

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO
DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA
BACIA DO RIO ARAGUARI - MG - UTILIZANDO
DADOS DO SENSOR MODIS**



Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO DO USO DO SOLO
E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO ARAGUARI - MG -
UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Dr. Roberto Rosa.

**Uberlândia – MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2005**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de
Catalogação e Classificação - mg / 07/05

- R813i Rosendo, Jussara dos Santos, 1980-
Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e
cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando
dados do sensor MODIS / Jussara dos Santos Rosendo. -
130f. : il.
Orientador: Roberto Rosa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlân-
dia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.
1. Sistemas de informação geográfica - Teses. 2. Vegetação -
Índices - Teses. 3. Araguari, Rio, Bacia - Teses. I. Rosa, Rober-
to. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 911:681.3(043.3)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO DO USO DO SOLO
E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO ARAGUARI - MG -
UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**

Prof. Dr. Roberto Rosa

Orientador /UFU

Prof. Dr. Edson E. Sano

Prof. Dr. Jorge Luis Silva Brito

Data: ____/____de_____.

Resultado: _____.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o prof. Dr. Roberto Rosa. Mais que um orientador, um amigo, um pai, um conselheiro nos momentos difíceis e acima de tudo um intelectual, que com muita paciência e dedicação me mostrou os caminhos para o desenvolvimento desta pesquisa, sem nunca perder a calma e o carinho!

Ao prof. Dr. Jorge Luís da Silva Brito, por aceitar ser banca em todas as fases do desenvolvimento dessa pesquisa, e principalmente pela confiança ao me indicar ao prof. Dr. Roberto Rosa no momento da seleção do Mestrado. Se não fosse ele, neste momento não estaria aqui, e não teria enfrentado um dos períodos de maior crescimento intelectual e pessoal da minha vida.

A todos os professores do Instituto de Geografia da UFU, em especial, aos professores William Rodrigues Ferreira, Marlene T. de Muno Colesanti, Beatriz Ribeiro Soares, Samuel do Carmo Lima, João Cleps, Denise Labrea Ferreira, Geisa Daise G. Cleps, Luís G. Falcão Vasconcelos, Regina C. Haddad, Sylvio L. Andreozzi, Silvio C. Rodriguez, Adrian A. Melo, além dos companheiros de categoria Ênio Rodovalho dos Santos e Carla R. Brumes, pelo apoio no momento em que fui parte integrante do corpo docente desta universidade.

Ao prof. Dr. Washington Luís Assunção pelas contribuições na defesa de qualificação.

Ao prof. Dr. Edson Eyji Sano, uma referência de profissional competente, por compor a banca examinadora.

Às secretárias do IG/UFU, Lúcia, Janete, Mizmar, Cynara, Dilza e Eleuza, pelo carinho e cuidado com que sempre me receberam.

Aos laboratórios de Cartografia e Climatologia e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Uberlândia, pelos materiais e dados fornecidos.

À Eristelma, pelo material fornecido.

Ao amigo Roberto Castanho, por me agüentar “naqueles dias”, por me ajudar nos momentos de desespero, pela alegria incondicional e por superar as nossas desavenças.

Ao Mesquita, pela dedicação.

Às minhas alunas, companheiras de laboratório e amigas, Carla, Mirna Karla, Aline, Sara e Maria Beatriz, pelos momentos de trabalho e de baladas! E a todos que torceram por mim, nestes dois anos e três meses.

Às companheiras, amigas e irmãs por opção, Claudia, Greice, Luciana Tudisco e Luciana Teixeira, pelas horas de descontração nos momentos de angústia.

Aos colegas de trabalho da Escola Estadual Prof. Dr. João Deoclécio da Silva Ramos, em São José do Rio Preto-SP, pela compreensão.

À minha família, em especial à minha mamãe Lúcia, meu papai José, meus irmãos Sid e Bruno, pela confiança, força e apoio nos momentos decisivos para a realização deste trabalho.

A Deus, meu grande e verdadeiro amigo, sempre presente nos momentos difíceis, sempre disposto a ouvir minhas lamentações sem nunca me abandonar.

*Aos meus pais, meu exemplo
de força, coragem e disposição de viver!*

*"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."*

Martin Luther King

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo principal avaliar o uso efetivo e operacional dos dados MODIS (produto MOD13) por intermédio da utilização e da geração de Índices de Vegetação provenientes das bandas do vermelho e infravermelho próximo para o monitoramento sistemático e contínuo da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo, no bioma Cerrado, mais especificamente na Bacia Hidrográfica 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 km², abrangendo parte de 20 municípios. Para a realização do presente trabalho, foram utilizados os seguintes materiais: produtos cartográficos; imagens digitais dos sensores MODIS/Terra e CCD/CBERS; equipamentos e softwares (Idrisi 32, MRT etc.). A pesquisa foi desenvolvida seguindo os seguintes passos: aquisição dos produtos e processamento das imagens MODIS; geração dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI; elaboração dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal e aplicação do método de detecção de mudanças Imagem Diferença. Com relação aos resultados encontrados, pode-se verificar que os Índices de Vegetação NDVI e SAVI apresentaram resultados muito semelhantes. A partir da elaboração do índice de vegetação do mês de junho, foi possível definir as seguintes categorias de uso do solo e cobertura vegetal: cultura anual (35,8%), pastagem/café/cerrado (55,7%), cultura irrigada (0,5%) mata/reflorestamento (5,6%) e corpos d'água (2,4%). Após efetuar a detecção de mudanças foram definidas as seguintes classes: -100 a -75%, -75 a -50%, -50 a -25%, -25 a 0, 0 a 25%, 25 a 50%, 50 a 75%, 75 a 100%, vale ressaltar que os valores negativos indicam perda de vigor vegetativo, enquanto que os valores positivos indicam ganho. Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a utilização do produto MOD13Q1 a partir da elaboração dos Índices de Vegetação são instrumentos eficazes no monitoramento de áreas com cobertura vegetal (mata/cerrado), sendo possível separá-las de outras categorias (cultura/pastagem), especialmente em áreas de grande propriedade. No entanto, as manchas de vegetação ainda restantes na região, em sua maioria, possuem dimensões inferiores àquelas capazes de serem detectadas pela resolução espacial do sensor MODIS (250 m), o que torna complicada a sua identificação e, conseqüentemente, o seu mapeamento e monitoramento. Todavia, sua maior potencialidade verifica-se em estudos de mudanças climáticas, especialmente no monitoramento do sequestro de carbono, no caso da região, em áreas destinadas à agricultura e à pecuária.

Palavras-chave: sensor MODIS, Índices de Vegetação NDVI e SAVI, uso do solo e cobertura vegetal, Detecção de Mudanças, Bacia Hidrográfica do Rio Araguari – MG.

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the effective and operational use of the MODIS13 product for systematic and continuous monitoring of natural vegetation, land use and land occupation of the Cerrado biome, more specifically, over the hydrographic basin of Araguari river, Minas Gerais. This basin is located in the western part of State of Minas Gerais, over the Triangulo Mineiro and Alto Parnaíba mesoregions, between 18° 20' and 20° 10' south latitude and 46° 00' and 48° 50' west longitude, occupies an area of 20,186 km² and covers part of 20 municipalities. This work was conducted through the use of following materials: cartographic products; digital satellite images from MODIS/Terra and CCD/CBERS; varying equipments and softwares (Idrisi 32, MRT, etc.). The study was developed based on the following steps: acquisition of MODIS products and their processing; obtaining of NDVI and SAVI vegetation indices; preparation of land use and land cover maps; and applying change detection method using image difference. It was verified that the NDVI and SAVI presented very similar results. The vegetation index from June showed the following categories of land use and land cover: annual crops (35.8%); pasture/coffee/Cerrado (55.7%); irrigated crops (0.5%); forest/reforestation (5.6%); and water bodies (2.4%). The following classes were obtained after the change detection procedure: -100 to -75%; -75 to -50%; -50 to -25%; -25 to 0; 0 to 25%; 25 to 50%; 50 to 75%; and 75 to 100%. Negative values indicate loss of vegetative vigor while positive values indicate gain. According to these results, we can conclude that the use of MOD13Q1 product, followed by the development of vegetation indices, is an efficient instrument for monitoring areas with natural vegetation cover (Forest/Cerrado) and other land use classes (crop/pasture), especially if the areas are extensive. In the study area, the land use and land cover classes occur in small fragments, making their identification in the 250-m spatial resolution MODIS data a challenging task. However, the high temporal resolution of MODIS sensor presents an interesting potential in the regional climate change studies, especially in the monitoring of carbon absorption from agriculture and pasture.

Keywords: MODIS sensor; NDVI; SAVI; land use; change detection; basin of Araguari river.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Municípios Pertencentes à Bacia do Rio Araguari- MG.....	10
FIGURA 2 - Limite da Bacia do Rio Araguari-MG.....	11
FIGURA 3 - Mapa de solos da Bacia do Rio Araguari.....	15
FIGURA 4 - Mapa de declividade da Bacia do Rio Araguari.....	15
FIGURA 5 - Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Araguari.....	16
FIGURA 6 - Corte Transversal de uma folha.....	25
FIGURA 7 - Curva da reflectância típica de uma folha verde.....	26
FIGURA 8 - Reflectância de uma folha normal e outra infiltrada com água.....	29
FIGURA 9 - Efeito do conteúdo de umidade na reflectância das folhas.....	30
FIGURA 10 - Efeito da posição do elemento de resolução no terreno sobre os registros de radiância de uma cultura.....	31
FIGURA 11 - Sistema de referência dos dados MODIS. Em destaque o <i>tile</i> de referência horizontal 12, e vertical 09.....	51
FIGURA 12 - Produto “pronto” NDVI.....	58
FIGURA 13 - Produto “pronto” EVI.....	58
FIGURA 14 - Produto NDVI <i>Quality</i>	58
FIGURA 15 - Produto EVI <i>Quality</i>	58
FIGURA 16 - Banda RED.....	58
FIGURA 17 - Banda NIR.....	58
FIGURA 18 - Banda MIR.....	58
FIGURA 19 - Ângulo de visada.....	58
FIGURA 20 - Ângulo zenital solar.....	59
FIGURA 21- Azimute.....	59
FIGURA 22 - Composição Colorida RGB (Red, NIR, Blue).....	66
FIGURA 23 – Índice de Vegetação NDVI (Dez/2003 e Jan/2004).....	67
FIGURA 24 – Índice de Vegetação SAVI (Dez/2003 e Jan/2004).....	67
FIGURA 25 – Índice de Vegetação NDVI (Fev/2004).....	68
FIGURA 26 – Índice de Vegetação SAVI (Fev/2004).....	68
FIGURA 27 – Índice de Vegetação NDVI (Mar/2004).....	69
FIGURA 28 – Índice de Vegetação SAVI (Mar/2004).....	69
FIGURA 29 – Índice de Vegetação NDVI (Abr/2004).....	70

