



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-7234-RPQ/698**

**CLASSIFICAÇÃO E MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DO  
ESTADO DE MATO GROSSO ATRAVÉS DE IMAGENS NOAA-AVHRR**

Yosio Edemir Shimabukuro  
José Luis Rodriguez Yi  
Valdete Duarte

INPE  
São José dos Campos  
1999

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-7234-RPQ/698**

**CLASSIFICAÇÃO E MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DO  
ESTADO DE MATO GROSSO ATRAVÉS DE IMAGENS NOAA-AVHRR**

**Yosio Edemir Shimabukuro  
José Luis Rodriguez Yi  
Valdete Duarte**

**INPE  
São José dos Campos  
1999**

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

À FEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente) do estado de Mato Grosso pelas informações fornecidas sobre a região.

À SEPLAN (Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral) do estado de Mato Grosso pelos materiais fornecidos referentes às síntese das informações geográficas do estado.

Ao Luigi Marroni Aulicino e Iris Marcellas de Souza pela participação nas atividades de criação do banco de dados do projeto.

Ao Dr. Bernardo Teodor Rudorff pela revisão e sugestões apresentadas no desenvolvimento deste relatório.

Ao Dr. Compton J. Tucker (NASA/GSFC) pelo “software” GMS (GIMMS MAPPING SYSTEM) e pelos dados AVHRR-LAC de 1989 utilizados neste trabalho.

## RESUMO

O objetivo deste relatório é a classificação e monitoramento da vegetação do estado do Mato Grosso, a partir de uma série multitemporal de imagens do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo do satélite NOAA-11 (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*). Inicialmente, foi definido o período de agosto de 1992 a agosto de 1994 para a seleção das imagens a serem analisadas neste estudo. Este período coincide com os últimos anos de funcionamento do satélite NOAA-11. Devido à dificuldade de aquisição das imagens, nesse período, gravadas pelo INPE em Cachoeira Paulista, foram utilizadas também imagens de 1989, fornecidas pela NASA/Goddard Space Flight Center. Essas imagens foram processadas utilizando o “software gms” cedido pela NASA, gerando imagens correspondentes às bandas espectrais originais do sensor AVHRR (bandas 1 a 5) e a banda transformada de índice de vegetação (NDVI) derivada das bandas 1 e 2. Além disso, as bandas 1 e 2 foram utilizadas no modelo linear de mistura espectral para a geração de 3 novas bandas denominadas: vegetação, solo e sombra. A metodologia apresentada mostra a sistemática de aquisição, processamento e análise das imagens AVHRR. Os resultados apresentados mostram a utilidade desse tipo de informação para o mapeamento da cobertura vegetal em nível regional e o estudo da variação sazonal das classes de cobertura vegetal mapeadas.

## **CLASSIFICATION AND MONITORING VEGETATION COVER OF MATO GROSSO STATE USING NOAA-AVHRR IMAGES**

### **ABSTRACT**

The objective of this report is to classify and monitor the vegetation cover of Mato Grosso state, using a serie of multitemporal images from the *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) sensor on board of NOAA-11 (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*) satellite. Initially, the period from August 1992 to August 1994 was defined to select the images to be analyzed in this study. This period corresponds to latest years of NOAA-11 satellite operation. Due to difficulties in acquiring images, during this period, from INPE's Cachoeira Paulista receiving station, images acquired during 1989 were also used and provided by NASA/Goddard Space Flight Center. These images were processed using the "GMS" software available at NASA, generating images corresponding to the original AVHRR spectral bands (1 to 5) and the transformed vegetation index (NDVI) derived from bands 1 and 2. In addition, bands 1 and 2 were used in the spectral linear mixing model algorithm to generate 3 new bands named: vegetation, soil, and shade. The methodology presents the procedures to acquire, process and analyze AVHRR images. The results show the usefulness of this type of information to map vegetation cover on a regional level, and to study seasonal variation of vegetation cover classes.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	6
<b>1. Introdução</b> .....	7
<b>2. Cartografia temática e monitoramento da vegetação por sensoriamento remoto</b> .....	8
<b>3. Material e Método</b> .....	11
3.1 Metodologia .....	11
3.2 Descrição da área de estudo .....	11
3.2.1 - Características físico-geográfica da área de estudo .....	12
3.3 Sistema sensor AVHRR-NOAA .....	21
3.4 "GIMMS Mapping System" (GMS).....	22
3.5 Índices de vegetação.....	22
3.6 Análise de séries multitemporais de imagens: O método "Maximum Value Composition" .....	24
<b>4. Resultados</b> .....	26
4.1 Banco de imagens AVHRR-NOAA-11 processadas.....	26
4.2 Mosaicos AVHRR-NOAA.....	27
4.3 Trabalho de campo .....	27
4.5 Classificação da cobertura vegetal nos mosaicos do AVHRR.....	30
4.7 Extração e manipulação dos dados NDVI dos mosaicos mensais .....	34
4.8 Banco de Dados.....	36
<b>5. Considerações Finais</b> .....	40
<b>Referências bibliográficas</b> .....	40
<b>APÊNDICE A</b> .....	45
<b>APÊNDICE B</b> .....	77

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Fig.1 - Localização geográfica da área de estudo. ....	12
Fig. 2 - Mapa climático do Estado do Mato Grosso.....	14
Fig. 3 - Mapa de vegetação do Estado do Mato Grosso.....	15
Fig. 4 - Perfil esquemático de vegetação na Serra dos Caiabis.....	19
Fig. 5 - Perfil esquemático de vegetação na Chapada do Cachimbo.....	20
Fig. 6 - Perfil esquemático de vegetação na Chapada dos Dardanelos. ....	20
Fig. 7 - Mosaicos do NDVI correspondentes aos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro de 1989. ....	28
Fig. 8 - Classificação supervisionada pelo algoritmo de máxima verossimilhança das bandas 1 e 2 do AVHRR. (Rodriguez Yi, 1998). ....	32
Fig. 9 Mapa de vegetação obtido pelo processo de segmentação e classificação supervisionada da distância de Battacharrya, utilizando de forma conjunta as imagens fração vegetação, solo e sombra e a banda 3 do AVHRR.....	34
Fig. 10 - Evolução temporal do NDVI para as diferentes classes de vegetação identificadas. (Rodriguez Yi, 1998).....	35
Fig. 11 - Evolução temporal do NDVI de 1989 para algumas classes de cobertura vegetal identificadas no mapa de vegetação da Figura 9. ....	36
Fig. 12: Informações contidas no Banco de Dados do estado do Mato Grosso.....	39

## 1. Introdução

O conhecimento da distribuição dos tipos de cobertura vegetal e suas variações fenológicas é hoje um aspecto indispensável para o planejamento de uma política coerente e eficiente de desenvolvimento sustentável, assim como para a compreensão e avaliação objetiva da convivência de diferentes ecossistemas, sejam naturais, semi-naturais, agrícolas, ou industriais. A análise das variações fenológicas em nível regional e sua interligação com os diferentes componentes do meio geográfico (clima, solo, relevo, geologia, etc.) formam parte das informações necessárias para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas em escala global. Portanto, o conhecimento do estado atual e a caracterização da superfície dos ecossistemas terrestres são requisitos críticos para a modelagem e o entendimento dos processos de mudança global (Tucker e Sellers, 1986). Os sensores remotos atuais e os projetados para o futuro, por exemplo, o "Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer" (MODIS), estão capacitados para obter observações globais e repetitivas com alta frequência temporal (Salomonson et al., 1989). Outros sensores com esta capacidade de coletar dados em nível global são: o "Sea-Viewing Wide-Field-of-View Sensor" (SeaWiFS) e o sensor "VEGETATION" a bordo do "Systeme pour l'Observation de la Terre" (SPOT 4).

No monitoramento da vegetação em nível global, continental e regional a comunidade de usuários de sensoriamento remoto tem utilizado com sucesso, desde 1981, os dados de satélites meteorológicos, em particular do sensor AVHRR dos satélites da série NOAA (Townshend, 1994).

Muitos estudos têm demonstrado a utilidade das imagens índice de vegetação em escala continental para a estimativa de processos fotossintéticos e índice de área foliar (LAI) em comunidades de planta, (p.ex. Goward et al., 1985), enquanto outros têm indicado as limitações dos índices de vegetação para o cálculo do LAI e da radiação absorvida fotossinteticamente ativa (APAR) (p.ex. Baret e Guyot, 1991). A técnica de regressão tem sido usada por longo tempo para relacionar índice de área foliar (LAI) e outros parâmetros biofísicos da vegetação com dados de sensoriamento remoto (Smith, 1984). Entretanto, é



sabido que estas relações variam grandemente em função da cor do solo (Huete, 1988), umidade do solo (Cleavers, 1989), heterogeneidade espacial (Aman et al., 1992) e efeitos atmosféricos (Kaufman e Tanré, 1992; Myneni et al., 1992). Estes efeitos podem ser compostos pela escala do pixel (Jasinski, 1990) e tipo de ecossistema (Peterson et al., 1987). As imagens-fração, derivadas do modelo de mistura espectral linear (Shimabukuro, 1987; Shimabukuro e Smith, 1991) apresentam um grande potencial para o processamento de imagens com resolução espacial baixa (AVHRR - 1,1 x 1,1 Km) para o estudo global da cobertura vegetal em conjunto com as imagens índice de vegetação.

Este relatório tem como objetivo realizar a classificação e o monitoramento da vegetação do estado do Mato Grosso, a partir de uma série multitemporal de imagens do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* a bordo do satélite NOAA-11 (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*).

## **2. Cartografia temática e monitoramento da vegetação por sensoriamento remoto**

O uso de imagens de sensoriamento remoto na cartografia da vegetação representou um grande avanço em comparação com a cartografia tradicional. A primeira grande vantagem é ter um registro referenciado a um momento único no tempo para uma área de extensão superficial considerável. Isto facilita a uniformidade e homogeneidade da cartografia.

Com o surgimento dos satélites da série Landsat no início dos anos 70, um dos sensores com uma ampla utilização em estudos e a cartografia da vegetação foi o *Multispectral Scanner System (MSS)*, com 80x80 m de resolução espacial e 4 bandas espectrais nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro-eletromagnético (Townshend e Justice, 1980; Shimabukuro et al., 1980; Pitblado e Amiro, 1982; Satterwhite et al., 1984; Morton, 1986; Sadowski et al., 1987).

Em meados da década dos anos 80 a comunidade de usuários de imagens de sensoriamento remoto dispôs dos novos sensores como: *Thematic Mapper (TM)* do Landsat de 30x30 m de resolução espacial em 6 bandas espectrais no visível e no infravermelho próximo e médio, e de 120x120 m de resolução espacial na banda do infravermelho termal; e *High Resolution Visible (HRV)* do SPOT com 20x20 m de resolução espacial em 3 bandas

espectrais no visível e infravermelho próximo, e de 10x10 m de resolução espacial na banda pancromática. Com estes sensores, a cartografia temática e o monitoramento da vegetação recebeu uma ferramenta que significou um grande avanço, sobretudo nos estudos em escalas maiores do que 1: 100.000.

Em nível global destaca-se o projeto *NASA Landsat Pathfinder Tropical Deforestation Project*, que está mapeando o desmatamento das florestas tropicais do Sudeste da Ásia, África Central e América do Sul tomando como referência quatro anos 1970, 1985, 1988 e 1992, baseado no uso de imagens Landsat-MSS e TM, com o objetivo de utilizar seus resultados em modelos e taxas de emissão de carbono a nível global (Lawrence, 1992).

Na América do Sul o projeto - PANAMAZÔNIA reúne os esforços de vários países da região amazônica no monitoramento da floresta (Martini, 1992) e o projeto brasileiro PRODES que mapeia e avalia os desflorestamentos na Amazônia Legal Brasileira. No Brasil, as florestas tropicais têm sido mapeadas desde 1975 a partir de metodologias nas quais o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm tido um papel fundamental (Alves et al., 1992).

Os dados Landsat não são apropriados para estudos em nível global, uma vez que 80 metros de resolução espacial do MSS produzem um grande volume de dados (mais de 6000 cenas MSS são necessárias para uma observação total da área da Terra), e em regiões de alta incidência de nuvens, o ciclo de cobertura de 18 dias (Landsat 1, 2, 3) produz poucas observações livres de nuvens para registrar a dinâmica sazonal da vegetação (Goward et al., 1985). É necessário então um sensor que, embora disponha de uma menor resolução espacial, tenha uma melhor resolução temporal capaz de garantir uma disponibilidade de dados com maior frequência, assim como uma cobertura regional e global.

A "NOAA" opera desde 1960 uma série de satélites meteorológicos denominados TIROS, com um ciclo de cobertura diário. A partir de 1979, o sexto satélite da série TIROS passou a se chamar NOAA e dispôs do sensor AVHRR, projetado para a discriminação de nuvens, terra, neve e água obtendo imagens nas faixas do visível e infravermelho (próximo e termal) do espectro-eletromagnético.

O potencial dos dados AVHRR para o mapeamento e monitoramento da superfície terrestre (vegetação) foi pela primeira vez relatado no início dos anos 80 nos trabalhos de Gray e McCrary (1981), Schneider et al. (1981) e Townshend e Tucker (1981). Estes dados foram utilizados inicialmente a nível sub-continental (Townshend, 1994).

Ornelas de Anda et al. (1992) fizeram um mapa da cobertura florestal do México a partir de imagens AVHRR (LAC- *Local Area Coverage*) obtidas no período de março a dezembro de 1990. O trabalho foi executado com o apoio de imagens TM-Landsat e mapas de vegetação antigos na escala de 1: 1.000.000. Como resultado final foi obtido um mapa com seis classes de cobertura incluindo três tipos de florestas. Foi avaliado o grau de desmatamento do país para o período de 1980 a 1990, comparando-se os dados obtidos com mapas de vegetação em escalas maiores e informações obtidas de levantamentos florestais em campo.

Zhu e Evans (1994) obtiveram um mapa da cobertura florestal dos Estados Unidos a partir de imagens AVHRR (LAC). O mapa representa os padrões de distribuição de 25 tipos de cobertura florestal. Como complemento desse mapa, foi realizado um mapa de previsão da porcentagem da cobertura florestal, o qual mostra o valor relativo da quantidade de floresta por quilômetro quadrado.

Stone et al. (1994) fizeram um mapa da vegetação da América do Sul baseado fundamentalmente em imagens AVHRR de 1,1 km de resolução espacial dos satélites NOAA - 9, NOAA -10 e NOAA -11. Este mapa com 39 classes de cobertura do solo, foi 70% baseado em dados LAC e GVI (*Global Vegetation Index*) e o restante através de dados TM-Landsat e HRV-SPOT, mapas de vegetação antigos, além de contar com a experiência e conhecimento de campo.

### **3. Material e Método**

#### **3.1 Metodologia**

A metodologia proposta baseia-se na elaboração de um conjunto de mosaicos multitemporais de imagens AVHRR/NOAA-11, pela técnica do máximo valor do NDVI, para os anos de 1989, 1992, 1993 e 1994 (Holben, 1986). A partir deste material, utilizando as bandas originais e transformadas (imagens-fração) do AVHRR, serão executadas diferentes classificações digitais supervisionadas da cobertura vegetal do Mato Grosso, que estarão apoiadas em imagens TM-Landsat, fotografias aéreas, mapas temáticos e dados coletados *in situ* durante o trabalho de campo. Além disso, baseado nas imagens multitemporais do NDVI, será realizada uma avaliação das mudanças sazonais da cobertura vegetal para os anos mencionados. Um mapa da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso será elaborado utilizando um dos mosaicos do AVHRR, e será comparado com o mapa síntese das formações vegetais (SEPLAN, 1997) e mapa de vegetação do Brasil editado pelo IBGE-IBAMA (1993).

#### **3.2 Descrição da área de estudo**

O estado do Mato Grosso em sua totalidade foi selecionado para este estudo por representar, dentro das áreas de vegetação natural no Brasil, uma região de alta variedade em formações vegetais. Caracteriza-se a área tanto pela transição de diferentes tipos de Savana (Cerrado) com a Floresta Ombrófila Aberta, quanto pela ocorrência de fenômenos antrópicos como desmatamento e queimadas. Estas particularidades originam uma alta complexidade e variabilidade espacial que apresenta um desafio para a classificação digital de imagens com 1,1 km de resolução espacial, como as imagens AVHRR/NOAA.

A área de estudo ocupa uma extensão territorial de 900.000 km<sup>2</sup> na região centro-oeste do Brasil e corresponde, segundo a divisão político-administrativa, ao estado do Mato Grosso. As coordenadas limites da área são: 06° 00' e 19° 45' de latitude S, 49° 00' e 62° 45' de longitude W (Figura 1); com 13° 45' de altura por 13° 45' de largura, o que representa uma área de 1375 x 1375 pixels de 1,1 km de uma imagem AVHRR em formato HRPT (*High*

*Resolution Picture Transmission*) recebidas pela estação de Cachoeira Paulista em São Paulo.

