

MAPEAMENTO DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL A PARTIR DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI

Jussara Santos Rosendo

Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Brasil
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFU (PPGEO/UFU)
jussara@pontal.ufu.br

Roberto Rosa

Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Brasil
Prof. Dr. do Instituto de Geografia e do PPGEO/UFU
rosa@ufu.br

1. INTRODUÇÃO

Desde a descoberta de que os vegetais extraem da radiação eletromagnética (REM) emitida pelo Sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que mais contribuíram e ainda vêm contribuindo e motivando o avanço nos conhecimentos de como a vegetação processa essa radiação eletromagnética. A técnica de utilização de imagens para monitoramento da superfície apresenta importantes características, dentre elas:

- Rapidez: permite obtenção de informações em curto espaço de tempo;
- Repetitividade: permite comparação tanto da área como das condições do alvo imageado (áreas vegetadas, áreas agrícolas etc.);
- Visão global da área levantada: permite obtenção de informações acerca de grandes áreas em única tomada de dados.

Ao utilizar dados de sensoriamento remoto para o estudo de determinado alvo, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na energia eletromagnética ocasionadas pela fonte de energia, pelo meio em que a energia é propagada, pelos alvos imageados, pelo sistema sensor que capta a energia proveniente do alvo (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

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, que inclui a irradiância espectral, a localização do ângulo zenital e azimutal solar;
- A atmosfera, caracterizada por uma série de propriedades e parâmetros, incluindo as concentrações espacialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e de espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte dos constituintes da atmosfera, como vapor d' água, ozônio, aerossóis etc.;

- As características do dossel se dão por várias propriedades e parâmetros ópticos (reflectância e transmitância), estruturais (formas geométricas e posicionamento dos componentes da vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores etc.), geometria da planta e parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação);
- O solo, que também é caracterizado por uma série de propriedades e parâmetros tais como reflectância, absorvância, rugosidade superficial, textura e umidade.

A vegetação é um alvo complexo do Sensoriamento Remoto (EPIPHANIO et al., 1996) apresenta variadas propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, múltiplos componentes refletoras, não uniformidade de estrutura inter e intraplantas, além de assentar-se sobre um substrato constituído de solo ou restos vegetais que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo no processo de medição para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação.

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. 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.

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, 2007).

As técnicas de realce de imagem por meio de 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. No presente trabalho, utilizou-se o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) 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 (EPIPHANIO et al., 1996; ROSA, 2007; EASTMAN, 1998), conforme equação a seguir:

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

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um dos instrumentos a bordo do satélite TERRA e do satélite AQUA que, lançados pela NASA (*National Aerospace and Space Administration*), fazem parte de um programa de coleta de dados sobre o planeta Terra denominado *Earth Observing System* (EOS) e tem como um dos objetivos 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, idealizado desde 1992 (SILVA, A. 2004), 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, das quais 7 são semelhantes às do sensor ETM+/LANDSAT, com resoluções espaciais variando de 250 a 1000 m.

Os dois satélites representam um avanço no que diz respeito às tecnologias de monitoramento da superfície terrestre, principalmente com relação ao acompanhamento de mudanças ambientais nos continentes, nos oceanos e na atmosfera. O programa EOS permitirá uma melhor compreensão da Terra como um sistema integrado. Os satélites foram concebidos de forma a possibilitar uma análise completa da Terra, pois ambos satélites apresentam alguns sensores em comum (SILVA, A. 2004), tornando possível a análise e o cruzamento integrado dos dados entre os mesmos ou diferentes sensores, para as datas e os horários que o usuário preferir.

O programa é composto de uma série de sensores que monitoram as mudanças globais em vários ambientes, dentre eles destacam-se o MODIS, ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), entre outros.

O sensor MODIS, objeto de estudo da presente pesquisa, possui inúmeras vantagens em relação aos satélites e sensores convencionais (LANDSAT, CBERS, etc), 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 destes 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, o que possibilita a sua utilização por inúmeros usuários das mais diversas áreas. 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 da terra 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.

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, conforme observado na Tabela 1.