FIGURA 30 – Índice de Vegetação SAVI (Abr/2004).....	70
FIGURA 31 – Índice de Vegetação NDVI (Maio/2004).....	71
FIGURA 32 – Índice de Vegetação SAVI (Maio/2004).....	71
FIGURA 33 – Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003).....	72
FIGURA 34 – Índice de Vegetação SAVI (Jun/2003).....	72
FIGURA 35 – Índice de Vegetação NDVI (Jul/2003).....	73
FIGURA 36 – Índice de Vegetação SAVI (Jul/2003).....	73
FIGURA 37 – Índice de Vegetação NDVI (Ago/2003).....	74
FIGURA 38 – Índice de Vegetação SAVI (Ago/2003).....	74
FIGURA 39 – Índice de Vegetação NDVI (Set/2003).....	75
FIGURA 40 – Índice de Vegetação SAVI (Set/2003).....	75
FIGURA 41 – Índice de Vegetação NDVI (Out/2003).....	76
FIGURA 42 – Índice de Vegetação SAVI (Out/2003).....	76
FIGURA 43 – Índice de Vegetação NDVI (Nov/2003).....	77
FIGURA 44 – Índice de Vegetação SAVI (Nov/2003).....	77
FIGURA 45 – Índice de Vegetação NDVI (Dez/2003).....	78
FIGURA 46 – Índice de Vegetação SAVI (Dez/2003).....	78
FIGURA 47- Amostra de reflorestamento na imagem CBERS (resolução espacial de 20 m)	81
FIGURA 48 - Amostra de reflorestamento na imagem Índice de Vegetação NDVI MODIS(resolução espacial de 250 m).....	82
FIGURA 49 - Reflorestamento – Pynus.....	82
FIGURA 50 - Amostra de corpos d' água na imagem CBERS (resolução espacial de 20 m)	83
FIGURA 51 - Amostra de corpos d' água em imagem Índice de Vegetação NDVI MODIS (resolução espacial de 250 m).....	83
FIGURA 52 - Comparação do Índice de Vegetação NDVI de março (2004) e julho (2003)..	85
FIGURA 53 - Índice de vegetação NDVI (mar/2004) mata (1) e cultura (2).....	86
FIGURA 54 - Índice de vegetação NDVI (jul/2003) mata (1) e cultura (2).....	86
FIGURA 55 – Mata.....	86
FIGURA 56 - Culturas Anuais (Soja – lado esquerdo; Milho – lado direito).....	87
FIGURA 57 - Polígono representando pastagem no índice de vegetação NDVI (mar/2004)..	88
FIGURA 58 - Polígono representando pastagem no índice de vegetação NDVI (jul/2003)...	88
FIGURA 59 – Pastagem.....	88
FIGURA 60 - Polígono representando café no índice de vegetação NDVI (mar/2004).....	89

FIGURA 61 Polígono representando café no índice de vegetação NDVI (jul/2003).....	89
FIGURA 62 - Cultura Anual – Café.....	89
FIGURA 63 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV NDVI (mar/2004).....	90
FIGURA 64 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV SAVI (mar/2004).....	90
FIGURA 65 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV NDVI (jul/2003).....	90
FIGURA 66 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV NDVI (jul/2003).....	90
FIGURA 67 - Cultura Anual Irrigada – Milho.....	91
FIGURA 68 - Corpos d' Água (Represa de Nova Ponte).....	91
FIGURA 69 - Valores dos números digitais para Índice de Vegetação NDVI.....	93
FIGURA 70 - Valores dos números digitais para Índice de Vegetação SAVI.....	94
FIGURA 71 – Mapa de uso do solo e cobertura vegetal (jun/2003).....	96
FIGURA 72 - Somatória cumulativa do índice de vegetação NDVI.....	96
FIGURA 73 - Somatória cumulativa do índice de vegetação SAVI.....	97
FIGURA 74 – Somatória Mensal do Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003 a Mai/2004).....	97
FIGURA 75 – Uso do solo e Cobertura Vegetal a partir da Somatória do Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003 a Mai/2004).....	98
FIGURA 76 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).....	99
FIGURA 77 – somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).....	100
FIGURA 78 – Índice de Vegetação representando a somatória do Período Chuvoso.....	101
FIGURA 79 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).....	102
FIGURA 80 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).....	102
FIGURA 81 – Índice de Vegetação representando a somatória do Período Seco.....	103
FIGURA 82 – Percentual de Detecção de Mudanças – NDVI (Fev – Out).....	105
FIGURA 83 – Polígonos representando cultura irrigada e corpos d' água.....	107
FIGURA 84 – Polígono representando reflorestamento.....	107

FIGURA 85–Polígonos representando áreas de mata (0 a 25 %) e cultura anual (25 a 50 %)	108
FIGURA 86 – Polígono representando áreas ocupadas por pastagem.....	109
FIGURA 87 – Polígono representando áreas ocupadas por pastagem.....	109
FIGURA 88 – Percentual de Detecção de Mudanças SAVI (Fev – Out).....	110
FIGURA 89 – Uso do Solo e Cobertura Vegetal (Agricultura e Vegetação Natural/Reflorestamento).....	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Dados pluviométricos de alguns municípios da Bacia do Rio Araguari.	79
TABELA 2 - Valores dos números digitais para NDVI.....	92
TABELA 3 - Valores dos números digitais para SAVI.....	94
TABELA 4 - Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/2004 a 19/09/2003).....	99
TABELA 5 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).....	100
TABELA 6 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).....	101
TABELA 7 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).....	102
TABELA 8 - Categorias de Uso do Solo e cobertura vegetal a partir do NDVI do mês de junho.....	104
TABELA 9 – Percentual de Detecção de Mudanças a partir do NDVI (Fev – Out)....	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Araguari.....	11
QUADRO 2 - Quadro de correlação das características ambientais dos compartimentos morfoesculturais da Bacia do Rio Araguari.....	13
QUADRO 3 - Classe de solos da Bacia do Rio Araguari.....	14
QUADRO 4 – Aplicações, medidas e instrumentos do satélite Terra EOS – AM.....	48
QUADRO 5 - Descrição das 36 Bandas do sensor MODIS.....	49
QUADRO 6 - Bandas MODIS para aplicações terrestres comparadas àquelas dos sensores NOAA/AVHRR e ETM+/Landsat (intervalos espectrais em μm).....	50
QUADRO 7 - Produtos do sensor MODIS.....	53

LISTA DE SIGLAS

AIRS - Atmospheric Infrared Souders
AMSR - Advanced Microwave Radiometer
AMSU - Advanced Microwave Souding Unit
ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer
CCD – Câmera de alta resolução
CEBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais
CERES – Clouds And The Earth's Radiant Energy System
CO₂ – Gás Carbônico
CTVI – Corrected Transformed Vegetation Index
DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército
DVI – Difference Vegetation Index
EOS – Earth Observing System
ETM – Enhanced Thematic Mapper
EVI – Enhanced Vegetation Index
FPAR - Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa
GPS – Global Position Systems
HDF - Hierarchical Data Format
HSB - Humidity Souders for Brazil
IAF – Índice de área foliar
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IR – MSS – Câmera de varredura no infravermelho
IV – Índices de Vegetação
LAI - Leaf Area Index
LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite
LST - Land Surface Temperature
MISR - Multiangle Imaging Spectroradiometer
MOD13 – MODIS Vegetation Indices
MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MOPPIT - Measurements of Pollution in the Troposphere

MSAVI – Modified Soil Adjusted Vegetation Index

NASA – National Aerospace and Space Administration

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NIR – Near Infra Red

NRVI – Normalized Ratio Vegetation Index

PRODECER – Programa Nipo – Brasileiro de Desenvolvimento Agrícola da região dos Cerrados

PVI – Perpendicular Vegetation Index

QA - Quality Assurance

RATIO – Ratio Vegetation Index

REM – Radiação Eletromagnética

RFA – Radiação Fisiologicamente Ativa

RVI – Ratio Vegetation Index

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index

SPOT – Satellite pour l'Observation de la Terre

TSAVI – Transformed Soil Adjusted Vegetation Index

TTVI – Thiam's transformed vegetation index

TVI – Transformed Vegetation Index

WDVI – Weighted Difference Vegetation Index

WFI – Imageador de largo campo de visada

LISTA DE ANEXOS

Anexo 01 - Como obter imagens MODIS.....	123
Anexo 02 - Procedimentos necessários para abrir os arquivos MODIS.....	131

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE QUADROS.....	xiv
LISTA DE SIGLAS.....	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1- Justificativa.....	4
1.2- Objetivos da Pesquisa.....	8
1.2.1- Objetivo geral.....	8
1.2.2- Objetivos específicos.....	9
1.3 - Localização e caracterização da área de estudos.....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. – Princípios Físicos em Sensoriamento Remoto.....	19
2.2- Comportamento Espectral da Vegetação.....	21
2.2.1 - As Folhas.....	23
2.2.2 - Região do Visível.....	27
2.2.3 - Região do Infravermelho Próximo.....	27
2.2.4 - Região do Infravermelho Médio.....	29
2.2.5 - Fatores que Interferem no Comportamento Espectral da Vegetação.....	30
2.3 – Índices de Vegetação.....	33
2.4 – Satélites TERRA e AQUA.....	45
2.4.1 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)......	47
2.4.2 - Produto MOD13.....	55
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	60
3.1 – Materiais.....	60
3.1.1 - Documentos cartográficos.....	60
3.1.2 – Equipamentos.....	61
3.1.3 – Softwares.....	61

3.2 – Procedimentos Operacionais.....	62
3.2.1 - Aquisição dos produtos e manipulação das imagens.....	62
3.2.2 - Geração dos Índices de Vegetação e elaboração dos mapas de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal.....	63
3.2.3 - Aplicação do método de detecção de mudanças Imagem Diferença.....	63
 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 65
4.1 – Composição Colorida MODIS.....	65
4.2 – Índices de Vegetação NDVI e SAVI.....	66
4.3 – Uso do Solo e Cobertura Vegetal a partir de dados MODIS.....	92
4.4 – Detecção de Mudanças.....	104
 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 113
 6. REFERENCIAS.....	 116
 ANEXOS.....	 122

1 – INTRODUÇÃO

A utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais tem 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 consequência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, fato comprovado quando comparados a tradicionais métodos fotogramétricos e topográficos (como a utilização de fotografias aéreas): citamos, 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, podemos 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, objeto de estudo desta pesquisa, 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.

As mudanças climáticas globais, em decorrência da ação humana na superfície terrestre, têm provocado inúmeras discussões acerca das conseqüências negativas dessas atividades. Estudos vêm mostrando a ocorrência do aumento na concentração de gases originados por fontes antrópicas na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), o óxido de nitrogênio (NO_2) e o ozônio (O_3). Acredita-se que o acréscimo desses gases esteja promovendo o aquecimento adicional da superfície terrestre. Somente a partir da década de 1970 a questão ambiental passou a ter maior atenção das instituições governamentais, justamente quando o Cerrado brasileiro é alvo de ocupação, cooptado pelos incentivos estatais à agricultura, de uma ocupação baseada na degradação dos recursos naturais. Essa degradação é dada notadamente a partir da retirada indiscriminada da vegetação natural, levando em consideração as áreas de chapada, que são propícias para agropecuária.

A agricultura é uma atividade altamente dependente dos fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas, além de fatores sociais, econômicos e políticos (LIMA, CABRAL e MIGUEZ, 2001). Além de ser uma das atividades que mais pode influenciar nas alterações de CO_2 , em virtude da substituição de áreas de vegetação nativa por áreas agricultáveis, ao passo que essas áreas de vegetação nativa possuem elevado potencial de sequestro de carbono, sendo capazes de minimizar os efeitos causados pelo lançamento de gases poluentes na atmosfera. Dessa forma, o constante monitoramento das áreas ainda cobertas por vegetação é de fundamental relevância.

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.

A pesquisa foi desenvolvida tendo como apoio metodológico os produtos cartográficos (base digital elaborada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia), produtos de sensoriamento remoto como imagens digitais (MODIS/Terra, CCD/CBERS) e analógicas, bem como apoio de Sistema de Informações Geográficas. Tais produtos, em conjunto, permitiram o armazenamento, o tratamento das informações e, ainda, o resgate das informações para as respectivas análises. O sensor MODIS possibilita a elaboração de mapeamentos em escalas menores a 1:500.000.

A Detecção de Mudanças no estado da cobertura vegetal se dá por meio de métodos que utilizam a Diferença desses Índices de Vegetação a partir de duas datas diferentes; dessa forma, é possível identificar as áreas que sofreram alterações antrópicas, como o desmatamento de áreas de vegetação nativa para áreas de agricultura.

