser estudado por sensoriamento remoto for iluminado pelo sol e uma análise sazonal for requerida, considera-se que a irradiância (E) que chega ao alvo consiste na constante solar multiplicada pelo co-seno do ângulo zenital, uma vez que é quase impossível levar em consideração os demais ângulos que também influenciam nas condições de iluminação de cada "pixel". Desse modo, a irradiância sobre o alvo seria:

$$E(\theta) = k_0 \cos\theta, \quad (2.2)$$

onde:

θ = ângulo entre a direção da radiação incidente e a normal à superfície ou zenital;

E = irradiância sobre o alvo;

k_0 = constante solar.

Ao modificar a Equação 2.1 para deixá-la em função das condições de iluminação, ter-se-á que:

$$L(\theta) = k_0 \cos\theta \rho + B.$$

Neste contexto podem-se desprezar ρ e B .

Como a imagem do MSS é uma função bidimensional da radiação hemisférica do alvo, definida como

$$L(\theta) = (k_0\rho)/\pi \cos\theta,$$

onde

ρ = reflectância do alvo;

k_0 = constante solar,

e como $(k_0\rho)/\pi$ é igual a L_0 , tem-se que

$$L(\theta) = L_0 \cos\theta.$$

Segundo Chavez (1975), para compensar dados de brilho obtidos em ângulos zenitais diferentes, bastaria dividir o vetor imagem pelo co-seno do ângulo zenital no qual os dados foram obtidos.

$$L(\theta)/\cos\theta = L_0.$$

Contudo, para comparar quantitativamente dados de imagens de diferentes datas devem-se transformar os dados de modo a compensar o efeito do ângulo zenital. Segundo Kauth et alii (1979), para fazer essa transformação elege-se um ângulo zenital qualquer, preferencialmente um pertencente ao conjunto de dados a serem estudados, e produz-se um novo vetor para cada passagem de ângulo zenital diferente daquele eleito, conforme equação:

$$X' = (\cos\theta/\cos\theta') X,$$

onde:

X = imagem original;

X' = imagem corrigida;

θ' = ângulo zenital eleito;

θ = ângulo zenital da passagem estudada.

2.3 - MEDIDAS RADIOMÉTRICAS DE CAMPO

A medida radiométrica que se obtém no campo da vegetação é a reflectância bidirecional a qual corresponde à razão da radiância do alvo, sob determinadas condições, pela radiância de um refletor lambertiano colocado nas mesmas condições, o qual é função dos raios incidentes e refletidos (Curran, 1982).

Segundo Robinson e Biehl (1979), o que se faz na prática é medir um fator de reflectância bidirecional. Esse fator é obtido medindo a reflectância de uma placa padrão cujas propriedades de reflectância sejam conhecidas e que esteja nas mesmas condições de campo, a fim de que se possa zerar as condições de tomada de dados. De acordo com esses autores, esta placa deve ser um painel pintado de sulfato de bário, que é de fácil preparo nas condições de campo. O passo seguinte é calcular o fator de reflectância bidirecional do alvo de acordo com as especificações técnicas do radiômetro utilizado. Com esse fator é possível comparar dados obtidos em diferentes épocas do ano, pois trata-se de um dado adimensional que ameniza as influências dos ângulos de observação, zenital e azimutal quando estes forem indesejáveis.

Colwell (1974) foi o primeiro a pressupor que a reflectância bidirecional da cobertura vegetal se relaciona muito bem com fitomassa verde e que se poderia utilizar essa ferramenta como um método não-destrutivo de estimar fitomassa.

2.4 - ÍNDICES VEGETATIVOS

Os índices vegetativos são modelos numéricos que visam indicar a densidade de vegetação por área, através de razões e combinações lineares ou não das respostas espectrais do alvo nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo. A resposta espectral na faixa do infravermelho próximo já é de per si um indicador de densidade de vegetação por área. Para Miller (1981), contudo, os indicadores multibandas (mais de uma faixa) tendem a ser mais estáveis, oferecendo maior capacidade de comparar sazonalmente fitomassas e suas condições. Os índices mais comumente encontrados na literatura são:

a) Razão Simples (R)

Razão simples, proposta por Pearson e Miller (1972), é dada por:

$$R = IVP/V.$$

b) Razão Normalizada e Transformada (TVI)

Razão Normalizada e Transformada, proposta por Rouse et alii (1973), é dada por:

$$TVI = \sqrt{(IVP - V)/(IVP + V) + 0,5}.$$

c) Índice Vegetativo Perpendicular (PVI)

Índice Vegetativo Perpendicular, desenvolvido por Richardson e Wiegand (1977), é dado por:

$$PVI = \sqrt{(R_{gg5} - R_{p5})^2 + (R_{gg7} - R_{p7})^2},$$

onde:

R_p = reflectância do ponto de vegetação em estudo nas faixas V e IVP;

R_{gg} = reflectância da projeção desse ponto na linha de solo;

5 e 7 = respectivamente canais 5 e 7 do MSS.

Em todos os casos acima, onde houver IVP (infravermelho próximo), podem-se obter mais dois índices, bastando que se substitua o IVP por IVP6 ou IVP7, considerando, respectivamente, os canais 6 e 7 do MSS.

d) Índice de Vegetação Verde (GVI)

Índice de Vegetação Verde, desenvolvido por Kauth and Thomas (1976), é:

$$GVI = (\alpha \text{verde}) + (\beta \text{vermelho}) + (\gamma \text{IVP6}) + (\delta \text{IVP7}),$$

onde α β γ δ são coeficientes obtidos através da transformação (componentes principais) de dados multitemporais obtidos por espectrorradiometria de campo, a qual também leva em consideração a calibração do satélite usado no imageamento da cena estudada.

2.4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS IVs

Pearson e Miller (1972) foram os pioneiros no uso da razão simples, seguidos de Carneggie e DeGloria (1974), Maxwell (1976), Tucker e Miller (1977) e Harlan et alii (1979). Estes pesquisadores notaram que a razão MSS6/MSS5 mostrou resultados ligeiramente superiores ao MSS7/MSS5 no estudo de biomassa em regiões secas ou semiáridas. Todos foram unânimes em opinar que esse índice se correlaciona muito bem com fitomassa foliar verde.

Rouse et alii (1973) analisaram dados do MSS-LANDSAT e propuseram que a razão normalizada $(MSS7-MSS5)/(MSS7+MSS5)$ fosse transformada pela raiz quadrada da normalizada adicionada de 0,5. A argumen

tação usada baseou-se no fato de já haverem notado que o ângulo solar e a névoa constituem um problema que a normalização tende a reduzir, quando se divide o contraste de duas faixas não-correlatas (MSS7-MSS5) pela soma delas.

Richardson e Wiegand (1977) propuseram que o PVI fosse definido como a distância perpendicular entre a reflectância do alvo vegetação, que é o objeto deste estudo, e uma linha de solo construída com dados de reflectância de alvos como água, nuvens, sombra e solos nus de baixas e altas reflectâncias.

Kauth e Thomas (1976) desenvolveram uma técnica de transformar os dados quadridimensionais do LANDSAT usando as quatro faixas do MSS. Nesse contexto, o vetor imagem, ao ter suas quatro funções ortogonais rotacionadas através de um operador linear inicialmente estabelecido por Kauth e Thomas (1976), fornece uma imagem transformada cuja segunda componente é o índice vegetativo GVI, também conhecido como "greeness".

Miller e George (1980), Richardson et alii (1982) e McDaniel e Haas (1982) procuraram examinar a capacidade de os índices vegetativos mais conhecidos estimarem biomassa verde. Observaram que para o estrato herbáceo o GVI e PVI apresentam os melhores coeficientes de correlação seguidos pelo TVI, pela razão simples e pela resposta espectral na região do infravermelho próximo.

Jackson et alii (1983) comentam que um índice vegetativo ideal deveria ser altamente sensível à vegetação e insensível à interferência espectral do solo, bem como das condições atmosféricas. No entanto, não se tem encontrado um IV que preencha todos esses requisitos. Na realidade, tem-se que a razão simples não será um bom indicador de densidade quando a cobertura vegetal verde for inferior a 50%. Porém, sua sensibilidade vai aumentando a medida que a porcentagem de cobertura verde se aproxima de 100%. Ainda segundo Jackson et alii (1983), a razão simples é tão sensível à densidade de vegetação quanto à interferência atmosférica, tornando-o pouco útil quando calculado com dados

obtidos por satélite. Para esses autores os Índices vegetativos TVI, PVI e GVI sofrem, nessa ordem, cada vez menos interferência das condições atmosféricas.

2.5 - COMUNIDADE VEGETAL ESTUDADA

O Cerrado (lato sensu) ocupa mais de 20% do território nacional, ou seja, cerca de 150 milhões de hectares, no planalto central do País, expandindo-se nas direções norte, nordeste e sudeste. A Região Geoeconômica de Brasília, cuja fisionomia vegetal predominante é o Cerrado, foi escolhida para esse estudo por se localizar nas proximidades do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado, que deu todo apoio de campo necessário para este trabalho. A Figura 2.6 mostra a localização das áreas de estudo, Planaltina e Posse. Essa região possui características próprias de uso da terra, de clima, de solo e de vegetação, cujos detalhes são dados a seguir.

Segundo Adamoli et alii (1984), a região dos Cerrados apresenta características que propiciam a atividade agrícola. A primeira delas é o clima tropical estacional (Aw, conforme classificação de Koeppen), cujo balanço hídrico da estação chuvosa pode ser suficiente para a agricultura. As condições térmicas de radiação, de fotoperíodo e a quase ausência de geadas concorrem para o bom desempenho de várias culturas. As condições topográficas em que os Cerrados se encontram facilitam grandemente a adoção de uma agricultura mecanizada. Finalizando, os recursos hídricos superficiais, que são de regime perene, viabilizam a irrigação da região.

O clima das regiões caracterizadas por vegetação de Cerrados tem duas estações bem definidas sendo uma chuvosa (de outubro a abril) e outra seca (de maio a setembro). A Figura 2.7, extraída de Genú et alii (1978), ilustra a situação climática da região onde a precipitação média é de 1580 mm/a e a temperatura média em torno de 22°C. Embora essa figura represente a média de 35 anos de observações, situações atípicas são perfeitamente possíveis.

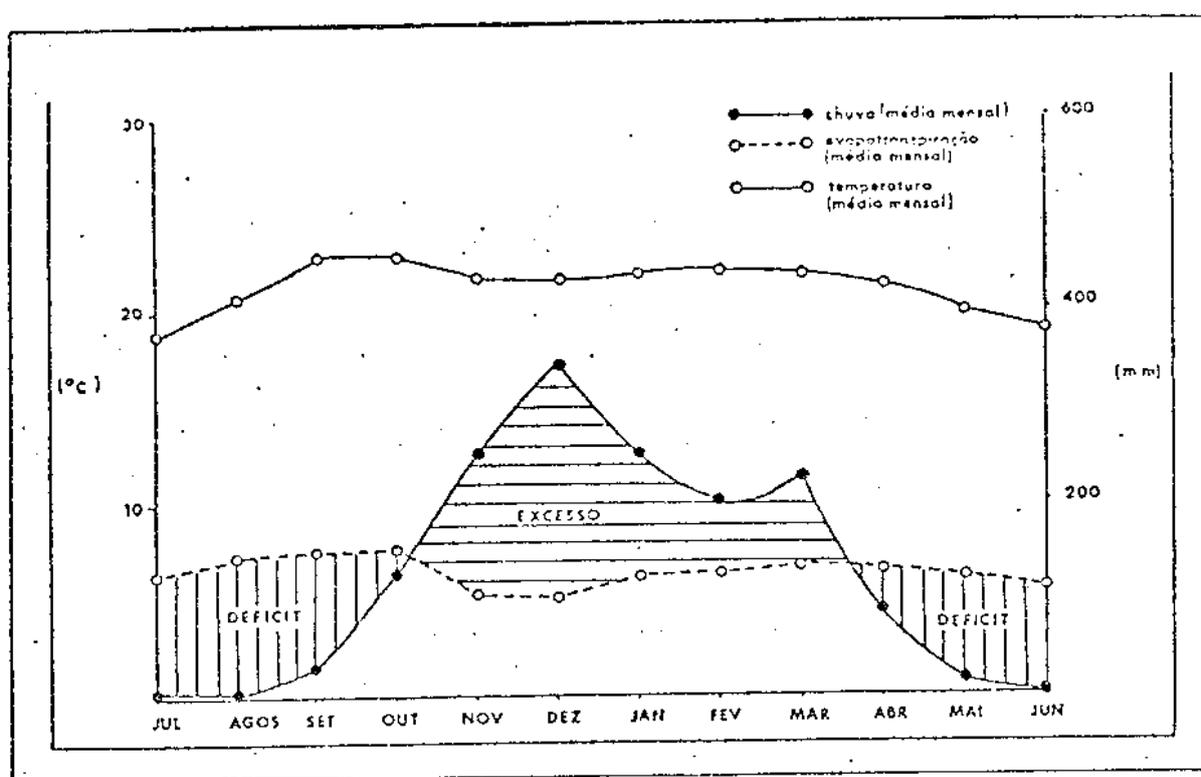


Fig. 2.7 - Balanço hídrico e temperatura média mensal de 35 anos de observação em Formosa - GO.

FONTE: Genú et alii (1978).

Os solos predominantes são Latossolo Vermelho Amarelo (LV) e Latossolo Vermelho Escuro (LE), os quais são quase sempre bem drenados (Genú et alii, 1978). O primeiro é profundo e com alta saturação de Al trocável em todo o perfil. O segundo é um solo menos profundo e com saturação de Al trocável apenas na camada superficial. Ainda segundo Genú et alii (1978), esses solos são ácidos e com baixo teor de nutrientes.

