

## A UTILIZAÇÃO DE SENSORES COM RESOLUÇÃO MODERADA (MODIS) NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO ARAGUARI – MG

### The using of sensors with moderate resolution (MODIS) in the vegetation studying on Araguari River Basin – MG

Jussara dos Santos Rosendo

Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia

[jussara\\_rosendo@yahoo.com.br](mailto:jussara_rosendo@yahoo.com.br)

Roberto Rosa

Prof. Dr. do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia

[rosa@ufu.br](mailto:rosa@ufu.br)

Artigo recebido em 30/07/2005 e aceito para publicação em 24/08/2005

**RESUMO:** *O presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de Índices de Vegetação no monitoramento de algumas classes de uso do solo e cobertura vegetal em áreas amostrais de Cerrado, mais especificamente a Bacia do Rio Araguari – MG. A bacia do Rio Araguari, localizada na Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba, na porção oeste do Estado de Minas Gerais, está situada entre as coordenadas geográficas de 18° 20' e 20° 10' de latitude Sul e 46° 00' e 48° 50' de longitude Oeste de Greenwich, ocupando uma área de 20.186 km<sup>2</sup>, abrangendo parte de 20 municípios. A bordo das Plataformas Terra e Aqua, e distribuído gratuitamente pela Internet, o sensor MODIS apresenta os dados já corrigidos geometricamente e radiométricamente, com resolução espacial moderada (250m), além de disponibilizar vários produtos como o MOD13Q1. Os Índices de Vegetação são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, tais índices, em geral, realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da mesma, como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), percentagem de cobertura vegetal.*

**Palavras-chave:** Sensor MODIS; vegetação; Bacia do Rio Araguari.

**ABSTRACT:** *This assignment has the objective to evaluate the Vegetation Index in the monitoring class of the soil and vegetal cover in Cerrado areas, specifically in Araguari River Bay-MG. The Araguari River Bay located in the Mesorregião in the Triângulo and Alto Paranaíba, in the portion west of the Minas Gerais State, is situated among the coordinates 18°20' and 20°10' south latitude and 46° 00' and 48°50' West latitude of Greenwich, occupying 20.186 km<sup>2</sup>, enclosing 20 districts. On board of platform Earth and Water, and spread by the internet with no costs, the MODIS sensor displays datas geometrically and radiometrically corrects already, with spacial moderate resolution (250m), and dispose many products as the MOD12 Q1. The Vegetation Index are linear spec-tral bands, in the red and infra-red strip near of the electromagnetic. Such index, generally shows the spectral behavior of the vegetation and are related to the biofysics parameters of the same like biomass, Foliar Area Index (IAF), amount of vegetal cover.*

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais têm se tornado uma prática cada vez mais freqüente entre as diversas áreas de pesquisa. No caso do uso do solo e da cobertura vegetal, estas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, desenvolvimento de políticas conservacionistas, bem como vários outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação.

O aumento na utilização de imagens orbitais é conseqüência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, fato comprovado quando comparados a tradicionais métodos fotogramétricos e topográficos (como a utilização de fotografias aéreas): como por exemplo, os satélites da série LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICK BIRD, TERRA e AQUA.

O notável desenvolvimento tecnológico que os satélites para estudos ambientais vem apresentando, especialmente no que se refere à resolução espacial, definida em termos da mínima distância entre dois objetos/alvos que um sensor pode registrar como sendo distintos. Para efeito de comparação, pode-se observar que o satélite LANDSAT apresenta resolução espacial de 30 m, ou seja, distingue alvos que apresentam, no mínimo, essa extensão, já o QUICK BIRD apresenta resolução espacial de até 0,61 m, uma ótima resolução, principalmente para análises urbanas. Outra vantagem apresentada por esta tecnologia é o que se denomina por resolução temporal, ou seja, a freqüência e/ou repetitividade apresentada por cada sensor na obtenção de informações dos alvos, o satélite norte-americano LANDSAT, por exemplo, possui repetitividade de 16 dias; dessa maneira, a cada 16 dias uma mesma região na superfície terrestre é recoberta pela passagem do mesmo, enquanto que o satélite QUICK BIRD apresenta repetitividade de 1 a 3 dias (ROSA, 2003).

O sensor MODIS encontra-se a bordo das Plataformas Espaciais TERRA e AQUA e possui inúmeras vantagens em relação aos satélites e sensores convencionais. A primeira delas é o fato de produtos e imagens serem distribuídos já corrigidos geograficamente e radiometricamente, minimizando a influência de nuvens e aerossóis que muitas vezes interferem na utilização dos produtos orbitais; uma segunda vantagem está no fato desses produtos apresentarem várias opções de resolução espacial (moderada a global); a terceira característica, e talvez mais importante, seja a distribuição gratuita desses produtos ou imagens pela internet. Além de bandas individuais, os usuários podem ter acesso a vários tipos de produtos provenientes do sensor MODIS, que possibilitam pesquisas sobre o Balanço Energético, Cobertura Terrestre, e produtos destinados à Vegetação.

É cada vez mais comum a utilização de imagens de satélite que apresentam resolução moderada a global no estudo das modificações do uso do solo e no estado da vegetação, assim como as mudanças climáticas globais, no sentido de combater e prevenir os impactos ambientais causados pela ação predatória do homem na superfície terrestre.

A partir da utilização de dados de sensoriamento remoto, o presente trabalho possui como objetivo geral avaliar a utilização do sensor MODIS no monitoramento de áreas amostrais da cobertura vegetal do Cerrado, tendo como objetivos específicos:

- Separar as classes de uso do solo e cobertura vegetal;
- Comparar o comportamento das diferentes categorias de análise ao longo do ano;
- Avaliar o potencial dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI, na separação dos diferentes alvos durante o período chuvoso e seco;
- Localizar uma data em que possa haver melhor separação dos alvos;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Satélites TERRA e AQUA

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos instrumentos a bordo do satélite Terra e do satélite Aqua que, lançados pela *National Aerospace and Space Administration* (NASA), fazem parte de um programa de coleta de dados sobre o planeta Terra denominado *Earth Observing System* (EOS) e tem como objetivo o monitoramento das mudanças ocorridas no Planeta Terra, além do monitoramento global e contínuo da superfície terrestre diariamente, duas vezes ao dia.