A pesquisa foi estruturada de forma que o capítulo 1, além da Introdução, apresente sub-capítulos que enfocam a justificativa da presente pesquisa, que se dá em virtude da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari apresentar importância significativa na produção agropecuária na Mesorregião do Triângulo Mineiro. Apresenta, igualmente, os objetivos gerais e específicos, a localização e a caracterização da área de estudo.

Na Fundamentação Teórica (capítulo 2), apresenta-se uma breve referência aos princípios físicos em sensoriamento remoto, com o propósito de que o leitor possa entender alguns dos principais conceitos de sensoriamento remoto quanto ao comportamento espectral da

vegetação e das folhas, condizente ao longo do espectro visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, bem como no que diz respeito aos fatores que interferem no comportamento espectral da vegetal. Ainda no capítulo 2 é de extrema importância o sub-capítulo 2.3, que trata especificamente dos Índices de Vegetação, apresentando considerações acerca dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI utilizados na pesquisa, e também outros índices dentre os mais utilizados na literatura.

O capítulo 3 apresenta os procedimentos para o desenvolvimento da pesquisa, contemplando os materiais utilizados, como: documentos cartográficos (folhas topográficas IBGE, base cartográfica em meio digital, imagens do sensor MODIS para o período de um ano, imagens CCD/CBERS); equipamentos e softwares (Idrisi 32, MRT etc.). Consta, também, os procedimentos operacionais necessários à aquisição dos produtos e manipulação das imagens, geração dos Índices de Vegetação e elaboração dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal, bem como a aplicação do método de detecção de mudanças Imagem Diferença.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa, alcançados mediante a elaboração da Composição Colorida, os Mapas Índice de Vegetação mensal NDVI e SAVI, Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal elaborados a partir dos Índices de Vegetação, a Detecção de Mudanças a partir da diferença dos Índices de Vegetação (fevereiro e outubro), bem como o percentual ocupado por cada categoria de uso do solo e cobertura vegetal e percentual de mudanças.

Nos Anexos, é possível acessar informações sobre quais são os passos necessários para obter os produtos MODIS, a exemplo de efetuar o cadastro, escolher os produtos, realizar o *download* e converter os produtos para o formato compatível com o *software* de geoprocessamento.

1.1 – Justificativa

A ação humana na superfície terrestre tem sido foco da discussão das autoridades em nível nacional e internacional acerca das mudanças ambientais que pode ocasionar. As preocupações e os estudos sobre as mudanças climáticas constituem exemplos claros de entendimento do processo interativo dos sistemas, especificamente os sistemas da atmosfera e

da superfície terrestre, e ainda do impacto ambiental provocado a partir da intervenção do homem sobre a dinâmica natural do sistema atmosférico (LUÍS, 1998).

É possível haver mudanças climáticas a partir do impacto ambiental em consequência das atividades antrópicas. Dentre essas consequências, estão as que afetam o sistema planetário de maneira global, como o aquecimento global e o efeito estufa. O aumento da poluição atmosférica, criando o chamado “efeito estufa”, que é a elevação da temperatura da atmosfera terrestre, se tornou no objeto de preocupações mundiais e foi item destacado na Conferência de Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio em 1992.

As controvérsias sobre a comprovação científica de que as variações e mudanças climáticas recentes são causadas pela ação humana, podendo ser resultantes de causas naturais, não reduzem a gravidade e as ameaças consequentes da crescente poluição atmosférica.

A importância dada às alterações na concentração de dióxido de carbono se dá pelo gás carbônico (CO₂) ser produzido antropicamente, por intermédio da queima de combustíveis fósseis, das atividades industriais e, por fim, das queimadas e desmatamentos da cobertura vegetal:

Entre as atividades antrópicas, a agricultura, pode ser considerada uma das atividades que mais pode influenciar na concentração de CO₂ atmosférico. Pois exige para a sua prática, a total retirada da cobertura vegetal natural, que muitas vezes ocorre a partir do desmatamento seletivo, seguido de queimada de extensas áreas recobertas pela cobertura vegetal natural (LUÍS, 1998, p. 31).

Mesmo a agricultura sendo considerada uma grande “vilã” na questão acerca das queimadas, no sentido das mesmas aumentarem as concentrações de carbono na atmosfera, não é permissível pensar em extinguir o modelo vigente de produção agrícola, levando em consideração que cerca de 127 mil nascimentos acontecem por dia em todo planeta (RESCK, 2001), dessa forma é preciso pensar em modelos que evitem, ou pelo menos minimizem os impactos causados pela agricultura.

Desse modo, pesquisas recentes mostram que a agricultura praticada em condições de manejo adequadas, tem promovido o sequestro de carbono. Como é o caso de observações já feitas para o sistema de plantio direto (ASSAD e ASSAD, 2001 apud CARUSO, 1997):

O manejo correto da cultura da *cana de açúcar* sem promoção de queimadas, tem efeito altamente positivo no balanço anual de carbono (MONTEIRO, 1995). Ou seja, tudo indica que uma agricultura bem

planejada, explorada nos locais certos, com manejos corretos pode ser benéfica para redução dos impactos conseqüentes do aumento da concentração de carbono na atmosfera (ASSAD e ASSAD, 2001, p. 275).

Além das áreas de agricultura, o sistema Savânico é considerado uma importante fonte sequestradora de CO₂ atmosférico (MONTEIRO, 1995 apud LUÍS, 1998 p. 32). Considerando-se que o Cerrado pertence ao ambiente savânico, ainda de acordo com o autor citado, pode-se afirmar que o mesmo é altamente potencializador do sequestro de carbono, pois há possibilidade de o Cerrado ser responsável pela absorção de 0,9 Gt C/ano.

De acordo com Assad e Assad (2001, p. 280),

...pode-se estimar que o armazenamento do carbono está em torno de 334 milhões de toneladas/ano, assim distribuídas: 314 milhões referentes à vegetação natural (aqui considerada cerrado *strictu sensu*); 17 milhões referentes às pastagens (não se consideram os diversos níveis de degradação em que se encontram) e 3,6 milhões referentes às culturas anuais e perenes. Estes números prospectivos estão relacionados com uma produção anual de 50 milhões de toneladas de alimentos (grãos, carne, fibras, etc). para “fechar” o balanço do carbono, é importante quantificar as emissões que ocorrem na região por meio de queimadas, de queima de combustíveis fósseis, etc.

De acordo com os dados citos anteriormente mesmo as áreas ocupadas por pastagem, além das culturas anuais e perenes contribuírem de forma significativa para o sequestro de carbono, as áreas ocupadas por Cerrado contribuem com grande parte das absorções. Assim, além de melhorar o manejo das áreas agricultáveis e das pastagens é necessário um monitoramento das áreas ainda cobertas por vegetação natural.

Com base nesses dados, a utilização de tecnologias que visam ao monitoramento global da superfície terrestre tem alcançado cada vez maior destaque nas pesquisas científicas. Com o propósito de investigação de mudanças climáticas globais, são lançados os satélites TERRA e AQUA, que apresentam, em suas configurações gerais, vários instrumentos capazes de identificar mudanças na superfície terrestre, como o sensor MODIS, por exemplo, que apresenta o produto MOD13Q1, responsável por avaliar mudanças globais relacionadas à vegetação.

Em virtude da prática da agropecuária muito contribuir para o caráter de desflorestamento da vegetação, sobretudo quando as condições do solo se remetem às práticas do cultivo em escala comercial, é necessário um maior acompanhamento dessas atividades agrícolas até mesmo para conhecimento das conseqüências que esse desflorestamento pode ocasionar seja em escala local ou em adição às modificações climáticas globais. Por conseguinte, extensas áreas originalmente cobertas por Cerrado vêm sendo substituídas por pastagens e diferentes tipos de cultivo.

O estudo do uso e ocupação do solo e suas relações com ecossistemas naturais permitem a realização de diagnóstico ambiental de uma bacia hidrográfica. Assim, a implantação do processo de monitoramento ambiental por meio de um Sistema de Informação Geográfica é capaz de dar suporte às análises interativas envolvendo variáveis bióticas, físicas e sócio-econômicas nas relações de ocupação do solo em áreas de Cerrado.

A opção de analisar a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaari se deu em virtude da importância econômica da mesma na criação de gado e na produção de grãos, tornando a região do Triângulo Mineiro em um entreposto comercial na distribuição de produtos agropecuários e industrializados (ROSA et al., 2004).

As imagens fornecidas por satélites convencionais, como os da série Landsat, oferecem melhores resoluções espacial e espectral. Contudo, a acentuada dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação da terra em áreas de Cerrado demanda por análises mais rápidas, simplificadas e freqüentes, as quais, de certa forma, são incompatíveis com a resolução temporal dos satélites Landsat (16 dias), custo de aquisição das imagens e a necessidade de procedimentos metodológicos elaborados para a interpretação destas. Deve-se, ainda, ressaltar a contaminação freqüente dos dados Landsat por nuvens e fumaça nas épocas chuvosas e secas, respectivamente.

O sensor *Moderate Resolution Spectroradiometer* (MODIS) contrapõe-se a essas características. Foi lançado em 1999, a bordo da plataforma TERRA e, posteriormente, a bordo da plataforma AQUA (2002). Este sensor, configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre, opera com 36 bandas espectrais, das quais 7 são semelhantes às do sensor ETM+, fornecendo um recobrimento global e contínuo a cada dois dias, com resoluções espaciais variando de 250 a 1000 m.

A justificativa de utilizar o sensor MODIS, se dá, além das características descritas acima, pelo fato dos dados já serem corrigidos para efeito atmosférico (nuvens, aerossóis etc.), georreferenciados e distribuídos gratuitamente na forma de diferentes produtos, entre os quais destacam-se índices de vegetação prontos (NDVI e o EVI), produzidos a cada 16 dias com resoluções de 250, 500 e 1000 m. Ou diferentes bandas individuais, que podem ser combinadas dependendo do *software* utilizado.

A constante atualização dos diferentes tipos de uso da bacia do Rio Araguari é de extrema relevância, tendo em vista que a mesma apresenta importância no contexto regional e nacional por intermédio da produção de grãos e da pecuária. No entanto, o monitoramento ambiental da vegetação, em nível regional, só é possível por técnicas de sensoriamento remoto. Nessa perspectiva, os Índices de Vegetação gerados a partir dos produtos MODIS são um forte aliado na caracterização do uso do solo da bacia e da cobertura vegetal existente, possibilitando um recobrimento quase total da extensa área em que está inserida a referida bacia em uma única cena.

Existe uma variedade de índices de vegetação; no entanto, este estudo pretende gerar os índices, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI).

1.2 – Objetivos da pesquisa

1.2.1 – Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso efetivo e operacional dos dados MODIS (produto MOD13), por meio da utilização e geração de Índices de Vegetação provenientes das bandas do vermelho e infravermelho próximo para o monitoramento sistemático e contínuo da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo, no bioma Cerrado, mais especificamente na Bacia Hidrográfica do rio Araguari – MG.

1.2.2 - Objetivos específicos

- ♦ Gerar os Índices de Vegetação NDVI e SAVI mensalmente, durante o período de junho de 2003 a maio de 2004 a partir do produto MOD13 (reflectância das bandas do vermelho e infravermelho próximos).
- ♦ Avaliar a variação temporal dos diferentes Índices de Vegetação, na Bacia do rio Araguari.
- ♦ Elaborar mapas de uso do solo e cobertura vegetal, a partir dos dados MODIS.
- ♦ Avaliar a área ocupada por cada categoria de uso do solo e cobertura vegetal na bacia.
- ♦ Comparar o potencial dos diferentes Índices de Vegetação, para a detecção de mudanças na cobertura vegetal.
- ♦ Avaliar os produtos e dados MODIS quanto aos aspectos operacionais, de obtenção e de processamento.