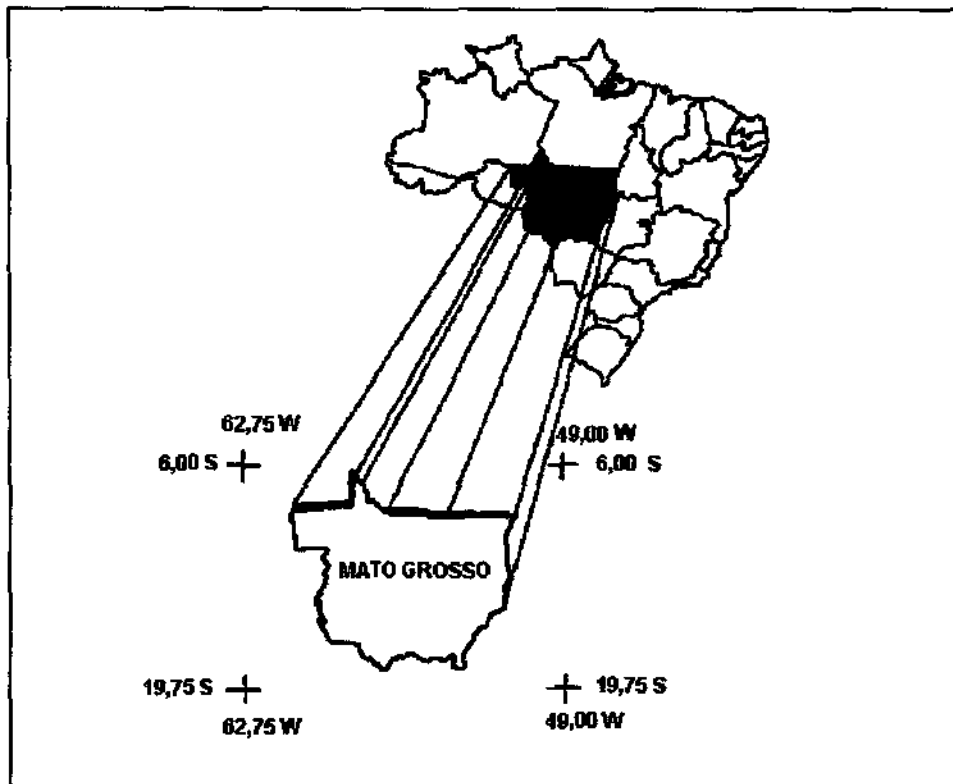


Fig.1 - Localização geográfica da área de estudo.

### 3.2.1 - Características físico-geográfica da área de estudo

As estruturas geomorfológicas principais da área são: o Maciço Mato-grossense e a Depressão do Xingu, que formam parte de uma estrutura única conhecida como Maciço central ou Goiano-mato-grossense. O Maciço Mato-grossense é limitado a leste pela depressão do Xingu e ao sul-sudeste é recoberto pelas formações Paleozóico-Mesozóicas da serra Azul e relevos divisórios das drenagens dos rios Araguaia, Xingu, Tapajós e Paraguai. Suas maiores altitudes encontram-se ao sul, na serra Azul (800 - 1200 m) e na Chapada dos Parecis (500 - 800 m), na área de arqueamento máximo de embasamento,

juntamente com a cobertura sedimentar. Ao norte as altitudes médias oscilam entre 200 - 500 metros (Nogueira, 1977).

Segundo Nimer (1977) as características do regime de chuvas na região se devem quase exclusivamente aos sistemas de circulação atmosférica. A influência da topografia sobre a distribuição da precipitação é de tão pouca importância que não chega a interferir nas tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos. A distribuição das chuvas durante o ano consiste de um núcleo mais chuvoso ao norte, onde se atingem valores superiores a 2.750 mm. Ao leste e ao sul do estado, os valores decrescem, atingindo valores de até 1.250 mm.

Entretanto, essas precipitações não se distribuem igualmente através do ano. Seu regime é caracteristicamente tropical, com máxima no verão e mínima no inverno. Mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano se precipita de novembro a março, sendo geralmente mais chuvoso o trimestre: janeiro-fevereiro-março, no norte; dezembro-janeiro-fevereiro, no centro; e dezembro-janeiro-fevereiro no sul. Durante esses trimestres chove em média 45 a 55% do total anual. O inverno, em contrapartida, é excessivamente seco, com chuvas muito raras, em média de 4 a 5 dias de ocorrência por mês (Nimer, 1977).

O comportamento da temperatura é muito variado com médias no verão variando de 26° a 32°C e no inverno de 24° a 26°C. Nimer (1977) caracteriza o clima do estado do Mato Grosso como: quente, úmido, com 1 a 2 meses secos no norte; quente, úmido, com 3 meses secos no centro-norte; e quente, semi-úmido com 4 a 5 meses secos no centro-sul (Figura 2).

A informação apresentada a seguir, referente à vegetação do estado do Mato Grosso foi adaptada e resumida dos informes do projeto RADAMBRASIL.

Na área de estudo, encontram-se distribuídas as seguintes regiões fitoecológicas: Savana (Cerrado), Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (Figura 3). Uma região fitoecológica pode ser definida como uma área com flora de formas biológicas características, que se repetem

dentro de um mesmo clima, ocorrendo muitas vezes em condições geológicas diferentes (Veloso et al., 1975).

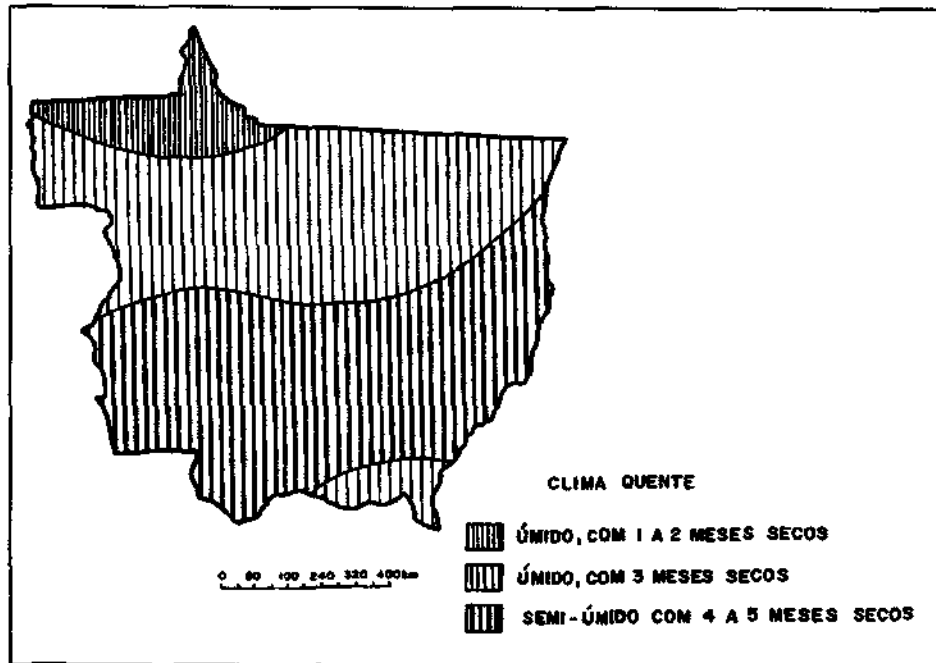


Fig. 2 - Mapa climático do Estado do Mato Grosso.

FONTE: Nimer (1977), pág. 53.

Descrivem-se a seguir as regiões fitoecológicas do estado do Mato Grosso, segundo Veloso et al. (1974) e Veloso et al. (1975).

### Savana (Cerrado)

A Savana ocorre na área de estudo com diferentes fisionomias. As fisionomias variam do arbóreo denso ao gramíneo-lenhoso, ocupando grandes extensões do terreno, mas na forma de contatos. Há dominância das formas biológicas fanerófitas xeromórficas, caméfitas e muitas gramíneas hemicriptófitas e umas poucas ervas geófitas. As fisionomias que ocorrem são: Savana Arbórea Densa (Cerradão), Savana Arbórea

Aberta (Campo Cerrado), Savana Parque (Campo Sujo) e Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo).

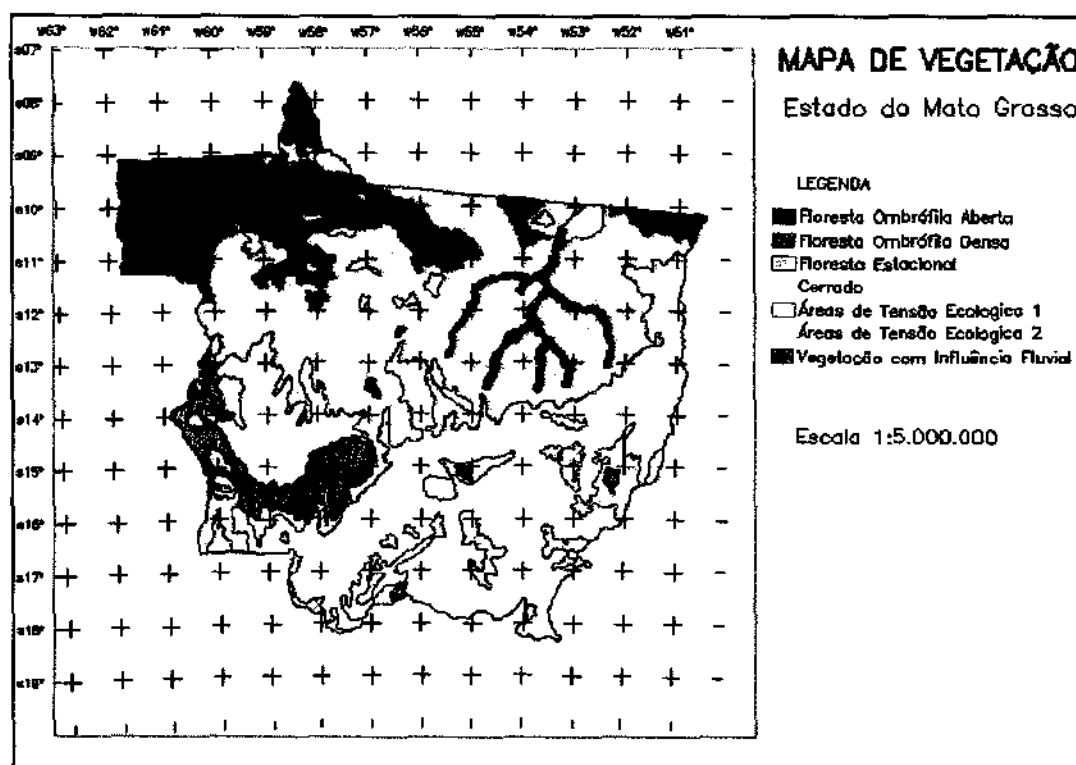


Fig. 3 - Mapa de vegetação do Estado do Mato Grosso.

FONTE: Modificada do mapa de vegetação do Brasil editado pelo IBGE-IBAMA, (1993).

A Savana Arbórea Densa (Cerradão) caracteriza-se por árvores densamente dispostas, baixas geralmente com pouco mais de 5 m de altura, sem um nítido estrato arbustivo e com um tapete gramíneo ralo em tufos. Na composição florística encontram-se espécies características da Savana tais como: *Curatella americana* (lixeira), *Qualea grandiflora* (pau-terra-folha-larga), *Qualea parviflora* (pau-terra-folha miúda), *Qualea multiflora* (pau-terra-vermelho).

A Savana Arbórea Aberta (Campo Cerrado) ocupa as maiores extensões nas áreas ao sul do estado e divide-se nas subformações com floresta de galeria e sem floresta de



galeria. É constituída, principalmente, por pequenas árvores esparsas (entre 2 e 5 m de altura), esgalhadas e tortuosas, dispersas sobre um tapete contínuo de hemicriptófitas, intercaladas de plantas arbustivas baixas e outras lenhosas rasteiras (Veloso et al., 1974). Na fisionomia dominante, comumente aparecem exemplares de murupita, seringueira do campo (*Hevea* sp.), envira (*Xylopis* spp.), umiri, além de Gramineae, Cyperaceae, Bromeliaceae e Eriocaulaceae com exemplares dos gêneros *Paepalanthus* e *Syngonanthus*.

A Savana Parque (Campo Sujo) é uma formação em que o espaçamento entre as espécies arbóreas é maior que na Savana Arbórea Aberta. Em geral, a Savana Parque intercala-se com a Savana Gramíneo-Lenhosa e com a Savana Arbórea Aberta. Os limites entre estas três fisionomias, na maioria dos casos, são pouco marcantes, sendo difícil sua demarcação. Esta formação caracteriza-se por grandes extensões campestres de forma graminóide cespitosa, interrompida vez por outra por fanerófitas altas ou baixas, geralmente de uma só espécie, as quais compõem a fisionomia natural das áreas onde normalmente existem inundações periódicas ou permanentes. No estrato arbóreo sobressaem as espécies, tais como: *Salvertia convallariodora*, *Qualea grandiflora*, *Annona* sp., *Byrsonima crassifolia*, entre outras.

A Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo) caracteriza-se por um tapete graminoso contínuo e ralo em mistura com arbustos eretos e decumbentes, sendo comum a ocorrência de palmeiras anãs. Esta formação é muito semelhante à anterior, distinguindo-se pela ausência do estrato arbóreo esparso. A flora constitui-se de Gramineae e Cyperaceae associadas a outras plantas graminóides como *Xyris mesiana*, *Heteropteryx* sp. e *Cephalosternon* sp. A Savana Gramíneo-Lenhosa está sempre presente nas formações da Savana Parque e da Savana Arbórea Aberta, interligando-se em forma de mosaico.

### Floresta Ombrófila Densa Tropical

Esta região fitoecológica ocorre em locais de curto período seco (0 a 2 meses) e temperatura acima de 25° C. A região ocupa os terrenos pediplanados ou dissecados de solos profundos, apresentando um estrato arbustivo de poucas plantas, algumas ervas, palmeiras e lianas lenhosas. Esta região é composta por árvores de médio e alto porte, como por exemplo: breu-manga (*Tetragastris altissima*), castanheira (*Bertholletia excelsa*), maçaranduba (*Manilkara huberi*) e cupiúba (*Goupia glabra*), predominando a formação Submontana (mais de 80 %) com uma composição florística bastante heterogênea.

### Floresta Ombrófila Aberta Tropical

Este tipo de floresta caracteriza-se por grandes árvores bastante espaçadas, agrupamentos de palmeiras e grande quantidade de fanerófitas sarmentosas envolvendo as árvores e cobrindo o estrato inferior. Discriminam-se na área, duas subformações Montana com cipós e Montana com palmeiras, as quais abrangem grandes extensões de diferente fisiografia e litologia ao norte, noroeste e nordeste do estado. A fitofisionomia da subformação com cipó revela-se por freqüentes espaços existentes entre as árvores que são ocupadas por densos mantos de lianas. A floresta arbórea é evidenciada por elementos de breu-sucuruba (*Trattinichia rhoifolia*), cupiúba (*Goupia glabra*), pau-jacaré (*Laetia-procera*), mandioqueira (*Qualea* spp.) e outras. A fisionomia da subformação com palmeiras revela-se pelos adensamentos de palmeiras intercaladas aos elementos arbóreos, formando um dossel superior uniforme e contínuo. Algumas espécies arbóreas bem representadas na área são: louro-abacate (*Ocotea opifera*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), jacareúba (*Callophyllum brasiliensis*), guariúba (*Clarisia racemosa*), destacando-se entre as *Arecaceae*, o inajá (*Maximiliana regia*), açaí (*Euterpe oleracea*) e paxiúbas (*Iriarteia* spp.).

### Floresta Estacional Semidecidual

Esta floresta apresenta uma estrutura caracterizada pela sazonalidade da folhagem de suas árvores mais altas, embora, na sua maioria, elas apresentem folhagem sempre

verde, juntamente com os arbustos do estrato inferior. A região da Floresta Estacional Semidecidual cobre uma superfície bastante expressiva e divide-se em duas subformações: aluvial com dossel emergente e submontana com dossel emergente. A primeira aparece nas planícies aluviais dos principais rios e tributários e apresenta-se como uma formação florestal ribeirinha, com estrutura semelhante à da floresta ciliar, diferindo apenas floristicamente. A submontana com dossel emergente ocupa uma área maior dentro desta região, sobre colinas e interflúvios tabulares, com solos predominantemente Podzólicos Vermelho-Amarelo.

#### Floresta Estacional Decidual

Estruturalmente esta floresta é constituída de razoável número de indivíduos adultos, variando em torno de 50 a 60 por hectare e geralmente de alturas medianas. Esta formação identifica-se pela alta ocorrência de árvores e pelo considerável número de epífitas. Em épocas desfavoráveis, mais de 60% das árvores perdem suas folhas. O sub-bosque é constituído de grande número de plantas graminóides e espécies decíduas sobre uma espessa camada de material orgânico não decomposto. A Floresta Estacional Decidual também aparece em Áreas de Tensão Ecológica onde a Savana Arbórea Aberta caracteriza pequenos encaves de forma mais ou menos circular, nas áreas de domínio da floresta.

Quando se analisa a classificação da vegetação desta área distingue-se a chamada Área das Formações Pioneiras e Áreas de Tensão Ecológica.

Áreas das Formações Pioneiras são aquelas ao longo dos cursos de água e ao redor de depressões fechadas que acumulam água (pântanos e lagoas), onde se observa uma vegetação campestre herbácea lenhosa de terófitas, geófitas e, às vezes, hemicriptófitas, que são substituídas por caméfitas e microfanerófitas na sucessão natural. Esta vegetação ocupa áreas pedologicamente instáveis, com sedimentos pouco consolidados, sob a influência dos processos de acumulação fluvial ou lacustre. Destacam-se como áreas das formações pioneiras as seguintes:

Influência Fluvial, Arbustiva sem palmeira;

Influência Fluvial, Arbustiva com palmeira;

Influência Fluvial, Herbácea sem palmeira.