Para realização da pesquisa que resultou neste trabalho foi utilizado o produto MOD13 proveniente do satélite TERRA, que possui dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

Tabela 1: Produtos do sensor MODIS

Aplicação	Produtos
Calibração	MOD01 – Nível 1A Radiância MOD02 – Nível 1B Radiância calibrada e georretificada MOD03 – Dados de georreferenciamento
Atmosfera	MOD04 – Aerossol MOD05 – Vapor d' água MOD06 – Nuvem MOD07 – Perfil Atmosférico MOD08 – Produto atmosférico em formato matricial MOD35 – Máscara de nuvem
Terra	MOD09 – Reflectância de superfície MOD11 – Temperatura superficial do terreno e emissividade MOD12 – Cobertura do solo/mudanças na cobertura MOD13 – Índices de vegetação em formato matricial (NDVI máximo & MVI integrado) MOD14 – Anomalias termais, fogo & queimadas MOD15 – Índice de área foliar & fPAR MOD 16 – Evapotranspiração MOD17 – Fotossíntese e produtividade primária bruta MOD43 – Reflectância da superfície MOD44 – Conversão de cobertura vegetal
Criosfera	MOD10 – Cobertura de neve MOD29 – Cobertura de gelo do mar
Oceano	MOD18 – Radiância normalizada de água de saída MOD19 – Concentração de pigmentos MOD20 – Fluorescência de clorofila MOD21 – Concentração de pigmentos de clorofila_a MOD22 – Radiação fotossinteticamente disponível (PAR) MOD23 – Concentração de sólidos em suspensão MOD24 – Concentração de matéria orgânica MOD25 – Concentração de cocólitos MOD26 – Coeficiente de atenuação de água oceânica MOD27 – Produtividade primária dos oceanos MOD28 – Temperatura da superfície do mar MOD31 – Concentração de ficoeritrina MOD36 – Coeficiente de absorção total MOD37 – Propriedade dos aerossóis oceânicos MOD39 – ϵ (água límpida)

Fonte: SILVA, E (2004)

De acordo com Silva, E. (2004, apud VERMOTE et al., 2002), o produto índice de vegetação tem como base os dados gerados pela reflectância diária de superfície (série MOD09), nível 2, os quais são corrigidos para espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis. Os índices de vegetação são produzidos globalmente com resolução espacial de 250 m, 500 m, 1 km e até mesmo 25 km, uma sigla de referência define a escala do produto, como por exemplo:

- **MOD13Q1**: indica que os produtos possuem resolução espacial de 250 m, o “Q” refere-se a *Quarter Km*, ou seja, quarta parte do quilômetro. Sendo considerado produto com alta resolução espacial, possuindo produção limitada. Algoritmo que processa as imagens reflectância da superfície (MOD09) para produzir as imagens NDVI e EVI em uma composição de 16 dias vale ressaltar que utilizou-se especificamente esse produto no desenvolvimento da pesquisa;

- **MOD13A1:** produtos com 500 m de resolução espacial, possuindo produção global e composição de 16 dias, algoritmo que gera imagens NDVI e EVI a partir das imagens reflectância da superfície com 500 m de resolução (A1);
- **MOD13A2:** produtos com resolução espacial de 1000 m (A2), também apresenta produção global; no entanto, o período de composição é mensal;
- **MOD13A3:** dados mensais de índice de vegetação com 1000 m (A3) de resolução espacial e produção global, esse algoritmo processa várias composições de 16 dias (MOD13A2) para produzir a media mensal;
- **MOD13C1:** produtos com resolução espacial de 25 km (C1) e composição de 16 dias;
- **MOD13C2:** produtos com resolução espacial de 25 km (C2) e composição mensal dos dados.

As imagens referentes aos índices de vegetação (NDVI e EVI) são concebidas dentro do sistema de *compositing* da própria imagem MODIS, no qual imagens de 16 dias são transformadas em índices de vegetação. Estas passam por um filtro onde os pixels são avaliados e os que possuem a melhor qualidade vão compor o produto final do MOD13 (SILVA, A. 2004, p. 45).