1.3 - Localização e caracterização da área de estudos

A área escolhida para ser objeto de estudos da pesquisa é a bacia do Rio Araguari, localizada na Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais, 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.

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 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 (Cf. 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 (Cf. FIGURA 2).

Baccaro et al., (2004) identificaram, nas Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Araguari (Cf. QUADRO 1), cinco grandes compartimentos como Unidades Morfoestruturais: Complexo Granítico – Gnáissico, Bacia Sedimentar do Paraná, Faixa de Dobramento, intrusões Dômicas e Bacia Sedimentar Cenozóica. Além de doze Unidades Morfoesculturais: Planalto Dissecado do Paranaíba, Planalto Tabular, Planalto Dissecado, Canyon do Araguari, Serra da Canastra, Planalto dos Residuais (Faixa Brasília), Planalto Dissecado (Faixa Brasília), Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu), Domo de Tapira, Domo de Serra Negra e Salitre, Planícies Fluviais e Veredas¹.

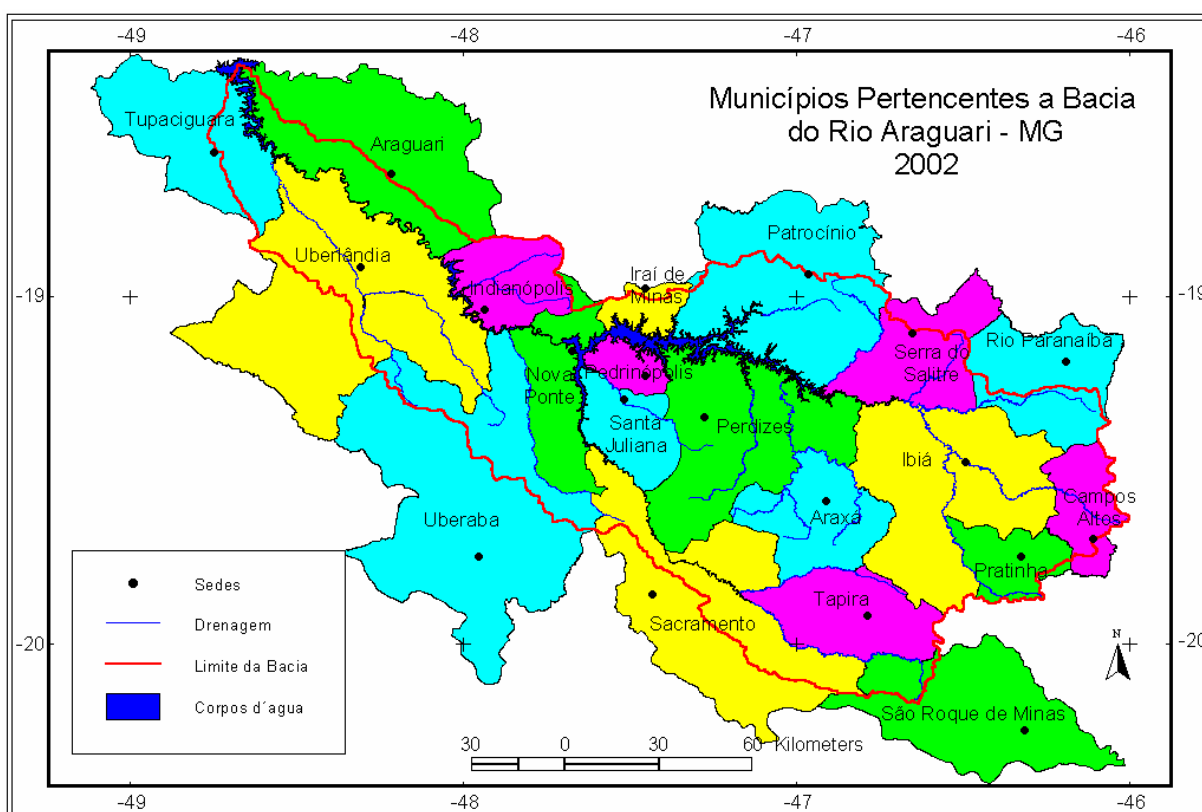


FIGURA 1 - Municípios Pertencentes à Bacia do Rio Araguari-MG

FONTE: ROSA et al., (2004).

Para Rodrigues et al., (2004), as formas de relevo existentes na Bacia do Rio Araguari apresentam uma grande complexidade lito-estrutural e escultural, refletindo sobre o arranjo das paisagens e interferindo, dessa maneira, no processo de ocupação, no QUADRO 2, elaborado pelo cito autor, é apresentada uma correlação das características ambientais dos comportamentos morfoesculturais da Bacia do Rio Araguari.

¹ Para maiores informações e detalhes consultar Baccaro et al. (2004, p. 6 – 16)

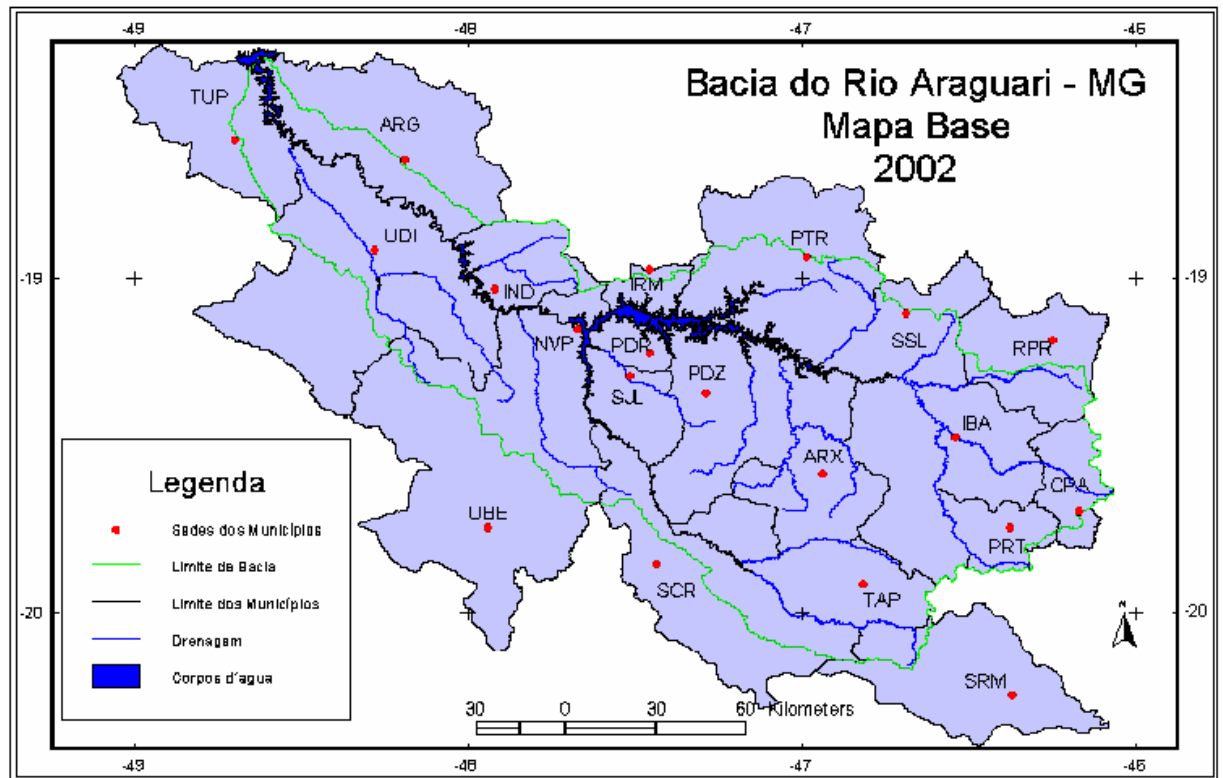


FIGURA 2 – Limite da Bacia do Rio Araguari-MG

FONTE: ROSA et al., (2004).

QUADRO 1: Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Araguari

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural
Complexo Granítico- Gnaissico	Planalto Dissecado do Paranaíba
Complexo Granítico- Gnaissico	Planalto Tabular Planalto dissecado Canyon do Araguari
Faixa de Dobramento	Serra da Canastra Planaltos Residuais (Faixa Brasília) Planalto Dissecado (Faixa Brasília) Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu)
Intrusões Dômicas	Tapira Serra Negra e Salitre
Bacia Sedimentar Cenozóica	Planícies Fluviais Veredas

FONTE: Baccaro et al., (2004)

Nishiyama e Baccaro (1989), com relação à morfologia da Bacia do Rio Araguari, classificam-na em vastas superfícies aplainadas, cortando rochas cristalinas e sedimentares, constituindo os extensos planaltos tabulares, com topos aplainados e, geralmente, limitados por escarpas erosivas resultantes da erosão diferencial entre as formações Marília e Adamantina ou mantidas pelos derrames basálticos.

O clima confunde-se com o do Centro-Oeste e grande parte do sudeste do Brasil (ROSA et al., 2004), e apresenta estações climáticas bem definidas, uma seca, que abrange os meses de abril a setembro, e outra úmida, de outubro a março. Lima et al., (2004) destacaram a pluviometria anual com irregularidade considerável, variando de 800 a 2.000 mm, com uma média variando entre 1.200 a 1.500 mm/ano. Essa condição climática favorece alto potencial agrícola para a Bacia do Rio Araguari, levando em conta o período de crescimento que necessitam as culturas para obterem pleno desenvolvimento (período seco e período chuvoso).

O comportamento do clima, ao longo do ano, depende da dinâmica dos sistemas de circulação atmosférica que atuam nos diferentes períodos do ano. A estabilidade do ar, que se observa entre os meses de maio a setembro, é derivada da instalação da Massa de Ar Polar, que se tropicaliza e se estabiliza sobre o planalto Central Brasileiro, impedindo o fluxo de umidade proveniente da Amazônia. É nesse período que, além de seco, o ar torna-se mais frio, particularmente nas madrugadas, embora durante o dia a insolação seja quase que permanente:

Nos meses de outubro/novembro observa-se o enfraquecimento dos sistemas de circulação associados a Massa Polar e a instalação de sistemas tropicais, de baixa pressão, portanto instáveis, que atraem a umidade da Amazônia para o Centro Sul do Brasil. Esse fato determina o início do período chuvoso. Essa estação é mais agradável, do ponto de vista térmico, porém apresenta dias com elevada nebulosidade, alternando-se horas de insolação com pancadas de chuva (ROSA et al., 2004, p. 80).

Para Baccaro et al., (2004), os rios e córregos da região são encachoeirados e apresentam várias corredeiras, ao passo que, próximo ao Vale do Araguari, a paisagem possui relevo fortemente ondulado, com altitude de 800 a 1000 m e declividades suaves, em torno de 30%, enquanto que nas vertentes mais abruptas pode-se observar a presença de mata mesofítica.

O QUADRO 3 apresenta uma adaptação dos quadros elaborados por Rosa et al., (2004), contendo as classes dos solos e a descrição da legenda dos solos da Bacia do Rio Araguari. Em seguida, o mapa de solos (Cf. FIGURA 3), faz uma boa relação do quadro 3, permitindo

ao leitor visualizar as classes de solos e a porção ocupada pelas mesmas em toda a área da Bacia do Rio Araguari.

QUADRO 2 – Quadro de correlação das características ambientais dos compartimentos morfoesculturais da Bacia do Rio Araguari.