A vegetação de Cerrado "lato sensu" compreende, segundo Coutinho (1978), duas floras perfeitamente distintas: uma herbáceo-subarbusciva e outra arbustivo-arbórea. Ambas as floras apresentam uma vasta gama de características fisionômicas e estruturais gradativas que dependem de as condições ecológicas se aproximarem do ótimo campestre ou do ótimo florestal, passando por uma fisionomia intermediária que Coutinho (1976) chamou de biócoro de savana. As várias fisionomias do Cerrado "lato sensu" são decorrentes de fatores como solo, disponibilidade de água e ação do homem. A ação humana no biócoro de floresta consiste no desmatamento para retirada de madeira e nos biócoros de savana e campo consiste no uso do fogo que condiciona, ao longo do tempo, que espécies herbáceas passem a predominar nesse estrato. A Figura 2.8 apresenta graficamente o conceito floresta-ecotono-campo proposto por Coutinho (1976). A maioria dos autores descrevem campo e floresta de maneira coincidente. As fisionomias intermediárias, entretanto, constituem um ponto de grandes controvérsias. O que Coutinho (1976) chamou de biócoro de savana, Ribeiro et alii (1981) chamaram de Campo Cerrado, que definiram como tendo de 0 a 10% de cobertura arbórea de 2-3 metros de altura e estrato herbáceo predominante. Existem, porém, definições mais refinadas que não são do mérito desse trabalho. Por esta razão, serão denominadas Campo Cerrado, definição de Ribeiro et alii (1981), todas as comunidades aqui estudadas, cujo perfil corresponde ao biócoro de savana ilustrado na Figura 2.8.

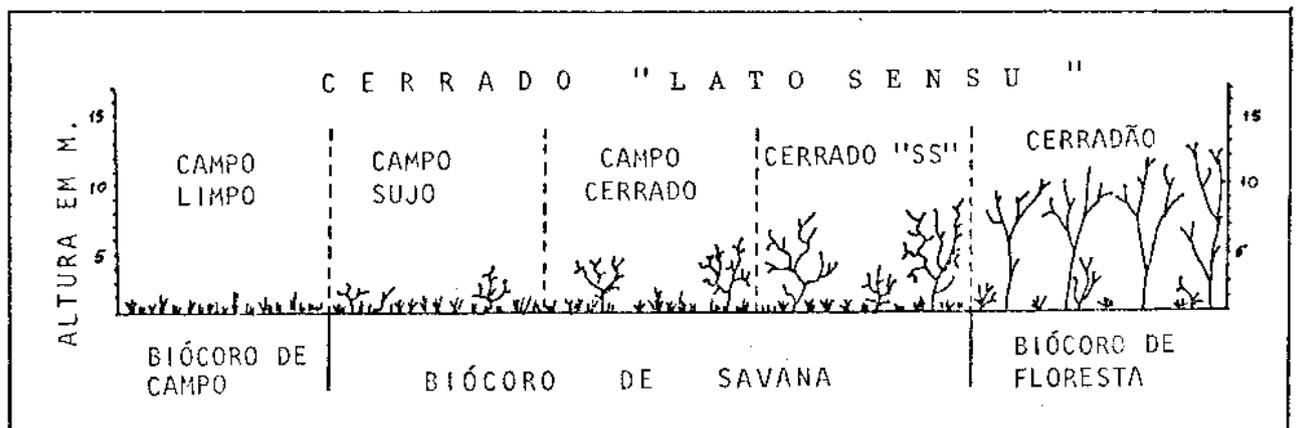


Fig. 2.8 - Perfis de vegetação que mostram o conceito "floresta-ecotono-campo" de Cerrado.

FONTE: Coutinho (1976).

De acordo com Goodland e Ferri (1979), o Cerrado é essencialmente um tipo arbóreo-arbustivo de vegetação. Entretanto, estas árvores podem ser baixas e esparsas. O seu representante campestre, o Campo Cerrado, tem estrato herbáceo relativamente bem desenvolvido. Este estrato é mais rico em espécies que o arbóreo-arbustivo, ficando bem claro que a medida que aumentam as espécies do estrato arbóreo, diminuem as espécies do estrato herbáceo.

No Campo Cerrado as famílias que aparecem com mais frequência são: Gramineae, Compositae, Leguminosae, Cyperaceae e Palmae. O estrato rasteiro visto do terreno é irregular tanto em altura quanto no espaçamento. Este espaçamento irregular ocorre em consequência dos hábitos de certas espécies. Algumas gramíneas e ciperáceas, por exemplo, crescem em tufos ou são solitárias. Muitas vezes espécies de folhas largas crescem de órgãos subterrâneos bem desenvolvidos. Entre as gramíneas encontram-se espécies de crescimento solitário que são bastante altas, como é o caso do *Trachypogon* que, em certas comunidades, chega a ser o elemento mais importante do tapete herbáceo. Outra característica que se nota facilmente é o fato de as gramíneas acumularem partes mortas as quais encobrem quase que totalmente as partes vivas da planta. Esse aspecto depende intimamente do lapso de tempo decorrido desde a última queimada, tão frequente nessa região. As espécies que compõem a família Palmae se fazem notar por ser abundantes e xeromorfas, baixas e acaulescentes, formando tufos espessos e espinhosos com altura entre 50 e 150 cm. É importante salientar que esta família contribui significativamente com o valor total da fitomassa foliar dos Campos Cerrados.

Outro aspecto significativo é que esta cobertura vegetal pode ser estratificada em zonas homogêneas através de sua observação a partir de dados coletados em plataformas aéreas ou orbitais. O relevo em que o Campo Cerrado via de regra ocorre varia predominantemente de plano a levemente ondulado. Este relevo suave permite que se estude o comportamento espectral de zonas homogêneas utilizando técnicas de sensoriamento remoto ao nível orbital, o que minimiza as distorções geométricas dos dados.

Para chegar à potencialidade agropecuária de uma comunidade vegetal, seja ela nativa ou cultivada, faz-se necessária a caracterização da sua produtividade que, segundo Odum (1975), consiste na variação de sua biomassa com o tempo. Como biomassa refere-se à massa orgânica total, doravante ao se referir somente à massa das folhas, usar-se-á a expressão fitomassa foliar.

2.6 - COLETA DE FITOMASSA NO CAMPO

A comunidade eleita para esse estudo apresenta uma característica muito peculiar. Possui um estrato herbáceo predominante que varia de zero a 10% de vegetação arbórea com altura máxima de 3 metros. Quando vista como um todo, apresenta um caráter homogêneo. Quando vista em detalhe, a distribuição espacial das espécies segue padrões ditados pelos vários e diferentes graus de associação existentes no habitat. Por essa razão, faz-se necessário estabelecer que estrato amostrar, como amostrar e como apresentar os resultados.

No caso de vegetação nativa, a produtividade é função da fitomassa do estrato herbáceo-subarbustivo ou arbustivo-arbóreo, conforme a comunidade. No caso do estrato herbáceo-subarbustivo, via de regra a fitomassa é obtida cortando todas as folhas ainda no pé contidas em tantos elementos amostrais quantos forem necessários para representar a comunidade em estudo. O conjunto de elementos amostrais que representam uma comunidade denominada homogênea chama-se área mínima.

Quanto aos elementos amostrais, é preciso chegar à forma, ao tamanho e ao número ideal para amostrar.

A forma mais frequentemente utilizada para os elementos amostrais tem sido o quadrado, segundo Daubenmire (1968), Gounot (1969), Milner e Hughes (1970) e Chapman (1976).

O tamanho de cada elemento amostral varia em função dos diferentes estudos e das comunidades estudadas. Milner e Hughes (1970)

recomendam 50 x 50 cm para pastos naturais, Chapman (1970) recomenda 25 x 25 cm para vegetação de dunas e sambaquis e Aoki e Santos (1980) usaram 1 x 1 m para estudar a fisionomia dos Cerrados brasileiros.

Quanto ao número de elementos amostrais, Gounot (1969) propõe que seja determinado com base nos dois aspectos mais marcantes de uma comunidade vegetal homogênea, que são os aspectos estrutural e florístico. Esse último, que é também o genotípico, vem sendo sugerido na literatura como um auxiliar na determinação da área mínima a ser amostrada, com boa margem de acerto. Como essa representatividade é apenas do ponto de vista florístico, faz-se necessário verificar se esse número de elementos amostrais obtidos floristicamente apresenta alguma relação com o número de elementos amostrais estabelecidos através da fitomassa. Assim, fez-se um estudo de uma área piloto, descrito em Materiais e Métodos.

Quanto à apresentação dos resultados, pode ser em peso fresco (g/m^2) ou teor de umidade da vegetação (%). Tucker et alii (1975) sugerem que se obtenham os valores de umidade relativa da vegetação, pois ao correlacioná-los com índices vegetativos observaram-se melhores resultados em comparação com a correlação feita com valores de fitomassa fresca. A justificativa é que a vegetação fotossinteticamente ativa mantém quantidades proporcionais de fitomassa, clorofilas e teor de umidade de uma maneira inter-relacionada. Até 70% do peso fresco da vegetação pode ser água. A água presente nas células é responsável pela atividade metabólica da folha que regula a concentração de clorofila. Segundo Tucker (1977b), a determinação de fitomassa oferece uma enorme fonte de erro, uma vez que o ideal seria eliminar as partes mortas de cada planta antes de pesá-las, o que em condições de campo é altamente dispendioso. A determinação de clorofila, por sua vez, também sofre erros de amostragem, de diluições e de extração em laboratório. A determinação do teor de umidade relativa requer somente que se obtenham o peso fresco (no campo) e o peso seco após secagem em estufa. Essa medida é portanto menos propensa a erros e mostrou o mais alto grau de significância estatística ao ser correlacionada com resposta espectral.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - DEFINIÇÃO DO TAMANHO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Como não se tinha idéia dos problemas a serem enfrentados para amostrar fitomassa foliar em uma comunidade como a de Campo Cerrado e como se desejava saber qual a relação entre a área mínima do ponto de vista florístico e a área mínima do ponto de vista de fitomassa, resolveu-se estudar uma área piloto localizada no CPAC (Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado), Planaltina - DF. Com base em Chapman (1976), defensor do método de Muller-Dombois e Ellenber (1974) para determinar a área mínima de comunidades através de suas espécies dominantes, iniciou-se o levantamento florístico de cada elemento amostral de 1 x 1 metro quadrado (Aoki e Santos, 1980), segundo o critério dos quadrados encaixados. Esse levantamento ficou a cargo de uma taxonomista do CPAC. Primeiramente levantaram-se as espécies contidas em unidades de 1 x 1 metro, aumentando-se para 1 x 2, 2 x 2, 2 x 4, 4 x 4, 4 x 8, 8 x 8 e 8 x 16, até que se obtivesse um gráfico com um patamar bem de finido.

A determinação da área mínima a partir do gráfico de número de espécies (eixo Y) por número de elementos amostrais (eixo X) consiste em traçar uma reta da origem ao ponto, onde $X = 100\%$ e $Y = 50\%$, o que significa que para um aumento de 10% no número de elementos amostrais obtém-se 5% de aumento no número de espécies. A seguir, traça-se uma reta, paralela à já citada, tangenciando a curva. A projeção do ponto tangente no eixo X é considerado área mínima daquela comunidade. A Figura 3.1 indica a área mínima que representa floristicamente o exemplar de Campo Cerrado do teste piloto, área esta que mostrou ter aproximadamente 32 m², ou seja, 32 elementos amostrais.

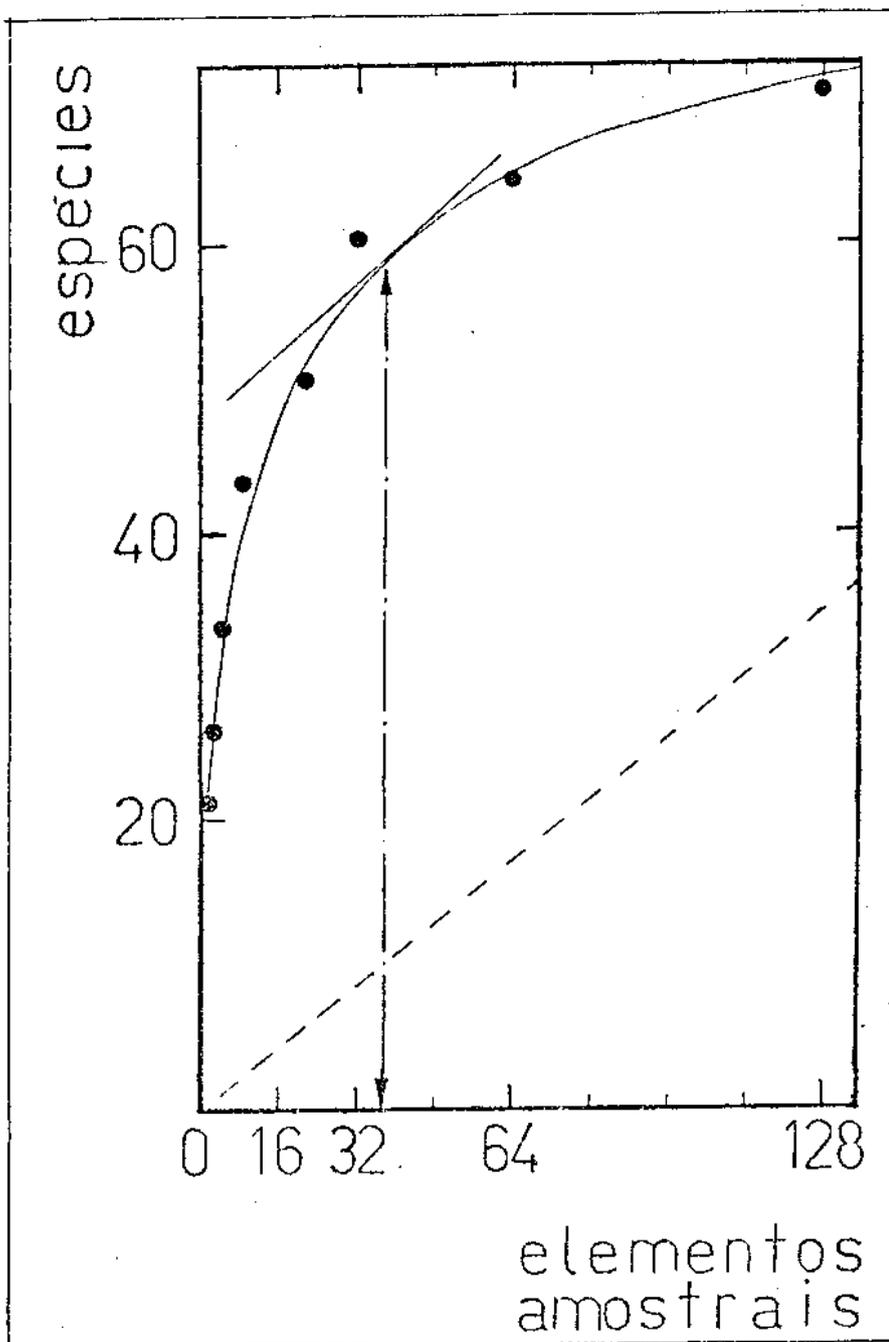


Fig. 3.1 - Relação entre o número de espécies e o número de elementos amostrais usados para determinar a área mínima do ponto de vista florístico no teste piloto.