O programa EOS foi idealizado desde 1992 (SILVA, A. 2004) e conta com dados referentes ao satélite Terra, lançado em 18 de dezembro de 1999, passando a operar em fevereiro de 2000 e o satélite Aqua, lançado em maio de 2002. O satélite Terra possui órbita circular do Norte para o Sul, tem seu horário de passagem pela linha do Equador às 10:30, sendo por isso denominado EOS-AM, enquanto que o satélite Aqua possui órbita do Sul ao Norte passando pela linha do Equador às 13:30 sendo chamado de EOS-PM. Desse modo, Terra e Aqua monitoram toda a superfície da Terra em um período de um a dois dias, adquirindo dados em 36 faixas espectrais, ou grupos de comprimentos de onda. Esses dois satélites representam um avanço no que diz respeito às tecnologias de monitoramento da superfície terrestre, principalmente no referente ao acompanhamento de mudanças ambientais nos continentes, nos oceanos e na atmosfera.

O sensor MODIS foi o principal instrumento desenvolvido para os satélites Terra e Aqua, por apresentar inúmeras características dentre elas:

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade na tomada de medidas, em regiões espectrais mais finas, que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento, vindo a complementar estas

informações, como o conjunto de dados adquiridos pelo *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR);

- Ser a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas e mudanças globais.

O sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e com uma cobertura global quase diária (JUSTICE et al., 2002 apud LATORRE, 2003).

Operando com 36 bandas espectrais, distribuídas nas faixas do espectro eletromagnético que vão de 0,407  $\mu\text{m}$  a 14,385  $\mu\text{m}$ , o sensor MODIS possui campo de visada de 100°, abrange 2.330 km de largura a faixa de cobertura espacial, está localizado a 705 km de altitude, com diferentes resoluções espaciais (250 m, 500 m e 1000 m) no nadir, período médio de revolução em torno de 98.9 minutos, imageamento global a cada dois dias, ciclo de repetição 16 dias e nenhum custo para obtenção das imagens.

Como visto, o sensor MODIS apresenta 36 bandas espectrais, um número muito superior de bandas se comparadas com as cinco bandas do instrumento AVHRR e as oito do ETM+/Landsat. Uma característica especial do sensor MODIS é a continuidade da série de dados existentes disponibilizados durante anos pelo AVHRR e Landsat, o que permitirá uma complementação dessas informações. De acordo com Silva, E. (2004, apud LEEUWEN et al., 1999) uma outra característica importante diz respeito à localização e largura das bandas do MODIS, as quais, em contraste com o AVHRR, tornam possível a eliminação das regiões de absorção da água no infravermelho médio e tornam a banda do vermelho mais sensível à absorção da clorofila. O QUADRO 6 apresenta uma comparação das bandas MODIS, NOAA/AVHRR e ETM+/Landsat. Em vermelho, destacam-se as faixas estreitas do MODIS no RED e NIR em relação aos dois sensores e à resolução moderada de 250 m para

estudos regionais e globais.

## 2.2. Índices de Vegetação

As análises da vegetação e detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Conseqüentemente, a detecção qualitativa da vegetação verde é uma das principais aplicações do Sensoriamento Remoto na tomada de decisões e gerenciamento ambiental do “alvo vegetação”.

Dosséis verdes e vegetação saudável possuem interações distintas em regiões do espectro eletromagnético correspondente às faixas do visível e do infravermelho próximo. Como já visto nas regiões do visível, os pigmentos das plantas provocam absorção de energia primeiramente para realização da fotossíntese (reflectância baixa, da ordem de 10%). Esta absorção atinge picos em regiões do vermelho e do azul do espectro visível; assim, conduzem para a aparência verde da vegetação em decorrência da não utilização da energia verde, provocando espalhamento dessa energia pela maioria das folhas (daí o aspecto verde das mesmas). No infravermelho próximo, a interação ocorrida é bem diferente: a energia nesta região não é empregada na fotossíntese, sendo fortemente dispersada na estrutura interna da folha, conduzindo para uma elevada reflectância no infravermelho próximo (40%). Este forte contraste, mais particularmente entre uma quantidade de energia refletida no vermelho e infravermelho próximo, tem sido o foco da grande variedade de tentativas do descobrimento quantitativo de condições de índices de vegetação, usando informações remotamente detectadas.

De acordo com Ponzoni (2001), a “aparência” da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui também a interferência de vários outros parâmetros

e fatores tais como a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto da folha quanto do dossel, os teores de umidade, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros.

Para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, os mais comumente empregados utilizam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, as quais são combinadas sob a forma de razões.

As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSA, 2003).

As técnicas de realce de imagem por meio dos índices de vegetação aumentam o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional.

Os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1996). Ainda de acordo com o referido autor, tais índices realçam, em geral, o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), percentagem de cobertura vegetal. Incluem também elevados graus de correlação com o vigor da vegetação verde, percentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade.

A quantidade de radiação refletida no vermelho e no infravermelho próximo que chega ao sensor, proveniente da vegetação, varia com a irradiância solar, condições atmosféricas, substrato, estrutura e composição do dossel.

No presente trabalho, foram analisados os Índices de Vegetação NDVI e SAVI. O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho solo de fundo, utilizando primeiramente dados digitais do Landsat MSS. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Este é o IV mais comumente empregado, que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre -1 a +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas. De acordo com Eastman (1998), o NDVI foi apresentado por Rouse et al., em 1974. Entretanto, Silva, E. (2004) aponta que Deering, em 1978, foi quem normalizou esta razão dentro de um intervalo (-1, +1), por intermédio da razão da diferença dividida pela soma das bandas do Vermelho e IVP, ou seja, há um limite para a extensão dos valores que vão de -1 a +1, essa normalização tem o efeito de aumentar valores baixos e comprimir valores altos.