Áreas de Tensão Ecológica caracterizam os contatos entre os diferentes tipos de vegetação, isto é, quando duas ou mais regiões fitoecológicas se contatam, justapondo-se ou interpenetrando-se. Cada mosaico de vegetação guarda a sua identidade florística e fisionômica sem se misturar, permitindo a definição da formação ou subformação dominante. As áreas de tensão ecológica são, às vezes, coincidentes com o contato de duas formações geológicas e com faixas de transição climática. Entre as Áreas de Tensão Ecológica encontram-se o contato Savana/Floresta Ombrófila, o contato Savana/Floresta Estacional e o contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam os perfis de vegetação que caracterizam a distribuição das diferentes formações vegetais em três importantes regiões da área de estudo.

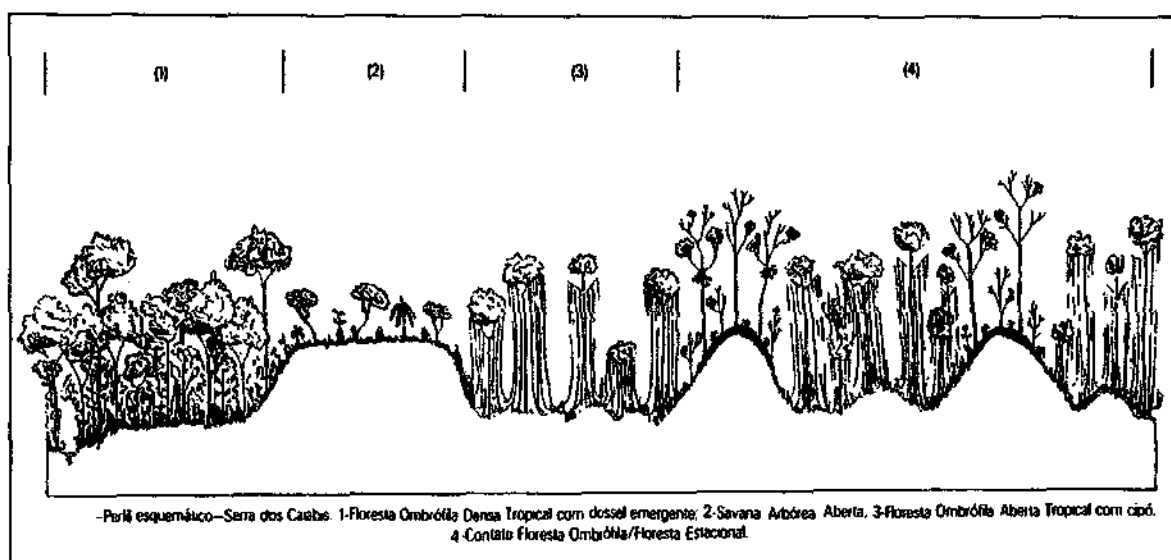


Fig. 4 - Perfil esquemático de vegetação na Serra dos Caiabis.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1976), v. 20 , p. 344.

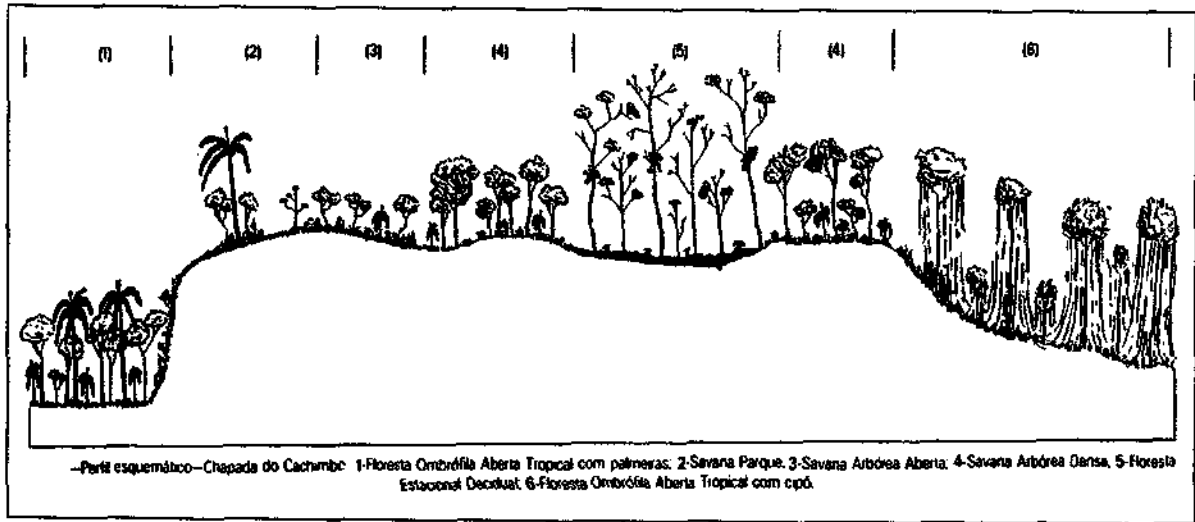


Fig. 5 - Perfil esquemático de vegetação na Chapada do Cachimbo.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1976), v. 20, p. 343.

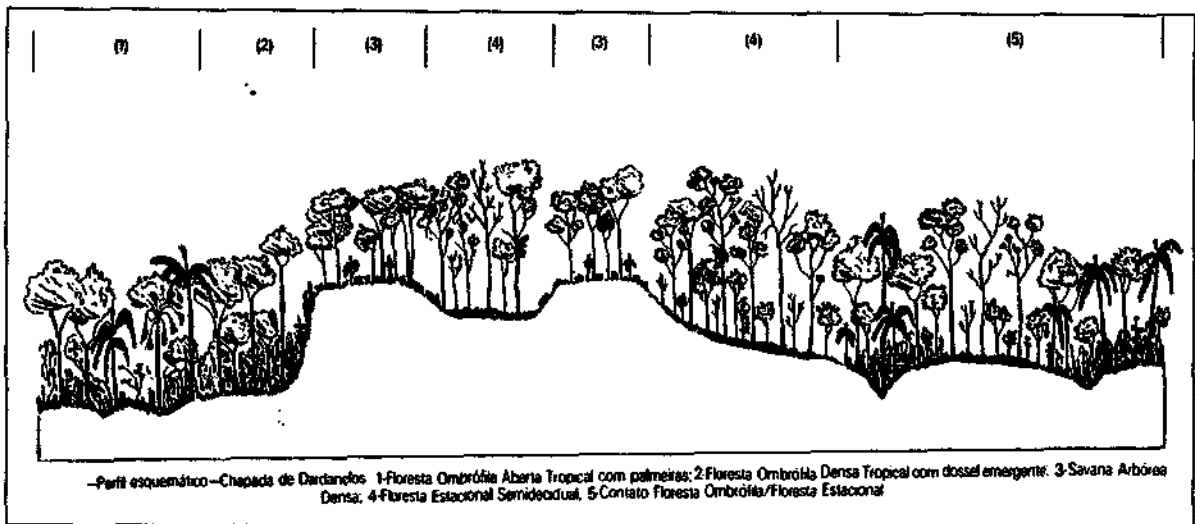


Fig. 6 - Perfil esquemático de vegetação na Chapada dos Dardanelos.

FONTE: Projeto RADAMBRASIL (1976), v. 20, p. 343.

### **3.3 Sistema sensor AVHRR-NOAA**

Os satélites NOAA encontram-se situados a 833 km de altitude numa órbita circular polar e heliossíncrona. O período orbital é de aproximadamente 102 minutos, o que produz um total de 14,2 órbitas por dia, tendo assim uma passagem diurna e outra noturna para cada localidade. Os principais instrumentos a bordo do satélite são o TOVS (*Tim Operational Vertical Sounder*) e o AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), que é o sensor principal para este estudo.

O AVHRR é um sensor com um sistema de varredura transversal (*cross-track*), possui 5 bandas, uma na faixa do visível (0,58-0,68  $\mu\text{m}$  - vermelho), uma na faixa do infravermelho próximo (0,72-1,10  $\mu\text{m}$ ) e três na faixa do infravermelho termal (3,53-3,93  $\mu\text{m}$ ; 10,30-11,30  $\mu\text{m}$ ; 11,50-12,50  $\mu\text{m}$ ) do espectro-eletromagnético. Este sensor possui um IFOV de 1,4 mrad, uma taxa de 360 varreduras por minuto, e um ângulo de imageamento igual a  $\pm 56^\circ$ , o que para uma altitude de 833 km proporciona uma resolução espacial nominal de 1,1 km x 1,1 km no nadir e de 2,4 km x 6,9 km nas bordas da imagem. A largura da faixa de imageamento é de 2.700 km, e o nível de quantização dos dados é de 10 bits, o que proporciona uma resolução radiométrica de 1024 níveis de cinza.

Os dados adquiridos pelo sensor AVHRR são transmitidos para as estações terrestres em dois modos, o chamado formato GAC (*Global Area Coverage*) e o LAC / HRPT (*Local Area Coverage / High Resolution Picture Transmission*).

No formato GAC os dados são processados a bordo do satélite em tempo real e transmitidos em banda VHF. É obtido um valor amostrado de 5 colunas e 3 linhas de varredura. A resolução radiométrica de 10 bits é mantida, enquanto que a resolução espacial é degradada para 4,0 km no nadir.

No formato LAC / HRPT a resolução espacial no nadir é de 1,1 km e os dados são registrados em 10 bits e transmitidos em banda S em tempo real, embora possam ser seletivamente gravadas a bordo do satélite, para posterior transmissão como LAC para as estações receptoras.

O volume de dados que compõe uma imagem AVHRR pode variar de acordo com o número de linhas gravadas na estação receptora. É importante destacar que o volume médio de uma imagem completa AVHRR-HRPT em formato de gravação nível 1B com cobertura quase total do território brasileiro é de 60 Mbytes.

### **3.4 "GIMMS Mapping System" (GMS)**

O GMS (GIMMS Mapping System) é um sistema de mapeamento desenvolvido para o processamento de dados do AVHRR nível 1B do NOAA. Com este sistema podem ser produzidos até 11 imagens diferentes: canais 1 a 5 (bandas originais), ângulo zenital solar, ângulo zenital do satélite, ângulo azimutal relativo, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), dia Juliano e ângulo de varredura. Os dados podem ser mapeados em uma das várias projeções cartográficas utilizadas pelo sistema. Os dados podem estar no formato LAC (1 km) ou GAC (4 km) e podem estar em fitas magnéticas ou no disco rígido. O GMS suporta a navegação do NOAA e as calibrações do NOAA e da NASA/GSFC. As imagens compostas podem ser formadas utilizando um dos critérios: valor máximo, mínimo ou médio. As nuvens são eliminadas da composição usando como critério um valor limite na banda termal. A descrição deste sistema encontra-se no Apêndice A.

### **3.5 Índices de vegetação**

A assinatura espectral característica da vegetação verde sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível e a região do infravermelho próximo. Entre as primeiras publicações que reportam o uso da diferença entre a resposta registrada no infravermelho próximo e a registrada no vermelho para estimativas de biomassa ou índices de área foliar, encontram-se os trabalhos de Jordan (1969), Pearson e Miller (1972), Colwell (1974) e Tucker (1979).

Tucker (1979) baseou-se em dados espectrométricos coletados em campo para avaliar a relação linear entre a razão das bandas no infravermelho e vermelho do espectro eletromagnético, mostrando a partir de uma análise de regressão que esta combinação era superior a combinação verde-vermelho. A combinação linear vermelho-infravermelho

próximo tem um nível de significância de regressão maior do que a combinação linear verde-vermelho, para o mesmo período do ano amostrado (Tucker, 1979).

Em geral, pode-se considerar que quanto maior seja o contraste entre as regiões do vermelho e infravermelho próximo, maior vigor terá a cobertura vegetal imageada. Este é o princípio em que se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação registrada nestas duas bandas ou regiões do espectro-eletromagnético.

Huete (1988) classifica os índices de vegetação em dois grandes grupos: os índices de razão e os índices ortogonais. O índice de razão mais comum é o “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) envolvendo combinações lineares de bandas na dimensão 2D, e que segundo Rouse et al. (1973) é o mais representativo dos diferentes índices espectrais de vegetação.

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_v) / (\rho_{IVP} + \rho_v)$$

onde:

$\rho_{IVP}$  - reflectância no infravermelho próximo

$\rho_v$  - reflectância no vermelho

Existem diferentes combinações feitas com as bandas 1 e 2 do sensor AVHRR do NOAA, como também podem ser usadas as bandas 3 e 4 do TM-Landsat, e as bandas XS2 e XS3 do sensor HRV do satélite SPOT. Todas essas combinações são conhecidas como índices de vegetação. O NDVI obtido a partir desses sensores possui comportamento semelhante. A maior diferença acontece para os valores mais baixos do NDVI, ou seja, quando o índice de cobertura vegetal é menor (Singh, 1989).

No NDVI obtido a partir de imagens AVHRR, a normalização reduz o efeito da degradação da calibração do satélite entre 10-30% para uma determinada banda e entre 0-6% para o índice propriamente dito (Kaufman e Holben, 1993), assim como os efeitos da dependência angular da reflectância bidirecional da superfície e o atmosférico são reduzidos significativamente (Tanré e Kaufman, 1992).



O uso das imagens NDVI obtidas a partir de dados AVHRR-GAC para o estudo e monitoramento da vegetação em nível continental tem exemplos destacados nos trabalhos de Tucker et al. (1985) e Townshend e Justice (1986), que utilizaram o índice para a classificação da vegetação da África, e da sua dinâmica e fenologia, respectivamente. Do mesmo modo, Townshend et al. (1987) caracterizaram e classificaram a vegetação da América do Sul em 16 classes, baseados em imagens NDVI derivados de um conjunto de dados multitemporal AVHRR-GAC correspondentes ao período entre abril de 1982 e março de 1983.

Em nível regional Tappan et al. (1992) analisaram uma série multitemporal de dados NDVI, obtidos de imagens do sensor AVHRR, para a análise e monitoramento dos campos de pastagem no Senegal, identificando anomalias sazonais relacionadas com a ocorrência de secas.

Para o Brasil, Liu (1990) realizou uma análise da evolução temporal da vegetação de diferentes localidades, baseado nas variações do NDVI obtido de uma série multitemporal (1981-1987) de dados AVHRR-GAC. Segundo Liu (1990), no Brasil existem 4 padrões diferentes de variação do índice: alto NDVI com baixas flutuações na região Norte, valores médios do NDVI com altas flutuações na região Nordeste, baixo NDVI com altas flutuações nas regiões metropolitanas e costeiras, e valores normais que respondem aos padrões da precipitação no resto do país.

Outros autores como: Sader et al. (1989), Qi et al. (1993) e Townshend e Justice (1995) têm utilizado dados NDVI obtidos de imagens do sensor HRV (*High Resolution Visible*) do satélite SPOT e MSS do satélite Landsat para o estudo da vegetação em escalas maiores, em localidades de menor extensão territorial.

### **3.6 Análise de séries multitemporais de imagens: O método “Maximum Value Composition”**

Uma das grandes vantagens que, sem dúvida, tem garantido o sucesso do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA, é a sua resolução temporal. O satélite adquire imagens diárias da maior parte da superfície terrestre e transmite as mesmas de forma operativa para mais de uma centena de estações espalhadas em diferentes países.

Por outro lado, sua resolução espacial de 1,1 km (HRPT/LAC) e a amostragem para 4 km (GAC) que reduz consideravelmente o volume de dados, tem garantido e fornecido imagens para a maior base global de dados para o monitoramento das condições ambientais do planeta.

Para obter um produto de alta qualidade com valores confiáveis nos índices de vegetação, obtidos a partir de dados AVHRR, é necessário dispor de uma série multitemporal de imagens com determinadas características geométricas, radiométricas, temporais, etc.

As bandas espectrais do sensor AVHRR foram desenhadas para estudos de caráter meteorológico (nuvens, atmosfera, superfície do mar), porém desde o começo da década de 80, aproveitando principalmente as características de suas bandas 1 (visível) e 2 (infravermelho próximo), os dados deste sensor têm sido utilizados cada vez mais em estudos de vegetação, tanto na escala global como regional (Gray e McCrary, 1981; Schneider et al., 1981; Townshend e Tucker, 1981).

As aplicações das imagens AVHRR-NOAA são cada vez mais numerosas em estudos realizados a partir da análise de diferentes índices de vegetação, calculados segundo diferentes algoritmos propostos por vários autores (Huete et al., 1985; Goward et al., 1985; Pinty e Verstraete, 1992; e outros). A chamada Composição do Máximo Valor ("Maximum Value Composition"- MVC) é obtida de uma série multitemporal de imagens georeferenciadas, processadas como imagens NDVI, para as quais o valor NDVI de um determinado pixel ( $x_i, y_i$ ) é analisado, registrando-se o mais alto valor da série. O objetivo principal da técnica MVC é minimizar a influência na cena de fatores como: nebulosidade, variações do ângulo de iluminação solar e geometria de visada, assim como da atmosfera (vapor de água, aerossóis). Segundo Tarpley et al. (1984), a MVC é atualmente a técnica mais aceita para o processamento dos dados do visível e infravermelho próximo (bandas 1 e 2) do sensor AVHRR para transformá-las em imagens NDVI.