Essa área mínima foi então subdividida por uma malha de barbante em celas de 1 x 1 m. Uma equipe de quatro homens iniciaram a coleta de fitomassa foliar de cada cela. A pesagem do material de cada cela foi feita no próprio campo. Para verificar qual o número mínimo de elementos amostrais que representam uma comunidade em termos de fitomas

sa, Chapman (1976) propõe que se utilize o método Média Móvel, que consiste em relacionar o peso médio com o número de elementos amostrais. Inicialmente fez-se a média dos 2 primeiros elementos, a seguir dos 3 primeiros e assim sucessivamente, até que já não se verificassem variações bruscas no valor de fitomassa. Nesse experimento constatou-se que a partir de 16 elementos amostrais não havia mais variações bruscas, conforme ilustra a Figura 3.2.

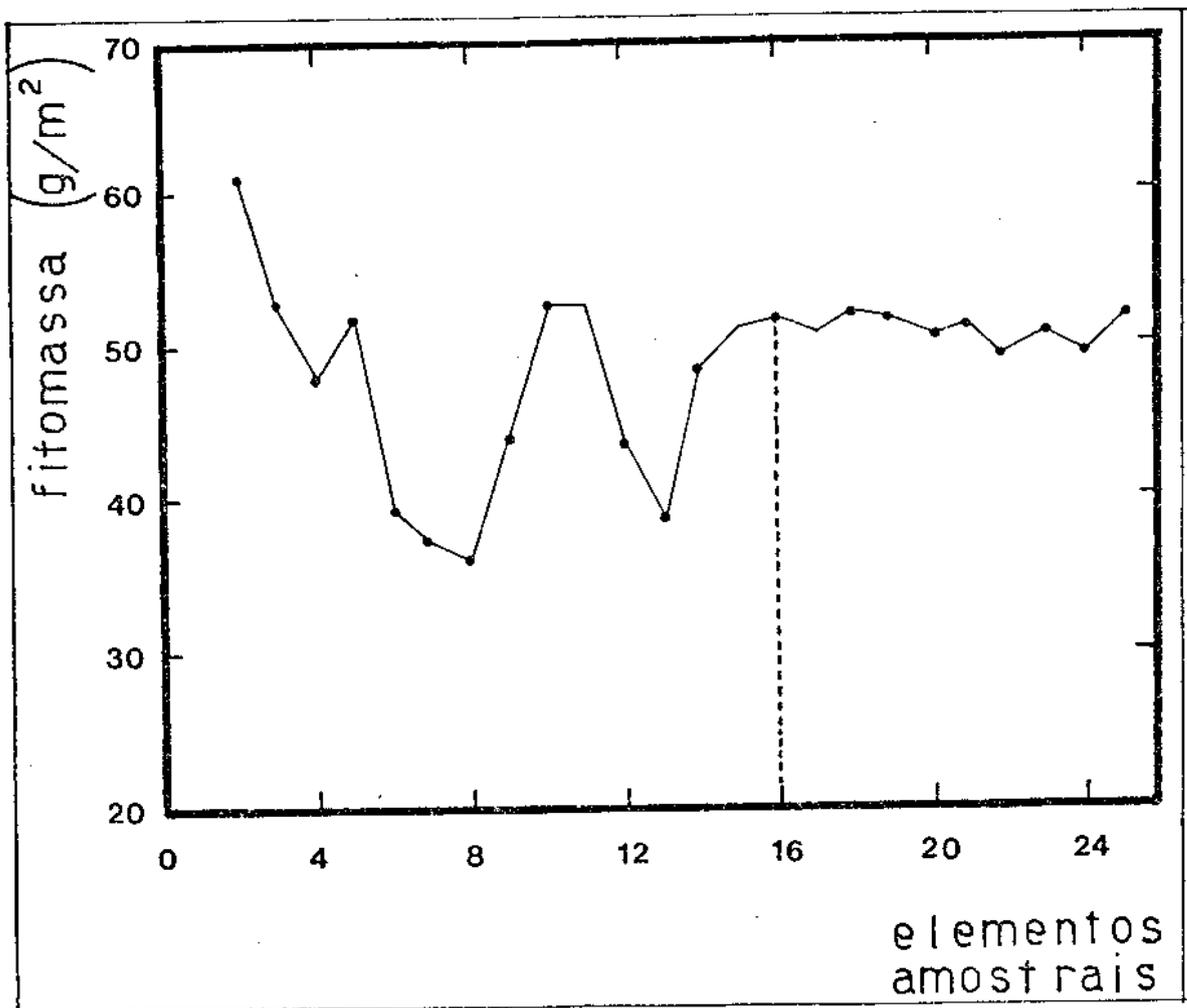


Fig. 3.2 - Média Móvel dos dados de fitomassa (g/m^2) em função do número de elementos amostrais.

Desse teste pode-se concluir que cerca de 50% dos elementos amostrais de uma área mínima do ponto de vista florístico são suficientes para representar a área mínima do ponto de vista de fitomassa

foliar. Considerando que cada exemplar de Campo Cerrado apresenta características peculiares em suas espécies, decidiu-se, por cautela, mostrar a fitomassa foliar em três áreas mínimas inteiras em cada exemplar de Campo Cerrado estudado.

A experiência obtida nesse teste orientou os trabalhos de campo realizados posteriormente.

3.2 - SELEÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

A seleção das unidades amostrais ou *SÍTIOS* foi feita a partir da análise de imagens do MSS-LANDSAT, uma vez que essas unidades devem ter tamanho compatível com a resolução espacial deste sistema. Outros requisitos considerados foram:

- padrão homogêneo na imagem de satélite;
- classificação bayesiana uniforme;
- possibilidade de obtenção de pontos de referência para orientar a localização dos *SÍTIOS* no campo.

Com essa finalidade, decidiu-se realizar um teste em uma área cuja fisionomia vegetal principal é de Campo Cerrado. Para verificar a separabilidade dessa(s) classe(s), classificou-se uma cena obtida pelo sistema MSS-LANDSAT-4 em 23.04.1983, órbita 220 e ponto 69, localizada nas proximidades de Posse (GO) à margem esquerda do Rio São Francisco.

Classificar uma imagem através de análise digital consiste em atribuir os "pixels" desta imagem a determinadas classes dentro de um critério estatístico ou determinístico. Usou-se inicialmente um critério determinístico não-supervisionado. É determinístico porque o algoritmo usado separa nuvens de adensamento de população dentro do espaço de atributos. Os centros destas nuvens são localizados através de um procedimento de médias errantes, e as demais celas do espaço de atributos são atribuídas às classes dentro de um critério de menor distância.

cia euclidiana ao centro da nuvem. É não-supervisionado porque o processo é realizado pelo próprio analisador de imagens sem fase de treinamento, necessária para a aquisição de parâmetros. O resultado deste procedimento é a estratificação da cena em classes que agrupam "pixels" de padrões espectrais semelhantes. Em outras palavras, indicam quais são as manchas homogêneas e qual é a classificação não-supervisionada uniforme. O resultado foi usado para orientar a localização de amostras na fase de treinamento, que antecede a classificação estatística supervisionada que foi posteriormente realizada. Este procedimento, chamado por Swain e Davis (1978) de classificador híbrido, oferece ao treinamento somente classes de uma só moda, uma vez que o algoritmo de classificação pressupõe um comportamento espectral gaussiano. Esse classificador bayesiano de imagens digitais agrupa classes segundo o princípio da máxima verossimilhança a partir de um limiar previamente estabelecido. Esse sistema de classificação produz uma matriz de classificação que indica o grau médio de confusão entre as classes e o desempenho médio do classificador.

A Tabela 3.1 apresenta a matriz de classificação do teste realizado. O resultado obtido pelo classificador (limiar 5) em um módulo ampliado na escala de 1:100.000 mostrou a capacidade de o algoritmo separar cinco classes. Conforme indica a matriz, a classificação da passagem do dia 23.04.1983 apresentou um alto desempenho médio (97,2%) e baixa confusão entre as classes (2,6%).

TABELA 3.1

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO PARA ÁREAS DE TREINAMENTO (L = 5) DA
PASSAGEM DE 23.04.1983, ÓRBITA E PONTO 220/69 LANDSAT-4

	N	1	2	3	4	5
1. CLASSE 1	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2. CLASSE 2	0,0	0,0	99,0	0,0	1,0	0,0
3. CLASSE 3	0,0	0,0	0,0	94,0	0,0	6,0
4. CLASSE 4	1,0	0,0	1,0	0,0	98,0	0,0
5. CLASSE 5	0,0	0,0	2,0	3,0	0,0	95,0
DESEMPENHO MÉDIO DM = 97,2%						
ABSTENÇÃO MÉDIA AM = 0,2%						
CONFUSÃO MÉDIA CM = 2,6%						

Com a finalidade de caracterizar de forma generalizada a área contida na cena classificada para teste, fotografou-se o vídeo do I-100 antes e depois da classificação. Em seguida fez-se uma visita ao campo. Orientando-se pelas fotos tiradas do vídeo, tomou-se a BR 020 e examinaram-se as manchas mais próximas à estrada. Verificou-se que a maioria das manchas eram de fato Campo Cerrado com densidade vegetal variada. Registrou-se o estado geral de cada mancha para uma posterior escolha das que viriam a ser amostradas. Nessa escolha eliminaram-se as que apresentaram sinais de queimada recente em virtude dos resíduos de cinzas. Eliminaram-se também as manchas que estavam sendo correntemente usadas no pastoreio. Com esse estudo pretendeu-se diminuir a subjetividade de julgamento do intérprete humano na escolha das unidades a serem amostradas.

O macroclima que compreende as regiões de Cerrados são sempre de duas estações bem definidas. Na estação de chuvas, a obtenção de imagens de satélite livre de cobertura de nuvens é dificultada. Na estação seca só se pode estudar a fitomassa verde no início da estação,

pois logo a vegetação seca demasiadamente. Como as datas das coletas no campo devem coincidir o máximo possível com as passagens do satélite, o tempo hábil para esse estudo durante um ano não é muito extenso. Um outro agravante é que as áreas com diferenças significativas no valor de fitomassa distam-se consideravelmente umas das outras. Como não foi possível deslocar mais de uma equipe por motivos econômicos, fizeram-se duas missões de coleta de fitomassa foliar no campo, a saber:

- Primeira missão:

- no SÍTIO I em 22.06.1983;
- nos SÍTIOS II a VI de 26.06.83 a 01.07.1983.

- Segunda missão:

- nos SÍTIOS VII a XVI de 02.05.84 a 15.05.1984.

Em cada missão foram feitas medidas radiométricas do complexo solo-vegetação antes da coleta de fitomassa foliar. Além desses dados, observou-se também a cor do solo na superfície e, em alguns casos, coletou-se material do horizonte A para análise físico-hídrica.

3.3 - DESCRIÇÃO DOS SÍTIOS AMOSTRADOS

- SÍTIO I - Estrato herbáceo denso com várias espécies latifolia das e palmeiras, cerca de 10% de arbustos e aproximadamente 95% de cobertura de solo.
- SÍTIO II - Estrato herbáceo predominantemente graminóide (Gramineae e Cyperaceae) com cerca de 1% de arbustos e aproximadamente 70% de cobertura de solo.
- SÍTIO III - Estrato herbáceo predominantemente graminóide com cerca de 5% de arbustos e aproximadamente 80% de cobertura de solo.
- SÍTIO IV - Estrato herbáceo graminóide com cerca de 10% de arbusto e aproximadamente 60% de cobertura de solo.

- SÍTIO V - Estrato herbáceo graminóide com espécies de crescimento isolado que dificultam a avaliação visual da cobertura do solo (entre 60-70%) e ausência de arbustos.
- SÍTIO VI - Estrato herbáceo graminóide muito ralo com poucos arbustos e algumas árvores e 60 a 70% de cobertura do solo.
- SÍTIO VII - Estrato herbáceo com espécies latifoliadas predominantes e espécies graminóides com baixa frequência, cerca de 10% de arbustos, aproximadamente 85% de cobertura de solo, e presença marcante de palmeiras.
- SÍTIO VIII - Estrato herbáceo bastante verde com aproximadamente 90% de cobertura de solo e presença marcante de gramíneas jovens.
- SÍTIO IX - Estrato herbáceo predominantemente graminóide com ausência de arbustos e poucas palmeiras, e aproximadamente 90% de cobertura de solo.
- SÍTIO X - Expressivo estrato graminóide com arbustos esparsos, gramíneas com elevado acúmulo de partes mortas e mais de 90% de cobertura de solo.
- SÍTIO XI - Estrato herbáceo com poucas gramíneas, predomínio de espécies de folhas largas e de palmeiras, e aproximadamente 80% de cobertura de solo.
- SÍTIO XII - Estrato herbáceo com gramíneas de porte alto e em floração com grande acúmulo de partes mortas e espécies de folhas largas em igual quantidade e aproximadamente 95% de cobertura de solo.
- SÍTIO XIII - Estrato herbáceo com poucos arbustos e muitas palmeiras, predomínio de espécies latifoliadas e aproximadamente 80% de cobertura de solo.
- SÍTIO XIV - Estrato graminóide alto com grande acúmulo de partes mortas, cerca de 10% de arbustos e aproximadamente 95% de cobertura de solo.

SÍTIO XV - Estrato graminóide muito verde com vários arbustos e raras árvores, presença marcante de palmeiras e aproximadamente 85% de cobertura de solo.

SÍTIO XVI - Estrato herbáceo com predominância de gramíneas, marcante presença de palmeiras e aproximadamente 90% de cobertura de solo.