O NDVI tem se mostrado bastante útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e o seu ponto forte é o conceito de razão que reduz várias formas de ruídos multiplicativos como diferenças de iluminação, sombra de nuvens, atenuação atmosférica, certas variações topográficas (SILVA, E., 2004); ainda de acordo com a referida autora, uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da densidade do dossel. Os valores NDVI estabilizam-se em um patamar independente do aumento da densidade do dossel.

O *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) que foi proposto por Huete (1988) possui a proprie-

dade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L no denominador da equação NDVI. O fator L varia com a característica da refletância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar.

Para vegetação muito baixa, é sugerido utilizar o fator L = 1.0, para vegetação intermediária L = 0,5, para altas densidades L = 0,25. A utilização do L = 0 os valores do SAVI serão idênticos ao NDVI, e para o L = 100 os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI. A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1+L)$$

L = variável de ajuste do solo

Sabe-se que a prática da agropecuária contribui incisivamente para o desflorestamento. No caso da bacia do Rio Araguari, por apresentar grande extensão (englobando mais de 20 municípios) e devido à necessidade de constante monitoramento das condições de uso do solo e cobertura vegetal, é necessária a utilização de imagens que possuam boa resolução espacial e temporal, além da acuidade radiométrica. Estas e outras características apresentadas pelo sensor MODIS foram fundamentais para a utilização desse sensor na presente pesquisa, em meio a grande quantidade de sensores remotamente situados, com o objetivo de monitoramento global.

Uma das formas de monitoramento em escala global da superfície terrestre se dá a partir da utilização de sensores como o MODIS, que disponibilizam produtos como os Índices de Vegetação, capazes de verificar as modificações no estado da cobertura vegetal, utilizando, para isso, a combinação das bandas do vermelho e infravermelho próximos.

### 3. MATERIAIS

#### 3.1. Documentos cartográficos

· Folhas Topográficas editadas pelo Instituto Brasi-

leiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), na escala de 1:100.000 e 1:250.000, disponíveis no laboratório de Cartografia do Instituto de Geografia – UFU.

· Base cartográfica em meio digital, elaborada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia – UFU.

· Imagens do sensor MODIS/Terra, *tile* h13v10, produto MOD13Q1, adquiridas via Internet no formato hdf, do site <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. Os dias julianos das imagens para o ano de 2003 são:

- 161 (10/06 a 25/06);
- 177 (26/06 a 11/07);
- 209 (28/07 a 12/08);
- 257 (14/09 a 29/09);
- 289 (16/10 a 31/10);
- 305 (01/11 a 16/11);
- 337 (03/12 a 16/12).

Os dias julianos das imagens para o ano de 2004 são:

- 353 (19/12 a 03/01);
- 033 (02/02 a 17/02);
- 065 (05/03 a 20/03);
- 097 (06/04 a 21/04);
- 129 (08/05 a 23/05);

Vale ressaltar que o dia juliano que indica a imagem é o primeiro dia do período da composição de 15 dias.

### 3.1.2. Equipamentos

- Microcomputador.
- Aparelho GPS de navegação GARMIN modelo 12 XL.
- Impressora Jato de Tinta Colorida A3.

### 3.1.3. Softwares

· **Idrisi, versão 32** – é um sistema de informação geográfica e de processamento de imagens, desenvolvido pela *Graduate School of Geography da Clark University*, de Massachusetts, baseado no formato *raster* de representação de dados, foi desenvolvido para microcomputadores. Opera em ambiente Windows (95, 98, XP, NT e 2000). Este *software* reúne ferramentas nas áreas de Sensoriamento Remoto, processamento de imagens, sistema de informação geográfica, modelagem espacial, geoestatística e apoio à tomada de decisões. O usuário pode desenvolver programas específicos de forma a atender a novas aplicações. Utiliza banco de dados externo com interface para o Dbase e Access. Permite a migração de dados para outros *softwares*.

· **ArcView 3.2** – é um Sistema de Informação Geográfica (GIS) que gerencia feições e seus atributos em unidades denominadas temas. Cada tema representa uma coleção de feições com atributos similares, como rodovias, drenagem etc. As feições dos temas do *ArcView* podem ser de três tipos: ponto, linha e polígonos. Permite fácil integração de dados, possibilitando acessar registros de bases de dados e visualizá-los em mapas de excelente qualidade, ligando gráficos, tabelas, desenhos, fotografias e outros arquivos.

· **Modis Reprojection Tool (MRT)** – permite converter as imagens MODIS originalmente no formato HDF para GEOTIFF;

· Microsoft Office.

## 4. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Para alcançar os objetivos da pesquisa e o desenvolvimento da mesma, foram utilizados recursos cartográficos, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento divididos em duas etapas distintas:

- Aquisição dos produtos e manipulação das imagens;
- Geração dos Índices de Vegetação e localização dos números digitais nas amostras.

#### 4.1. Aquisição dos produtos e manipulação das imagens

A primeira etapa foi constituída pela escolha das datas das imagens MODIS (12 meses contemplando os meses de junho de 2003 a maio de 2004); posteriormente, foi realizado pedido e aquisição dos produtos MODIS adquiridos por intermédio do acesso ao *site* <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. Anterior a essa etapa, foi necessária uma visita prévia ao *site* <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>> para uma familiarização com as imagens e diferentes produtos, bem como realização de um cadastro para obtenção dos mesmos.

Após confirmação dos pedidos via *e-mail*, a NASA envia o endereço do servidor, de onde os produtos serão “baixados”. Com o aplicativo *Download Accelerator Plus*, os produtos são baixados via ftp, demorando em torno de 2 a 3 horas por produto.