Compartimento de Relevo	Segmento de Relevo	Características das Vertentes	Tipo de Solo	Condicionantes de Uso do Solo
Planalto Dissecado Complexo Granítico Gnáissico)	Superfície de Aplanamento	Predomínio de Vertentes convexas e declividades inferiores a 20 %	Podzólico Vermelho Amarelo, Cambissolos	Pastagem, Agricultura Temporária
Canyon do Araguari	Patamares	Segmentos Convexos com declividades inferiores a 10%	Terra Roxa Estruturada, com textura Argilosa e com Microestrutura	Predomínio de Pastagem Plantada
Canyon do Araguari	Vales fortemente Entalhados	Predomínio de Vertentes Côncavas e retilíneas organizadas em anfiteatros erosivos	Cambissolos, Litossolos	Floresta Mesofítica e Pastagens
Planalto Tabular Dissecado	Interflúvios Tabulares	Predomínio de superfícies horizontais a suavemente inclinadas	Latossolo Vermelho Escuro	Culturas Temoprárias (milho e soja), Pastagem, Campos Úmidos
Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu)	Superfície de Aplanamento	Interflúvios e Colinas Amplas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Agricultura Temporária (milho), Agricultura Permanente (café), Pastagem
Planalto Residual (Faixa Brasília)	Sistema de Dissecação Fluvial	Cristas e Morros	Cambissolos, Litólicos, Afloramentos Rochosos	Agricultura Temporária (milho), Agricultura Permanente (café), Pastagem
Planalto Dissecado (Faixa Brasília)	Sistema de Dissecação Fluvial	Colinas Médias e Pequenas. Serras Localizadas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Pastagem, Agricultura Temporária
Serra da Canastra	Superfície Cimeira	Interflúvios Tabulares e Patamares	Latossolos, Cmbissolos, Litólicos e Afloramentos Rochosos	Campo Cerrado, Campo Rupestre, Cerrado e Silvicultura
Intrusões Dômicas	Superfícies Arqueadas e Aplanadas	Colinas Amplas e Serras Localizadas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Agricultura Temporária, Agricultura Permanente, Pastagem e Cerrado

FONTE: Baccaro et al., (2004).

QUADRO 3 – Classe de solos da Bacia do Rio Araguari.

Simbolo	Descrição da legenda dos solos	Área Ocupada (Km2)	Área Ocupada (%)
Latossolo Vermelho Amarelo			
LVAw	Latossolo Vermelho -Amarelo Ácrico + Latossolo Vermelho - Ambos Textura Argilosa (fase cerrado)	5.016	22.61
LVAd	Latossolo Vermelho -Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho Escuro Distrófico + Cambissolo Háplico Tb Distrófico	5.857	26.40
Latossolo Vermelho			
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (ambos textura mádia) +Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	1.015	4.58
LVdf	Latossolo Vermelho Distroférico + Latossolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Nitossolo Vermelho Eutrófico + Cambissolo Háplico Eutrófico	1.112	5.01
Nitossolo Vermelho			
Nvef	Nitossolo Vermelho Eutrófico + Latossolo Vermelho Eutroférico e Distrófico + Cambissolo Háplico Férrico	1.414	6.37
Argissolo Vermelho Amarelo			
PVAe	Argissolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Cambissolo Háplico Tb. Eutrófico	812	3.66
Cambissolo			
CXd1	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico	748	3.37
CXd2	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico	3.114	14.03
CXd3	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico +Neossolo Litólico Distrófico	1.858	8.37
Gleissolo			
Gxbe	Gleissolo Háplico Tb.	796	3.58
Neossolo			
RLd	Neossolo Litólico Distrófico + Afloramento Rochoo+ Cambissolo Háplico Tb. Distrófico	443	2.00
Total		22.185	100

FONTE: Adaptado de Rosa et al., (2004, p. 78).

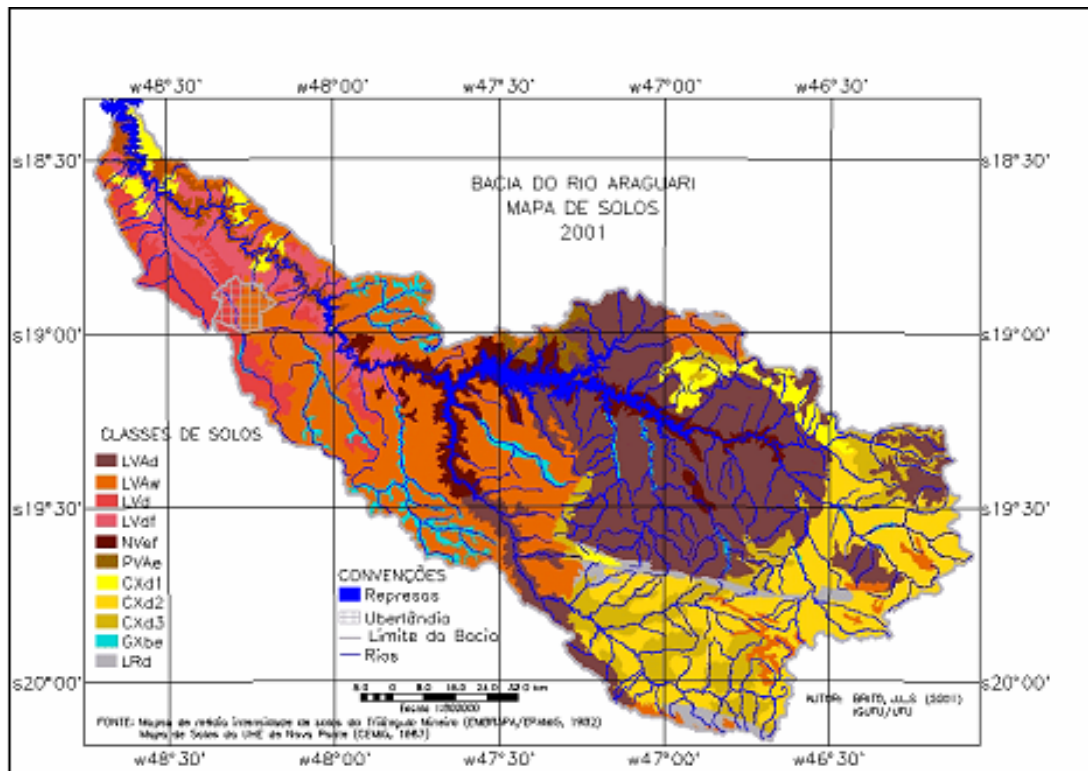


FIGURA 3 – Mapa de solos da Bacia do Rio Araguaari

FONTE: ROSA et al., (2003).

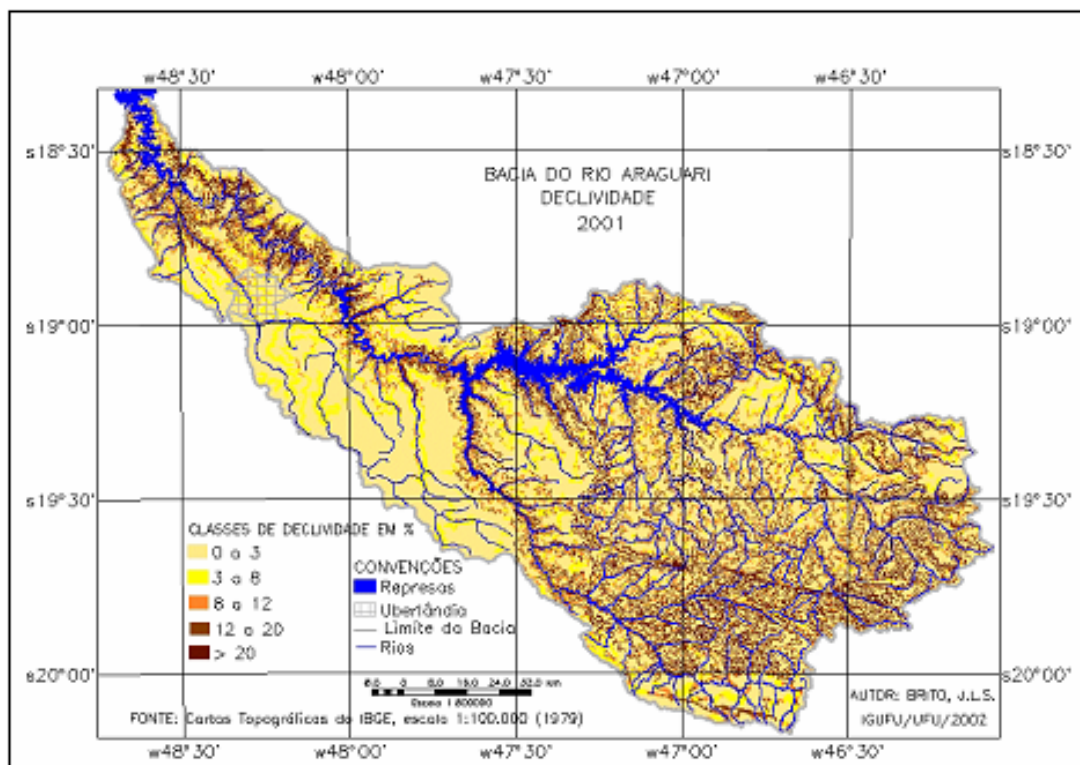


FIGURA 4 – Mapa de declividade da Bacia do Rio Araguaari.

FONTE: ROSA et al., (2003).

O mapa anterior (Cf. FIGURA 4) apresenta as classes de declividade da Bacia do Rio Araguari, que variam de 0 a > 20%. Pode-se perceber que grande parte da bacia apresenta áreas bastante planas (0 a 3%), ocupando, principalmente, a porção Noroeste da área, onde se encontram as principais áreas destinadas à produção agropecuária. De acordo com a análise do mapa hipsométrico (Cf. FIGURA 5), estas áreas estão a uma altitude de cerca de 850 a 950 m.

Na porção central da bacia do Rio Araguari, as altitudes estão em torno de 950 a 1050 m, apresentando declividades que vão desde 0 a 3 %, 3 a 8% e 12 a 20% na proximidade dos rios de maior porte, e declividades mais acentuadas no Vale do Araguari; em contrapartida, as altitudes nessa área variam de 480 a 700 m. Já as áreas de maior declividade encontram-se na porção Sudeste da bacia, próximas ao curso dos rios e nascentes, bem como o divisor de águas dessa porção, com altitudes variando de 1050 a 1350 m.

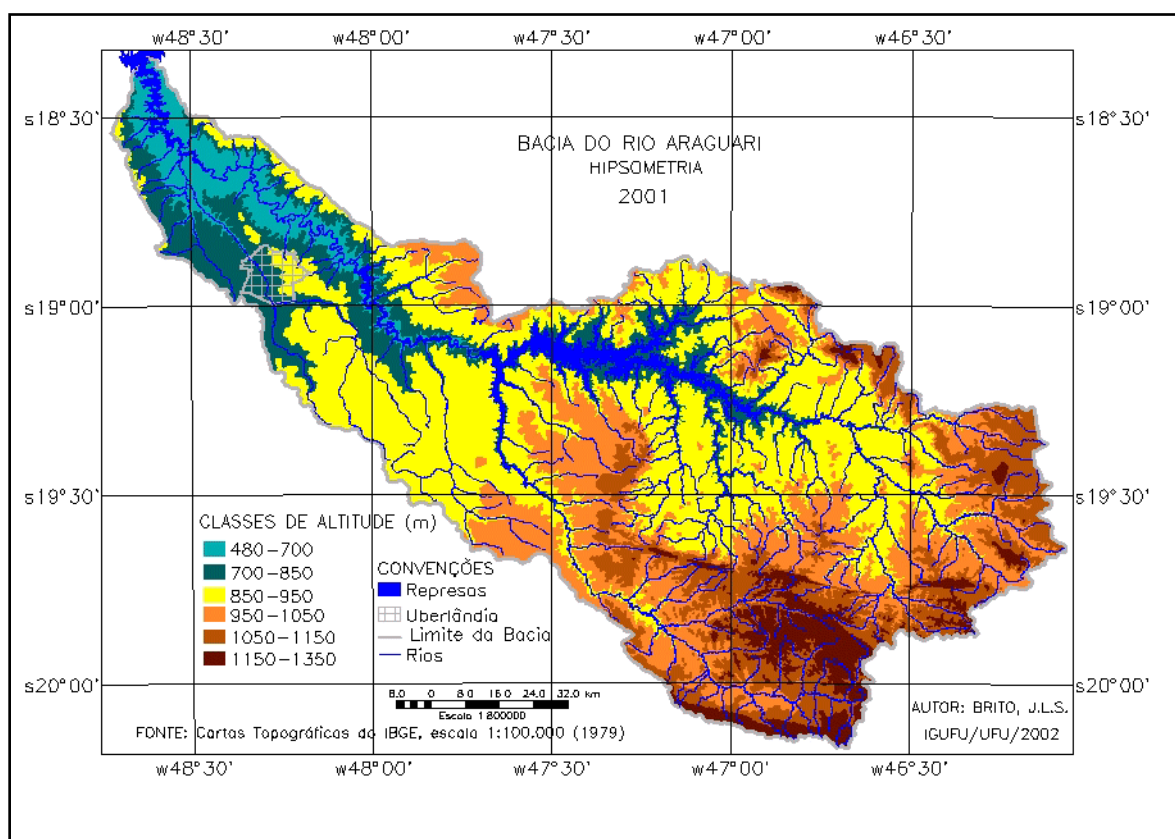


FIGURA 5 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Araguari.