3.4 - COLETA DE DADOS NO CAMPO

3.4.1 - COLETA DE FITOMASSA NO CAMPO

Com a experiência adquirida na área piloto e após certificar-se da perfeita localização da área homogênea previamente classificada, estendia-se uma malha de barbante inicialmente de dezesseis metros quadrados cada uma. Procedia-se ao levantamento florístico para confirmar a área mínima e, somente após plotar o número de espécies versus o número de quadrados, começava-se a cortar a vegetação. Como o Campo Cerrado apresenta características fisionômicas próprias, a coleta foi feita rente ao chão, contrariando Milner e Hughes (1970) que sugerem dois centímetros acima do solo. A razão para essa mudança deve-se ao fato de algumas espécies da família das mirtáceas, cuja contribuição em termos de fitomassa é significativa, apresentarem caule subterrâneo. Suas folhas largas e espessas crescem assim diretamente do solo. Após coletado, o material foi pesado e depois despejado em uma lona onde foi picotado e homogeneizado para então extrair dele uma alíquota de 300 gramas para posterior secagem, a 70°C, em estufa durante 48 horas. Por ocasião da coleta na margem esquerda do Rio São Francisco (Posse, GO), o material pernoitava em uma estufa de campo revestida com lâminas de isopor e aquecida com 4 lâmpadas de 100 W. A secagem final deste material, bem como a secagem do material dos demais SÍTIOS, foi feita em estufa convencional de laboratório, de propriedade da EMBRAPA/CPAC. O peso médio de três áreas mínimas em cada mancha previamente classificada foi considerada como a medida de cada SÍTIO.

3.4.2 - COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Os SÍTIOS II a VI, localizados nas proximidades de Posse (GO), tiveram o horizonte A dos seus solos amostrados para análise de textura e de umidade em virtude de o mapa de solos existentes (EMBRAPA/SNLCS, 1976) ser apenas exploratório. O SÍTIO I, localizado no CPAC, também teve seu solo amostrado por sugestão dos pesquisadores locais, por terem notado que essa é uma das poucas áreas de Campo Cerrado que se mantêm verde em pleno período de seca. Os SÍTIOS VII a XVI, localizados nas proximidades de Planaltina (DF), não tiveram seus solos amostrados por já haver um mapa de reconhecimento dos solos do Distrito Federal (EMBRAPA/SNLCS, Boletim Técnico nº 53, 1978). Estes SÍTIOS encontram-se em Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa. Os materiais coletados foram lacrados em latas taradas e levados para análise físico-hídrica nos laboratórios do CPAC.

Observou-se no campo que os solos estudados possuem uma coloração intermediária entre os solos brasileiros, uma vez que comparados com a Tabela de Munsell (1947) suas cores variaram de 7,5 YR para LV e 5 YR para LE.

3.4.3 - MEDIDAS RADIOMÉTRICAS DE CAMPO

Em cada SÍTIO procedeu-se às medidas do fator de reflectância bidirecional com radiômetro portátil KIMOTO PM 12A, nas faixas do espectro eletromagnético centradas em 525, 550, 575, 600, 625, 650, 675, 700, 750, 850 e 950 nm, com uma largura de aproximadamente 10 nm para cada faixa espectral. Com uma visada de 10^0 e a 2,5 m do chão foram feitas medidas verticais com tempo de exposição de aproximadamente 30 segundos para cada comprimento de onda.

O procedimento de campo para obter o fator de reflectância bidirecional (FRB) do complexo solo-vegetação com relação a uma placa de 1 x 1 m, pintada de Sulfato de Bário, foi o seguinte: para cada faixa deve-se tomar uma medida da placa padrão, três medidas do al

vo e uma outra medida da placa padrão. Como esse radiômetro foi construído para amplificar as medidas de comprimento de onda menores e atenuar as medidas de comprimento de onda maiores, para converter os resultados em valores de reflectância reais faz-se necessário aplicar a seguinte equação:

$$R(\%) = 10^{-(R_{pp} - R_{sv})} \cdot 100,$$

onde R_{pp} é a média das duas medidas da placa padrão e R_{sv} é a média das três medidas do complexo solo-vegetação. Ao subtrair R_{sv} de R_{pp} , obtém-se um FRB isento de efeitos de iluminação. Ao efetuar a operação exponencial de base dez, compensa-se o fato de o radiômetro ter sido construído para registrar dados em escala logarítmica.

A Figura 3.3 mostra de maneira esquemática a posição com que foram obtidas as medidas radiométricas no campo.

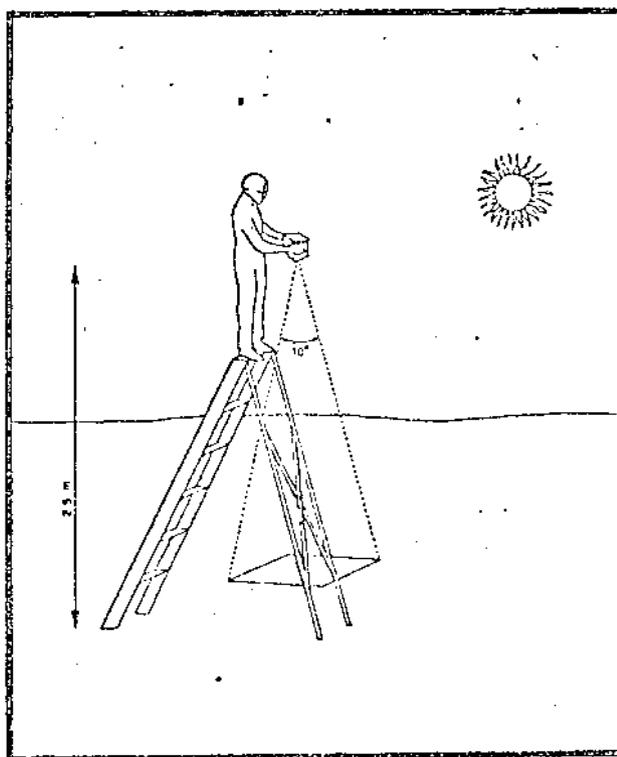


Fig. 3.3 - Esquema da obtenção de dados radiométricos no campo.

A primeira medida de campo s \bar{o} era feita quando se tinha certeza de haver atingido a mancha de classifica \bar{c} o uniforme previamente escolhida. Duas outras medidas foram feitas a cerca de 100 metros uma da outra, sempre em dire \bar{c} o ao Sol nascente, que era o \bar{u} nico referencial dispon \bar{i} vel. O valor final do fator de reflect \bar{a} ncia bidirecional de cada S \bar{I} TIO amostrado foi obtido a partir da m \bar{e} dia das tr \bar{e} s subamostras de cada S \bar{I} TIO.

O hor \bar{a} rio foi sempre entre 8:30 e 10:30 horas da manh \bar{a} , conforme a dist \bar{a} ncia entre o S \bar{I} TIO e o centro de apoio de campo. O ideal talvez fosse medir a porcentagem de reflect \bar{a} ncia quando o Sol estivesse a pino (diminuindo sombras). Contudo, nessa regi \bar{a} o a ocorr \bar{e} ncia de nuvens no meio do dia \bar{e} bastante grande. Al \bar{e} m disso, as medidas de sat \bar{e} lite s \bar{a} o obtidas aproximadamente \bar{a} s 9:30, hora local.

Os per \bar{i} odos de coleta de dados radiom \bar{e} tricos no campo coincidentes com as coletas de fitomassa foram:

- 22.06.1983S \bar{I} TIO I;
- 26.06.83 a 01.07.1983S \bar{I} TIOS II a VI;
- 02.05.84 a 15.05.1984S \bar{I} TIOS VII a XVI.

Os locais est \bar{a} o ilustrados nas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6, que correspondem a transpar \bar{e} ncias superpostas \bar{a} s imagens de sat \bar{e} lite das datas dos trabalhos de campo. A orienta \bar{c} o no campo foi feita com o aux \bar{i} lio de fotografias obtidas do v \bar{i} deo do I-100 antes e depois da classifica \bar{c} o de m \bar{o} dulos na escala de 1:100.000. No caso do S \bar{I} TIO I, a orienta \bar{c} o foi feita com o aux \bar{i} lio de um croqui da \bar{a} rea do CPAC(Ap \bar{e} ndice A).

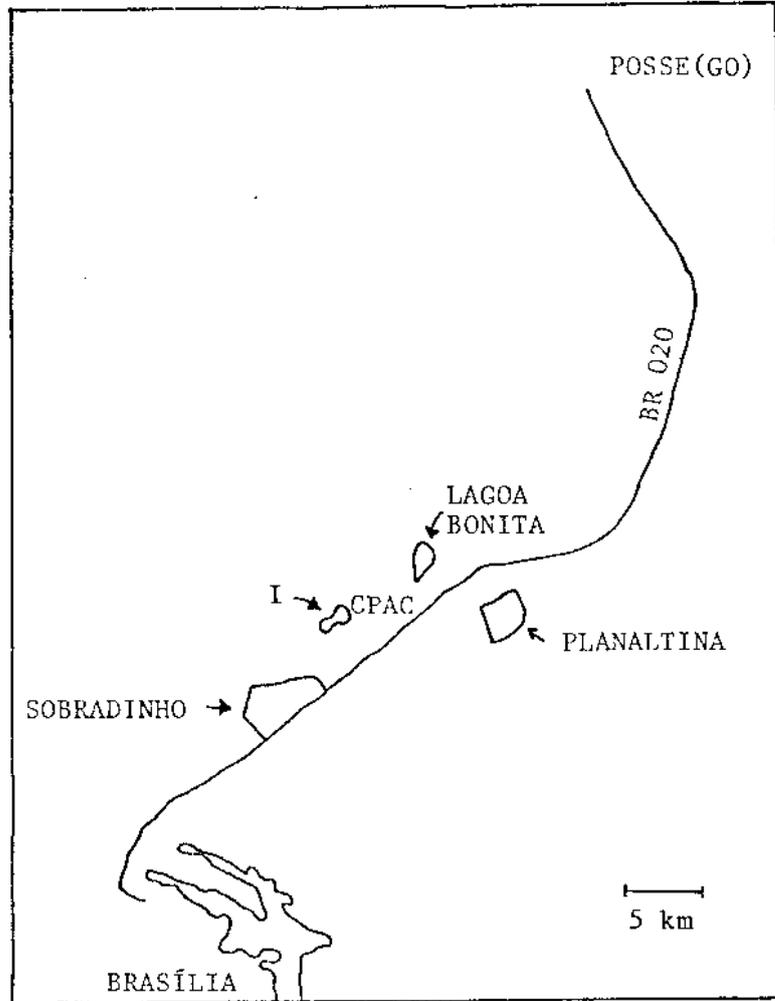


Fig. 3.4 - Localização do SÍTIO I.

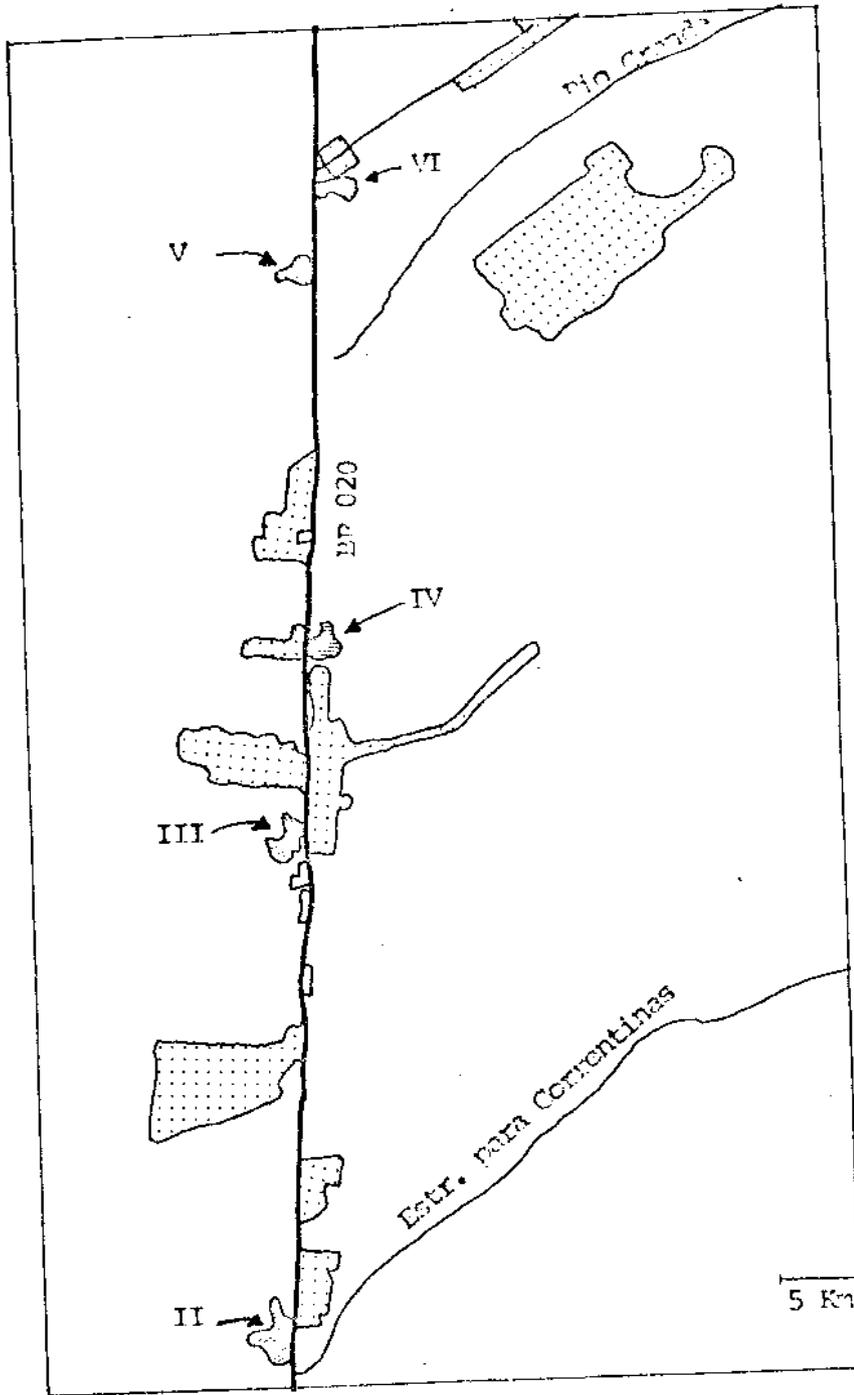


Fig. 3.5 - Localização dos SÍTIOS II a VI.