### **3.7 Modelo Linear de Mistura Espectral**

O valor de radiância registrado pelo sensor para cada pixel vai depender das características do sensor (IFOV, detector, etc), sendo a soma integrada das radiâncias dos diferentes

materiais que compõem a área imageada (pixel) mais a contribuição da atmosfera (Shimabukuro e Smith, 1991; Holben e Shimabukuro, 1993).

Em situações reais é difícil encontrar pixels totalmente puros nas imagens. Esta problemática é maior ainda em imagens de média ou baixa resolução espacial como as obtidas pelo sensor AVHRR de 1,1 x 1,1 km. Assim, segundo Shimabukuro e Smith (1991), a não uniformidade da maioria das cenas naturais resulta, geralmente, em um grande número de componentes da mistura, e o problema é mais complicado ainda pelo fato de que a proporção de um determinado material pode variar de pixel para pixel. Como consequência, as áreas ocupadas por um determinado alvo pode ser superestimada ou subestimada na classificação digital de imagens devido ao problema de misturas espectrais.

A relação linear é usada para representar a mistura espectral de alvos dentro de um elemento de resolução ("pixel"). Com isto, a resposta de cada "pixel" em qualquer comprimento de onda, pode ser considerada como uma combinação linear das respostas de cada componente que está na mistura. Assim cada "pixel" da imagem pode assumir qualquer valor dentro da escala de níveis de cinza, contendo informações sobre a proporção e resposta espectral de cada um dos componentes dentro do "pixel" (Shimabukuro e Smith, 1991). Em consequência, conhecendo-se a proporção dos componentes do pixel pode-se estimar a resposta espectral e vice-versa.

As imagens-frações resultantes juntamente com as imagens NDVI para diferentes épocas do ano serão utilizadas para a classificação da cobertura vegetal bem como para a avaliação das mudanças ocorridas causadas por desmatamento ou variações fenológicas.

#### **4. Resultados**

##### **4.1 Banco de imagens AVHRR-NOAA-11 processadas**

Inicialmente, foi selecionado o período de agosto de 1992 a agosto de 1994, para a seleção das imagens AVHRR, que corresponde aos 2 últimos anos de funcionamento do satélite NOAA-11, ou seja, as imagens selecionadas seriam as mais recentes obtidas por este satélite. Devido à dificuldade de obter as imagens correspondentes a esse período gravadas

pelo INPE em Cachoeira Paulista, foram adquiridas também imagens AVHRR do NOAA-11 da NASA/GSFC correspondentes ao ano de 1989. No Apêndice B, encontra-se a lista das imagens AVHRR no formato 1B processadas durante o desenvolvimento deste estudo.

#### **4.2 Mosaicos AVHRR-NOAA**

Foram elaborados 16 mosaicos AVHRR-NOAA pela técnica do máximo valor do NDVI correspondentes aos períodos de: junho, julho, agosto, setembro e outubro de 1989; junho, julho e agosto de 1992; maio, junho, agosto, outubro e dezembro de 1993; e fevereiro, abril e junho de 1994. A Figura 7 mostra as imagens NDVI referentes aos mosaicos de junho, julho, agosto, setembro e outubro de 1989.

#### **4.3 Trabalho de campo**

A primeira etapa do trabalho de campo, realizada no período de 11 a 17 de março de 1998, consistiu em um sobrevôo de reconhecimento cobrindo os itinerários: Cuiabá – Alta Floresta, Alta Floresta – Vilhena, Vilhena – Cuiabá, e Cuiabá- Cáceres. Este sobrevôo abrangeu áreas de transição entre diferentes formações vegetais e áreas antropizadas (áreas agrícolas), incluindo um levantamento com a câmera aerofotogramétrica *Wild RC-8*, além de fotografias em formato 35 mm. Informações sobre a localização geográfica e do aerolevante encontram-se na Tabela 1. Além do sobrevôo foi realizado um trajeto terrestre de reconhecimento do uso e cobertura do solo entre as cidades de Cuiabá e Cáceres.

A segunda etapa do trabalho de campo foi realizada no período de 24 de agosto a 05 de setembro de 1998. O objetivo específico desta etapa foi visitar as áreas fotografadas durante o aerolevante realizado na primeira etapa, bem como o reconhecimento *in situ* do maior número possível de formações vegetais existentes na área de estudo. Além disso, foram feitas visitas às diferentes instituições estaduais e federais relacionadas com a presente pesquisa, tais como o IBAMA, a FEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente) e a SEPLAN (Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral).

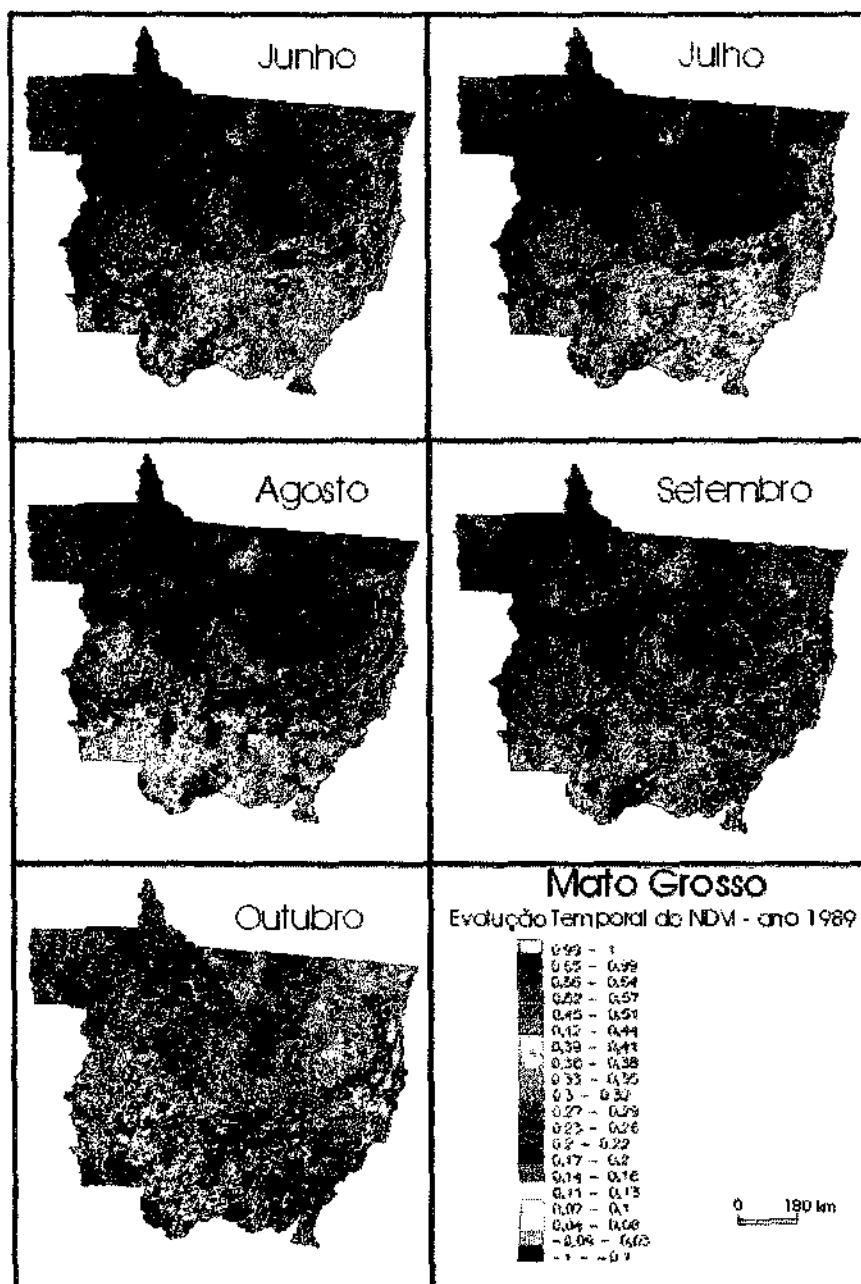


Fig. 7 - Mosaicos do NDVI correspondentes aos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro de 1989.

**TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE VÔO REALIZADAS DURANTE A PRIMEIRA ETAPA DO TRABALHO DE CAMPO**

Linha	Latitude	Longitude	Sentido	Município	No. de Fotos
B1	13° 50'	59° 10'	O-L	Campos de Júlio	5
B3	13° 40'	57° 55'	N-S	Campo Novo dos Parecis	5
B4	13° 55'	56° 05'	S-N	Nova Mutum	10
B5	13° 10'	56° 05'	S-N	Lucas do Rio Verde	10
B6	12° 35'	55° 43'	S-N	Sorriso	10
B7	12° 18'	55° 19'	L-O	Vera	10
B8	12° 00'	55° 31'	N-S	Sinop	10
Y1A	16° 30'	57° 30'	S-N	Cáceres	4
Y1B	16° 00'	57° 30'	S-N	Cáceres	5
Y1C	15° 30'	57° 30'	S-N	Cáceres	5
Y2A	16° 30'	55° 30'	S-N	Barão de Melgaço	6
Y4A	11° 00'	57° 30'	S-N	Juará	6
Y4B	10° 30'	57° 30'	S-N	Juará	5
Y4C	10° 00'	57° 30'	S-N	Alta Floresta	4
Y5A	12° 00'	55° 00'	S-N	Sinop	5

No percurso Cuiabá – Alta Floresta, foram visitadas áreas próximas às localidades de Nova Mutum, Lucas do Rio Verde, Sorriso, Vera, Claudia, Sinop e Colider. Estas áreas correspondem principalmente à transição Cerrado – Floresta Ombrófila, assim como áreas de Cerrado, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, e extensas áreas

antropizadas ocupadas principalmente por plantios de soja e pastagem. Para as áreas percorridas foram analisadas as fotografias aéreas, o mapa de vegetação e imagens de satélite (Landsat-TM) e comparadas com o uso do solo constatado no momento da visita, anotando-se e fotografando-se o correspondente tipo de ocupação da área. Para a localização das áreas, além das fotografias e mapas foi utilizado o GPS de navegação modelo GARMIN 38.

Outros percursos foram realizados entre: Cuiabá - Cáceres passando por Poconé; Cuiabá – Chapada dos Guimarães; e Cuiabá – Chapada dos Parecis, onde foram visitadas áreas de vegetação natural como a transição Cerrado – Floresta Estacional, diferentes tipos de Cerrado e Floresta Estacional Decidual e Semidecidual. Nestas localidades a vegetação natural vem sendo substituída principalmente por áreas de cultura de milho, cana de açúcar, soja e pastagem.

#### **4.5 Classificação da cobertura vegetal nos mosaicos do AVHRR**

A classificação digital da cobertura vegetal do Mato Grosso foi realizada sobre os mosaicos AVHRR elaborados testando diferentes algoritmos de classificação digital.

A primeira classificação supervisionada foi realizada para as bandas 1 e 2 dos mosaicos AVHRR de junho de 1993. Para selecionar o conjunto de amostras para a execução da classificação supervisionada realizou-se uma análise visual da imagem NDVI correspondente a este mosaico, do mapa de vegetação de referência (IBGE-IBAMA, 1993) e das imagens Landsat TM disponíveis. As áreas amostradas foram selecionadas verificando os valores do NDVI e as coordenadas geográficas correspondentes entre o mapa de referência e o mosaico a ser classificado.

Primeiramente para esta classificação supervisionada foram consideradas somente 6 classes: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional, Cerrado, Áreas de Tensão Ecológica e Áreas Agropecuárias. A análise das estatísticas das amostras mostrou um histograma bimodal nas bandas 1 e 2 para a classe Áreas de Tensão Ecológica, com um valor de desvio padrão muito alto, o que ocasionou uma alta confusão na identificação desta classe.

Após análise das características fisionômicas, valor do NDVI e distribuição espacial da classe Áreas de Tensão Ecológica, decidiu-se dividir esta classe em duas classes independentes. A primeira sub-classe, denominada Áreas de Tensão Ecológica 1 (ATEc1), ocupa as áreas ao centro e norte do Estado, e corresponde à transição entre as Florestas Ombrófila aberta, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional; e a segunda sub-classe, denominada Áreas de Tensão Ecológica 2 (ATEc2), está localizada nas áreas ao sul do Estado e define a transição entre o Cerrado e a Floresta Estacional.

Baseado na análise comparativa entre as imagens disponíveis e os materiais de referência, incluiu-se a classe Vegetação com Influência Fluvial, definida como as formações vegetais situadas ao longo dos cursos dos rios e sobre solos aluviais. Esta classe pode ser observada nas imagens AVHRR nas margens dos rios Xingu e Manissauá-Miçu. A seguir, para a classificação supervisionada foi considerado um total de 8 classes: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional, Cerrado, ATEc.1, ATEc.2, Vegetação com Influência Fluvial e Áreas Agropecuárias. O resultado desta classificação (Rodriguez Yi, 1998) é mostrado na Figura 8, e foi comparado com o mapa de vegetação adaptado do IBGE-IBAMA (1993).



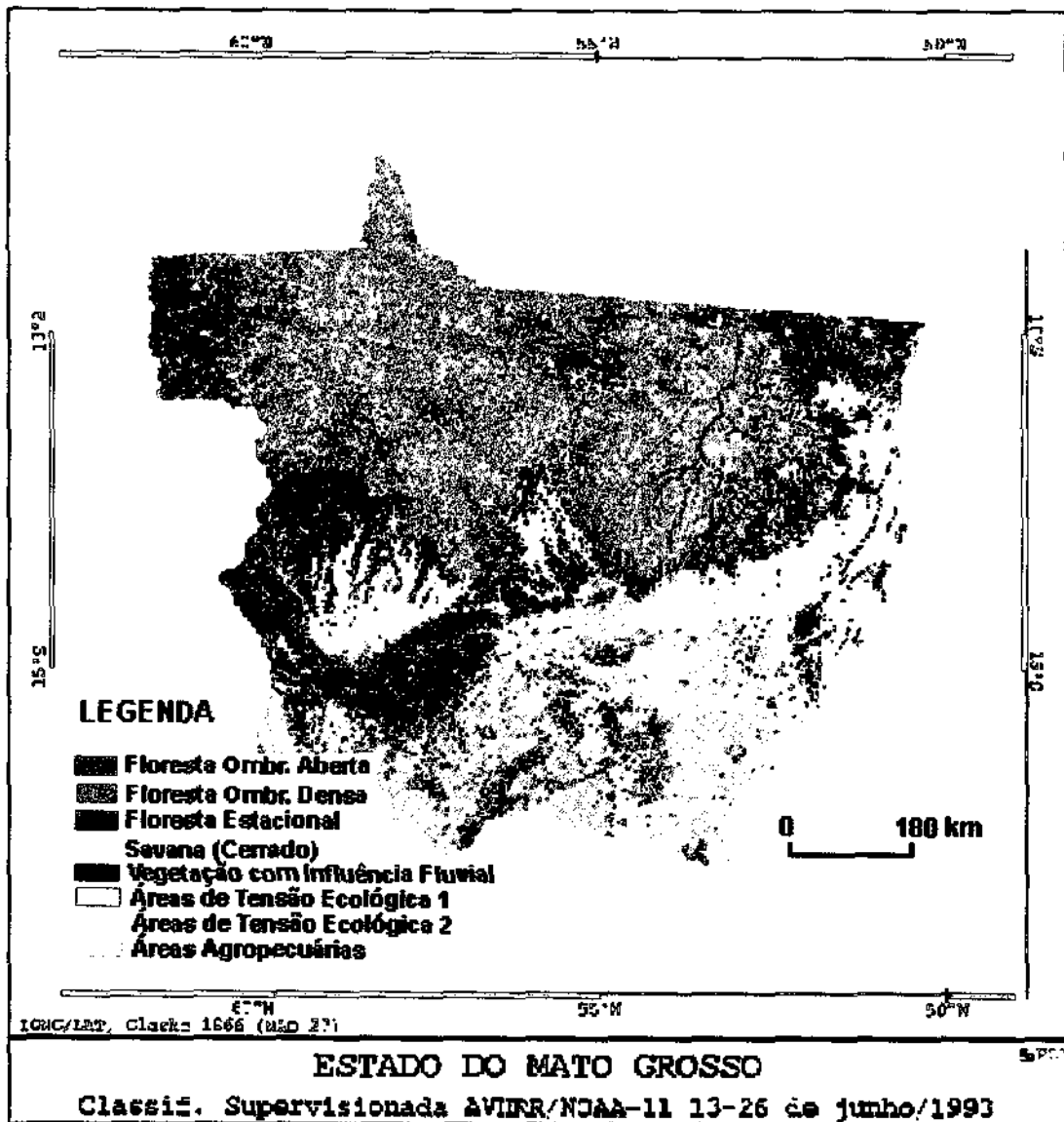


Fig. 8 - Classificação supervisionada pelo algoritmo de máxima verossimilhança das bandas 1 e 2 do AVHRR. (Rodríguez Yi, 1998).

Após o trabalho de campo, o mosaico da Figura 8 foi reanalisado conforme descrição a seguir.

Na etapa de pré-processamento aplicou-se o modelo linear de mistura espectral às bandas 1 (0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ ) e 2 (0,72 – 1,10  $\mu\text{m}$ ) do mosaico, sendo geradas as imagens-fração de vegetação, de solo e de sombra. A seguir essas imagens-fração foram segmentadas utilizando o algoritmo de crescimento de regiões, disponível no SPRING, com limiar 3 de similaridade e limiar 16 de área.