FONTE: ROSA et al., (2003).

A maior parte da Bacia encontra-se inserida na vegetação do tipo Cerrado. Lima et al., (2004) apresentaram uma breve caracterização do Bioma Cerrado, pois

O domínio dos cerrados cobre cerca de 2.000.000 Km², equivalente a pouco mais de 20 % do território brasileiro. Caracteriza-se por dois estratos: um herbáceo, que recobre os solos ou aparece em tufos, com altura média de 50 cm, formado por gramíneas, plantas lenhosas rasteiras e palmeiras acaules; o outro, arbustivo arbóreo com dossel descontínuo e densidade variável, é constituído por plantas lenhosas de médio a pequeno porte, com galhos retorcidos, cascas espessas suberosas, grandes folhas coriáceas. A vegetação dos cerrados é bastante rica, contando com mais de 800 espécies, das quais as arbustivas e arbóreas são bastante resistentes ao fogo (FURLEY e RATTER, 1988 apud LIMA et al., 2004).

Lima et al., (2004) consideram que o Triângulo Mineiro compreende planaltos de estrutura complexa, cobertos por cerrados e cerradões nos interflúvios, e florestas de galeria ao longo dos vales, topos das colinas muito largos com latossolos de baixa fertilidade.

Em virtude do elevado grau de antropização presente na área da Bacia do Rio Araguari (como extensas lavouras com cultivo de grãos, urbanização crescente, projetos hidrelétricos etc.), Baccaro et al. (2004) avaliam que a bacia do Rio Araguari necessita de um planejamento que vise ao desenvolvimento sustentável das atividades futuras e também ao monitoramento das atividades em andamento:

A região do Triângulo Mineiro sofreu um grande processo de modernização tecnológica no campo, responsável pela expansão das áreas cultivadas, pelo aumento da produção e da produtividade nas áreas de Cerrado. As pesquisas realizadas nos últimos anos têm demonstrado que esse processo de modernização da agricultura nessa região tem gerado diversas consequências ambientais (BRITO, 2004 apud CEMIG, 1978; ROSA, 1995; SCHNEIDER, 1996; BRITO, 2001).

Soares et al. (2004) analisaram a dinâmica urbana na Bacia do Rio Araguari e observaram importantes mudanças na dinâmica demográfica e no processo de urbanização nos últimos 30 anos. Verificaram, ainda, que, de modo geral, a população total da bacia cresceu 125,3% para o mesmo período, saltando de 517.768 habitantes em 1970 para 1.161.772 habitantes em 2000 (SOARES et al., 2004, p. 127):

O expressivo crescimento da população urbana, nas cidades da Bacia do Rio Araguari elevaram os seus índices de urbanização, visto que as cidades oferecem melhores condições de vida e oportunidades de trabalho. Atualmente, dentre os municípios mais urbanizados, estão Araxá (98,4%), Uberlândia (97,6%), Uberaba (96,9%), Araguari (91,0%) e Campos Altos (90,6%) (FIBGE, 2000 apud SOARES et al., 2004).

Observa-se que os municípios inseridos na área da Bacia do Rio Araguari apresentam campo dinamizado, consequência dos processos de modernização da agricultura e da pecuária, e também devido às condições físicas favoráveis, o que confere à bacia destaque na produção desses elementos. Em virtude da produção presente na área da bacia, desenvolveu-se importante complexo agroindustrial, constituído por agroindústrias processadoras de grãos, carnes, frutas, vegetais e laticínios, e também por indústrias relacionadas às demandas do campo, ou seja, indústrias para agricultura, especialmente aquelas associadas ao segmento da biotecnologia animal e aquelas de insumos e equipamentos agrícolas (SOARES et al., 2004).

Conforme Cleps et al., (2004), a região em que está inserida a Bacia do Rio Araguari recebeu significativas aplicações de recursos com a implementação de programas oficiais, como o Programa de Crédito Integrado (PCI/1972–1975) e o Programa Nipo-Brasileiro de Desenvolvimento Agrícola da Região dos Cerrados (PRODECER). Pode-se dizer que esses programas foram, de maneira geral, os responsáveis pela modernização da atividade agrícola nos cerrados, pois favoreceram as mudanças na base técnica e produtiva; como exemplo, tem-se a mecanização de grandes extensões de terra, inovações tecnológicas, introdução de novas culturas como café, soja e milho:

Como ocorreu nas demais áreas do Cerrado, os municípios da Bacia do Rio Araguari sofreram profundas modificações no ambiente natural, sobretudo nas três últimas décadas, provocadas pela introdução da agricultura moderna, com a produção em grande escala de grãos, o que levou à eliminação de grandes extensões de vegetação nativa, provocando desequilíbrios, contaminação por agroquímicos, erosão, compactação, diminuição da fertilidade dos solos e principalmente, à diminuição do volume e da qualidade das águas (CLEPS, 2004, p. 168).

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – Princípios físicos em Sensoriamento Remoto

O Sol constitui-se na mais importante fonte de radiação natural para a Terra. A radiação eletromagnética (REM) é definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, sendo em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, não necessitando de um meio material para se propagar no espaço.

A representação contínua da radiação eletromagnética, em termos de comprimento de onda, frequência ou energia, é denominada espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é subdividido em faixas que representam regiões com características próprias, em termos de processos físicos de detecção de energia, como pode ser observado a seguir:

- Raios Cósmicos, raios γ : ($< 0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Raios X: ($0,03 - 3,0 \text{ nm}$);
- Ultravioleta: ($0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Visível: ($0,4 - 0,72 \mu\text{m}$), azul ($0,45 - 0,50 \mu\text{m}$), verde ($0,50 - 0,54 \mu\text{m}$), vermelho ($0,65 - 0,72 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Próximo: ($0,72 - 1,3 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Médio: ($1,3 - 4,0 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Distante: ($4,0 - 300 \mu\text{m}$);
- Microondas: ($1,0 - 100 \text{ cm}$);
- Ondas de Rádio: ($> 100 \text{ cm}$).

Dentre essas divisões do espectro eletromagnético, as mais utilizadas em Sensoriamento Remoto compreendem as faixas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante e microondas. No entanto, as faixas mais utilizadas nessa pesquisa compreendem o vermelho do espectro visível e o infravermelho próximo. As considerações a respeito dessa utilização serão destacadas posteriormente.

No momento em que a radiação solar incide no topo da atmosfera, parte dessa radiação é espalhada e/ou refletida pelas partículas atmosféricas, outra parte atravessa a atmosfera e atinge o alvo; a partir daí, podemos observar três fenômenos que podem ocorrer com um fluxo de radiação eletromagnética ao interagir com um alvo, e que são de extrema importância para o Sensoriamento Remoto; dentre eles, Rosa (2003) destaca:

- Reflectância: a reflectância como sendo o quociente entre o fluxo de radiação refletido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação eletromagnética incidente, como pode ser observado na equação a seguir:

$$\rho = \frac{\phi r}{\phi i}$$

Em que:

ρ = é a reflectância;

ϕr = é o fluxo de radiação refletido ρ ;

ϕi = é o fluxo de radiação incidente.

- Transmitância: o fluxo de radiação transmitido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente, expresso a seguir:

$$\rho = \frac{\phi t}{\phi i}$$

Em que:

ρ = é a reflectância;

ϕt = é o fluxo de radiação transmitido;

ϕi = é o fluxo de radiação incidente;

- Absortância: é a razão entre o fluxo de radiação absorvido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente:

$$\rho = \frac{\phi a}{\phi i}$$

Em que:

ρ = é a reflectância;

ϕa = é o fluxo de radiação absorvido;

ϕi = é o fluxo de radiação incidente.

É por meio da quantificação da absortância que o especialista em Sensoriamento Remoto poderá tirar conclusões importantes a respeito das condições de determinada cultura agrícola ou vegetação (MOREIRA, 2003). No entanto, quando se trata de Sensoriamento Remoto orbital ou suborbital, esta variável é geralmente estimada pela quantificação da parte refletida (por restrições tecnológicas dos equipamentos a bordo dos satélites orbitais ou em aeronaves) que registram somente a radiação refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre.

2.2 – Comportamento Espectral da Vegetação

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.

Para Novo (1989), o conhecimento do comportamento espectral de alvos não é importante somente para a extração de informações de imagens obtidas pelos sensores, é também importante na própria definição de novos sensores, na definição do tipo de processamento a que devem ser submetidos (geometria de coleta dos dados, frequência, altura do imageamento, resolução limite etc.).

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).

O termo Comportamento Espectral da Vegetação é freqüentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM, pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas.

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.

O modo como uma planta ou comunidade de plantas é vista, seja pelo olho humano ou por um sensor multiespectral, depende fundamentalmente da interação dessa planta ou comunidade de plantas com a radiação (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

As características que ocorrem nos espectros de reflectância, transmitância e absorvância de uma folha são ocasionadas notadamente pelos pigmentos, pela estrutura e pela água em solução.

Ainda segundo Moreira e Assunção (1984), a folha merece destaque especial dentre os componentes da planta, pois é nela que se realiza a fotossíntese. Toda a organização da folha (sua forma, posição, estrutura etc.) está adaptada para melhor aproveitamento dos raios solares, do ar e da água, necessários à realização do processo de fotossíntese.

2.2.1 - As folhas

Nos vegetais, as folhas desempenham funções muito importantes, porque são basicamente nelas que se processam todas as reações fotoquímicas para a síntese dos carboidratos, além de outras reações vitais para a vida da planta (MOREIRA, 2003).

As folhas exercem três funções principais:

- ◆ Respiração: por esse processo, a planta absorve oxigênio do ar e elimina gás carbônico – a respiração ocorre tanto durante o dia como durante a noite;
- ◆ Transpiração: é processo de eliminação de vapor d' água realizado, por meio dos estômatos (orifícios encontrados na superfície das folhas, pelos quais ocorrem as principais trocas gasosas entre a planta e a atmosfera);
- ◆ Fotossíntese: processo pelo qual as plantas verdes produzem carboidratos (açúcares) a partir da água (absorvida pelo sistema radicular) e do gás carbônico (CO_2) absorvido da atmosfera, mediado pela radiação fotossinteticamente ativa, ou seja, radiação solar de comprimento de onda entre 4,0 e 7,0 μm :

Devido à necessidade de a folha captar o máximo de radiação solar, observa-se uma predominância da área foliar quando comparada com outros órgãos da planta. Esta predominância é tão marcante que normalmente a área dos outros órgãos, em contato com a radiação solar, é desprezada, daí a necessidade de estudar a folha e sua estrutura quando se deseja conhecer a interação de plantas e culturas com a radiação eletromagnética (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

A fotossíntese é o único processo que está diretamente envolvido com a radiação solar. Os outros dois processos utilizam a energia resultante de reações químicas que ocorrem na planta (MOREIRA, 2003).