Conversão das imagens no *Modis Reprojection Tool* (MRT), originalmente na projeção *Integerized Sinusoidal* (formato HDF – *Hierarchical Data Format*), para a projeção geográfica e formato Geotiff e, em seguida, as imagens são importadas para o software Idrisi 32.

Recorte da área, selecionando apenas o que é de interesse; esse procedimento é imprescindível para facilitar o processamento dos dados no equi-

pamento e excluir o que não é relevante. Esse procedimento impede uma sobrecarga no microcomputador, devido ao tamanho de cada imagem.

#### 4.2. Geração dos Índices de Vegetação e localização dos números digitais nas amostras

A partir do produto MOD13Q1 (bandas vermelho e infravermelho próximo), foi possível a produção dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI mensalmente (correspondentes aos meses de junho de 2003 até maio de 2004), utilizando o módulo VEGEINDEX do software Idrisi 32.

Com auxílio do trabalho de campo, foram localizadas as coordenadas geográficas das categorias ao qual se pretendeu analisar, posteriormente, em laboratório, foram identificados os números digitais presentes em cada categoria.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em laboratório, foram localizadas nos Índices de Vegetação NDVI e SAVI as coordenadas referentes às categorias de uso definidas no campo, para que fossem digitalizadas nas imagens Índice de Vegetação MODIS os pixels de cada categoria. Em seguida, foram identificados os valores do Índice de Vegetação NDVI e SAVI para cada categoria, nas diferentes datas (Cf. TABELAS 1 e 2, bem como as FIGURAS 1 e 2).

Tabela 1 – Valores dos números digitais para NDVI.

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
02/02/2004	1	1	1	0.71	0.88	0.83	0
05/03/2004	1	0.81	0.9	0.43	0.5	0.8	0
06/04/2004	1	0.78	0.71	0.92	0.63	0.66	0
08/05/2004	1	0.75	0.67	0.75	0.27	0.63	0
10/06/2003	1	1	0.69	0.76	0.47	0.63	0
26/06/2003	1	1	0.67	0.88	0.44	0.6	0
28/07/2003	0.80	0.75	0.47	0.83	0.38	0.33	0
14/09/2003	0.81	0.71	0.38	0.29	0.28	0.33	0
16/10/2003	0.87	0.78	0.57	0.76	0.6	0.57	0
01/11/2003	0.89	0.78	0.79	0.91	0.29	0.57	0
03/12/2003	0.86	0.78	0.67	0.88	0.83	0.69	0
19/12/2003	1	0.78	0.44	0.66	1	0.45	0
s	11.23	9.92	7.96	8.78	6.57	7.09	0

\* Cultura Anual sem irrigação.

A comparação das FIGURAS 1 e 2 permitem considerar que o comportamento das categorias de análise ao longo do ano foi praticamente o mesmo para os dois índices de vegetação NDVI e SAVI. O mês de fevereiro apresenta confusão nos valores da mata e reflorestamento, bem como a cultura anual e a pastagem. Em março, a confusão se dá entre a mata e o reflorestamento. No mês de abril, todas as categorias apresentam valores muito próximos, enquanto que em maio o reflorestamento e a cultura irrigada apresentam os mesmos valores assim como o café e a pastagem. Em junho, ocorre uma boa separação dos alvos, exceto a mata e o reflorestamento. Em julho, a mata, o reflorestamento e a cultura irrigada apresentam confusão entre si, o

mesmo ocorre com café, cultura anual e pastagem. No mês de setembro, apenas a mata e o reflorestamento apresentam valores distintos. Em outubro, a confusão se dá entre o reflorestamento e a cultura irrigada e o café, a cultura anual e a pastagem, enquanto que no mês de novembro a mata e a cultura irrigada confundem-se bem com o café e o reflorestamento. No mês de dezembro, a mata, a cultura anual e a cultura irrigada apresentam os mesmos valores, e o café e a pastagem também. Dessa forma, pode-se concluir que dentre o comportamento das categorias ao longo dos meses do ano, o mês de junho é a melhor opção para diferenciar os diferentes alvos, pois nesse a confusão entre os alvos é menor.

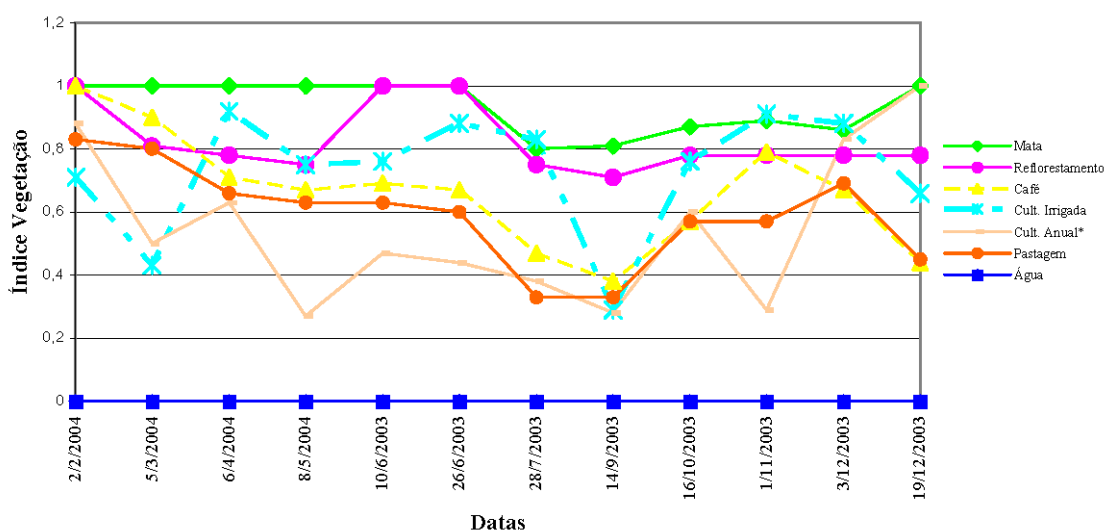


Figura 1 – Valores dos números digitais para Índice de Vegetação NDVI.