O algoritmo para a geração dos índices de vegetação opera pixel a pixel e leva em conta múltiplas observações para a geração de uma composição em um período de 16 dias. Devido à sobreposição de órbitas, múltiplas observações podem existir em único dia e um máximo de quatro observações podem ser coletadas. Na teoria, isto pode resultar em um máximo de 64 observações no período de 16 dias. Entretanto, devido à presença de nuvens e à cobertura espacial do sensor, este número pode variar entre 0 e 64, decrescendo das altas latitudes para as latitudes equatoriais. Uma vez que todos os 16 dias de observações são coletados, o algoritmo MODIS para a geração dos índices aplica um filtro para os dados, baseado na qualidade, presença de nuvens e geometria de visada. *Pixels* contaminados por nuvens e ângulos de visada fora do nadir (*off-nadir*) são considerados de baixa qualidade enquanto *pixels* livres de nuvens, no nadir e com aerossóis atmosféricos residuais mínimos, representam os *pixels* de melhor qualidade (SILVA, E., 2004, p. 55-56).

Os produtos MOD13, independentes da escala, além dos índices de vegetação, também dispõem de:

- Dois índices de vegetação o NDVI e o EVI;
- Duas imagens com informações que atestam a qualidade dos produtos Índice de Vegetação - NDVI *Quality*;
- Imagens reflectância das bandas BLUE, RED, NIR e MIR;
- Três imagens referentes à maneira em que estes dados foram adquiridos, ângulo de visada, ângulo zenital solar e azimute.

O objetivo deste trabalho é avaliar a elaboração de mapas de uso da terra e cobertura vegetal a partir da utilização de índices de vegetação (NDVI), provenientes das bandas do Vermelho e Infravermelho disponíveis nas imagens do sensor MODIS (produto MOD13Q1).

A pesquisa foi desenvolvida na Bacia do Rio Araguari-MG, Brasil, situada sob vegetação típica de Cerrado, estando localizada na Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais, Brasil, compreende a maior parte da região do Triângulo Mineiro, fazendo divisa com a Bacia do Rio Tijuco a oeste e sudoeste, com a Bacia do Rio Grande ao sul, com a Bacia do São Francisco a leste, com a Bacia do Rio Dourados a norte e noroeste, e com as nascentes do Rio Paranaíba ao norte. 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, a bacia do Rio Araguari ocupa uma área de 20.186 Km², abrangendo parte de 20 municípios, dentre os quais consideram-se integrantes da referida bacia os municípios de Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, Sacramento, Santa Juliana, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia (Figura 1). Por não haver necessária concordância entre o limite da bacia e as áreas (divisões) municipais, parte destes municípios não possui suas áreas totalmente compreendidas na área da bacia.