Outra serventia da folha é a eliminação de água em forma de gotículas (sudação). Esse processo é mais intenso no período noturno, com temperaturas mais baixas e grande umidade do ar.

Conforme Moreira (2003), nem toda radiação que atinge a planta tem efeito sobre ela. As radiações eletromagnéticas, cujos comprimentos de onda são capazes de induzir uma resposta fisiológica na planta, isto é, capaz de provocar uma reação fotoquímica, são denominadas radiação fisiologicamente ativa (RFA).

Da radiação solar que chega à superfície da Terra, ao atingir a planta (aproximadamente 50% do total que chega até a planta), uma parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos contidos na folha (MOREIRA, 2004), participando do processo de fotossíntese entre outros.

Outra parte é refletida pelas folhas (fenômeno denominado reflexão). E uma terceira fração sofre o processo de transmissão por meio das camadas das folhas que compõem a copa e daquelas que constituem a folha (cutícula, parênquima lacunoso etc.). Estes conceitos estão melhor apresentados na FIGURA 6.

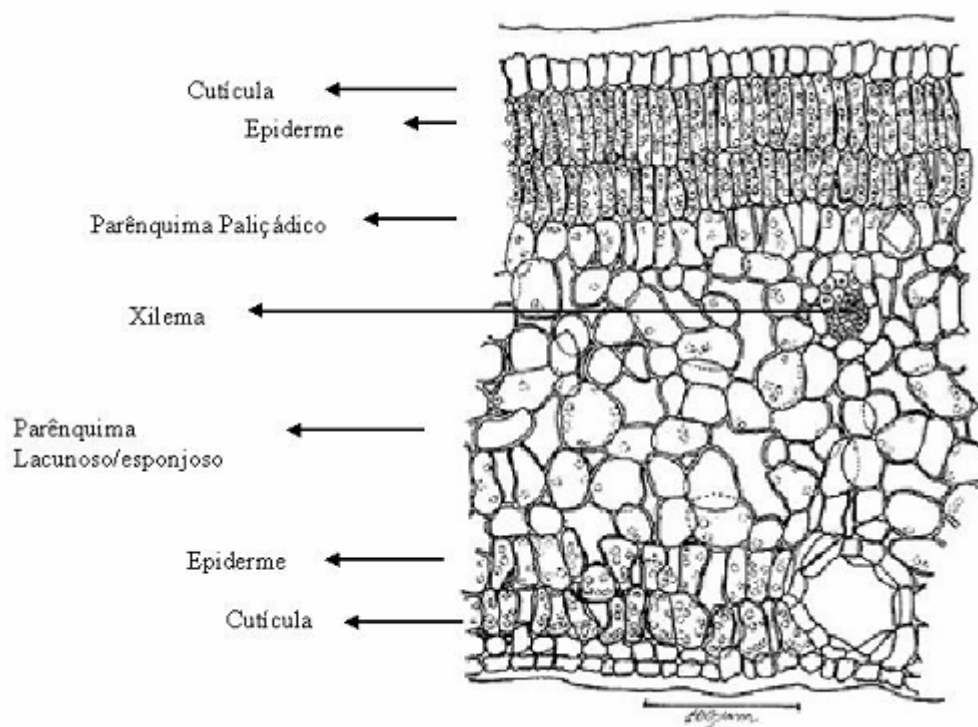


FIGURA 06 - Corte transversal de uma folha.

FONTE: <http://www.historias.interativas.nom.br/lilith/services/anatm.htm>.

As informações seguintes, contendo a explicação dos componentes da folha, foram extraídas do site <http://atlasveg.ib.usp.br/Folha/fo1_dico.html>:

- **Cutícula:** camada contendo cutina (substância lipídica que penetra nos espaços existentes entre as microfibrilas de celulose da parede tangencial externa da célula epidérmica – tecido de revestimento constituído, geralmente, por células vivas, ou que se deposita externamente a esta - depositada sobre e na própria parede tangencial externa da célula epidérmica.

- Epiderme: tecido de revestimento constituído, geralmente, por células vivas, justapostas e com paredes primárias (camada mais externa da parede celular depositada durante o crescimento da célula).
- Parênquima Paliçádico: tecido constituído por células parenquimáticas (células vivas, geralmente de formato poliédrico), clorofiladas, geralmente com formato colunar e dispostas em paliçada. Os eixos mais longos das células formam ângulos retos com a superfície do órgão.
- Xilema: tecido vascular, responsável pela condução da seiva bruta.
- Parênquima Esponjoso: tecido constituído por células parenquimáticas, clorofiladas, geralmente com formato irregular e frouxamente dispostas. É também conhecido por parênquima lacunoso.

A curva espectral média da folha verde fotossinteticamente ativa é representada na FIGURA 7. Algumas regiões do espectro são mais utilizadas; ver-se-á, posteriormente, os fatores que condicionam essa utilização. A análise da figura anterior mostra que algumas frações do espectro eletromagnético não são aproveitadas na fotossíntese. A região do ultravioleta, por exemplo, possui energia muito intensa e pode causar decomposição das moléculas. Já a região do infravermelho não apresenta energia suficiente para causar diminuição sensível na estabilidade das ligações químicas. Ainda pode-se decompor a figura em três regiões espectrais de maior utilização em função dos fatores que condicionam seu comportamento. A seguir, algumas considerações acerca dessas regiões.

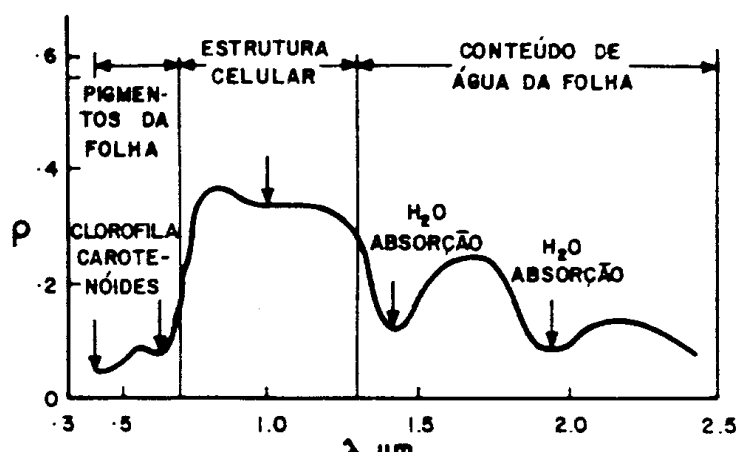


FIGURA 7 - Curva da reflectância típica de uma folha verde.
FONTE: Novo, 1989.

2.2.2 - Região do visível

Conforme Moreira e Assunção (apud KUMAR, 1972), nesta região a resposta espectral das folhas é influenciada, principalmente, pelos pigmentos existentes na planta – pigmentos em geral encontrados nos cloroplastos como, clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Ponzoni (2001) salienta que esses valores podem variar de espécie para espécie. Nesta faixa espectral, tanto a reflectância quanto a transmitância das folhas são menores que 15% (MOREIRA, 2003).

O pigmento clorofila predominante na folha é responsável pela fotossíntese, convertendo a energia das radiações do visível em energia química a ser utilizada pela planta. No entanto, o aproveitamento dessas radiações não é o mesmo em toda extensão do espectro. No processo de fotossíntese, as radiações que correspondem ao azul (0,45 a 0,50 μm) e ao vermelho (0,65 a 0,72 μm) são as mais aproveitadas, apresentando baixa reflectância em decorrência das bandas de absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila).

A melhor absorção da radiação pelos pigmentos se dá em virtude da energia espalhada no mesófilo. A energia é espalhada devido às interações da radiação com as paredes celulares hidratadas, o que origina múltiplas reflexões e refrações, propiciando uma melhor absorção da radiação pelos pigmentos (MOREIRA, 2003 apud KINIPLING, 1970).

Em contrapartida, pode-se perceber que a faixa correspondente ao verde – aproximadamente 0,56 μm – é a menos aproveitada, justamente onde há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância. A folha de uma árvore é verde porque reflete a luz verde do visível, irradiada pelo sol (MENEZES, 2001), absorvendo grande parte da radiação dos comprimentos de onda do azul e do vermelho como mencionado anteriormente.

2.2.3 - Região do Infravermelho Próximo

Ao examinar a resposta espectral de uma folha, a exemplo do perfil enunciado na figura anterior, nota-se um aumento significativo na reflectância ao passar do espectro visível para o infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm). Nesta região, uma vegetação verde e sadia é

caracterizada por alta reflectância, alta transmitância e baixa absorptância quando comparada ao visível.

Nesta região, as folhas verdes absorvem pouca energia, apresentando uma alta reflectância causada pelo espalhamento resultante dos diferentes índices de refração do líquido intracelular e dos espaços intercelulares do mesófilo:

A cutícula de uma folha é praticamente transparente às radiações do visível e do infravermelho, muito pouco da energia solar incidente numa folha é difundida e espalhada através da cutícula e da epiderme, chegando até as células do mesófilo e as cavidades existentes no interior da folha. A radiação é espalhada, submetendo-se as múltiplas reflexões e refrações ocorridas devido às diferenças entre os índices de refração do ar, e as paredes celulares hidratadas (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

A cutícula a que se referem os autores já foi conceituada anteriormente, neste trabalho; no entanto, Ponzoni (2001) a descreve como sendo a camada impermeável de cera na face ventral da folha. Ainda de acordo com Moreira e Assunção (1984), a evidência do mecanismo de reflexão interna é muito forte, a mais convincente é dada pela drástica redução da reflectância, no infravermelho próximo (como pode ser observado na FIGURA 8), de uma folha infiltrada com água: a água preenche as cavidades do ar, formando um meio líquido no interior da folha, ocorrendo uma diminuição das diferenças no índice de refração na folha, aumentando assim a transmitância.

De acordo com Moreira e Assunção (apud KINIPLING, 1970), foram Willstater e Stoll que, em 1913, estudaram e reconheceram pela primeira vez o mecanismo de reflexão interna das folhas, ocorrido precisamente no mesófilo esponjoso da folha, devido a seus espaços intercelulares. Os primeiros autores também se referem à importância do mesófilo paliçádico de uma folha para o espalhamento interno da radiação, pois há muitas cavidades pequenas entre as células.

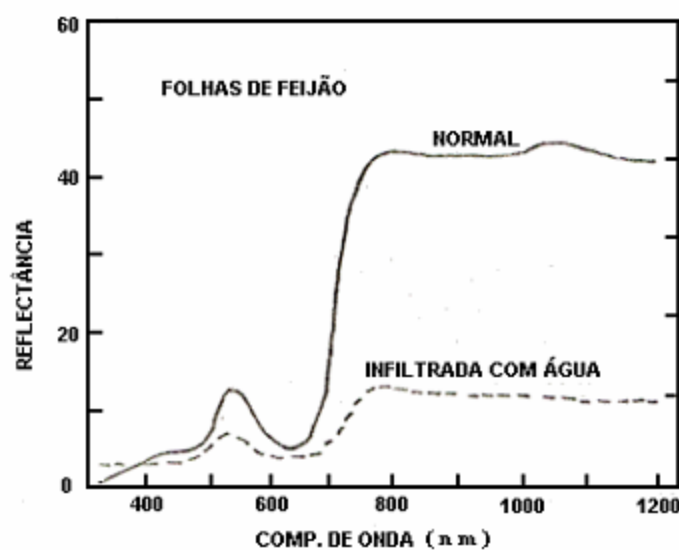


FIGURA 8 - Reflectância de uma folha normal e outra infiltrada com água.