É possível verificar, ainda, pela análise dos gráficos, o comportamento das diferentes categorias ao longo do ano: o reflorestamento, por exemplo, apresenta sempre valores elevados que variam de 0.7 a 1 para o NDVI, e de 1 a 1.4 para o SAVI, demonstrando pouca variação do índice de vegetação. Conseqüentemente, há pouca perda de vigor vegetativo, significando que mesmo a vegetação sofrendo com o período de seca o índice de vegetação diminui, mas não o suficiente para confundir-lo com outras categorias. Já as culturas anuais, o café e a pasta-

gem, apresentam comportamentos semelhantes, tendo em vista o fato de apresentarem altos valores de índice de vegetação no período chuvoso, e com o passar dos meses perderem gradualmente esse vigor (em virtude do período da colheita no caso das culturas anuais, seguida do período de seca), ocorrendo, evidentemente, uma maior variação ao longo do ano, sendo que há um pico máximo no índice de vegetação nos meses de dez/jan/fev/mar, e um pico mínimo em set/out.



Tabela 2 – Valores dos números digitais para SAVI.

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
02/02/2004	1.44	1.4	1.45	1.03	1.28	1.22	0
05/03/2004	1.44	1.14	1.33	0.62	0.72	1.14	0
06/04/2004	1.22	1.1	1.03	1.35	0.9	1	0
08/05/2004	1.42	1.05	0.96	1.09	0.39	0.91	0
10/06/2003	1.42	1.4	1	1.27	0.68	0.91	0
26/06/2003	1.43	1.4	0.69	1.3	0.65	0.85	0
28/07/2003	1.14	1.06	0.68	1.23	0.55	0.55	0
14/09/2003	1.17	1	0.54	0.48	0.41	0.47	0
16/10/2003	1.27	1.1	0.83	1.1	0.87	0.82	0
01/11/2003	1.29	1.1	1.15	1.33	0.43	0.82	0
03/12/2003	1.24	1.1	0.96	1.26	1.2	0.95	0
19/12/2003	1.44	1.1	0.65	0.97	1.44	0.55	0
s	15.92	13.95	11.27	13.03	9.52	10.19	0

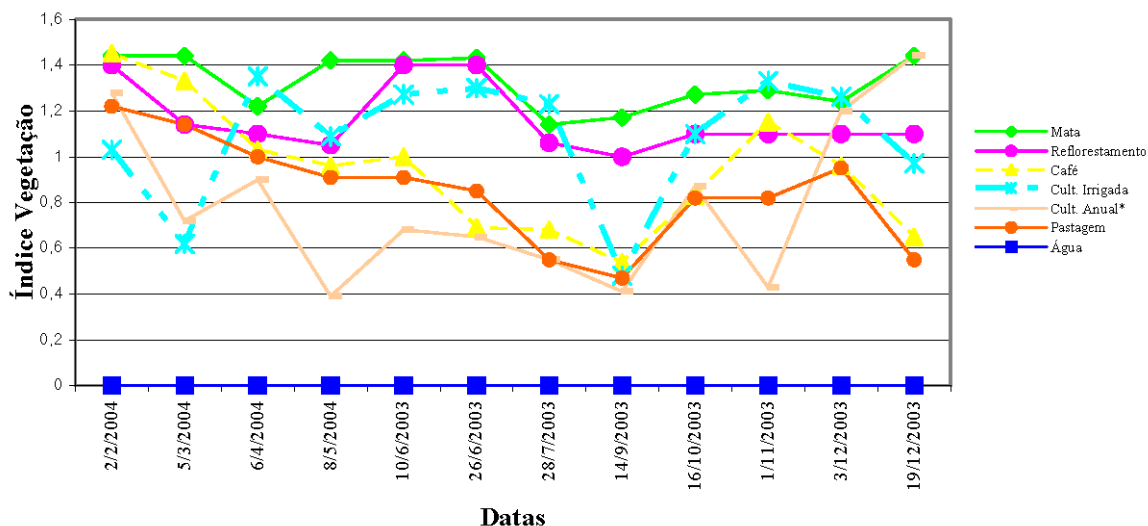


Figura 2 – Valores dos números digitais para Índice de Vegetação SAVI.

A definição das classes de uso do solo e cobertura vegetal foi discriminada e identificada em função das características naturais e de ocupação da região e da escala de trabalho, que não permitiu a inserção de níveis detalhados de interpretação. Por conseguinte, em virtude da resolução espacial das imagens MODIS (250 m), não foi possível uma maior discriminação dos alvos. Esse fator impediu que algumas categorias presentes na área da bacia fossem analisadas na pesquisa. Dentre as categorias de uso de maior expressão na área da bacia, estão as categorias mata, reflorestamento, cultura anual (milho,

soja, etc.), cultura irrigada, pastagem, café e corpos d' água.

A análise das FIGURAS 1 e 2, permite inferir que, dentre as datas selecionadas para a pesquisa, o NDVI de junho é o que apresenta um maior potencial separador entre as categorias de uso do solo e cobertura vegetal. No entanto, ainda com intuito de potencializar a separação dos alvos, foi adotada uma técnica para diferenciar cada categoria de uso. Essa técnica consiste na somatória cumulativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI (ou seja, a somatória

das imagens Índice de Vegetação para cada mês) de modo que cada categoria apresentasse, ao final da somatória, valores distintos. Cada categoria assumiria, portanto, valores específicos que poderiam ser melhor separados (FIGURAS 3 e 4). Assim, o reflorestamento que ao longo do ano apresenta

valores de Índice de Vegetação NDVI sempre próximos de 1, apresentou na somatória da última data valor superior a 11 no caso do NDVI e superior a 15 para o SAVI. Esses valores permitem que cada categoria dificilmente seja confundida com outros alvos.