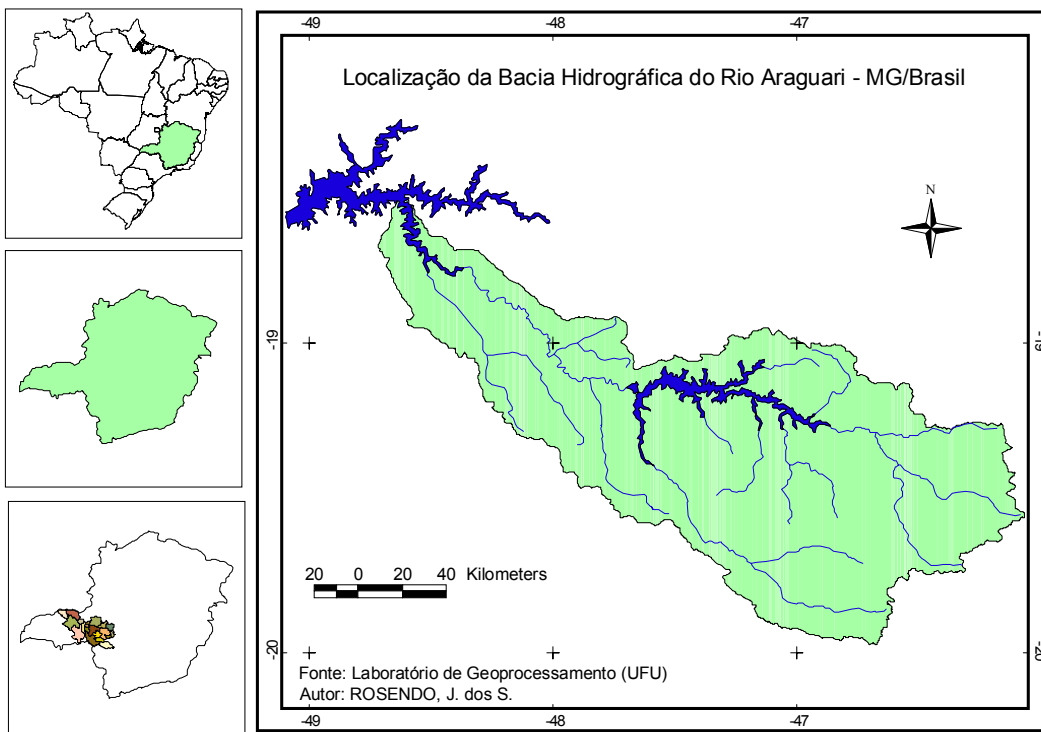


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Araguari – MG, Brasil

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Documentos Cartográficos:

- Folhas Topográficas na escala de 1:100.000 e 1:250.000, disponíveis no laboratório de Cartografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU;

- Base cartográfica em meio digital, elaborada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia –UFU (LAGEO);
- Imagens do sensor MODIS/Terra (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), tile h13v10, produto MOD13Q1, adquiridas via Internet no formato hdf, do site <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>.
- As datas das imagens MODIS são dadas em dias julianos, sendo assim, para a presente pesquisa, foram utilizadas as datas nos seguintes dias julianos para o ano de 2003: 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 das imagens MODIS.

2.1.2 Softwares

- Idrisi, versão 32; ArcView 3.2; Modis Reprojection Tool (MRT) – permite converter as imagens MODIS originalmente no formato HDF para GEOTIFF.

2.2 – PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

2.2.1- Aquisição dos produtos e manipulação das imagens

A primeira etapa foi constituída pela escolha das datas das imagens MODIS; posteriormente, foi realizado pedido e aquisição dos produtos MODIS adquiridos através do acesso ao site <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. 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.

2.2.2 – Trabalho de campo

Com auxílio de um GPS foram coletadas no campo as coordenadas geográficas das diferentes categorias de uso presentes na bacia que possuíssem dimensão superior a 250 m, no intuito de serem localizados os pixels puros representativos de cada categoria.

2.2.3 – Elaboração dos índices de vegetação

A partir do produto MOD13Q1 (bandas vermelho e infravermelho próximo) foi possível a elaboração dos índices de vegetação NDVI, para tal foi utilizado o VEGEINDEX do software Idrisi 32.

2.2.4 – Elaboração dos mapas de uso da terra e cobertura vegetal

Após a elaboração e análise dos índices de vegetação foram analisadas também as tabelas com os valores dos números digitais de cada categoria de uso para definição de quais imagens seriam reclassificadas em mapas de uso da terra e cobertura vegetal. Escolhidas as melhores datas, foram realizadas várias reclassificações, os resultados podem ser comparados a seguir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concluída a etapa de aquisição e manipulação as imagens, foi realizado (dezembro de 2003) um trabalho de campo, percorrendo as principais rodovias e estradas na área da Bacia do Rio Araguari, no intuito de visualizar os tipos de uso presentes na mesma (mata/reflorestamento; pastagem/café/cerrado; cultura anual; cultura irrigada e corpos d'água) para que fossem extraídas as coordenadas geográficas das categorias presentes na bacia, com auxílio de GPS, possibilitando a sua identificação na escala de 1:250.000. É importante ressaltar que as coordenadas foram extraídas no centro de cada categoria, para que fossem localizadas referentes ao pixel “puro”, ou seja, para não ocorrer a contaminação do pixel por outros elementos. Essas áreas amostrais também foram identificadas no campo, com apoio de imagens de satélite de melhor resolução (imagem CCD/CBERS de setembro de 2003).

Foram gerados os índices de vegetação NDVI mensais para os 12 meses da pesquisa (de dezembro de 2003 a fevereiro de 2004). Foi observado um bom resultado no que se refere ao aspecto visual dos índices, ou seja, mesmo sem efetuar uma análise mais elaborada, utilizando para tal outras técnicas, foi possível visualizar as mudanças ocorridas no estado fenológico da vegetação (Figuras 2 e 3). Posteriormente, foram realizados testes no intuito de selecionar as melhores datas para elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal. Deste momento em diante, foram encontradas diversas dificuldades na elaboração dos referidos mapas em virtude da complexidade de se mapear a vegetação a partir de índices de vegetação, pois no período chuvoso (cerrado) muitos alvos apresentam valores elevados de IV (Figura 2) e no período seco, ocorre o inverso, muitos alvos apresentam valores baixos (Figura 3), havendo assim semelhanças nos valores de IV em diversas classes ao longo do ano.