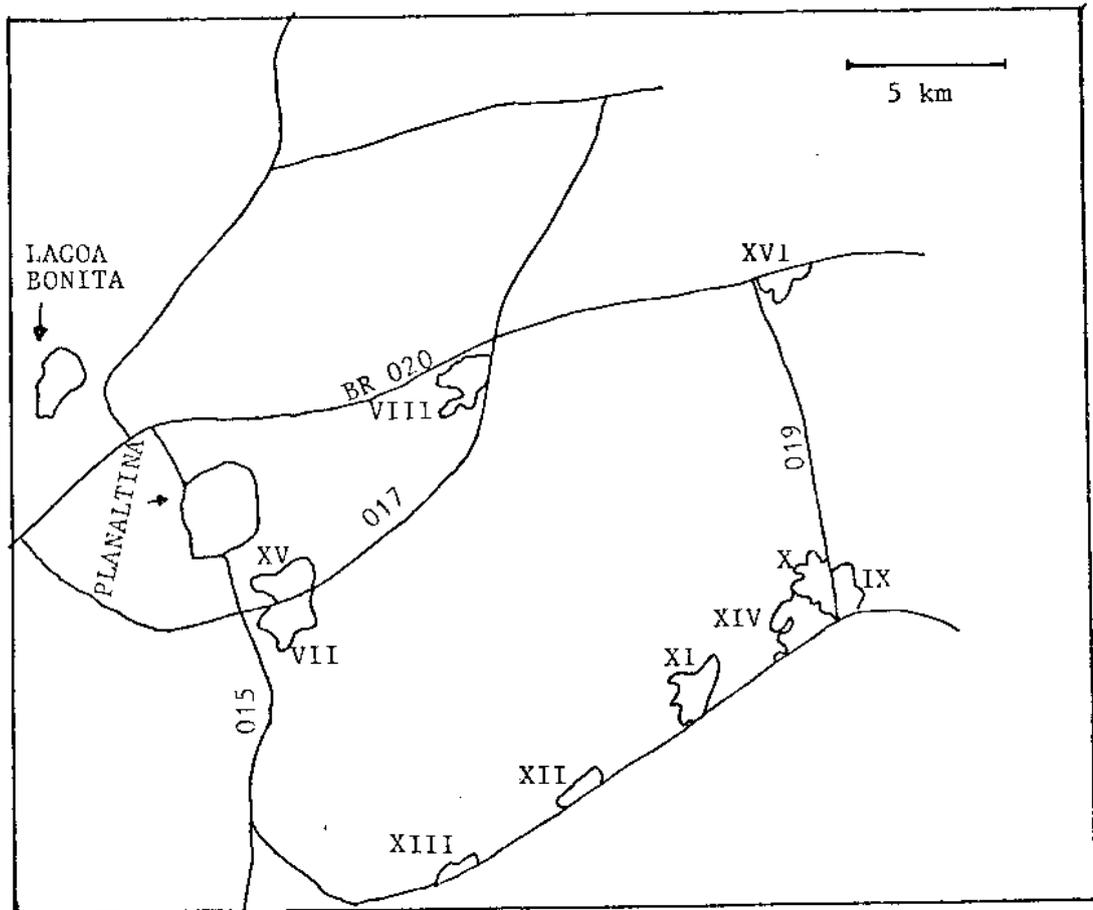


Fig. 3.6 - Localização dos SÍTIOS VII a XVI.

3.5 - DADOS ESPECTRAIS DO SISTEMA MSS-LANDSAT

3.5.1 - PRODUTOS MSS-LANDSAT UTILIZADOS

Os dados espectrais de cada SÍTIO foram extraídos das fitas CCTs das imagens MSS-LANDSAT das seguintes passagens:

- 17.06.83 MSS-LANDSAT-4, 221/71SÍTIO I;
- 26.06.83 MSS-LANDSAT-4, 220/69SÍTIOS II a VI;
- 10.05.84 MSS-LANDSAT-5, 221/71SÍTIOS VII a XVI.

Essas fitas não sofreram correções geométricas por su gestão de Verdin (1983), que comparou os produtos MSS-LANDSAT corrigidos geometricamente com os não corrigidos e constatou que a correção geométrica compromete a informação radiométrica. Fez-se, contudo, uma correção para erros de sensores ("striping"). Ao observar os quatro canais da imagem do LANDSAT-5, verificaram-se listas horizontais no canal 7. Para corrigir esse erro de sensor aplicou-se um algoritmo denominado SENCOR, que gerá uma tabela de correção radiométrica linear tomando como base os dados registrados no primeiro detector não-defeituso, deixando as respostas dos seis detectores no mesmo nível de cinza. É importante salientar que a não-correção dos "stripings" compromete seriamente os valores de níveis de cinza médios.

3.5.2 - OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS MULTIESPECTRAIS

Como não foi possível identificar na imagem de satélite, com a precisão necessária, os SÍTIOS amostrados em campo em virtude da baixa resolução do Sistema MSS-LANDSAT 4 e 5 (82,7 x 57 m), resolveu-se extrair os níveis de cinza médios das manchas com padrão homogêneo de classificação, correspondentes a cada SÍTIO amostrado no campo. Para extrair os valores médios de níveis de cinza, fez-se uma classificação bayesiana em todos os módulos que contêm os SÍTIOS amostrados. Partiu-se da premissa que se as manchas tinham padrão homogêneo para o classificador, haveria uma grande chance de também o serem no terre

no. A classificação foi usada para facilitar o posicionamento do cursor, o que evitou a inclusão de "pixels" de borda nas médias de níveis de cinza. Para extrair os níveis de cinza médios, posicionou-se um cursor o maior possível que coubesse dentro da mancha classificada. Os "pixels" contidos no cursor são então utilizados na fase de treinamento para uma classificação do tipo determinístico que determina os limites máximos e mínimos dos níveis de cada canal em um espaço de atributos na forma de um paralelepípedo. Esse algoritmo está implantado no INPE com o nome de SINGLE-CELL. Através de uma unidade de saída, obtêm-se os valores de níveis de cinza médios em números reais. De posse dos valores de nível de cinza médio para cada mancha onde havia sido realizada a coleta de campo, procedeu-se à sua correção para compensar o fato de as imagens terem sido obtidas em diferentes ângulos zenitais. Como o ângulo zenital é igual a 90° menos o ângulo de elevação e os produtos LANDSAT trazem o valor do ângulo de elevação solar, usar-se-á o seno desse ângulo em vez do co-seno do ângulo zenital, como aparece contumemente na literatura. Assim sendo, o fator F é obtido com a seguinte equação:

$$F = \sin\alpha / \sin\alpha',$$

onde α' é o ângulo de elevação solar eleito e α é o ângulo de elevação solar por ocasião da obtenção da imagem pelo satélite.

A Tabela 3.2 apresenta os ângulos de elevação solar de cada imagem e os respectivos valores de "F" que foram multiplicados pelos dados de níveis de cinza médios de cada banda correspondentes a cada SÍTIO. Essa correção foi introduzida a fim de que se possam correlacionar os dados de bandas individuais extraídas das três passagens de satélite de datas distintas com os dados de campo.

TABELA 3.2

ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR DAS IMAGENS UTILIZADAS

DATA DA PASSAGEM	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR	F
17.06.83	34 ^o	1,11
26.06.83	38 ^o	1,00
10.05.84	40 ^o	0,96

O conjunto de dados com essa correção recebeu o nome de dados MSS-LANDSAT originais, ou seja, sem correção de efeitos atmosféricos.

Um outro conjunto de dados foi gerado a partir desse último aplicando um método que se baseia no fato de que alvos, como por exemplo sombra de relevo ou água límpida, devem ter resposta próxima de zero na faixa do infravermelho próximo. Desse modo, os níveis de cinza registrados para esses alvos na banda citada podem estar mascarados por um tipo específico de espalhamento atmosférico. Como a região estudada está sujeita a queimadas que podem contribuir com moléculas capazes de promover espalhamento atmosférico que adiciona brilho principalmente à resposta espectral no vermelho, diminuindo portanto o contraste entre as bandas não-correlatas, resolveu-se efetuar uma subtração desse brilho excedente a fim de melhorar o desempenho dos índices vegetativos. Na cena 220/69, Posse (GO), aparece um relevo bastante acentuado, correspondente à Serra Geral de Goiás. Na cena 221/71, Distrito Federal, aparece a Lagoa Bonita, considerada regionalmente como límpida. Assim, com a utilização de um algoritmo apropriado ("Cluster Synthesis") pesquisou-se cada uma das três cenas para observar que alvos possuem menores níveis de cinza no canal 7. Verificou-se que esses níveis de cinza correspondiam a alvos como sombra de relevo e água límpida. A seguir, extraíram-se os níveis de cinza desses alvos nos quatro canais do MSS-LANDSAT. A Tabela 3.3 apresenta os valores que foram subtraídos de cada cena estudada.

TABELA 3.3

VALORES SUBTRAÍDOS DA CENA PARA ATENUAR EFEITOS ATMOSFÉRICOS

SÍTIOS	PASSAGEM	MSS-5	MSS-6	MSS-7
I	17.06.83	15	5	2
II-VI	26.06.83	39	38	14
VII-XVI	10.05.84	15	8	4

O resultado dessas subtrações gerou o conjunto de dados denominados "dados do MSS-LANDSAT corrigidos".

3.5.3 - CÁLCULO DOS ÍNDICES VEGETATIVOS

Embora os índices PVI e GVI venham sendo frequentemente apontados (McDaniel and Haas, 1982; Richardson et alii, 1982) como os melhores indicadores de densidade de vegetação até agora estudados, não foram testados nesse trabalho, porque o objetivo não é testar exaustivamente, e sim verificar a viabilidade de usar índices vegetativos na estimativa de fitomassa de uma comunidade vegetal como os Cerrados, que apresentam alto interesse sócio-econômico dada a sua extensão territorial e a sua potencialidade agropecuária. Além do mais, não se tem até o momento conhecimento de que estes índices tenham sido testados com alvos brasileiros.

Assim, dadas as dificuldades encontradas, serão estudadas somente as correlações entre os dados de fitomassa de campo e as bandas individuais e índices vegetativos:

- V = vermelho centrado em 675 nm;
- IVP6 = infravermelho próximo centrado em 750 nm;
- IVP7 = infravermelho próximo centrado em 850 nm;

- $R_{6,5} = IVP_6/V;$
- $R_{7,5} = IVP_7/V;$
- $TVI_6 = \sqrt{(IVP_6 - V)/(IVP_6 + V) + 0,5} ;$
- $TVI_7 = \sqrt{(IVP_7 - V)/(IVP_7 + V) + 0,5} .$

Assim calcularam-se manualmente os IVs (Rs e TVIs) para os três modos de apresentação dos dados espectrais:

- dados radiométricos de campo;
- dados originais do MSS-LANDSAT 4 e 5;
- dados corrigidos do MSS-LANDSAT 4 e 5.

A Tabela 3.4 mostra as principais faixas do espectro eletromagnético usadas no monitoramento de vegetação tanto no sistema MSS-LANDSAT como no radiômetro de campo modelo KIMOTO PM 12A.

TABELA 3.4

FAIXAS ESPECTRAIS DO SISTEMA MSS-LANDSAT E DO
RADIÔMETRO DE CAMPO MODELO KIMOTO PM 12A

CONDICIONANTES DA RESPOSTA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	LANDSAT		KIMOTO PM 12A	
	MSS	FAIXA (nm)	FILTRO	FAIXA(nm)
Clorofila	5	600 - 700	V (vermelho)	670 - 680
Estrutura Foliar (densidade de vegetação)	6	700 - 800	{ IVP(infraver melho próximo)	745 - 755
	7	800 - 1100		845 - 855

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intervalo de fitomassa foliar fresca observado nos dezesseis SÍTIOS amostrados foi de 297,9 a 808,0 g/m². Embora esse intervalo apresente uma distribuição de peso quase uniforme, observou-se que o predomínio maior ou menor de espécies da família Gramineae condicionaram a formação de dois grupos: um com grande e outro com pequena variedade de espécies. As gramíneas, além de acumular partes mortas, também apresentam baixo valor de fitomassa foliar por indivíduo. Nos SÍTIOS II-VI a vegetação apresentou-se mais rala que nos demais SÍTIOS. As famílias com espécies de folhas largas foram bastante raras, bem como as espécies da família Palmae, tão frequentes nos representantes campestres dos Cerrados. Nos SÍTIOS I e VII-XVI observou-se uma grande variedade de espécies, das quais as mais comuns são rubiáceas, euforbiáceas, compostas, palmáceas, leguminosas, ciperáceas e verbenáceas. Todas estas famílias estiveram representadas por espécies geralmente de fitomassa alta em virtude de suas folhas largas, suculentas e carnosas. A Tabela 4.1 apresenta a lista das famílias encontradas nos SÍTIOS do DF e de Posse, por ordem decrescente de ocorrência.

Para ter uma visão global sobre a situação dos dezesseis SÍTIOS amostrados, elaborou-se a Tabela 4.2, que apresenta um resumo dos aspectos considerados relevantes para a análise dos resultados desse trabalho.