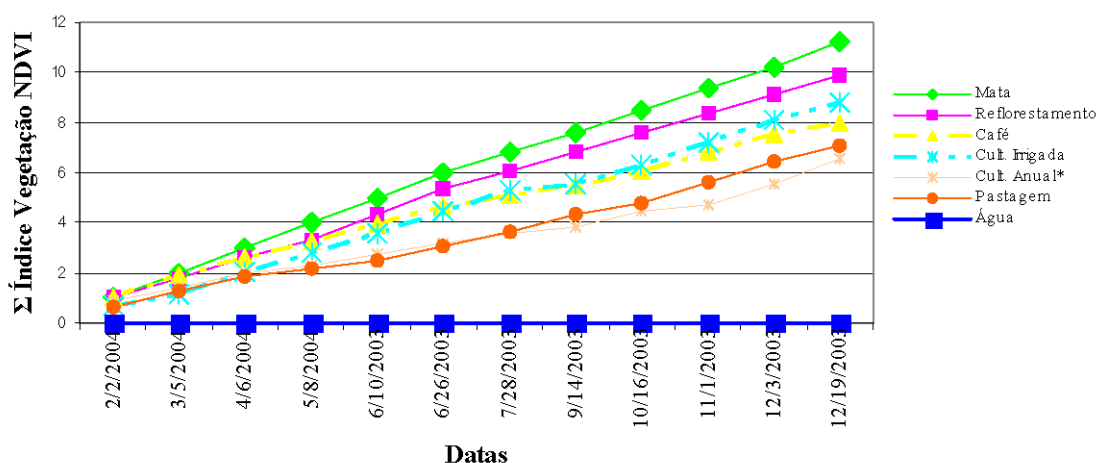


Figura 3 – Somatória cumulativa do índice de vegetação NDVI.

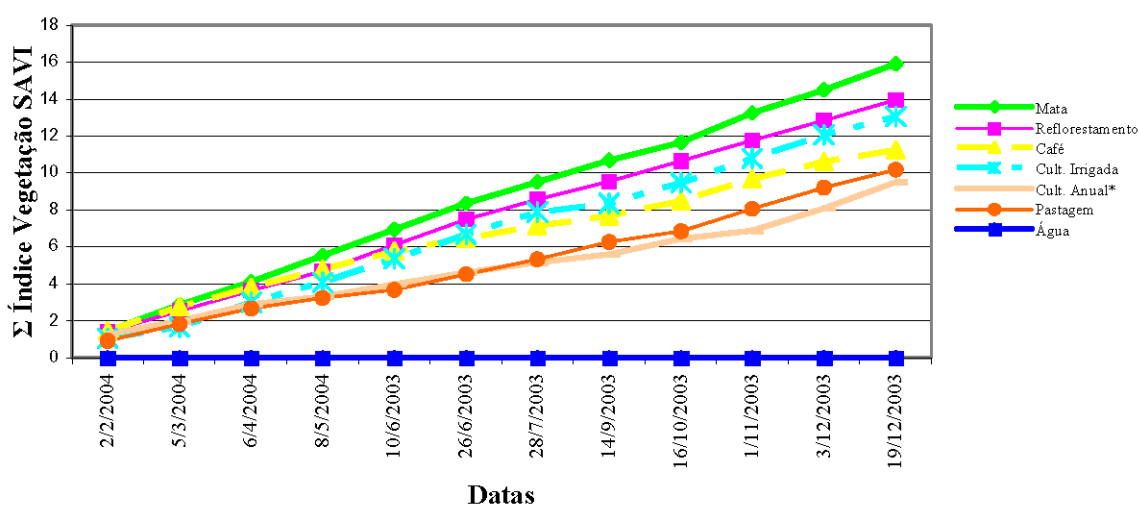


Figura 4 – Somatória cumulativa do índice de vegetação SAVI.

A comparação dos gráficos que mostram apenas os valores dos números digitais para os Índices de Vegetação NDVI e SAVI (FIGURAS 1 e 2), com os gráficos anteriores (FIGURAS 3 e 4) permite afirmar que no primeiro caso ocorre uma mistura dos valores referentes ao Índice de Vegetação de cada categoria, que apresentam valores semelhantes. No segundo caso, a soma cumulativa dos valores permite que na data final (dezembro 2003) as categorias apresentem valores elevados e diferenciados para cada categoria, o que não permite causar confu-

são entre as mesmas.

Ainda com a finalidade de melhor separar as categorias e de avaliar o potencial separador dos Índices de Vegetação, foi realizada a somatória cumulativa para os Índices de Vegetação NDVI e SAVI referentes aos meses mais representativos do período chuvoso (Jan/Fev/Mar) e os mais representativos do período seco (Jun/Jul/Set). A seguir, são apresentados as TABELAS 3 e 4, e os gráficos das FIGURAS 5 e 6, referentes aos períodos chuvoso e seco.

TABELA 3 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/2004 a 19/09/2003).