Para o processo de extração de regiões utilizou-se de forma conjunta as imagens-fração e a banda 3 (3,53 – 3,93  $\mu\text{m}$ ; infravermelho termal) do AVHRR, e escolheu-se o algoritmo de classificação supervisionada da distância de Battacharrya. A seleção das amostras necessárias para a classificação baseou-se no mapa síntese das formações vegetais elaborado pelo Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso - PRODEAGRO (SEPLAN, 1997). Este mapa foi utilizado como material cartográfico de referência além de fornecer a legenda que definiu o número de classes a serem identificadas. O mapa de vegetação resultante desta classificação é apresentado na Figura 9. Para a comparação visual com o Mapa síntese de formações vegetais (SEPLAN, 1997), o mapa resultante foi também impresso na escala de 1:1.500.000, mostrando a sua utilidade para estudos regionais.

## Mapa de Vegetação

Estado do Mato Grosso

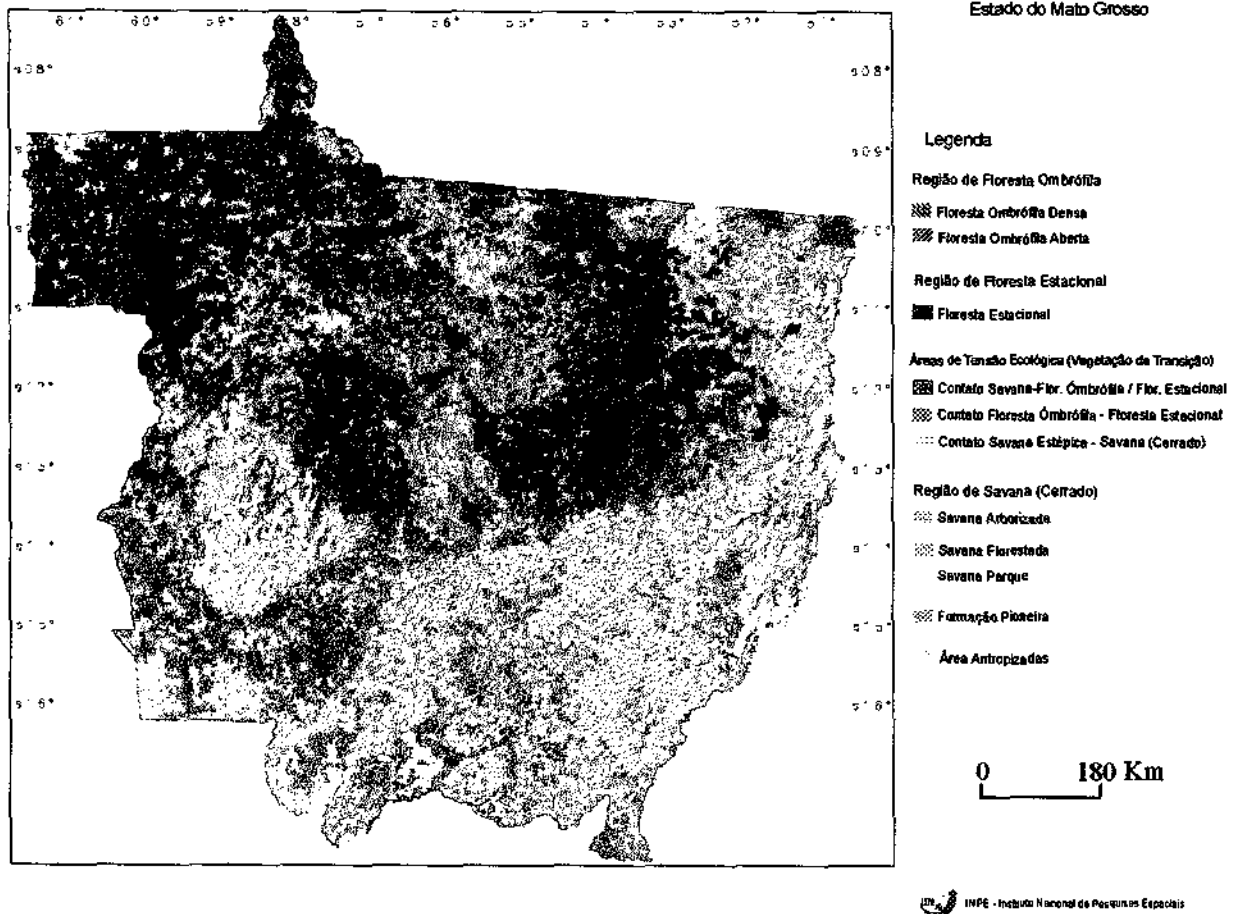


Fig. 9 Mapa de vegetação obtido pelo processo de segmentação e classificação supervisionada da distância de Battacharrya, utilizando de forma conjunta as imagens fração vegetação, solo e sombra e a banda 3 do AVHRR.

### 4.7 Extração e manipulação dos dados NDVI dos mosaicos mensais

A extração dos dados NDVI consistiu em amostrar, para os mosaicos NDVI correspondentes a cada período, para as 8 classes de vegetação classificadas (Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional, Savana, Vegetação com Influência Fluvial, Áreas de Tensão Ecológica<sup>1</sup>, Áreas de Tensão Ecológica<sup>2</sup> e Áreas Agropecuárias), três janelas de tamanho 3 x 3 pixels, o que resulta num total de 24 pontos amostrados por mosaico. Baseados no mapa com a classificação da cobertura vegetal obtido e o mapa de vegetação do IBGE-IBAMA (1993) usado como referência, segundo as coordenadas geográficas, foram delimitados os pontos de amostragem do NDVI. A

restrição imposta foi que, para a área amostrada, existisse concordância total entre a classe de vegetação do mapa obtido pela classificação digital e o mapa de referência. Um gráfico mostrando a evolução das mudanças sazonais das classes de vegetação mapeadas para os períodos correspondentes aos mosaicos AVHRR elaborados por Rodriguez Yi (1998) é mostrada na Figura 10. O mesmo procedimento foi realizado para os mosaicos NDVI referentes às imagens de 1989 considerando as classes apresentadas no mapa de vegetação da Figura 9. A Figura 11 mostra a evolução temporal de algumas classes de cobertura vegetal mapeadas. Como pode ser visto nesta figura, as áreas de floresta e savana poderiam ser facilmente discriminadas neste período do ano.

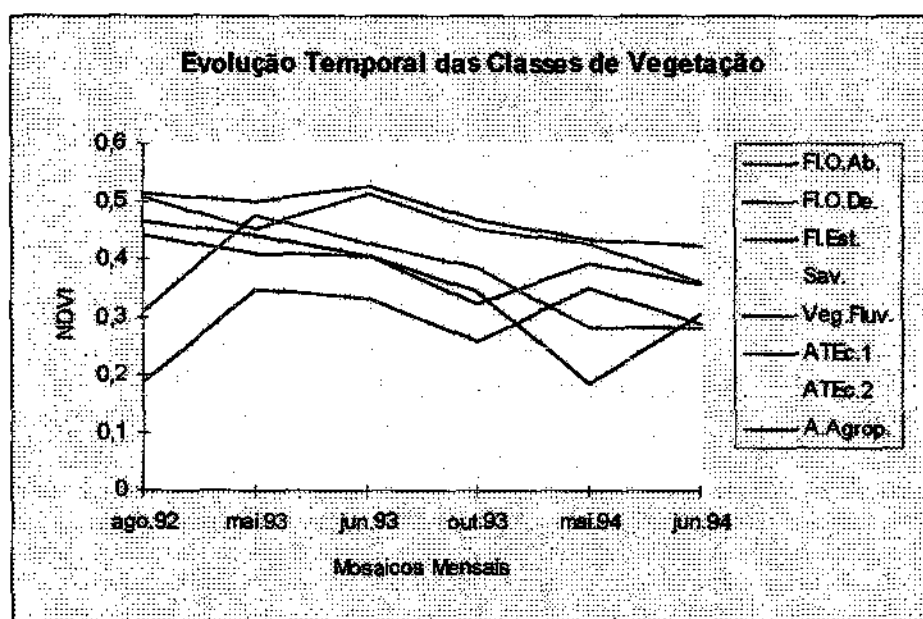


Fig. 10 - Evolução temporal do NDVI para as diferentes classes de vegetação identificadas. (Rodriguez Yi, 1998).

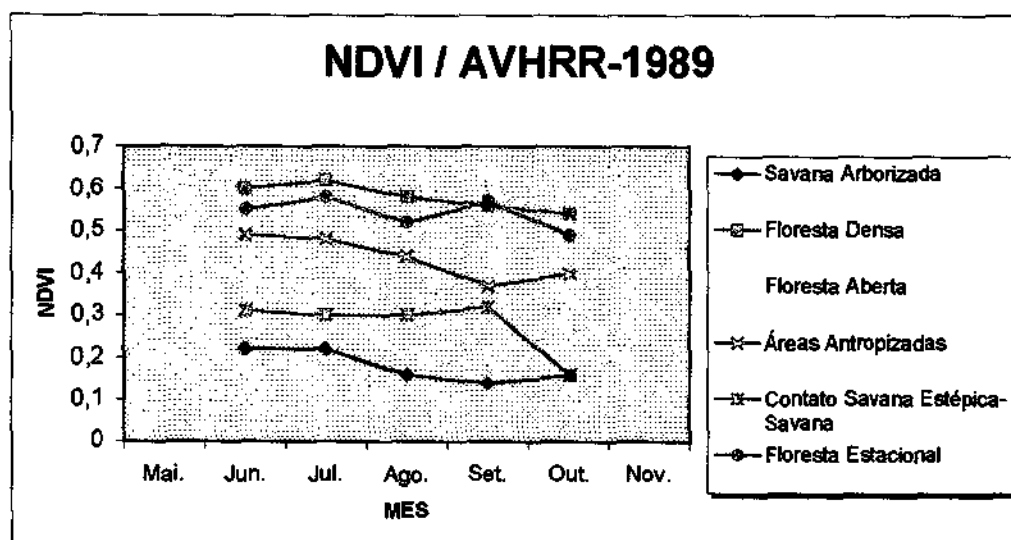


Fig. 11 - Evolução temporal do NDVI de 1989 para algumas classes de cobertura vegetal identificadas no mapa de vegetação da Figura 9.

#### 4.8 Banco de Dados

Os bancos de dados são criados a partir de modelos do mundo real. Um banco de dados espacial é uma coleção de entidades referenciadas espacialmente que atuam como modelo da realidade. O banco de dados do estado de Mato Grosso tem como objetivo fundamental reunir num sistema único um conjunto de informações georeferenciadas que possibilitem uma análise e monitoramento das condições ecológicas, especialmente da cobertura vegetal do estado. Neste banco, são reunidas informações oriundas de diferentes escalas, com ênfase especial nas informações em escala regional, utilizando-se como principal fonte de dados as imagens do sensor AVHRR dos satélites NOAA (Figura 12). O banco de dados está implementado no Sistema SPRING versão 3.1.1 para Windows e atualmente contém informações dos seguintes temas:

- Hidrografia
- Relevo
- Clima
- Rede viária

- Solos
- Vegetação
- Desflorestamento
- Imagens Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI
- Mosaico de imagens Landsat-TM (bandas espectrais 3, 4 e 5)
- Mosaicos de fotografias aéreas
- Fotografias com a fisionomia das diferentes formações vegetais
- Limites municipais atualizados
- Cidades e assentamentos populacionais
- População

Hidrografia - Rios, rios de margem dupla, lagoas e lagos. FONTE: Mapa Síntese do Estado do Mato Grosso elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente. Escala 1:1.500.000. (FEMA, 1997).

Relevo - Informação extraída do mapa do Brasil ao milionésimo - curvas de nível a cada 100 metros - e mapa de declividade.

Rede viária - estradas federais e estaduais atualizadas, divididas em duas categorias: asfaltadas e não asfaltadas. FONTE: Mapa Político Rodoviário e Estatístico. Escala 1:1.500.000. Editora Cartográfica Centro Oeste, 1998.

Solos - Tipos de solos. FONTE: Mapa de Solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. EMBRAPA, 1981.

Vegetação - (1) mapa síntese da vegetação. FONTE: Mapa Síntese das Formações Vegetais. Escala 1:1.500.000. (SEPLAN, 1997); (2) Mapa da cobertura vegetal obtido da classificação digital de mosaicos de imagens AVHRR-NOAA; (3) Tabela com as

características fisionômicas das formações vegetais mapeadas e as principais espécies florísticas (SEPLAN, 1997);

Imagens – (1) Imagens (mosaicos) mensais NDVI dos anos 1989, 1992, 1993 e 1994; (2) Mosaico de imagens Landsat-TM (bandas espectrais 3, 4 e 5) do Projeto PROARCO do INPE.

Desmatamento - Síntese do desmatamento referente aos anos de 1992, 1993, 1994 e 1995.

FONTE: Mapa Síntese do Estado do Mato Grosso elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente. Escala 1:1.500.000. (FEMA, 1997).

Informação Política e Econômica - Limites municipais, cidades e assentamentos populacionais atualizados. FONTE: Mapa Político Rodoviário e Estatístico. Escala 1:1.500.000. Editora Cartográfica Centro Oeste, 1998.

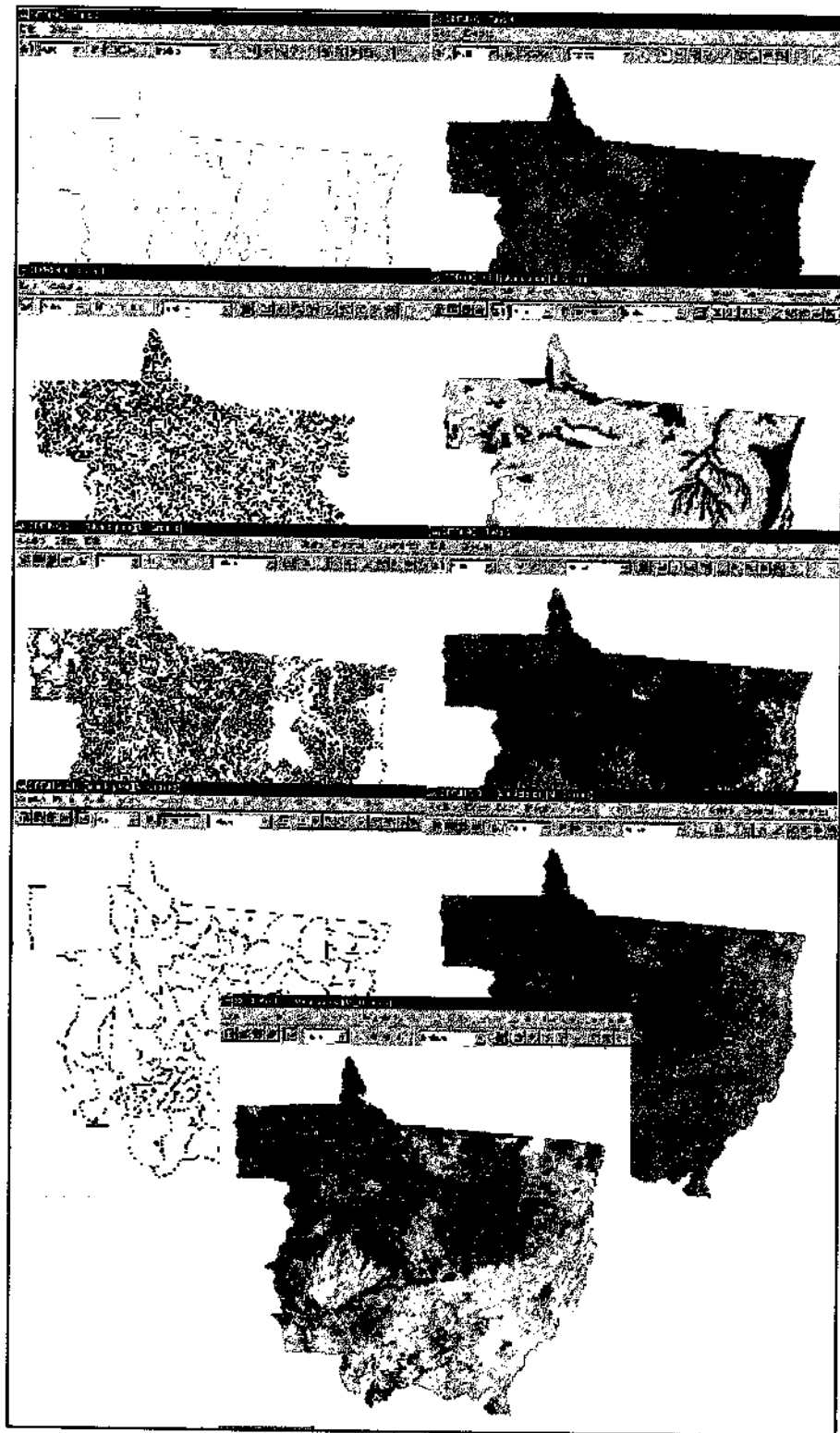


Fig. 12: Informações contidas no Banco de Dados do estado do Mato Grosso.