TABELA 4.1

LISTAGEM DAS FAMÍLIAS QUE COMPÕEM O ESTRATO HERBÁCEO
DOS CAMPOS CERRADOS ESTUDADOS

FAMÍLIAS	PREDOMINANTES NOS SÍTIOS	
	DE POSSE	DO DF
Gramineae	x	
Myrtaceae	x	
Rubiaceae		x
Euphorbiaceae		x
Compositae		x
Palmae		x
Leguminosae		x
Cyperaceae		x
Erythroxylaceae	x	
Verbenaceae		x
	Igual peso em ambas as regiões	
Anacardiaceae	x	
Anonaceae	x	
Bignomiaceae	x	
Bromeliaceae	x	
Burseraceae	x	
Caryocaraceae	x	
Combretaceae	x	
Connaraceae	x	
Convolvulaceae	x	
Curcubitaceae	x	
Flacourtiaceae	x	
Guttiferaceae	x	
Hippocrateaceae	x	
Iridaceae	x	
Krameraceae	x	
Labiatae	x	

(continua)

Tabela 4.1 - Conclusão

FAMÍLIAS	PREDOMINANTES NOS SÍTIOS	
	DE POSSE	DO DF
	Igual peso em ambas as regiões	
Lythraceae	x	
Malpighiaceae	x	
Malvaceae	x	
Ocharaceae	x	
Palygalaceae	x	
Rutaceae	x	
Sapindaceae	x	
Sapotaceae	x	
Turneraceae	x	
Vachysiaceae	x	

TABELA 4.2

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE OS SÍTIOS AMOSTRADOS

SÍTIOS	LOCALIZAÇÃO	DATAS DOS TRABALHOS DE CAMPO	DATAS DAS AQUISIÇÕES DAS IMAGENS	TIPO DE SOLO	VARIEDADE DE ESPÉCIES ENCONTRADAS
I	CPAC	22.06.83	17.06.83	LV muito argiloso	grande
II-VI	Posse (GO)	de 26.06.83 a 01.07.83	26.06.83	LV arenoso	pequena
VII-XVI	Planaltina (DF)	de 02.05.84 a 15.05.84	10.05.84	LE argiloso	grande

Os resultados radiométricos e de fitomassa foram organizados em tabelas que permitem visualizar cada modalidade de tomada de dados: 1) dados espectrais de campo; 2) dados MSS-LANDSAT originais; 3) dados MSS-LANDSAT corrigidos. Em todos estes conjuntos aparecem os respectivos IVs, juntamente com os dados de fitomassa foliar

fresca total e de teor de umidade da vegetação para cada SÍTIO amostrado.

A Tabela 4.3 mostra os dados obtidos com o radiômetro portátil KIMOTO PM 12A. Os valores discriminados por banda espectral encontram-se no Apêndice B.

A Tabela 4.4 apresenta os dados espectrais originais registrados pelo Sistema MSS-LANDSAT e analisados pelo Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (I-100), que forneceu dados de níveis de cinza médios. Esses níveis foram corrigidos para compensar a obtenção de dados em diferentes ângulos de elevação solar, a fim de que fosse possível a análise das bandas espectrais individuais de imagens tomadas em datas diferentes.

A Tabela 4.5 apresenta os dados espectrais registrados pelo Sistema MSS-LANDSAT, os quais foram corrigidos não somente para compensar os diferentes ângulos de elevação solar na tomada de dados em datas distintas, mas também para atenuar o espalhamento atmosférico.

TABELA 4.3

FATOR DE REFLECTÂNCIA BIDIRECIONAL (R%), ÍNDICES VEGETATIVOS (R E TVI), TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO E FITOMASSA FOLIAR TOTAL REFERENTES AOS DEZESSEIS SÍTIOS AMOSTRADOS

SÍTIOS	R (%)			R6,5	R7,5	TVI6	TVI7	TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO(%)	FITOMASSA FRESCA TOTAL (g/m ²)
	V	IVP6	IVP7						
I	13,6	25,9	25,3	1,90	1,86	0,90	0,89	65,9	554,0
II	17,2	22,5	25,7	1,31	1,38	0,80	0,84	26,2	396,0
III	17,1	21,7	22,8	1,26	1,32	0,78	0,80	25,0	472,0
IV	22,5	29,6	35,6	1,32	1,58	0,80	0,85	25,0	344,0
V	-	-	-	-	-	-	-	23,4	298,0
VI	22,0	30,4	32,9	1,38	1,50	0,81	0,84	25,2	362,0
VII	9,5	24,6	29,7	2,59	3,12	0,97	1,01	50,0	774,0
VIII	9,7	18,3	21,3	1,89	2,20	0,90	0,93	56,0	808,0
IX	10,0	20,5	22,2	2,05	2,20	0,92	0,94	60,3	565,0
X	9,6	25,2	26,6	2,60	2,78	0,97	0,98	53,3	655,0
XI	10,9	29,6	27,1	2,70	2,47	0,98	0,96	51,1	614,0
XII	8,1	19,3	20,7	2,37	2,54	0,95	0,97	58,8	745,0
XIII	9,4	21,2	25,5	2,26	2,72	0,94	0,98	46,4	428,0
XIV	9,9	21,9	24,4	2,20	2,46	0,94	0,96	62,2	587,0
XV	9,9	28,0	30,5	2,80	3,07	0,99	1,00	50,0	520,0
XVI	8,9	21,6	31,6	2,40	3,56	0,96	1,03	61,1	509,0

OBS.: Devido à cobertura de nuvens, não foram feitas as medidas radiométricas do SÍTIOS V.

TABELA 4.4

DADOS MSS-LANDSAT ORIGINAIS (NÍVEIS DE CINZA MÉDIOS DE 0-255),
ÍNDICES VEGETATIVOS (R E TVI), TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO E
FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL DOS DEZESSEIS SÍTIOS AMOSTRADOS

SÍTIOS	MSS5	MSS6	MSS7	R6,5	R7,5	TVI6	TVI7	TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO(%)	FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL (g/m ²)
I	41,8	50,1	47,9	1,20	1,15	0,77	0,75	65,9	554,0
II	64,3	76,1	60,2	1,18	0,94	0,76	0,68	26,2	396,0
III	63,5	75,9	59,7	1,19	0,94	0,77	0,68	25,0	472,0
IV	59,9	70,6	55,9	1,18	0,93	0,76	0,68	25,0	344,0
V	59,4	69,9	52,5	1,18	0,88	0,76	0,66	23,4	298,0
VI	61,1	73,6	58,7	1,20	0,96	0,77	0,69	25,2	362,0
VII	33,7	53,1	57,5	1,58	1,71	0,85	0,87	50,0	774,0
VIII	40,0	55,8	62,2	1,39	1,55	0,82	0,85	56,0	808,0
IX	39,3	55,1	62,7	1,40	1,59	0,82	0,85	60,3	565,0
X	29,6	58,7	64,9	1,98	2,19	0,91	0,93	53,3	655,0
XI	32,0	51,6	59,1	1,61	1,85	0,86	0,89	51,1	614,0
XII	30,5	46,3	55,1	1,52	1,81	0,84	0,89	58,8	745,0
XIII	31,2	52,7	59,2	1,69	1,90	0,87	0,90	46,4	428,0
XIV	31,9	49,8	56,4	1,56	1,77	0,85	0,88	62,2	587,0
XV	27,5	48,0	54,2	1,75	1,97	0,88	0,91	50,0	520,0
XVI	31,7	52,5	56,0	1,65	1,76	0,86	0,88	61,1	509,0

TABELA 4.5

DADOS MSS-LANDSAT CORRIGIDOS (NÍVEIS DE CINZA MÉDIOS DE 0-255),
ÍNDICES VEGETATIVOS (R E TVI), TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO E
FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL DOS DEZESSEIS SÍTIOS AMOSTRADOS

SÍTIOS	MSS5	MSS6	MSS7	R6,5	R7,5	TVI6	TVI7	TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO(%)	FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL (g/m ²)
I	17,8	34,3	35,5	1,93	2,00	0,90	0,91	65,9	554,0
II	25,4	38,1	46,2	1,50	1,82	0,84	0,89	26,2	396,0
III	24,6	37,9	45,7	1,54	1,85	0,84	0,89	25,0	472,0
IV	21,1	32,6	41,9	1,54	1,98	0,84	0,91	25,0	344,0
V	19,8	31,6	38,8	1,59	1,96	0,85	0,91	23,4	298,0
VI	22,2	35,5	44,6	1,60	2,00	0,85	0,91	25,2	362,0
VII	19,6	43,2	51,8	2,20	2,64	0,94	0,97	50,0	774,0
VIII	25,7	48,4	58,7	1,88	2,28	0,90	0,94	56,0	808,0
IX	25,9	46,7	53,6	1,80	2,26	0,89	0,94	60,3	565,0
X	17,6	50,7	59,2	2,88	3,37	0,99	1,02	53,3	655,0
XI	17,2	43,2	54,3	2,51	3,16	0,96	1,01	51,1	614,0
XII	15,5	38,3	50,9	2,46	3,28	0,96	1,02	58,8	745,0
XIII	19,6	45,8	55,3	2,33	2,82	0,95	0,99	46,4	428,0
XIV	19,8	44,3	54,4	2,23	2,74	0,94	0,98	62,2	587,0
XV	13,1	40,3	50,2	3,08	3,84	1,00	1,04	50,0	520,0
XVI	17,0	44,5	52,3	2,61	3,07	0,97	1,00	61,1	509,0

Nos dezesseis SÍTIOS estudados observou-se que a fitomassa foliar fresca total apresentou uma distribuição quase uniforme ao longo do intervalo de 298 - 808 g/m². Contudo, o teor de umidade da vegetação separou os SÍTIOS em dois grupos: um com teor que varia de 25 a 26,2% e o outro grupo com teor que varia de 46,4 a 62,2%. Note-se que o grupo com mais baixo teor de umidade da vegetação é compreendido pelos SÍTIOS de II a VI. Conforme a Tabela 4.2 também são esses os SÍTIOS que apresentam pequena variedade de espécies, predominando as gramíneas, são também os que apresentaram o solo mais arenoso. Pela localização desses pontos pode-se verificar no Apêndice C a quase ausência de chuvas na região desde o início de maio (a obtenção dos dados ocorreu no final de junho). Uma possível explicação para o fato de os valores de fitomassa fresca estarem quase que uniformemente distribuídos no intervalo e de os valores de teor de umidade da vegetação separarem os SÍTIOS em duas classes pode estar vinculada à disponibilidade de água no solo. Seja porque as chuvas foram escassas, ou seja porque o solo é arenoso, as espécies predominantes nos SÍTIOS II-VI são gramíneas. Contudo, não se tem uma medida relativa da quantidade de gramíneas entre os SÍTIOS, nem informação do período da última queimada em cada um dos SÍTIOS, embora se tenha tido o cuidado de escolher somente aqueles SÍTIOS sem marcas de queimada recente.

Como a percentagem da vegetação morta pode ser de aproximadamente 40%, os valores de fitomassa foliar fresca total não estão representando a quantidade de vegetação viva presente em cada SÍTIO. Considerando que a quantidade de água presente nas folhas é uma função da quantidade de vegetação viva, espera-se que o teor de umidade da vegetação seja representativo dessa fitomassa. Esse ponto fica ainda mais claro quando se verifica que nos demais SÍTIOS a variedade de espécies é maior com o predomínio de espécies de folhas largas sobre as gramíneas. As chuvas foram mais frequentes, os solos apresentaram maior quantidade de argila e os valores de teor de umidade da vegetação foram nitidamente mais altos.

Como este intervalo de fitomassa fresca se encontra na região de baixa sensibilidade do vermelho à quantidade de fitomassa verde e na região de alta sensibilidade do infravermelho próximo à quantidade de fitomassa viva quando comparado ao trabalho de Tucker (1977b), espera-se que as respostas espectrais dos SÍTIOS no vermelho não indiquem com fidelidade a quantidade de vegetação viva, mas que as respostas no infravermelho sejam um indicador razoável da densidade de vegetação por área de estrato herbáceo, como sugere Miller (1981).

Nos SÍTIOS onde há muito solo exposto ou muita vegetação morta, a resposta espectral do complexo solo-vegetação pode não estar refletindo a quantidade de vegetação viva, pois tanto o solo como a vegetação morta podem ter respostas espectrais semelhantes no vermelho, ou até mesmo superior àquela que a vegetação viva teria (MacDaniel and Haas, 1982).

Nos SÍTIOS onde há uma presença acentuada de espécies da família Palmae, a resposta espectral da vegetação pode não apresentar boa correlação com a fitomassa foliar fresca total em virtude de as espécies desta família serem demasiado fibrosas (Goodland e Ferri, 1979).

Quando se analisaram os índices vegetativos (R e TVI), verificou-se novamente a formação de dois grandes grupos tanto com os dados radiométricos de campo como com os dados obtidos por satélite. De um modo geral os IVs dos SÍTIOS II-VI são sempre mais baixos do que os dos demais SÍTIOS. Observando os IVs das Tabelas 4.3 e 4.5, nota-se uma semelhança numérica entre os valores de cada SÍTIO obtidos tanto no campo (Tabela 4.3) como pelo sistema MSS-LANDSAT (Tabela 4.5).

Para avaliar o efeito do tratamento que visa atenuar o espalhamento atmosférico nos resultados, calculou-se o erro médio quadrático de todos os dados nos dois conjuntos MSS-LANDSAT com relação aos dados radiométricos de campo. Os resultados são apresentados na Tabela 4.6, onde se verifica que a correção de fato diminui a diferença entre os dados de satélite e de campo.

TABELA 4.6

ERRO MÉDIO QUADRÁTICO ENTRE OS DADOS OBTIDOS POR
SATÉLITE E OS DADOS OBTIDOS NO CAMPO

BANDAS E IVs	MSS-LANDSAT	
	ORIGINAL	CORRIGIDOS
MSS 5	30,1	8,9
MSS 6	34,5	19,2
MSS 7	31,8	25,6
R6,5	7,0	2,7
R7,5	8,7	4,8
TVI6	35,8	8,0
TVI7	46,6	13,0

Com base nos dados dessa Tabela e considerando o fato de que o método aqui usado visa atenuar efeitos atmosféricos provocados pelas frequentes queimadas que ocorrem na região de Cerrados durante o inverno, serão considerados doravante somente os dados MSS-LANDSAT corrigidos para efeito do estudo da correlação.

Como o objetivo deste trabalho é estudar a relação entre duas variáveis, os dados de fitomassa e dados espectrais transformados em IVs, fez-se uma análise de correlação. Como as duas variáveis referem-se a duas medidas diferentes de um mesmo parâmetro (densidade de vegetação), a hipótese mais simples a ser testada é a de que essas medidas sejam linearmente correlacionadas. Além disto, existem na literatura diversos autores que sugerem uma relação linear entre os IVs conhecidos e os valores de densidade de vegetação encontrados no campo. Entre estes autores citam-se: Tucker (1979); Harlan et alii (1979); Miller and George (1980); e Curran (1982).

A Tabela 4.7 mostra os coeficientes de correlação linear (r) entre os dados espectrais de bandas individuais e os índices vegetativos (R e TVI) calculados com dados espectrais obtidos a partir de radiometria de campo (K) e dos MSS-LANDSAT corrigido (S).