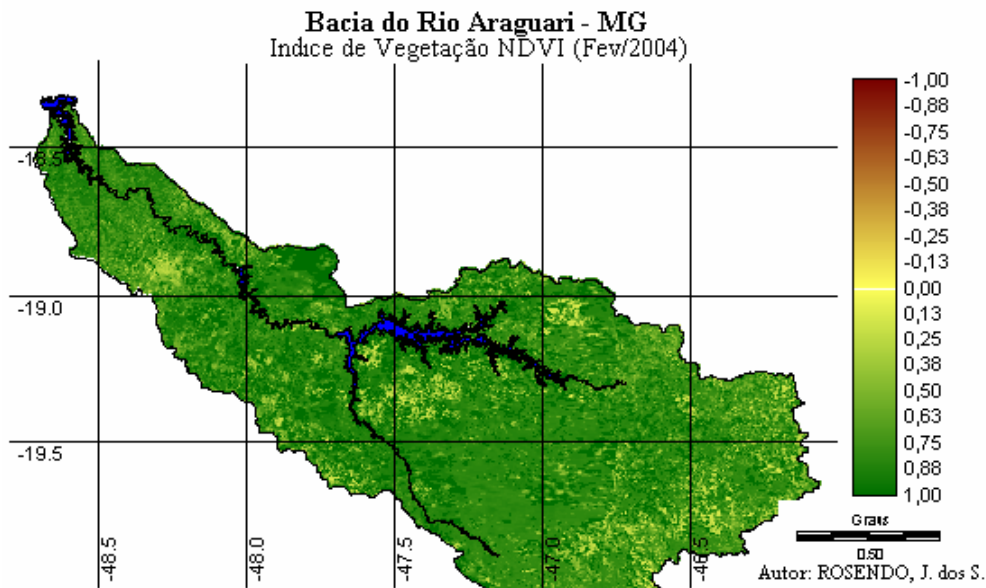


Figura 2: NDVI (Fev/2004)

No mapa índice de vegetação NDVI do mês de fevereiro (Figura 2) é possível perceber a quantidade de áreas verdes existentes em toda área da Bacia do Rio Araguari. Essas áreas indicam valores de índice de vegetação elevados, ou seja, grande parte da bacia apresenta alto vigor vegetativo, em virtude do aumento na quantidade de chuvas e por

conta do período em que as culturas anuais como a soja, o milho, entre outras, estão em pleno desenvolvimento reprodutivo. O início do plantio dessas culturas se dá em outubro/novembro, de modo a favorecer que a planta “proveite” o máximo de chuvas e de iluminação que os meses posteriores possam oferecer; assim, torna-se complexa a separação dos alvos no período de dezembro a março, pois nestes meses tanto as culturas anuais quanto a vegetação natural (mata), o reflorestamento, as áreas destinadas a culturas perenes (café) e as áreas de pastagem apresentam elevados índices de vegetação.