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
03/01/2004	1	0.78	0.44	0.66	1	0.45	0
02/02/2004	1	1	1	0.71	0.88	0.83	0
05/03/2004	1	0.81	0.9	0.43	0.5	0.8	0
<b>s</b>	<b>3</b>	<b>2.59</b>	<b>2.34</b>	<b>1.8</b>	<b>2.38</b>	<b>2.08</b>	<b>0</b>

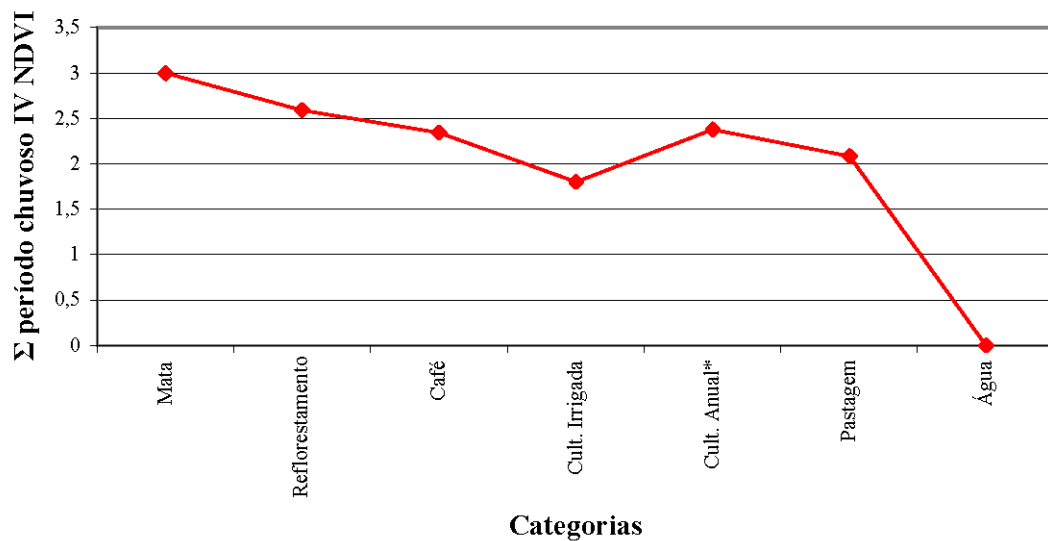


Figura 5 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).

Tabela 4 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
03/01/2004	1.44	1.1	0.65	0.97	1.44	0.55	0
02/02/2004	1.44	1.4	1.45	1.03	1.28	1.22	0
05/03/2004	1.44	1.14	1.33	0.62	0.72	1.14	0
<b>s</b>	<b>4.32</b>	<b>3.64</b>	<b>3.43</b>	<b>2.62</b>	<b>3.44</b>	<b>2.91</b>	<b>0</b>

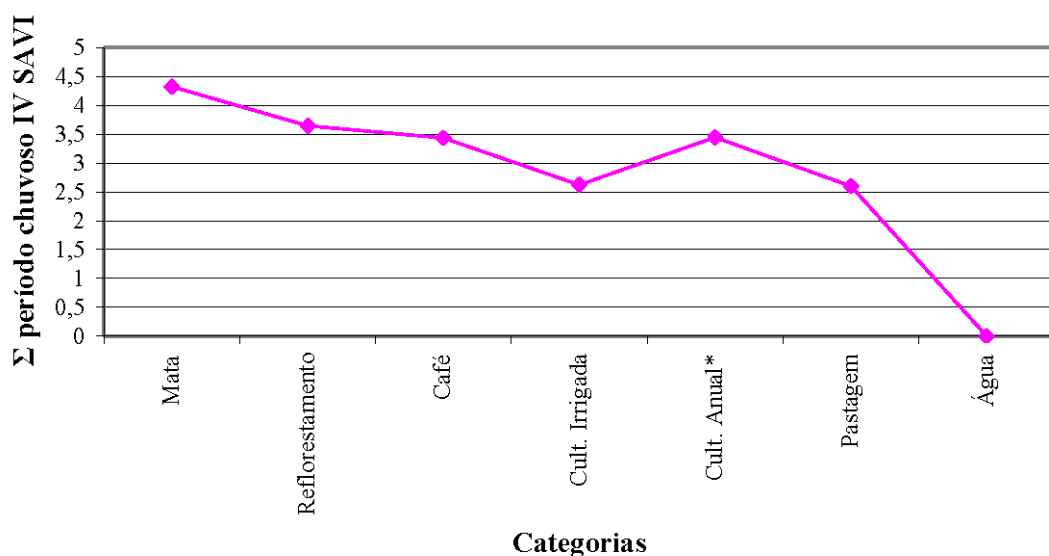


Figura 6 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).

A comparação das tabelas e figuras anteriores mostra que a separação das categorias é complicada no período chuvoso. Este fato já era de se esperar tendo em vista que no referido período toda a cobertura vegetal apresenta altos Índices de Vegetação.

As TABELAS 5 e 6 e as FIGURAS 7 e 8 representam os valores dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI de cada categoria para o período seco.

Tabela 5 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
26/06/03	1	1	0.67	0.88	0.44	0.6	0
28/07/03	0.80	0.75	0.47	0.83	0.38	0.33	0
14/09/03	0.81	0.71	0.38	0.29	0.28	0.33	0
Total	2.61	2.46	1.52	2	1.1	1.26	0

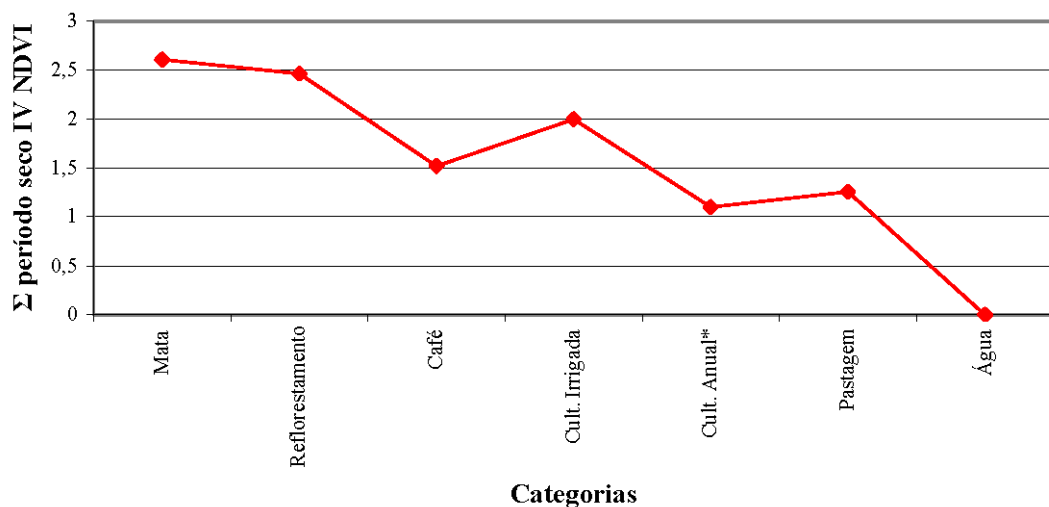


Figura 7 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).