TABELA 4.7

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR (r) ENTRE FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL E TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO E DADOS ESPECTRAIS OBTIDOS POR RADIOMETRIA DE CAMPO E POR SATÉLITE

	BANDAS E IVs	FITOMASSA FOLIAR FRESCA TOTAL	TEOR DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO
DADOS OBTIDOS POR RADIOMETRIA DE CAMPO (K)	V	0,73**	0,84**
	IVP6	0,44	0,39
	IVP7	0,53	0,40
	R6,5	0,58*	0,71*
	R7,5	0,47	0,66**
	TVI6	0,61**	0,80**
	TVI7	0,55*	0,74**
DADOS MSS-LANDSAT CORRIGIDOS (S)	MSS 5	0,14	0,37
	MSS 6	0,62**	0,59*
	MSS 7	0,55*	0,51
	R6,5	0,46	0,62**
	R7,5	0,45	0,56*
	TVI6	0,56*	0,72**
	TVI7	0,50	0,61**

** 0,01 significante

* 0,05 significante

Examinando a Tabela 4.7, verifica-se que, de um modo geral, o teor de umidade da vegetação apresentou coeficientes de correlação linear mais altos do que a fitomassa foliar fresca total, fato esse também observado por Tucker (1977b).

A correlação entre o teor e as respostas espectrais no vermelho apresentou coeficientes altos no conjunto de radiometria de campo e muito baixos no conjunto de dados de satélite corrigidos. A razão desta discrepância no comportamento destes dois conjuntos de dados precisa ser melhor investigada.

Os IVs calculados com IVP6 ou MSS6 apresentam coeficientes de correlação linear mais altos quando comparados com os coeficientes dos IVs calculados com IVP7 ou MSS7 nos dois conjuntos de dados (K e S).

A Figura 4.1 apresenta graficamente as relações entre os dados de teor de umidade das amostras e os dados de radiometria de campo, que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação linear (r).

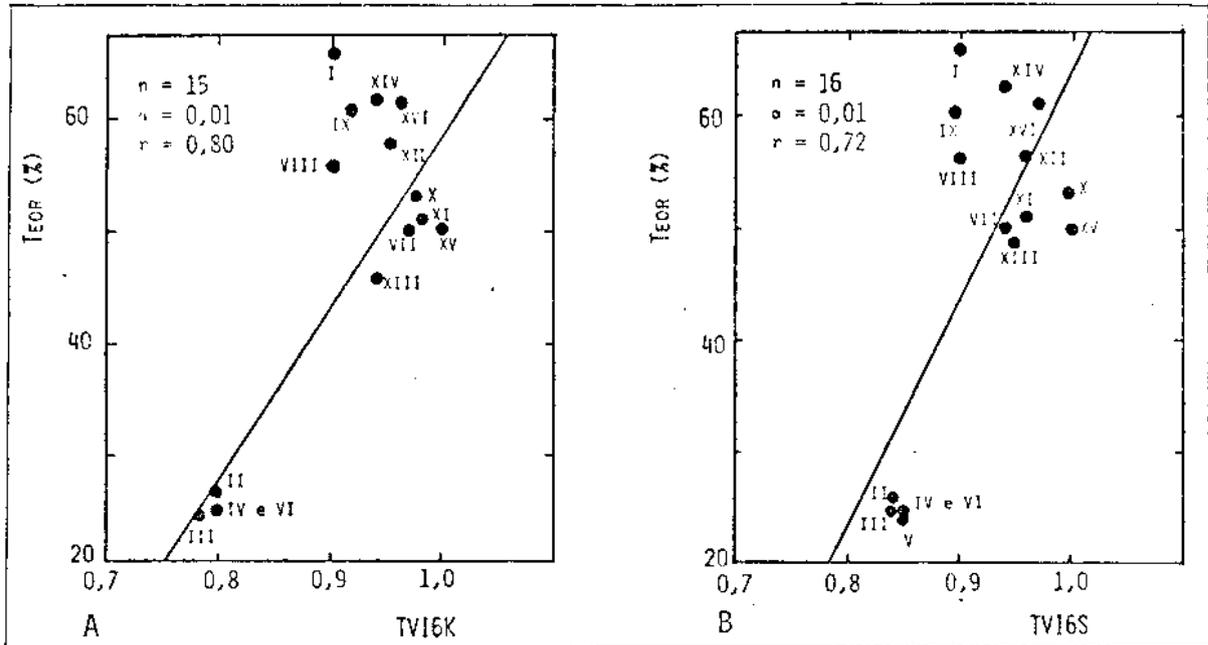


Fig. 4.1 - Relação entre o teor de umidade da vegetação (%) e índices vegetativos: A) TVI6K (campo); B) TVI6S (satélite).

Ao observar os gráficos da Figura 4.1 notam-se duas regiões de adensamento: uma no canto esquerdo inferior, referente aos SÍTIOS II-VI, e a outra no canto direito superior, referente aos SÍTIOS VII-XVI. Há porém um ponto que sempre foge para o canto esquerdo superior do gráfico. Esse ponto refere-se ao SÍTIO I.

Os resultados da análise físico-hídrica realizada nas amostras de solos estão mostrados na Tabela 4.8. A classificação em LV (Latosolo Vermelho-Amarelo) foi obtida a partir do mapa de levantamento de solos realizado pela EMBRAPA/SNLCS, Boletim Técnico nº 38, 1976.

TABELA 4.8

ANÁLISE FÍSICO-HÍDRICA DAS AMOSTRAS DE SOLOS

SÍTIOS	TEXTURA	% ÁGUA	TIPO
I	muito argiloso	21,04	LV
II	arenoso	1,75	LV
III	arenoso	4,31	LV
IV	arenoso	0,51	LV
V	arenoso	-	LV
VI	arenoso	1,77	LV

Como pode ser visto na Tabela 4.8, o solo do SÍTIO I a apresenta uma umidade bastante elevada, considerando que fazia duas se_{manas} que não chovia no local (Apêndice C). Voltando para a Figura 4.1, nota-se que o adensamento inferior esquerdo corresponde aos SÍTIOS em LV arenoso e o adensamento superior direito corresponde aos SÍTIOS em LE argiloso. O SÍTIO I não faz parte de nenhum dos adensamentos. Uma possível explicação é que, sendo a capacidade de retenção de água pe_{lo} solo uma função da quantidade de argila presente, supõe-se que o tipo de solo interfira, de modo decisivo, no tipo de vegetação natural que se desenvolve para formar uma comunidade natural como as que foram aqui estudadas.

Considerando que em ambas as modalidades existe a mesma tendência, supõe-se que esses dois métodos de obtenção de dados espec_{trais} sejam compatíveis. Para verificar esta tendência relacionaram-se os IVs obtidos com radiometria de campo com os obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT, cujos resultados numéricos estão apresentados na Tabela 4.9. Essa tabela mostra os coeficientes de correlação linear entre os TVIs calculados com dados obtidos no campo e os obtidos através do sis_{tema} MSS-LANDSAT.

TABELA 4.9

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS TVIs
CALCULADOS COM DADOS DE CAMPO E DE SATÉLITE

CAMPO	MSS-LANDSAT	DADOS CORRIGIDOS	
		TVI6	TVI7
TVI 6	$r = 0,95$		0,92
TVI 7	$r = 0,90$		0,88

A Figura 4.2 mostra a relação entre os TVIs calculados com dados radiométricos de campo e com dados obtidos ao nível orbital, os quais neste trabalho apresentaram os mais altos coeficientes de correlação linear (r).

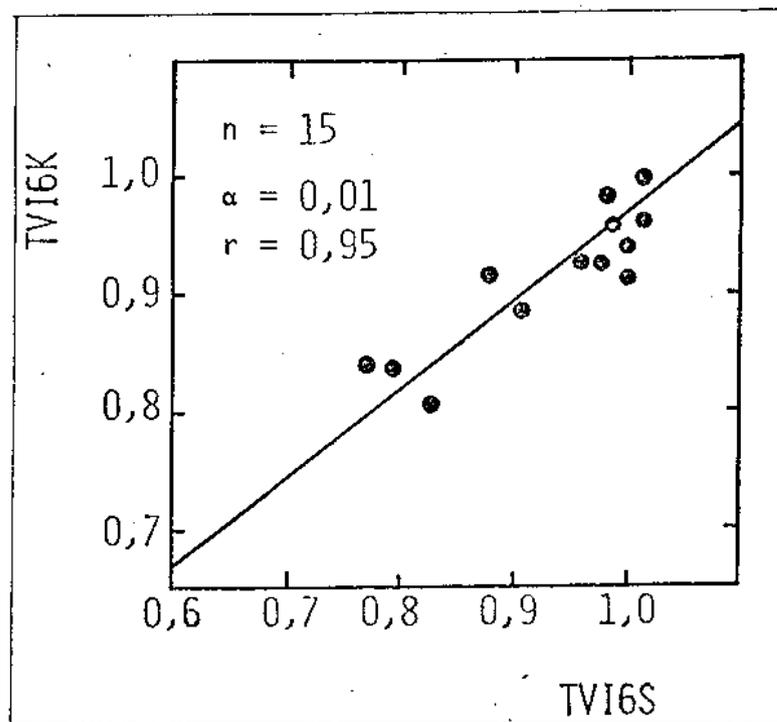


Fig. 4.2 - Relação entre o TVI6K (campo) e o TVI6S (satélite).

Na Figura 4.2 a formação de adensamentos não é tão nítida como nos gráficos da Figura 4.1; mesmo assim observa-se a mesma tendência, qual seja, os SÍTIOS II-VI na porção inferior esquerda e os SÍTIOS I e VI-XVI na porção superior direita. Com um coeficiente de correlação linear igual a 0,95, pode-se concluir que as duas maneiras de coletar dados espectrais são compatíveis.

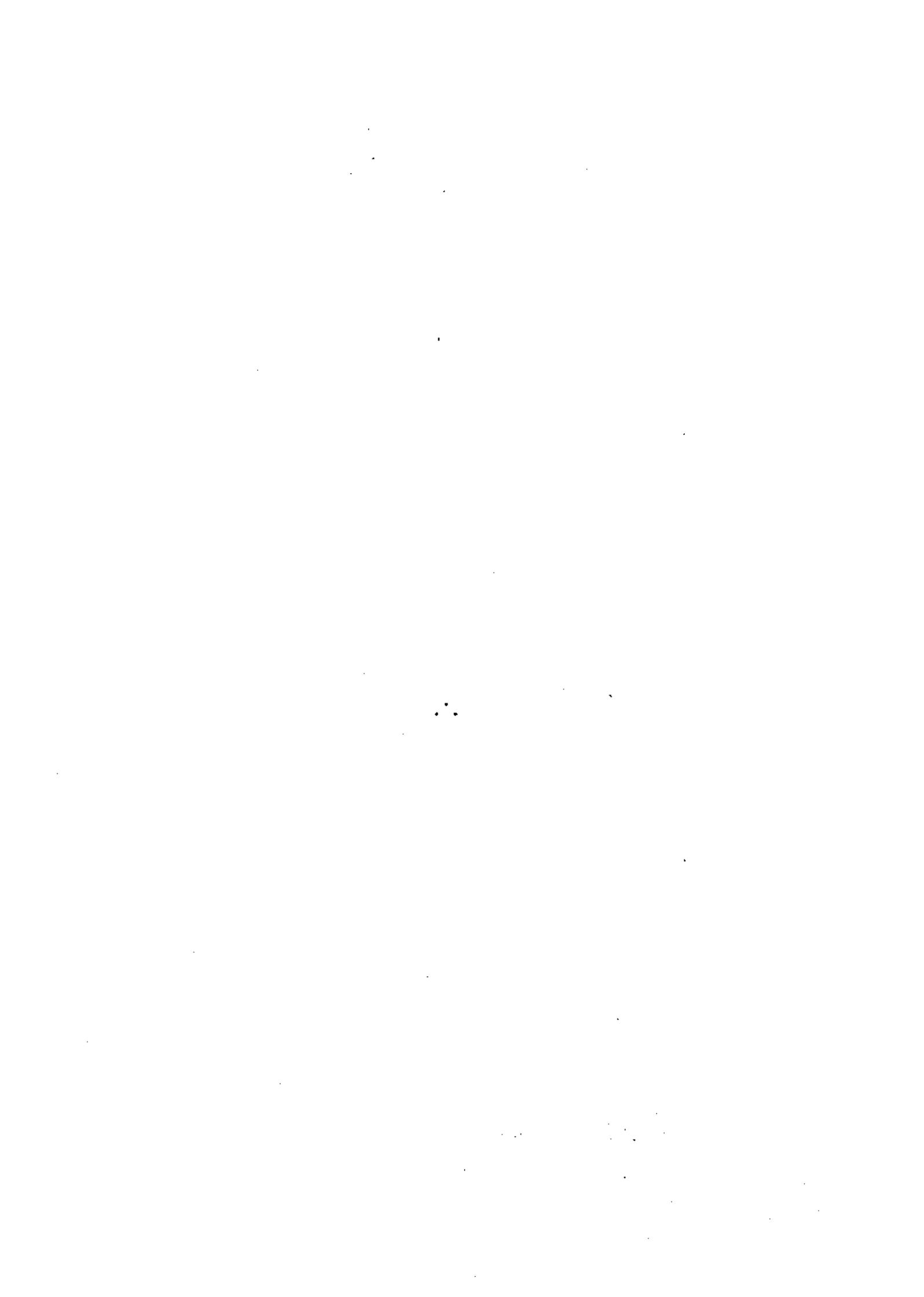
Os resultados alcançados sugerem uma complementaridade dos dois sistemas de obtenção de medidas espectrais ao nível de pesquisa. Desse modo, a aquisição de dados ao nível de campo permitiria uma análise temporal, uma vez que estas poderiam ser bastante frequentes. A obtenção de dados ao nível orbital permitiria uma análise espacial graças à visão sinóptica do Sistema MSS-LANDSAT.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Embora o número de SÍTIOS amostrados seja baixo para uma análise conclusiva, os resultados alcançados denotam as seguintes tendências:

- 1) Verificou-se neste trabalho uma relação linear significativa entre a fitomassa foliar obtida de modo destrutivo no campo e a respectiva resposta espectral transformada em Índices vegetativos (Razão Simples e TVIs).
- 2) Com relação aos Índices vegetativos estudados, o teor de umidade da vegetação apresentou coeficientes de correlação linear mais altos do que a fitomassa foliar fresca total.
- 3) As Razões normalizadas e transformadas (TVIs) mostraram-se melhores indicadores de teor de umidade da vegetação quando comparadas com as Razões Simples (Rs).
- 4) A correção para atenuar o espalhamento atmosférico aproximou numericamente os IVs obtidos com dados de satélite dos obtidos com dados radiométricos de campo.