## 5. Considerações Finais

Analisando-se os resultados apresentados, pode-se concluir que os objetivos de classificar e monitorar a vegetação do estado de Mato Grosso a partir de uma série multitemporal de imagens AVHRR foram alcançados com sucesso, embora este relatório não esgote o assunto desta linha de pesquisa. A característica espectral, espacial e especialmente temporal dos dados do sensor AVHRR permite o desenvolvimento de diferentes técnicas de processamento e análise desses dados. Os mosaicos multitemporais mostram o comportamento sazonal das várias classes de cobertura vegetal analisadas. A utilização de imagens-fração de vegetação, de solo e de sombra, derivadas do modelo linear de mistura espectral juntamente com a banda 3 do AVHRR, permitiu a classificação da cobertura vegetal considerando as mesmas classes definidas no mapa síntese das formações vegetais da SEPLAN (1997). O mapa de cobertura vegetal gerado para o estado do Mato Grosso mostra a utilidade dos dados AVHRR com resolução de 1,1 km x 1,1 km para o estudo a nível regional.

## Referências bibliográficas

- Alves, S.D.; Meira Filho, L.G.; D'Alge, J.C.L.; Mello, E.K.; Moreira, J.C.; Medeiros, J.S. The Amazonia Information System. In: Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 17., Washington, D.C. 1992. **Proceedings**. Washington, D.C. 1992.
- Aman, A., Randriamanantena, H.P., Podaire, A. and Frouin, R. Upscale integration of Normalized Difference Vegetation Index: the problem of spatial heterogeneity, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, GE. v. 30 n. 2, p.326-338. 1992.
- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p.161-173. 1991.
- Cleavers, J. The application of weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. **Remote Sensing of Environment**, v. 29, p.25-37. 1989.
- Colwell, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3 n. 3, p.175-183, 1974.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBGE / IBAMA). Rio de Janeiro. Mapa de vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. Edição 1993.

- Goward, S.N., Tucker, C.J.; Dye, D.G. North American vegetation patterns observed with the Nimbus-7 Advanced Very High Resolution Radiometer. **Vegetatio**, v. 64, p.3-14. 1985.
- Gray, T.I. Jr.; McCrary, D.G. The environmental vegetation index: the tool potentially useful for arid land management. In: Conference on Biometeorology, 5., Anaheim, 1981. **Proceedings**. California, A. M. S. 1981. 205-210.
- Holben, B.N.; Shimabukuro, Y.E. Linear mixing model applied to AVHRR LAC Data. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba **Anais.**, São José dos Campos: INPE, 1993. v.3, p. 102-110.
- Huete, A.R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p. 295-309.
- Huete, A.R.; Jackson, R.D.; Post, D.F. Spectral response of plant canopy with different soil backgrounds, **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 37-53, 1985.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Deforestation in Brazilian Amazonia**. São José dos Campos, INPE. 1992. 4p.
- Jasinski, M.F. Sensitivity of the Normalized Difference Vegetation Index to subpixel canopy cover, soil albedo, and pixel scale. **Remote Sensing of Environment**, v. 32, p.169-187. 1990.
- Jordan, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 1, p. 663-666. 1969.
- Kaufman, Y.J.; Holben, B.N. Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 1, p. 21-52. 1993.
- Kaufman, Y.J.; Tanré, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, GE v. 30, n. 2, p. 261-270.1992.
- Lawrence, W.T. The NASA Landsat Pathfinder Tropical Deforestation Project. **Revista SELPER, Special Edition - WFW Conference**, v. 8, n. 2, p. 55-62. 1992.
- Liu, T.H.W. Monitoring AVHRR Vegetation Index of Brazil during 1981/1987. In: Seminário Internacional sobre Estimativa da Biomassa Terrestre e da Produção Agrícola Via Satélite, **Proceedings**, 11-44, 1990.
- Morton, A.J. Moorland plant community recognition using Landsat MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 20, n. 3, p. 291-298. 1986
- Myneni, R.B., Asrar, G., Tanré, D. and Choudhury, B.J. Remote sensing of solar radiation absorbed and reflected by vegetated land surfaces. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, GE v. 30, n. 2, p.302-314, 1992.

- Nimer, E. Clima. In: **Geografia do Brasil. Região Centro- Oeste**. v. 4. IBGE, Rio de Janeiro, 1977. 364 p.
- Nogueira, A.A. Relevo. In: **Geografia do Brasil. Região Centro- Oeste**. v. 4. IBGE, Rio de Janeiro, 1977. 364p.
- Ornelas de Anda, J.L.; Borbolla, E.; Eggen-McIntosh, S.; Zhu, Z. Evans, D. Mapeo de la cubierta forestal de México usando imágenes AVHRR. **Revista SELPER. Special Edition ISY-WFW Conference**, v. 8, n. 2, p. 63-67, 1992.
- Pearson, R.L.; Miller, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass praires. **International Symposium on Remote Sensing of Environment**, 8, Ann Arbor, Michigan. 1972 **Proceedings**. Michigan, 1357-1481, 1972
- Pinty, B.; Verstraete, M.M. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. **Vegetatio**, v. 101 n. 1, p. 15-20, 1992.
- Pitblado, J.R.; Amiro, B.D. Landsat mapping of the industrially disturbed vegetation communities of Sadbury, Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 17-28, 1982.
- Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, Rio de Janeiro: DNPM, 1976, v.20.
- Qi, J.; Huete, A.R.; Moran, M.S.; Chehbouni, A.; Jackson, R.D. Interpretation of vegetation indices derived from multi-temporal SPOT images. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, p. 89-101, 1993.
- Rodríguez Yi, J.L. **Mapeamento e monitoramento da vegetação no Estado do Mato Grosso através de imagens AVHRR-NOAA**. São José dos Campos. p. (INPE-6816-TDI/638) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- 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., 1973. **Proceedings**. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.
- Sader, S.A.; Waide, R.B.; Lawrence, W.T.; Joyce, A.T. Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 28, p. 143-156, 1989.
- Sadowski, F.G.; Sturdevant, J.A.; Rowntree, R.A. Testing the consistency for mapping urban vegetation with high-altitude aerial photographs and Landsat MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 21, n. 2, p. 129-142, 1987.

- Salomonson, V.V., Barnes, W.L., Maymon, P.W., Montgomery, and Ostrow, H. MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, GE v.29, n. 1, 1989.
- Satterwhite, M.; Rice, W.; Shipman, J. Using landform and vegetative factors to improve the interpretation of Landsat imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 50, n. 1, p. 83-91, 1984.
- Schneider, S.R.; McGinnis Jr, D.F.; Gatlin, J.A. Use of the NOAA/AVHRR visible and near infrared data for land remote sensing. In: **NOAA Technical Report (NESS 84)**, NOAA National Environmental Satellite Service. 1981.
- Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN). Cuiabá (MT): Síntese das formações vegetais. Zoneamento Sócio-Econômico Ecológico (PRODEAGRO), Cuiabá, 1997. (Escala 1:1.500.000).
- Shimabukuro, Y.E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. Ph. D. Dissertation, Department of Forest and Wood Sciences, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 1987.
- Shimabukuro, Y.E.; Hernandez Filho, P.; Koffler, N.F.; Chen, S.C. Automatic classification of reforested Pine and Eucalyptus using Landsat data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 209-216, 1980.
- Shimabukuro, Y.E. and Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, v. GE-29, n. 1, p.16-20, 1991.
- Singh, S.M. Comparison of TM, HRV and AVHRR - Derived Vegetation Indices: A simulation study for sensor intercalibration. In: **Annual Conference of the Remote Sensing Society**, 15 "Remote Sensing for Operational Applications". Bristol. 1989. **Proceedings**, 381-386, 1989.
- Smith, J.A. Matter-energy interactions in the optical region. In: Colwell, R.N. ed. **Manual of remote sensing**, Vol. I, American Society of Photogrammetry, p.61-113, 1984.
- Stone, T.A.; Schlesinger, P.; Houghton, R.A.; Woodwell, G.M. A Map of the vegetation of South America based on satellite imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 5, p. 541-551, 1994.
- Tanré, D.; Holben, B.N.; Kaufman, J.Y. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 231-248, 1992.
- Tappan, G.G.; Tyler, D.G.; Wehde, M.E.; Moore, D.G. Monitoring rangeland dynamics in Senegal with Advanced Very High Resolution Radiometer data. **Geocarto International**, v. 1, p. 87-97, 1992.

- Tarpley, J.D.; Schneider, S.R.; Money, R.L. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, n. 3, p. 491-494, 1984.
- Townshend, J.R.G. Global data sets for land applications from the Advanced Very High Resolution Radiometer: an introduction. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 17, p. 3319-3332, 1994.
- Townshend, J.R.G., Justice, C.O. Unsupervised classification of MSS Landsat data for mapping spatially complex vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 1 n. 2, p. 105-120, 1980.
- Townshend, J.R.G., Justice, C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 1435-1445, 1986.
- Townshend, J.R.G.; Tucker, C.J. Utility of AVHRR of NOAA-6 and NOAA-7 for vegetation mapping. In: *Matching Remote Sensing Technologies and Applications*. London Remote Sensing Society. **Proceedings**, 97-107, 1981.
- Townshend, J.R.G., Justice, C.O., Kalb, V. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 1189-1207, 1987.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 1, p. 127-150, 1979.
- Tucker, C.J. and Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7 n. 11, p.1395-1416, 1986.
- Tucker, C.J.; Townshend, J.R.G.; Goff, T.E. African land-cover classification using satellite data. **Science**, v. 227, n. 369, 1985.
- Veloso, H.P.; Japiassú, A. M.S.; Goes-Filho, L. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Levantamento dos Recursos Naturais, 4. Parte das Folhas SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins. Rio de Janeiro .1974.
- Veloso, H.P.; Japiassú, A. M.S.; Goes-Filho, L. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Levantamento dos Recursos Naturais, 8. Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. Rio de Janeiro .305-404, 1975.
- Zhu, Z.; Evans, D.L. U.S. forest types and predicted percent forest cover from AVHRR data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n.5, p. 525-531, 1994.

## **APÉNDICE A**

### **GIMMS MAPPING SYSTEM (GMS)**

This document describes the GIMMS MAPPING SYSTEM (GMS). The first three sections contain a general overview of the system's capabilities, the directory structure and installation notes. The remaining of the document describes the user supplied parameters, available map projections and other options. It is beyond the scope of this document to cover different map projections and NOAA Level 1b data set in detail. The user is referred to **MAP PROJECTIONS USED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY** by John P. Snyder for precise definitions of cartographic terms and to **NOAA POLAR ORBITER DATA USER'S GUIDE** by Katherine Kidwell for details on spacecraft characteristics, data set formats, etc.

### **GMS 2.0 OVERVIEW**

GMS (GIMMS MAPPING SYSTEM) is a mapping system designed for the processing of NOAA Level 1b data. It can generate up to 11 different image products: channels 1 through 5, solar zenith angle product, satellite zenith angle product, relative azimuth angle product, NDVI product, julian day product, and scan angle product. The data may be mapped using one of 12 GEMPAK projections or 18 GCTP projections. The raw data may be in LAC or GAC format and reside on magnetic tape or disk. GMS supports NOAA navigation, NOAA calibration, and GSFC calibration. The composite images may be created using the maximum, minimum, and average-value composite procedures. Cloudscreening is performed using a thermal threshold. A parameter file is used to store the above mentioned parameters. To run GMS, the user types "gms parameter\_file\_name". Once the input data set is read, it is unpacked, calibrated, navigated, and composited. Cloud screening is performed only if the NDVI product was selected.

### **GMS DIRECTORY STRUCTURE**

The GMS directory tree consists of several directories. The top level directory is named **gimms** which stands for the Global Inventory Managing and Modeling Studies. Underneath it there are:

bin/ gactape/ gmsfile/ lacedisk/ locate/ noautil/  
clouds/ getparms/ gutil/ lactape/ makeall\* tapeutil/  
gacdisk/ gms/ inc/ lib/ mapproj/

bin/

This directory contains the GMS executable and some example parameter files.

clouds/

This directory contains the cloud screening routines.

gacdisk/

This directory contains gacdisk.c, the routine that reads GAC Level 1b files from a list of files and generates the output products.

gactape/

This directory contains gactape.c, the routine that reads GAC Level 1b files from one or more magnetic tapes and generates the output products.

getparms/

This directory contains the routines that retrieve the user defined parameters from the parameter files.

gms/

This routine contains the main GMS routine.

gmsfile/

This directory is currently empty.

gutil/

This directory contains the routine that strips the unwanted VAX Fortran record bytes from a GAC file generated on the VAX.

inc/

This directory contains all the general purpose include files. The include files specific to a routine are located in the same directory as the routine.

*lacdisk/*

This directory contains *lacdisk.c*, the routine that reads LAC Level 1b files from a list of files and generates the output products.

*lactape/*

This directory contains *lactape.c*, the routine that reads LAC Level 1b files from one or more magnetic tapes and generates the output products.

*lib/*

This directory contains libraries of archived GMS object code.

*locate/*

This directory contains a routine that was supposed to perform a "locate" function on images mapped with GMS. This code is not used by GMS. The locate capability was achieved using a program that works in conjunction with the EASI/PACE image processing system.

*mapproj/*

This directory contains the GEMPAK and GCTP projection code.

*noautil/*

This directory contains routines that read the TBM and data headers, perform the calibration, navigation, compositing, ndvi and zenith angle calculations, write the output products, etc.

*tapeutil/*

This directory contains routines that perform magnetic tape I/O.



## INSTALLATION NOTES

GMS is written in three programming languages: GEMPAK projections are written in VMS Fortran, GCTP projections are written in Fortran 66, and the remaining code is written in ANSI C. When installing GMS on any machine, care must be taken to follow that machine's rules on compiling and linking multi-language code. For example, some machines require to have "\_" appended to the names of Fortran routines which are called from a C program. The C compiler should support ANSI C. GMS was built successfully and tested on HP 720 and SGI Personal Iris workstations. An attempt was made at building GMS on a Sun 4 workstations but, as of now, it has been unsuccessful. The problems encountered on the Sun included difficulties in finding the include files with the `-Ipathname` option and difficulties in using the `-Ldirectory_path` from inside of a makefile. Also the Sun 4 cc compiler is not ANSI-compliant.

## PARAMETER FILE

GMS uses a parameter file containing user selected parameters. The contents of the parameter file depend on whether the mapping is done from a magnetic tape or disk. To get a list of the parameters needed for mapping from the magnetic tape, the user can type `gms -t`. Likewise, to get a list of the parameters needed to map from disk, `gms -d` should be used. In order for GMS to work correctly, the parameter file has to contain all the parameters, in the order shown below without any blank lines.

A parameter file for disk mapping may look like this:

**DISK** - This the input device where the AVHRR data resides. Unix `dd` command may be used to copy the data from a magnetic tape to a hard disk.

**GAC** - This the type of data that will be mapped. It is either GAC or LAC.

**GCTP** - This the projection type. It can be either GCPT or GEMPAK.

**LEA** - This the projection name. In this case, Lambert Azimuthal Equal-Area. The projections are described in more detail in the sections GCTP PROJECTIONS and GEMPAK PROJECTIONS.

1.0 17.0 0.0 - These numbers are referred to as map angles. Here, as in many cases, they are the latitude and longitude of the center of projection. For some conical projections they are latitude of 1st parallel, longitude of central meridian and latitude of 2nd parallel. The map angles required for each projection are described in the sections GCTP PROJECTIONS and GEMPAK PROJECTIONS.

-35.39 -24.32 41.98 61.48 - These 4 numbers define the area that will be mapped. They are, respectively, latitude of the lower left corner, longitude of the lower left corner, latitude of the upper right corner, and longitude of the upper right corner. The ones shown here are for Africa.

0 511 511 0 - This is the size of the output image. It's the 2 corners again: lower left x, lower left y, upper right x, upper right y. This notation assumes that the origin is in upper left corner of the image, pixels (x) increase across, lines (y) increase down. The next 11 lines list the products to be generated:

- 1 - Channel 1 product
- 2 - Channel 2 product
- 3 - Channel 3 product
- 4 - Channel 4 product
- 5 - Channel 5 product
- 6 - Solar Zenith Angle product
- 7 - Satellite Zenith Angle product
- 8 - Relative Azimuth product
- 9 - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) product,
- 10 - Julian Day product
- 11 - Scan Angle product

NDVI+ - Flags whether GMS should generate the products listed above (NDVI-) or the NDVI product with all associated channels (NDIV+). In the later case, the output

products listed above will be ignored. The output will consist of the NDVI product with the original values associated with each NDVI pixel.

**MIN** - This is the composite method used to create all the output products except for the NDVI product. NDVI is done using maximum compositing method meaning that only the highest value for the given pixel is retained. Other products can be done using MAX, MIN, or AVE.

**THRESHOLD** - This is the cloud screening method. **THRESHOLD** means that any thing below the specified threshold value is considered to be a cloud. **NONE** means no cloud screening.

**273.0** - Channel 5 thermal threshold for the cloud screening above (Kelvin).

**NOAA** - Calibration method. Three values possible here: NOAA, GSFC, and NONE. The GSFC calibration is based on the work of Brent Holben. It uses a file with the calibration coefficients. If GSFC calibration was used, the next line would contain the name of the file with the calibration coefficients

**0.0** - Central wavelength for channel 1.

**0.0** - Central wavelength for channel 2.

**2672.0** - Central wavelength for channel 3.

**927.0** - Central wavelength for channel 4.

**841.0** - Central wavelength for channel 5.

**NOAA** - Navigation method. NOAA uses tie points provided by NOAA as part of the level 1b format. The other possible value is NONE.