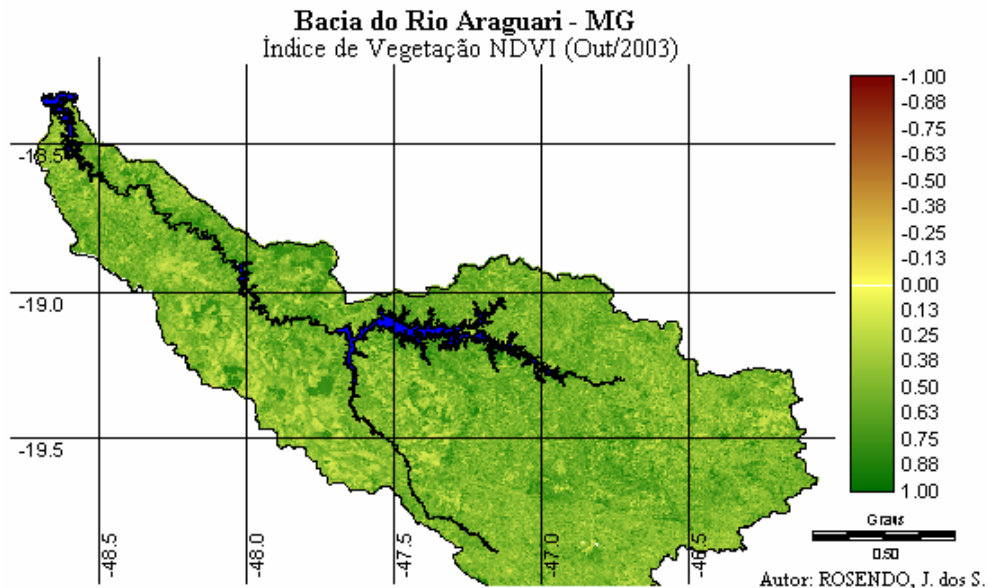


Figura 3: NDVI (Out/2003)

A comparação do mapa índice de vegetação NDVI de outubro (Figura 3) com o de fevereiro (Figura 2), permite verificar no primeiro caso, uma diferenciação na coloração do mapa - que na Figura 3 apresenta-se mais amarelada que na Figura 2 - em virtude das culturas anuais, após o período de colheita (março/abril), ficarem em estado de pousio (uma camada de palhada seca sobre o solo que tem a função de proteger o mesmo até que ocorra o próximo plantio em outubro) essa palhada, como não possui vigor vegetativo, apresenta valores de índice de vegetação baixos, conferindo o aspecto amarelado ao mapa. A pastagem apresenta praticamente os mesmos valores de índice de vegetação que as áreas destinadas ao cultivo de culturas anuais, posto que o pousio e as áreas de pastagem apresentam a mesma reflectância. No caso da pastagem, o índice de vegetação é baixo em consequência do estresse hídrico. Apesar de possuir um ciclo diferente das culturas anuais, a pastagem sofre com o período de seca. A diferença básica das áreas de pastagem para as de culturas anuais está no fato de que a pastagem permanece “viva” durante o período de seca, enquanto que a cultura anual tem um ciclo de crescimento, reprodução e “morte”. A partir do início do plantio (outubro), essas áreas destinadas ao pousio são substituídas pelas culturas anuais. Desse momento em diante, haverá uma quantidade maior de cobertura verde em consequência dessas áreas já possuírem alguma vegetação fotossinteticamente ativa em função do início do período chuvoso.

Nos meses de setembro e outubro, a vegetação natural também perde vigor vegetativo em função da ausência da chuva, entretanto, apresenta vigor vegetativo muito superior que as áreas de cultura anual. As áreas de reflorestamento apresentam comportamento muito semelhante às de vegetação natural, sendo também facilmente diferenciadas das outras categorias, ocorre uma melhor separação dessa categoria a partir do mês de maio até outubro (uma vez que em maio já ocorreu a colheita das culturas anuais e, dessa maneira, a grande quantidade de áreas verdes diminuiu e, em outubro, novamente tornam a ser semeadas).

O café, a partir do período das chuvas, apresenta também alto vigor vegetativo. É nesse período que começa a florescer. A colheita vai se dar em junho/julho no período mais seco, apesar do café ser uma cultura perene, e também sofrer nos meses de seca, seu comportamento assemelha-se ao do reflorestamento. Os corpos d'água não apresentam modificação dos valores ao longo do ano, mantendo sempre constante os mesmos valores iguais a zero.

Na tentativa de minimizar os efeitos indesejáveis em função da complexidade de se mapear a vegetação foram realizados alguns testes com as imagens IV. Em laboratório, foram localizadas nos índices de vegetação NDVI 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 para cada categoria, nas diferentes datas (Cf. a Tabela 2 e Figura 4). Esse procedimento foi necessário para facilitar a separação dos valores dos índices de vegetação em cada categoria e, a partir daí, gerar o mapa de uso da terra e cobertura vegetal.

Tabela 2 - 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
Σ	11.23	9.92	7.96	8.78	6.57	7.09	0

* Cultura anual não irrigada

A apreciação da Figura 4 permite considerar que o mês de fevereiro apresenta confusão nos valores da mata, reflorestamento e café. Em março, a confusão se dá entre a pastagem e o reflorestamento. No mês de abril, todas as categorias apresentam valores muito próximos, exceto a cultura irrigada e a mata, 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 (26/06/2003). Em julho, a mata e o reflorestamento 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 como 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 (3/12/2003). 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 mês, a confusão entre os alvos é menor.