Tabela 6 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003)

Datas	Categorias						
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	Água
26/6/2003	1.43	1.4	0.69	1.3	0.65	0.85	0
28/7/2003	1.14	1.06	0.68	1.23	0.55	0.55	0
14/9/2003	1.17	1	0.54	0.48	0.41	0.47	0
<b>s</b>	<b>3.74</b>	<b>3.46</b>	<b>1.91</b>	<b>3.01</b>	<b>1.61</b>	<b>1.87</b>	<b>0</b>

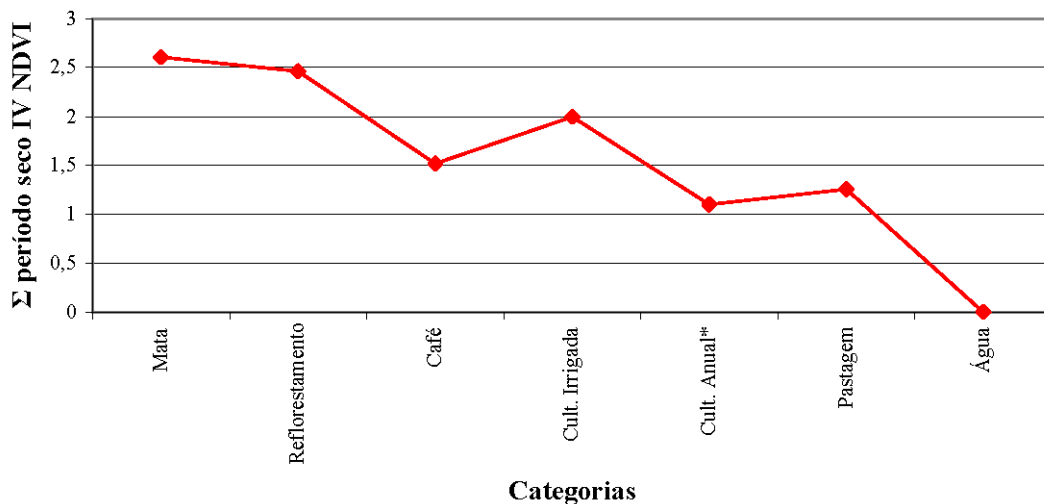


Figura 8 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003)

A somatória cumulativa dos Índices de Vegetação referente ao período seco apresentou boa separação de algumas categorias, como por exemplo: a cultura irrigada do café, cultura anual e pastagem; o café, a cultura anual e a pastagem apresentaram valores muito próximos, o que dificulta a sua separação, vale lembrar que esse fato se dá em consequência da ausência de vigor vegetativo das culturas anuais e do café, que já foram colhidos, e no caso da pastagem ocorre a perda de vigor em função do período seco. A mata e o reflorestamento se confundem.

A partir das diversas tentativas de separação das categorias de Uso do Solo e Cobertura Vegetal (Somatória Mensal dos Índices de Vegetação, Somatória dos Índices de Vegetação do Período Seco, Somatória dos Índices de Vegetação do Período Chuvoso), o que se mostrou mais eficaz foi a uti-

lização do Índice de Vegetação do mês de Junho.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos números digitais nas imagens Índice de Vegetação, foi demonstrado com clareza o comportamento das áreas destinadas às culturas em que se pôde observar a elevação e a diminuição dos valores de Índice de Vegetação, em razão da época do plantio e do período da colheita, respectivamente.

Os Índices de Vegetação NDVI e SAVI utilizados na pesquisa apresentaram praticamente os mesmos resultados. Desse modo, as mesmas análises realizadas para o NDVI são válidas para o SAVI. A diferença existente entre ambos está no fato do índice SAVI apresentar um fator de ajuste para o brilho do solo (0.5), o que modifica a escala de valores

que acompanha cada índice, o NDVI variou de -1 a 1, e o SAVI variou de -1 a 1.47.

A partir da apreciação dos gráficos obtidos tendo por base as áreas amostrais correspondentes ao comportamento dos Índices de Vegetação ao longo do ano para as categorias de análise definidas, foi possível identificar uma data (junho/2003) em que as categorias não se misturam, ou seja, apresentam valores diferenciados que possibilita melhor separá-las.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows. Manual do usuário**. Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 1998
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- EPIPHANIO, J. C. N.; HUETE, A. R. Dependence of NDVI and SAVI on sun-sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v.51, p.351-360, 1995.
- HUETE, A. R. **A soil adjusted vegetation index (SAVI)**. *Remote Sensing Environ.* Vol. 25, 1988.
- LATORRE, M. L. et al. Sensor Modis: características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**. v. 6, n. 1, p.97-126, 2003.
- MODIS. Acesso aos produtos. <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: Jun 2003.
- PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (Org.). *Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais*. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília – UNB, Embrapa Cerrados, p.157-199, 2001.
- ROSA, R. et al. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da bacia do rio Araguari – MG. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p.69-87.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia: Edufu, 2003.
- ROSA, R. & BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia: Edufu, 1996. 104p.
- SILVA, A. A. **Uso de dados MODIS para o monitoramento ambiental nos cerrados: Um estudo a partir de dados MOD13Q1 realçados através de um modelo de mistura espectral**. Dissertação de Mestrado, Goiânia, 2004.
- SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.