**SOLARCAL** - Solar zenith source: **SOLARTAPE** - read from tape, **SOLARCAL** - calculate, or NONE.

**afg91dir1.txt** - This is a file containing the complete paths to where the input image image data is stored. An example of the directory file can be found below. The last line in this file has to be **END**.

afg91disk - This the project id which is an ambiguous way of saying output file name. GMS will generate 1 file for each product requested. The name of the file(s) will be project\_id with the string "\_ch#.img" appended to it. The # is the product number. For example afg91disk\_ch1.img, afg91disk\_ch2.img, etc.

45 - Number of pixels to delete. This is the number of pixels off nadir that would be too distorted to be meaningful and so can be deleted.

Here is an example of a directory file afg91dir2.txt:

```
/data1/africa/afg91001  
/data1/africa/afg91002  
/data1/africa/afg91003  
/data1/africa/afg91004  
/data1/africa/afg91005  
/data1/africa/afg91006  
END
```

A parameter file for magnetic tape mapping may look like this:

TAPE	- Input Device Type (DISK, TAPE)
GAC	- Data Type (GAC, LAC)
GEMPAK	- Projection Routines (GEMPAK, GCTP)
MER	- Projection Type (here: Mercator)
0.0 0.0 0.0	- Map projection Angles
-35. -25. 40. 55	- Lower Left, Upper Right Lat/Lon
0 511 511 0	- Lower Left, Upper Right Pix/Lin
1	- Channel 1 Product
2	- Channel 2 Product

3	- Channel 3 Product
4	- Channel 4 Product
5	- Channel 5 Product
6	- Solar Zenith Angle Product
7	- Satellite Zenith Angle Product
8	- Relative Azimuth Angle Product
9	- NDVI Product
10	- Julian Day Product
11	- Scan Angle Product
NDVI-	- NDVI product with All Associated Channels (if NDVI+)
MAX	- Composite Method (MAX, MIN, AVE)
THRESHOLD	- Cloud Screening Method (THRESHOLD, NONE)
273.0	- Channel 5 Thermal Threshold (ONLY FOR THRESHOLD METHOD)
NOAA	- Calibration Method (NOAA, GSFC, NONE)
cal_coefs	- Calibration File for GSFC ONLY
0.0	- Central Wavelength Ch 1
0.0	- Central Wavelength Ch 2
2672.0	- Central Wavelength Ch 3
927.0	- Central Wavelength Ch 4
841.0	- Central Wavelength Ch 5
NOAA	- Navigation Method (NOAA, NONE)
SOLARCAL	- Solar Zenith Source (SOLARTAPE, SOLARCAL, NONE)
1	- Starting Tape File Number
16	- Number of Tape Files to Process
/dev/rmt/1hn	- Tape drive device file

sol	- Project Id
45	- Pixels off Nadir to Delete
Y	- More Tapes? (Y/N)
1	- Starting Tape File Number
16	- Number of Tape Files to Process
/dev/rmt/1hn	- Tape drive device file
N	- More Tapes? (Y/N)

The last 4 lines should be repeated for every new tape that will be used during this mapping session.

#### INPUT DATA TYPES

The input data set can be of 2 types: GAC (Global Area Coverage) or LAC (Local Area Coverage). The LAC data is a full resolution 1.1 km data set. The GAC data is created by averaging four out of every five samples along every third scan line. The GAC data is usually treated as 4 km resolution. Due to the direction of mapping (from latitude/longitude to device x/y coordinates) mapping of LAC data may result in significant amount of "holes" where no data was composited. This is more likely to happen if a LAC data set covering a small geographic area is mapped onto a large output image. This usually does not affect the GAC data sets.

#### LATITUDE AND LONGITUDE BOUNDS

The geographic area to be mapped is selected by specifying the latitude and longitude of the lower left corner and the latitude and longitude of the upper right corner of the output image.

#### INPUT DEVICES

The input data set can reside on magnetic tape or disk. GMS expects to read both the TBM header and data header. The system has been tested on 9-track tapes and 4mm DAT drives. The unix dd command can be used to transfer the data from the magnetic tape to disk.

## CALIBRATION

Two calibration methods are available under GMS: NOAA calibration and GSFC calibration. In the NOAA calibration, GMS uses the calibration coefficients appended to each scan line. The calibration coefficients consist of slope and intercept values for channels 1 through 5. The following equations are used:

Albedo (percent) for Ch1 and Ch2:

$$A = \text{slope} * \text{count} + \text{intercept}$$

Temperature (deg K) for Ch3, Ch4 and Ch5:

$$E = \text{slope} * \text{count} + \text{intercept}$$

$$T(E) = (C2 * \text{wave}) / (\log(1 + (C1 * \text{pow}(\text{wave}, 3)) / E))$$

where  $C2 = 1.438833$

$C1 = 1.1910659E-05$

wave = central wave number

E = energy value

More details of the NOAA calibration can be found in the NOAA Polar Orbiter Data User's Guide.

The GSFC calibrations method is similar to the previous one in that it calibrates the NOAA AVHRR channels using the calibration coefficients from the GAC/LAC data tape and the equation from the NOAA users's guide. These coefficients are then corrected with linear regression equations based on observations and studies by Holben et. al. These coefficients are stored in file currently named cal\_coefs and located in the gimms/noaautil directory. As

of right now, this file contains the calibration coefficients for the period of January 1981 through June 1991.

## NAVIGATION

GMS uses NOAA navigation using the Earth location points appended to each scan line. For the GAC data, the Earth location points are samples every 8 points starting at the 5th point. For the LAC data, the Earth location points are sampled every 40 points starting at the 25th point. Linear interpolation and extrapolation are used to assign a latitude and longitude for the points along the scan line.

## CLOUD SCREENING

GMS performs cloud screening using the channel 5 thermal threshold. The threshold can be specified using the parameter file.

## COMPOSITING

The output products can be composited in one of three ways: maximum, minimum, or average. The NDVI product is always composited using the maximum compositing method. Other product will be composited according to the user's specification. Alternatively, GMS can generate the NDVI product with all associated channels. In this case, for every pixel value in the output NDVI image, the corresponding pixels in all the other products will contain the original (not composited) data values.

## OUTPUT PRODUCTS

All output images are 16-bit unsigned integers. One output file is created for each product requested. The file name consists of the project id specified in the parameter file with `_ch#.img` appended to it. The output product files contain no headers. The size of the output images is defined by specifying the *x/y* coordinates of the lower left corner and upper right corner.

The user can generate any combination of the following products:



Channel 1 product  
Channel 2 product  
Channel 3 product  
Channel 4 product  
Channel 5 product  
Solar Zenith Angle product  
Satelite Zenith Angle product  
Relative Azimuth product  
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) product  
Julian Day product  
Scan Angle product

or ALL of the following products

NDVI product  
Channel 1 original values associated with the NDVI pixels  
Channel 2 original values associated with the NDVI pixels  
Channel 3 original values associated with the NDVI pixels  
Channel 4 original values associated with the NDVI pixels  
Channel 5 original values associated with the NDVI pixels  
Solar Zenith Angle values associated with the NDVI pixels  
Satelite Zenith Angle values associated with the NDVI pixels  
Relative Azimuth values associated with the NDVI pixels  
Julian Day values associated with the NDVI pixels  
Scan Angle values associated with the NDVI pixels

The algorithm for the solar zenith angle, satellite zenith angle and relative azimuth angle was developed by the NASA/GSFC Climate and Radiation Branch. The satellite zenith and relative azimuth are calculated from the latitude, longitude and solar zenith angle. All three products are scaled to integer by multiplying by 10 and truncating any digits after the decimal point.

The algorithm for the scan angle product is based on the AVHRR Pathfinder project scan angle calculations which in turn are based on the algorithm written by D. Baldwin of CCAR, University of Colorado at Boulder. The values are scaled to integer range of 8 to 2224.

To recover the original scan angles in degrees:

$$\text{original\_angle}[i] = ((\text{sangles}[i] - \text{offset}) * \text{scale})$$

where offset = 1116.55

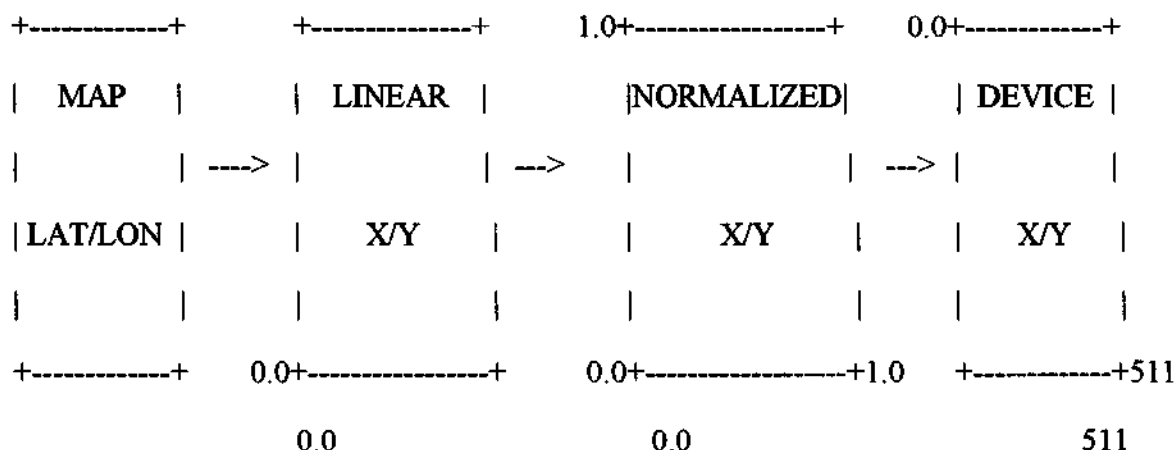
scale = 0.05

NOTE: GMS allocates space for all the output products requested by the user in memory. Requesting all the products or requesting very large products may result in program failure due to the lack of memory. This may manifest itself as "segmentation fault".

## MAPPING

GMS incorporates 2 mapping systems: GEMPAK and GCTP. GCTP, the General Cartographic Transformation Package is a set of computer routines designed to perform the transformation of coordinate pairs from one map projection to another. The GCTP projections are based on MAP PROJECTIONS USED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY by John P. Snyder U.S. Geological Survey Bulletin 1532, Second Edition. The GEMPAK projections are based on GEMPAK4, general plotting subroutine package designed to simplify plotting of meteorological data in a variety of coordinate systems.

The following diagram illustrates the mapping steps (the requested output image size is 512 by 512):



The map coordinates in latitude and longitude are transformed into linear x/y coordinates. The linear x/y coordinates are normalized to range from 0.0 to 1.0 and then transformed to the device coordinates to fit the output image size specified by the user.

### GCTP PROJECTIONS

The detailed description of each projection exceeds the scope of this document. The summary descriptions below are based on MAP PROJECTIONS USED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY by John P. Snyder.

#### CYLINDRICAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by wrapping a cylinder around the globe representing the Earth so that its surface touches the Equator throughout its circumference. The meridians of longitude may be projected onto the cylinder as equidistant straight lines perpendicular to the Equator. The parallels of latitude may be projected as lines parallel to the Equator around the circumference of the cylinder and mathematically spaced for certain characteristics. The line of tangency, the projection of the Equator is called the standard parallel. If the cylinder is secant to the globe, then there are 2 standard parallels

UTM - Universal Transverse Mercator

"The Earth between lats. 84 degrees N. and 80 degrees S. is divided into 60 zones each generally 6 degrees wide on longitude. Bounding meridians are evenly divisible by 6 degrees and zones are numbered from 1 to 60 proceeding east from the 180th meridian from Greenwich with minor exceptions. There are letter designations from south to north. (...) Each geographic location in the UTM projection is given x and y coordinates, but in meters, not feet, according to the Transverse Mercator projection, Using the meridian halfway between 2 bounding meridians as the central meridian and reducing it's scale to 0.9996 of true scale (1:2,500 reduction)" (Snyder, p.63).

The following map angles have to be specified for the UTM projection in the parameter file:

angle1 - longitude of any point

angle2 - latitude of any point

#### MER - Mercator

From Snyder, p.43:

- \* Conformal.
- \* Meridians are equally spaced straight lines.
- \* Parallels are unequally spaced straight lines closest near the Equator, cutting meridians at right angles.
- \* Scale is true along the Equator or along two parallels equidistant from the Equator.
- \* Not perspective.
- \* Poles are at infinity, great distortion of area in polar regions.
- \* Used for navigation.
- \* Presented by Mercator in 1569.

The following map angles have to be specified for the Mercator projection in the parameter file:

angle1 - latitude of true scale

angle2 - longitude of central meridian

### EOR - Equi-Rectangular

From Snyder, p. 89:

- \* Neither equal-area nor conformal.
- \* Meridians and parallels are equidistant straight lines, intersecting at right angles.
- \* Poles shown as lines.
- \* Used for world or regional maps.
- \* Presented by Eratosthenes (B.C) or Marinus (100 A.D).

The following map angles have to be specified for the Equi-Rectangular projection in the parameter file:

angle1 - latitude of true scale

angle2 - longitude of central meridian

### TVM - Transverse Mercator

From Snyder, p. 53:

- \* Conformal.
- \* Central meridian, each meridian 90 degrees from central meridian, and Equator are straight lines.
- \* Other meridians and parallels are complex curves.
- \* Scale is true along central meridian, or along two straight lines equidistant from and parallel to central meridian.
- \* Scale becomes infinite 90 degrees from central meridian.

\* Used extensively for quadrangle maps at scales from 1:24,000 to 1:250,000.

\* Presented by Lambert in 1772.

The following map angles have to be specified for the Transverse Mercator projection in the parameter file:

angle1 - latitude of origin

angle2 - longitude of central meridian

### MIL - Miller Cylindrical

From Snyder, p. 85:

\* Neither equal-area nor conformal.

\* Meridians and parallels are straight lines, intersecting at right angles.

\* Meridians are equidistant; parallels spaced farther apart away from Equator.

\* Poles shown as lines.

\* Compromise between Mercator and other cylindrical projections.

\* Used for world maps.

\* Presented by Miller in 1942.

The following map angles have to be specified for the Miller Cylindrical projection in the parameter file:

angle1 - latitude of true scale

angle2 - longitude of central meridian

### OBM - Oblique Mercator

Not operational

## AZIMUTHAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by using a plane tangent to the Earth at some point. The meridians of longitude are projected as straight lines radiating from a point, spaced at their true angles. The parallels of latitude are complete circles centered on the point of tangency.

### PST - Polar Stereographic

From Snyder, p. 154:

- \* Conformal.
- \* All meridians on the polar aspect are straight lines.
- \* All parallels are concentric circles spaced at increasingly wide distances, the farther the latitude is from the pole.
- \* Directions for the center of the projection are true.
- \* Scale increases away from the center of the projection.
- \* Point opposite the center of the projection cannot be plotted.
- \* Used for polar maps and miscellaneous special maps.

The following map angles have to be specified for the Polar Stereographic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of true scale

angle2 - longitude down below pole

### STR - Stereographic

From Snyder, p. 153:

- \* Conformal.

- \* The central meridian and a particular parallel (if shown) are straight lines.
- \* All other meridians and parallels are shown as arcs of circles.
- \* A perspective projection for the sphere.
- \* Directions for the center of the projection are true (except on ellipsoidal oblique and equatorial aspects).
- \* Scale increases away from the center of the projection.
- \* Point opposite the center of the projection cannot be plotted.
- \* Used for polar maps and miscellaneous special maps.
- \* Apparently invented by Hipparchus (2nd century B.C.).

The following map angles have to be specified for the Stereographic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of center of projection

angle2 - longitude of center of projection

#### LEA - Lambert Azimuthal Equal Area

From Snyder, p. 167:

- \* Equal-Area.
- \* All meridians in the polar aspect, the central meridian in other aspects, and the equator in the equatorial aspect are straight lines.
- \* The outer meridian of a hemisphere in the equatorial aspect (for the sphere) and the parallels in the polar aspect (sphere or ellipsoid) are circles.
- \* All other meridians and parallels are complex curves.
- \* Not a perspective projection.
- \* Scale decreases radially as the distance increases from the center, the only point without distortion.



- \* Scale increases in the direction perpendicular to radii as the distance increases from the center.
- \* Directions from the center are true for the sphere and the polar ellipsoidal forms.
- \* Point opposite the center is shown as a circle surrounding the map (for the sphere).
- \* Used for maps of continents and hemispheres.
- \* Presented by Lambert in 1772.

The following map angles have to be specified for the Lambert Equal-Area projection in the parameter file:

angle1 - latitude of center of projection

angle2 - longitude of center of projection

#### AZI - Azimuthal

From Snyder, p. 179:

- \* Distances measured from the center are true.
- \* Distances not measured along radii from the center are not correct.
- \* The center of the projection is the only point without distortion.
- \* Directions from the center are true (except on some oblique and equatorial ellipsoidal forms).
- \* Neither equal-area nor conformal.
- \* All meridians on the polar aspect, the central meridian on other aspects, and the Equator on the equatorial aspect are straight lines.