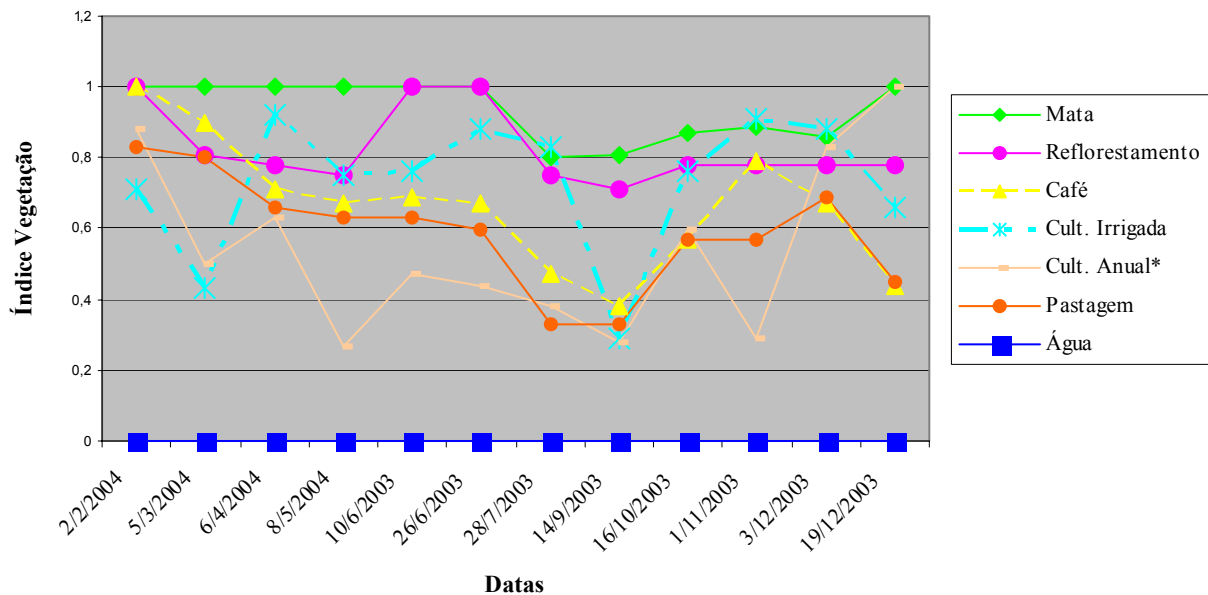


Figura 4 - Valores dos números digitais para Índice de Vegetação NDVI.

É possível verificar, ainda, pela análise da Figura 4 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, 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 confundi-lo com outras categorias. Já as culturas anuais, o café e a pastagem, 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.

A definição das classes de uso da terra 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.

Pela análise da Figura 4 verificou-se que o NDVI de junho é o que apresenta um maior potencial separador entre as categorias de uso da terra e cobertura vegetal. Em face do exposto, foi realizada uma reclassificação do NDVI na data de 26/06/2003 no intuito de se obter um mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do Rio Araguari-MG. A partir da reclassificação, verificou-se que não foi possível separar todas as categorias desejadas. As áreas ocupadas com café confundem-se (misturam-se) com pastagem e vegetação do tipo campo cerrado/cerrado. As áreas ocupadas com mata misturam-se às de reflorestamento. Com isso, foi possível mapear as seguintes categorias: cultura anual, café/pastagem/cerrado, cultura irrigada, mata/reflorestamento e corpos d'água, conforme Figura 5.