CAPÍTULO 6

SUGESTÕES

- 1 - Aumentar de modo cumulativo o número de SÍTIOS estudados para confirmar as tendências observadas neste trabalho e permitir a formulação de um modelo baseado em dados orbitais para estimativa de fitomassa de Campo Cerrado.
- 2 - Ao escolher os SÍTIOS, levar em consideração as características do solo.
- 3 - Avaliar de modo quantitativo a porcentagem de cobertura vegetal usando, por exemplo, a tabela de Folk (JOURNAL OF SEDIMENTARY PETROLOGY, 21(1):32-33, 1951).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J.S. Caracterização da Região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Nobel, São Paulo, 1984. Cap. 2.
- AOKI, H.; SANTOS, J.R. dos *Estudo da vegetação de Cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, maio 1980. 144p. (INPE-1730-TDL/026).
- CARNEGIE, D.M.; DeGLORIA, S.D. Determining range condition and forage production potential in California from ERTS-1 imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, MI, 15-19 april 1974. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1975, V. 2, p. 1051-1060.
- CHAPMANN, S.B. *Methods in plant Ecology*, New York, Halsted, 1976.
- CHAVEZ Jr., P. Atmospheric, solar, and MTF corrections for ERTS Digital Imagery. In: SYMPOSIUM OF THE AMERICAN SOCIETY PHOTOGRAMMETRY. Phoenix, AR. Oct. 1975. *Proceedings*. 1975, p. 69-69a.
- COUTINHO, L.M. *Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado*. São Paulo, Tese de Livre Docência, Instituto de Biociências USP, 1976.
- . O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, 1 (sf):17-23, 1978.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 3(3):175-183, 1974a.
- . Grass canopy bidirectional spectral reflectance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9. Ann Arbor, MI, 1974, *Proceedings*. ERIM, Ann Arbor, MI, 1974b, p. 1061-1085.

- CURRAN, P.J. Multispectral photographic remote sensing of green vegetation biomass and productivity. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(2):243-250, Feb. 1982.
- DAUBENMIRE, R. *Plant communities - a textbook of plant synecology*. New York, Happer & Row, 1968.
- DENNIS, R. Handbook on aerosols. Bedford, MA, Technical Inform. Center - Energy Research & Develop. Administration, 1976.
- GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance of near-infrared. *Photogrammetric Engineering*, 40(2):18-192, Feb. 1974.
- GENÚ, P.J.C.; MATTOS, J.K.A.; DURIGAN, J.C. *A citricultura do DF*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, dez. 1978. Comunicado Técnico.
- GOODLAND, R.; FERRI, M.G. *Ecologia do Cerrado*. Tradução de Eugênio Amado. Belo Horizonte: Itatiaia, EDUSP, 1979.
- GOUNOT, M. *Methodes d'etudé quantitative de la vegetation*. Paris, Masson, 1969.
- HARLAN, J.C.; DEERING, D.W.; HAAS, R.H.; BOYD, W.E. Determination of range biomass using LANDSAT. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 23-27 Apr. 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, V. 2, p. 659-673, 1979.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensed data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978, p. 227-289.
- HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C.J. Ecological pontentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P.L., ed. *Remote sensing in ecology*. Athens, University of Georgia Press, 1969.
- JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER Jr., P.J. Discrimination of grow and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, 13 (3):187-208, Jul. 1983.

- KAUTH, R.J.; LAMBERCK, P.F.; RICHARDSON, W.; THOMAS, G.S.; PENTLAND, A.P. Feature extraction applied to agricultural crops as seen by LANDSAT. Proc. of technical sessions of the LACIE Symposium. NASA, Johnsons Space Center, Houston, TX, Jul. 1979. p. 705-721.
- KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The Tassled Cap: A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 3. West Lafayette, IN, 1976. *Proceedings*. West Lafayette, IN, LARS Purdue, University, IEEE, 1976.
- KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, MI, 13-16 Oct. 1969. *Proceedings*. ERIM, Ann Arbor, MI 1969, p. 97-131.
- LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO. Reconhecimento de Solos da Margem Esquerda do Rio São Francisco Estado da Bahia. *Boletim técnico do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos*, nº 38, 1976.
- LEVANTAMENTO. Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. *Boletim técnico do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos*, nº 53, 1978.
- MAXWELL, E.L. Multivariate system analysis of multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(9):1173-1186, Sep. 1976.
- . Application of ERTS to rangeland management. In: SHAHROKHI, P., ed. *Remote sensing of Earth resources*. Technical papers selected from the 4th Annual Remote Sensing of Earth Resources Conference held in Tullahoma, TN, 24-26 Mar., 1975.
- McDANIEL, M.C.; HAAS, R.H. Assessing mesquita grass vegetation conditions from LANDSAT. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3):441-450, mar. 1982.
- MILLER, G.E. A Look at the commonly used LANDSAT vegetation indices. AgRISTARS U.S. Dept. of Agriculture, Oct. 1981. (EW-L1-04134; JSC-17413; NASA OR 167474).

- MILLER, J.M.; GEORGE, T.H. A land resource inventory based upon vegetative index computed from digital LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14. San Jose da Costa Rica, 23-30 Apr. 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, V. 2, 1980, p. 695-700.
- MILNER, C.; HUGHES, R.E. Methods for the measurement of the primary production of grass Land. 2 Ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Edinburgh, 1970, (IBP HANDBOOK nº 6).
- MULLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York, John Willey, 1974.
- MUNSELL, A.H. *A color notation*. 10. ed. Baltimore, Munsell Color, 1947.
- MYERS, V.I.; ALLEN, W.A. Electrooptical remote sensing methods as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. *Applied Optics*, 7(9):1819-1838, Sep. 1968.
- MYERS, V.I. Soil, water, and plant relations. In: NATIONAL ACADEMIC OF SCIENCES. Remote Sensing with special reference to agriculture and forestry. Washington, DC, 1970, Cap. 6., p. 253-297.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Tradução de K.G. Hell. 2.ed. São Paulo, Pioneira, 1975.
- PEARSON, P.L.; MILLER, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8. Ann Arbor, MI, 1972. *Proceedings*. ERIM, Ann Arbor, MI, 1972, p. 1357-1381.
- RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; SILVA, J.A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos de vegetação dos Cerrados. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32. Teresina, PI, 1981. *Anais*. Universidade Federal do Piauí, 1981, p. 124-133.

- RICHARDSON, A.J.; EVERITT, J.H.; WIEGAND, C.L. Estimating total standing herbaceous biomass production with LANDSAT MSS digital data. Welasco, TX, USDA/ARS Soil and Water Conservation Research, 1982. (NASA CR 169606 - EW - V2 - 04320 JSC 18255).
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552, 1977.
- ROBINSON, B.F.; BIEHL, L.L. Calibration procedures for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. In: SOCIETY OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERING. *Measurements of optical radiation*. California, 1979. p. 16-26. (SPIE Proceedings v. 196).
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3. Dec. 10-14, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, Goddard Space Flight Center. Washington, D.C., 1973, V. 1: Section A, p. 309-317.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978.
- TARANIK, J.V. *Characteristics of the LANDSAT multispectral data system*. Sioux Falls, South Dakota, U.S. Dept. of the Interior, Geological Survey, Jan. 1978a. (Open File Report 78-187).
- . *Principles of computer processing of LANDSAT data for geologic applications*. Sioux Falls, SD, U.S. Geological Survey Mar. 15, 1978b. (Open File Report 78-117).
- TUCKER, C.J. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied Optics*, 16(sf):1151-1156, 1977a.
- . Spectral estimation of grass canopy variables. *Remote Sensing of Environment*, 6(sf):11-26, 1977b.
- . Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(sf):127-150, 1979.

- TUCKER, C.J. Radiometric resolution for monitoring vegetation. How many bits are needed? *International Journal of Remote Sensing*, 1(3):241-254, 1980.
- TUCKER, C.J.; MAXWELL, E.L. Sensor design for monitoring vegetation canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(11): 1399-1410, Nov. 1976.
- TUCKER, C.J.; MILLER, L.D.; PEARSON, R.L. Shortgrass prairie spectral measurements. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 41(9):1157, 1975.
- . Contribution of the soil spectra to grass canopy spectral reflectance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(sf):721-726, 1977.
- TURNER, R.E.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F. Importance of atmospheric scattering in remote sensing, or everything you've always wanted to know about atmospheric scattering but were afraid to ask. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7. Ann Arbor, MI, 17-21 May 1971. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM V.3 p. 1651-1697, 1971.
- VERDIN, J. Corrected versus Uncorrected LANDSAT-4 MSS data. *LANDSAT Data users notes*, (27):4-8, June 1983.

APÊNDICE A

MAPA GERAL DO CPAC

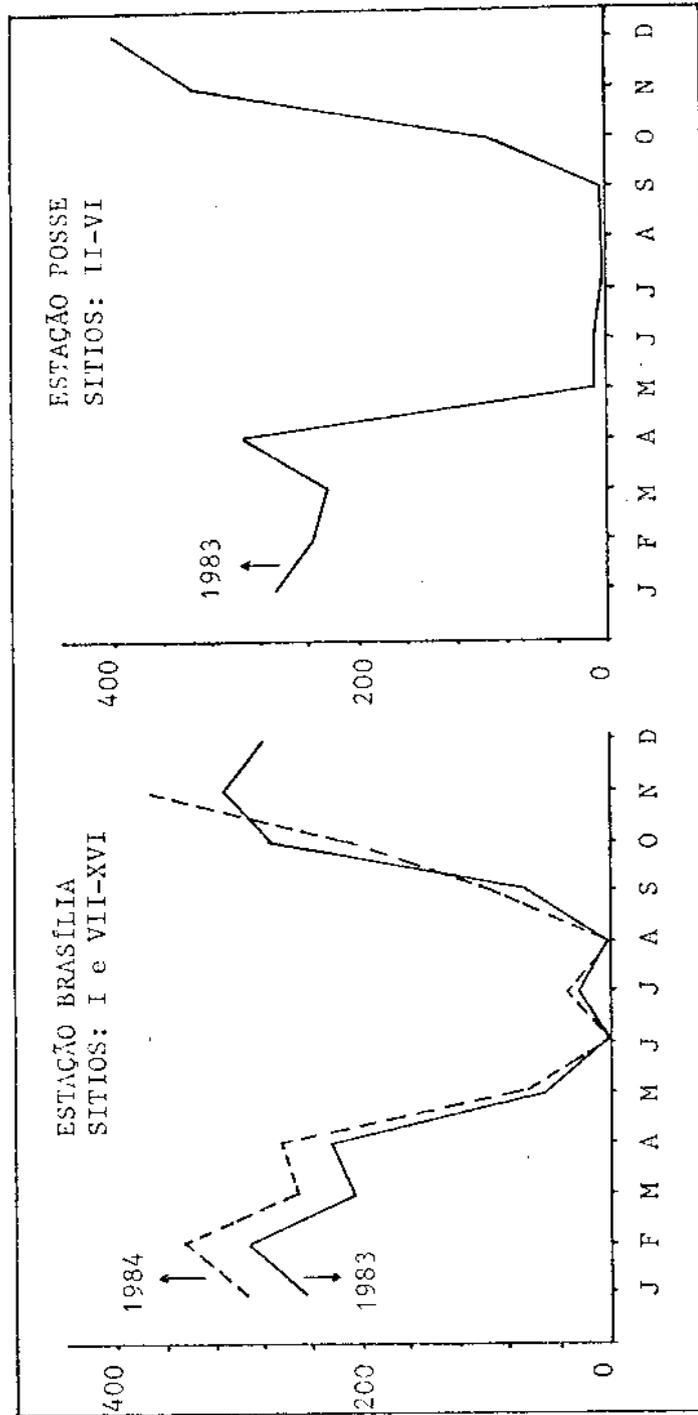
APÉNDICE B

VALORES DISCRIMINADOS POR BANDA ESPECTRAL

SITIOS	nm										
	525	550	575	600	625	650	675	700	750	850	950
I	5,7	6,9	9,4	8,3	8,8	10,3	13,6	9,5	25,9	25,3	27,2
II	6,3	7,9	8,2	10,6	11,6	13,5	17,2	9,3	22,5	23,7	18,6
III	5,9	7,2	8,9	10,6	11,4	15,6	17,2	9,5	21,7	22,8	25,1
IV	10,9	12,6	16,6	17,4	18,1	20,3	22,5	18,3	29,6	35,6	35,9
VI	6,3	10,5	13,4	15,3	18,0	17,8	22,0	21,6	30,4	32,9	32,8
VII	5,3	6,7	7,3	7,2	7,7	7,9	9,5	7,9	24,6	29,7	29,5
VIII	4,9	5,9	7,1	7,5	9,2	9,0	9,7	7,9	18,3	21,3	25,5
IX	4,5	6,0	6,4	6,7	7,8	8,0	10,0	8,2	20,5	22,2	22,1
X	5,3	7,0	7,9	8,5	8,7	9,1	9,6	9,4	25,2	26,6	29,8
XI	6,1	6,9	7,5	8,3	9,4	10,9	10,9	10,7	29,6	27,1	29,9
XII	4,3	5,1	6,0	6,8	7,1	7,6	8,1	7,6	19,3	20,7	24,2
XIII	5,2	5,9	6,6	7,5	8,6	8,7	9,4	9,1	21,2	25,6	25,7
XIV	5,4	6,5	7,3	8,0	9,0	9,4	9,9	9,0	21,9	24,4	26,1
XV	6,0	6,8	7,1	8,3	8,9	10,2	10,0	9,1	28,0	30,5	28,4
XVI	5,5	7,4	7,6	7,8	9,7	9,4	8,9	8,4	21,6	31,6	28,6

APÊNDICE C

DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS NAS DATAS E NOS LOCAIS DE AMOSTRAGENS



FONTE: Boletim Agrometeorológico de jan - dez 1983 e 1984.