- \* Parallels on the polar projection are circles spaced at true intervals (equidistant for the sphere).
- \* The outer meridian of a hemisphere on the equatorial aspect (for the sphere) is a circle.
- \* All other meridians and parallels are complex curves.
- \* Not a perspective projection.
- \* Point opposite the center is shown as a circle (for the sphere) surrounding the map.
- \* Used in the oblique aspect for atlas maps of continents and world maps for aviation and radio use.

The following map angles have to be specified for the Azimuthal projection in the parameter file:

angle1 - latitude of center of projection

angle2 - longitude of center of projection

#### GNO - Gnomonic

"A true perspective, with the Earth projected from the center onto the tangent plane. All great circles, not merely those passing through the center are shown as straight lines on the spherical form. Since the Gnomonic projection has not been used by the USGS, it is not discussed in detail" (Snyder p. 135).

The following map angles have to be specified for the Gnomonic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of center of projection

angle2 - longitude of center of projection

## ORT - Orthographic

From Snyder, p. 141:

- \* All meridians and parallels are ellipses, circles or straight lines.
- \* Neither conformal nor equal area.
- \* Closely resembles a globe in appearance, since it is a perspective projection from infinite distance.
- \* Only one hemisphere can be shown at a time.
- \* Much distortion near the edge of the hemisphere shown.
- \* No distortion at the center only.
- \* Directions from the center are true.
- \* Radial scale factor decreases as distance increases from the center.
- \* Scale in the direction of the lines of latitude is true in the polar aspect.
- \* Used chiefly for pictorial views.
- \* Used only in the spherical form.
- \* Known by Egyptians and Greeks 2,000 years ago.

The following map angles have to be specified for the Orthographic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of center of projection

angle2 - longitude of center of projection

## CONICAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by wrapping a cone around the globe representing the Earth with the peak of the cone along the polar axis of the Earth and with the surface of the cone touching the globe along some particular parallel of latitude (also called the standard parallel or the latitude of true scale). In this case, the meridians are projected onto the cone as equidistant straight lines radiating from the peak and the parallels are represented as lines around the circumference on the cone in planes perpendicular to the Earth's axis and spaced for the desired characteristics. If the cone is secant to the globe, then there are 2 standard parallels

### ACE - Albers Conical Equal Area

From Snyder, p. 93:

- \* Equal-Area.
- \* Parallels are unequally spaced arcs of concentric circles, more closely spaced at the north and south edges of the map.
- \* Meridians are equally spaced radii of the same circles, cutting parallels at right angles.
- \* There is no distortion in scale or shape along two standard parallels, normally, or along just one.
- \* Poles are arcs of circles.
- \* Used for equal-area maps of regions with predominant east-west expanse, especially the conterminous United States.
- \* Presented by Albers in 1805.

The following map angles have to be specified for the Albers Conical Equal-Area projection in the parameter file:

angle1 - latitude of 1st parallel

angle2 - longitude of central meridian

angle3 - latitude of 2nd parallel

### LCC - Lambert Conic Conformal

From Snyder, p. 101:

- \* Conformal.
- \* Parallels are unequally spaced arcs of concentric circles, more closely spaced near the center of the map.
- \* Meridians are equally spaced radii of the same circles, thereby cutting parallels at right angles.
- \* Scale is true along two standard parallels, normally, or along just one.
- \* Pole in the same hemisphere as standard parallels is a point; other pole is at infinity.
- \* Used for maps of countries and regions with predominant east-west expanse.
- \* Presented by Lambert in 1772.

The following map angles have to be specified for the Lambert Conic Conformal projection in the parameter file:

angle1 - latitude of 1st parallel

angle2 - longitude of central meridian

angle3 - latitude of 2nd parallel

### POL - Polyconic

From Snyder, p. 123:

- \* Neither conformal nor equal-area.
- \* Parallels of latitude (except for Equator) are arcs of circles, but are not concentric.
- \* Central meridian and Equator are straight lines; all other meridians are complex curves.
- \* Scale is true along each parallel and along the central meridian, but no parallel is "standard".
- \* Free of distortion only along the central meridian.
- \* Used almost exclusively in slightly modified form for large-scale mapping in the U.S. until the 1950's.
- \* Was apparently originated about 1820 by Hassler.

The following map angles have to be specified for the polyconic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of origin

angle2 - longitude of central mer.

### EQC - Equidistant Conic

From Snyder, p. 91:

- \* Neither conformal nor equal-area.

- \* North-South scale along the meridians is correct.
- \* Parallels are equidistantly spaced.
- \* Originated in a rudimentary form with Claudius Ptolemy.
- \* Eventually developed into commonly used present-day forms which have one or two standard parallels selected for the area being shown
- \* Can be a satisfactory compromise for errors in shape, scale, and area especially when the map covers a small area.

The following map angles have to be specified for the Equidistant Conic projection in the parameter file:

angle1 - latitude of standard parallel

angle2 - longitude of central meridian

### MISCELLANEOUS PROJECTIONS

This category describes projections that do not fit in any of the previously described classes.

#### GVP - General Vertical near-side Perspective

From Snyder p. 85:

The following map angles have to be specified for the UTM projection in the parameter file:

angle1 = latitude of true scale

angle2 = longitude of central meridian

## SIN - Sinusoidal

From Snyder p. 219:

- \* Pseudo-cylindrical projection.
- \* Equal-Area
- \* Central meridian is a straight line; all other meridians are shown as sinusoidal curves.
- \* Parallels are equally spaced straight lines.
- \* Scale is true along central meridian and all parallels.
- \* Used for world maps with single central meridian or in interrupted form with several central meridians.
- \* Used for maps of South America and Africa.
- \* Used since the mid-16th century.

The following map angles have to be specified for the UTM projection in the parameter file:

angle1 = latitude of true scale

angle2 = longitude of central meridian

## VDG - Van der Grinten

From Snyder p. 211:

- \* Neither equal-area nor conformal.
- \* Shows entire globe enclosed in a circle.
- \* Central meridian and equator are straight lines.



- \* All other meridians and parallels are arcs of circles.
- \* A curved modification of the Mercator projection, with great distortions in the polar areas.
- \* Equator is true to scale.
- \* Used for world maps.
- \* Used only in the spherical form.
- \* Presented by van der Grinten in 1904.

The following map angles have to be specified for the UTM projection in the parameter file:

angle1 = latitude of origin

angle2 = longitude of central meridian

### STP - State Plane

From Snyder p. 56:

- \* State Plane Coordinate System
- \* States with the predominant North-South extent use the Transverse Mercator projection.
- \* Panhandle of Alaska uses Oblique Mercator.
- \* All other states use Lambert Conformal Conic except for Alaska, Florida, and New York where both the Transverse Mercator and Lambert Conformal Conic are used for different zones.

\* Except for narrow states such as Delaware, New Hampshire, and New Jersey, all States using the Transverse Mercator are divided into two to eight zones, each with its own central meridian, along which the scale is slightly reduced to balance the scale throughout the map.

\* Each zone is designed to maintain scale distortion withing 1 part in 10,000.

\* Latitude and longitude as well as the corresponding rectangular grid coordinates in feet are used designate locations.

This projection does not use any map angles from the parameter file.

### GEO - Geographic

Not a true projection but a spherical reference system which uses latitude and longitude to designate locations. It does not use any map angles from the parameter file.

### GEMPAK PROJECTIONS

The GEMPAK projections are based on GEMPAK4 general plotting subroutine package designed to simplify plotting of meteorological data in a variety of coordinate systems. The descriptions of classes of projections in this section are based on MAP PROJECTIONS USED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY by John P. Snyder (2nd Edition). No GEMPAK4 documentation was available to provide the detailed descriptions of each projection.

There are 4 classes of GEMPAK projections:

#### CYLINDRICAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by wrapping a cylinder around the globe representing the Earth so that it's surface touches the Equator throughout its circumference. The meridians of longitude maybe projected onto the cylinder as equidistant straight lines

perpendicular to the Equator. The parallels of latitude may be projected as lines parallel to the Equator around the circumference of the cylinder and mathematically spaced for certain characteristics. The line of tangency, the projection of the Equator is called the latitude of origin. If the cylinder is secant to the globe, then there are 2 standard parallels

**CED** - Cylindrical equidistant

**MER** - Mercator

**MCD** - Modified cylindrical equidistant

No map angles have to be specified in the parameter file for the cylindrical projections.

### AZIMUTHAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by using a plane tangent to the Earth at some point. The meridians of longitude are projected as straight lines radiating from a point, spaced at their true angles. The parallels of latitude are complete circles centered on the point of tangency.

**AED** - Azimuthal equidistant

**STR** - Stereographic

**ORT** - Orthographic

**LEA** - Lambert equal area

**GNO** - Gnomonic

The following map angles have to be specified for the azimuthal projections in the parameter file:

**angle1** - latitude of the pole; must be +90. or -90

**angle2** - the central longitude

angle3 - not used

### CONICAL PROJECTIONS

Projections in this class are derived by wrapping a cone around the globe representing the Earth with the peak of the cone along the polar axis of the Earth and with the surface of the cone touching the globe along some particular parallel of latitude (also called the standard parallel or the latitude of true scale). In this case, the meridians are projected onto the cone as equidistant straight lines radiating from the peak and the parallels are represented as lines around the circumference on the cone in planes perpendicular to the Earth's axis and spaced for the desired characteristics. If the cone is secant to the globe, then there are 2 standard parallels

LCC - North Lambert conic conformal

SCC - South Lambert conic conformal

The following map angles have to be specified for the conical projections in the parameter file:

angle1 - first latitude

angle2 - central longitude

angle3 - second latitude

### OBLIQUE MERCATOR PROJECTIONS

The projections in this class are cylindrical projections except that the cylinder is tangent to the globe at the poles, along a line formed by 2 meridians.

TVM - Transverse Mercator

UTM - Universal Transverse Mercator

The following map angles have to be specified for the oblique mercator projections in the parameter file:

angle1 - tangential longitude

angle2 - not used

angle3 - not used

For the UTM projection, the tangential longitude is adjusted to a standard longitude by rounding down to ..., -9, -3, 3, 9, ...

Azimuthal and conic projections may be defined which include the pole. This may be accomplished by defining the lower left and upper right corners. If the lower left latitude and the upper right latitude are equal and the lower left longitude and the upper right longitude are also equal, a map area will be defined with the lower left longitude as the polar longitude of the area from the pole to the given latitude in each direction.

## APÊNDICE B

### IMAGENS AVHRR DO SATÉLITE NOAA-11, FORMATO 1 B, REFERENTES AOS ANOS DE 1989, 1992, 1993 E 1994

<b>ARQUIVO/DATA (1989)</b>	<b>TAMANHO (Bytes)</b>	<b>ARQUIVO/DATA (1989)</b>	<b>TAMANHO (Bytes)</b>
11jun89	42520522	12jun89	43304922
13jun89	45258522	14jun89	45332522
15jun89	45406522	17jun89	45391722
18jun89	45539722	19jun89	45584122
20jun89	45554522	21jun89	45613722
22jun89	45524922	23jun89	45584122
24jun89	45628522	25jun89	45672922
26jun89	45628522	27jun89	44577722
28jun89	44459322	29jun89	44326122
30jun89	44370522	01jul89	44266922
02jul89	44044922	03jul89	44000522
04jul89	19328922	05jul89	19328922
06jul89	8569322	07jul89	8510122
08jul89	18470522	09jul89	19210522
10jul89	19062522	11jul89	19536122
12jul89	19521322	13jul89	19521322
14jul89	19462122	15jul89	19476922
18jul89	18825722	19jul89	19180922

28jul89	43349322	29jul89	42416922
30jul89	43334522	31jul89	43393722
01ago89	42905322	02ago89	42875722
03ago89	42816522	06ago89	42831322
07ago89	42712922	08ago89	42920122
09ago89	42979322	10ago89	43053322
11ago89	42683322	12ago89	43112522
13ago89	43127322	15ago89	42461322
16ago89	43334522	18ago89	43586122
19ago89	42994122	20ago89	43526922
21ago89	43941322	22ago89	42698122
23ago89	42505722	25ago89	42564922
26ago89	42505722	27ago89	42091322
28ago89	42490922	29ago89	42786922
30ago89	42683322	31ago89	42638922
01set89	42609322	02set89	42476122
04set89	37680922	05set89	42594522
06set89	42594522	07set89	42490922
08set89	42076522	09set89	42416922
10set89	42017322	11set89	43571322
12set89	43423322	14set89	43719322
15set89	43615722	16set89	43852522
17set89	44030122	18set89	44104122
19set89	43408522	20set89	43452922
21set89	43408522	23set89	43186522

24set89	43556522	25set89	43526922
26set89	43482522	27set89	43482522
28set89	43319722	29set89	43334522
30set89	43230922	01out89	43053322
02out89	43201322	03out89	43008922
04out89	42860922	05out89	42801722
06out89	42816522	07out89	42727722
08out89	42624122	09out89	42638922
10out89	43704522	12out89	43763722
13out89	43423322	14out89	43956122
15out89	32175322		

**ARQUIVO/DATA TAMANHO**  
**(1992) (Bytes)**

12mai92	75850122
22jun92	59806922
25jul92	59866122
07ago92	64528122

**ARQUIVO/DATA TAMANHO**  
**(1992) (Bytes)**

13jun92	59747722
19jul92	59658922
01ago92	70670122
08ago92	58460122

**ARQUIVO/DATA TAMANHO**  
**(1993) (Bytes)**

13jun93	58682122
15jun93	61035322

**ARQUIVO/DATA TAMANHO**  
**(1993) (Bytes)**

14jun93	60147322
21jun93	47890432



22jun93	60280522	23jun93	59348122
24jun93	43712512	25jun93	48316416
26jun93	69648922	01ago93	123506122
02ago93	167980122	03ago93	195774522
04ago93	212128522	05ago93	156658122
06ago93	171665322	07ago93	123964922
08ago93	49654122	09ago93	123861322
10ago93	196677322	11ago93	175306122
12ago93	195226922	13ago93	157590522
14ago93	136041722	15ago93	39789922
17ago93	91360522	18ago93	149850122
19ago93	194235322	20ago93	190831322
21ago93	224072122	22ago93	178813722
23ago93	158493322	24ago93	122692122
25ago93	97102922	26ago93	152247722
12out93	52910122	13out93	58090122
14out93	57601722	16out93	40892522
18out93	66644522	29out93	56654522
02dez93	56743322	07dez93	42860922
08dez93	43334522	09dez93	54434522
10dez93	56417722	11dez93	56728522

<b>ARQUIVO/DATA</b> <b>(1994)</b>	<b>TAMANHO</b> <b>(Bytes)</b>	<b>ARQUIVO/DATA</b> <b>(1994)</b>	<b>TAMANHO</b> <b>(Bytes)</b>
02fev94	43630522	03fev94	43452922
10fev94	45391722	11fev94	55411322
20fev94	58534122	22fev94	56802522
01abr94	56595322	02abr94	59570122
03abr94	60694922	08abr94	43689722
11abr94	60872522	26abr94	58904122
04mai94	57927322	22mai94	58001322
13jun94	57054122	14jun94	60088122
15jun94	59081722	16jun94	62544922
02ago94	41604608		



AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

TÍTULO  
CLASSIFICAÇÃO E MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DO ESTADO DE MATO GROSSO ATRAVÉS DE IMAGENS NOAA-AVHRR

AUTOR  
YOSIO EMIIL SHIMABUKURO, JOSÉ LUIS RODRIGUEZ YI, VALDETE DUARTE

TRADUTOR \_\_\_\_\_

EDITOR \_\_\_\_\_

ORIGEM \_\_\_\_\_ PROJETO \_\_\_\_\_ SÉRIE \_\_\_\_\_ Nº DE PÁGINAS \_\_\_\_\_ Nº DE FOTOS \_\_\_\_\_ Nº DE MAPAS 31

TIPO  
 RPQ     PRE     NTC     PRP     MAN     PUD     TAE     \_\_\_\_\_

DIVULGAÇÃO  
 EXTERNA     INTERNA     RESERVADA     LISTA DE DISTRIBUIÇÃO ANEXA

PERIÓDICO/EVENTO \_\_\_\_\_

CONVÊNIO \_\_\_\_\_

AUTORIZAÇÃO PRELIMINAR  
13/05/99 \_\_\_\_\_  
Chefe da Divisão de Secretariado Remoto  
 ASSINATURA

REVISÃO TÉCNICA  
 SOLICITADA     DISPENSADA  
 RECEBIDA 16/04/99 DEVOLVIDA 27/04/99 \_\_\_\_\_  
Chefe da Divisão de Secretariado Remoto  
 ASSINATURA DO REVISOR

REVISÃO DE LINGUAGEM  
 SOLICITADA     DISPENSADA  
 Nº \_\_\_\_\_  
 RECEBIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ DEVOLVIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
Chefe da Divisão de Secretariado Remoto  
 ASSINATURA DO REVISOR

PROCESSAMENTO/DATILOGRAFIA  
 RECEBIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ DEVOLVIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
 ASSINATURA

REVISÃO TIPOGRÁFICA  
 RECEBIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ DEVOLVIDA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
 ASSINATURA

AUTORIZAÇÃO FINAL  
 \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Ricardo Carlos Macedo de Souza  
Coordenador Geral de Observação da Terra  
 ASSINATURA

PALAVRAS-CHAVE  
IMAGENS NOAA-AVHRR, MATO GROSSO, CLASSIFICAÇÃO DE VEGETAÇÃO, NDVI, IMAGENS FRACÃO