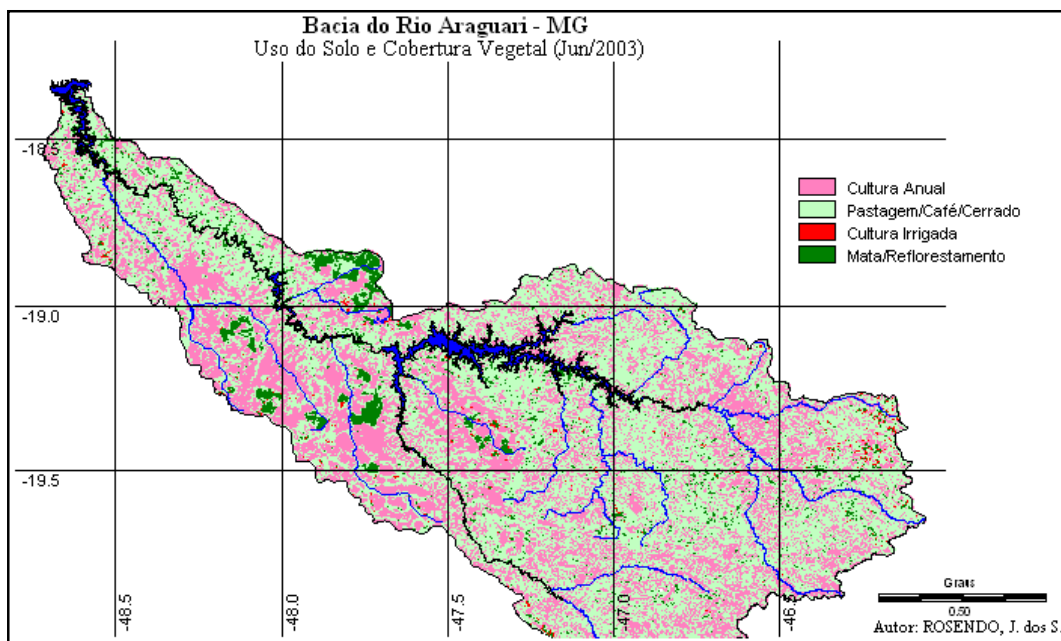


Figura 5 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal (jun/2003).

Portanto, o mapa de uso da terra e cobertura vegetal que apresentou melhores resultados na separação das diferentes categorias foi elaborado a partir do NDVI do mês de Junho (Figura 5). Na Tabela 3 são apresentadas as categorias mapeadas bem como a área ocupada por cada uma delas.

Tabela 3: Categorias de uso da terra e cobertura vegetal a partir do NDVI do mês de junho

Categorias	Áreas (Km²)	Área (%)
Mata/Reflorestamento	1131	5,6
Pastagem/Café/Cerrado	11241	55,7
Cultura Anual	7233	35,8
Cultura Irrigada	103	0,5
Água	478	2,4
Total	20186	100

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que o mapa de uso da terra e cobertura vegetal que apresentou melhores resultados na separação das diferentes categorias foi elaborado a partir do NDVI do mês de Junho (26/06/2003).

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a utilização do produto MOD13Q1 para elaboração de índices de vegetação gerado pelas bandas individuais do vermelho e infravermelho próximo são instrumentos eficazes no monitoramento das áreas cobertas com cobertura vegetal natural (mata/cerrado), sendo possível separá-las de outras categorias (cultura/pastagem). Entretanto, algumas manchas de vegetação natural ainda restantes na região, possuem dimensões inferiores àquelas capazes de ser detectadas pela resolução do sensor MODIS (250 m), o que a torna impossível sua detecção e conseqüente mapeamento e monitoramento.

A técnica de realce de imagens através dos índices de vegetação mostrou-se eficiente no tocante ao acompanhamento do comportamento das áreas destinadas às culturas em que foi possível observar a elevação e a diminuição dos valores de índice de vegetação, em razão da variação do ciclo fenológico das culturas e pastagens. Bem como, foi comprovada a eficácia dos índices de vegetação a partir de imagens MODIS na separação das áreas ocupadas pela agricultura das áreas com cobertura vegetal natural. A cobertura vegetal natural embora não apresente grande variação no índice de vegetação ao longo do ano, é um alvo muito complexo, que requer análises mais precisas, uma vez que na maioria das vezes encontram-se localizadas nas áreas de relevo mais acidentado, o que dificulta a sua caracterização¹.

5. REFERÊNCIAS

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.

MODIS. Acesso aos produtos. <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 15 jun 2003.

MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. **Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura**. INPE, São Jose dos Campos, 1984.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSENDO, J. S. R. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - 2005. Também disponível em: <http://www.ig.ufu.br/pós-graduação/dissertações/2005/jussara_santos.pdf>

¹ Maiores informações e detalhamento são encontradas na dissertação de Mestrado de Rosendo (2005).

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.

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