FONTE: Adaptado de Moreira e Assunção (1984).

ORG.: ROSENDO, Jussara dos Santos; 2004.

2.2.4 - Região do Infravermelho Médio

Nesta faixa do espectro eletromagnético, a resposta espectral de uma folha verde é caracterizada, notadamente, pelas faixas de grande absorção pela água. Encontram-se dois máximos de absorção pela água em $1,4 \mu\text{m}$ e $1,9 \mu\text{m}$ (NOVO, 1984).

Como se pode observar na FIGURA 6, os picos de reflectância da folha no infravermelho médio ocorrem em $1,6 \mu\text{m}$ e $2,2 \mu\text{m}$, entre as regiões de absorção pela água.

A influência da água nos espectros de absortância, reflectância e transmitância de uma folha na região do infravermelho médio, pode ser comprovado na FIGURA 9, na qual se pode perceber que, com o decréscimo da umidade na planta, ocorre um aumento da reflectância do infravermelho médio. O grau em que a energia solar incidente é absorvida pela vegetação, na faixa do infravermelho médio, se dá em função da quantidade total de água presente na folha que, por sua vez, é em função da percentagem de umidade e da espessura da folha (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

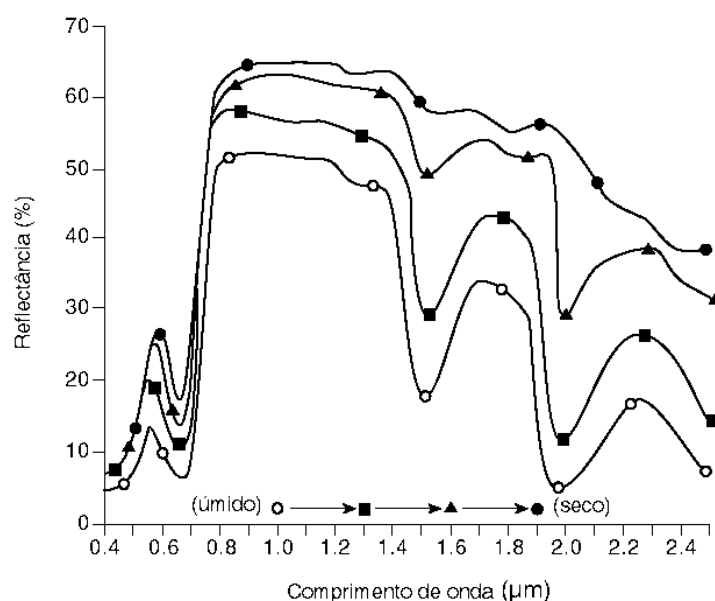


FIGURA 9 - Efeito do conteúdo de umidade na reflectância das folhas.

FONTE: Adaptado de HOFFER, R. M. (1978, p. 237).

2.2.5 - Fatores que interferem no Comportamento Espectral da Vegetação

Aparentemente, parece uma tarefa simples a análise individual da curva espectral de cada alvo, bem e a transformação dos dados de reflectância em informações sobre as propriedades dos materiais que compõem a superfície terrestre. No entanto, tais objetos estão inseridos num contexto ambiental, sofrendo interferências múltiplas, quer oriundas de objetos adjacentes, quer oriundas do próprio dinamismo interno de suas características.

A vegetação sofre modificações ao longo do tempo/ano, em decorrência de alterações sazonais, estágio fenológico, mudanças climáticas bruscas etc. Além destas, que são alterações naturais da vegetação ou sofridas pela mesma, há modificações impostas pelo homem através das práticas culturais. Por conseguinte, o comportamento espectral da vegetação ou determinada cultura pode ser alterado pela presença de pragas na lavoura, irrigação, adubação etc.

A energia integrada num pixel é derivada de um conjunto de objetos. Portanto, a curva da vegetação será alterada se a mesma estiver com uma dada densidade de cobertura tal que os intervalos de solo entre os indivíduos seja integrado em um mesmo pixel. A FIGURA 10 ilustra bem essa situação.

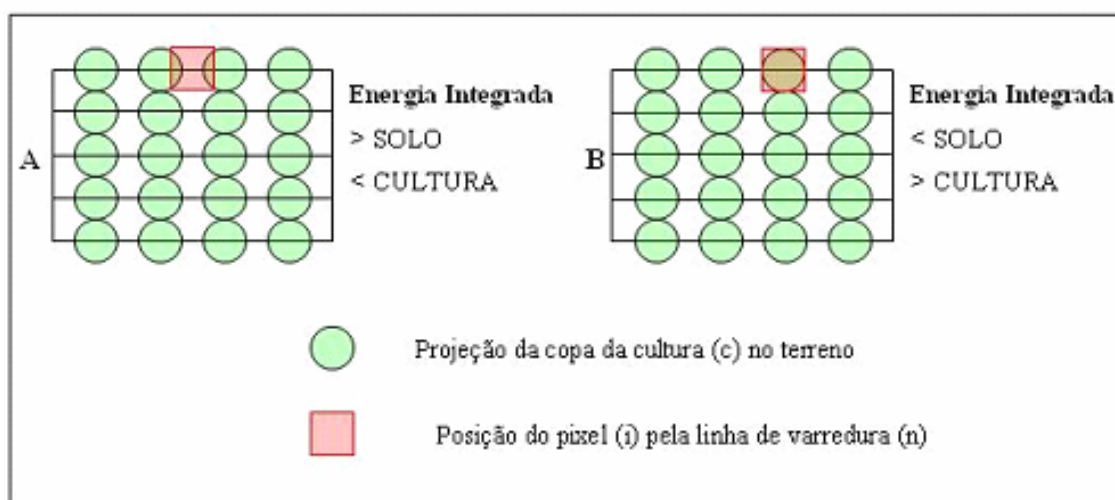


FIGURA 10 - Efeito da posição do elemento de resolução no terreno sobre os registros de radiância de uma cultura.

FONTE: Adaptado de Novo (1989).

ORGANIZAÇÃO: ROSENDO, Jussara dos Santos; 2004.

Ao analisar a figura anterior, pode-se perceber que a cultura está disposta em linhas. No exemplo “A”, a cultura foi amostrada no terreno de tal modo que o pixel (i) da linha de varredura (n) foi posicionado de forma a incorporar 50% de biomassa e 50% de solo. Dessa maneira o valor da radiância registrada pelo sensor será uma incorporação/junção da radiância do solo mais a radiância da vegetação. Devido ao fato de que a radiância do solo na faixa do vermelho é maior que a radiância da vegetação, o sinal referente ao pixel será dominado pelo comportamento espectral do solo, podendo comprometer a análise/estudo do pixel.

Em “b”, o posicionamento do pixel está de tal modo que praticamente toda sua extensão encontra-se sobre a cultura, de modo que a resposta registrada pelo sensor referente àquele pixel será dominada pelo comportamento espectral da cultura.

No primeiro caso, o pixel posicionado no intervalo entre as fileiras provocaria a resposta dominante do solo; já no segundo, a resposta dominante seria da vegetação. Esse exemplo mostra a diversidade de registros de radiância que poderia ser encontrada em decorrência da gama de situações intermediárias entre pixel, cultura e solo.

Além destes parâmetros, outros poderiam aumentar a complexidade na análise da figura anterior, se levarmos em consideração que a cultura poderia ser iluminada de diferentes

ângulos em consequência da topografia do terreno, ou alterações referentes ao efeito de sombreamento, entre outros.

A complexidade da extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto fica evidente nos poucos exemplos descritos ao longo deste capítulo. Demonstram que, sem um conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície, a extração e interpretação de informações tornam-se pouco eficiente.

Já foram descritas as importantes funções desempenhadas pelas folhas, uma vez que são basicamente nelas que se processam todas as reações fotoquímicas, além de reações vitais para a vida da planta. No entanto, é fundamental que se trate dos fatores envolvidos na interceptação, absorção e reflexão da luz solar pelas folhas. São dois esses fatores.

Primeiro, os fatores morfológicos: os mais importantes estão relacionados à organização espacial das folhas (elementos envolvidos na captação da luz), ou seja, densidade de cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical de folhas (refere-se a quanto de solo elas cobrirão) e ângulo de inserção foliar que regula o grau de penetração da radiação no interior da copa da planta (MOREIRA, 2003).

Segundo, os fatores fisiológicos: compreendem aqueles de caráter funcional; ou seja, quando determinada planta é submetida a um déficit hídrico, ocorre em seu interior várias reações bioquímicas (como o fechamento dos estômatos, perdendo menos água e provocando uma diminuição na taxa fotossintética devido a menor absorção do CO_2) na tentativa de contornar essa situação problema.

O tipo e espessura das folhas podem ser influenciados pela duração e pelo comprimento de onda da luz. No entanto, as diferenças na intensidade de luz são responsáveis pela variação no tamanho da folha.

Com relação aos nutrientes, quando ocorre deficiência desses na planta, esse fato reflete a pobreza do solo em elementos responsáveis ao bom desenvolvimento da planta. Ocorre também o caso de elementos (como o nitrogênio) que são transportados para camadas mais profundas do solo em decorrência do excesso de água em solos de boa drenagem, induzindo uma deficiência nutricional. Se ocorrer déficit de água no solo, a absorção da água e dos nutrientes pelas raízes serão prejudicadas, podendo causar também uma deficiência nutricional, que acarretará o envelhecimento nas folhas mais velhas (pois os nutrientes

deslocam-se para as mais novas, provocando a morte prematura das mais velhas). A influência do conteúdo de água na reflectância das folhas foi mostrada na FIGURA 9.

O que foi discutido até o presente momento foi muito relacionado à interação da radiação solar com a folha. Entretanto, quando se pretende trabalhar com o Sensoriamento Remoto, são necessárias informações concernentes à interação da radiação eletromagnética com a cobertura vegetal, mais especificamente a comunidade de plantas.

2.3 – 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.

O objetivo deste item é apresentar uma revisão sobre os Índices de Vegetação (IV), bem como apresentar os mais relevantes designados para fornecer uma avaliação quantitativa da biomassa da vegetação verde. Os Índices de Vs propostos são aplicáveis em altas, médias e baixas resoluções espaciais de alguns satélites como SPOT, Landsat (TM e ETM+), CBERS

(CCD, IR-MSS e WFI), Terra e Aqua (MODIS), entre outros que visam aos estudos nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo.

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 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.

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., 1986). 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:

Por esta razão, não se pode usar uma simples medida da energia refletida para quantificar parâmetros biofísicos das plantas, nem para monitorar a vegetação em uma base operacional e global. Isso se torna mais difícil devido ao complicado processo de transferência de radiação, tanto de uma folha isolada (constituintes celulares, morfologia da folha) quanto de um dossel (variações no ângulo iluminação, orientação espacial das folhas, sombras, vegetação não fotossinteticamente ativa e substrato). Esse problema tem sido parcialmente superado pela combinação de duas ou mais bandas espectrais para formar o que é comumente conhecido como índices de vegetação, os quais são combinações lineares de dados espectrais cuja função é realçar o sinal da vegetação ao mesmo tempo em que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON & HUETE, 1991, apud SILVA, 2004).

Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação (PONZONI, 2001). Os IV são mais sensíveis do que as bandas individuais quando relacionadas com parâmetros biofísicos da vegetação (ASRAR et al., 1984 apud EPIPHANIO et al., 1986). A lógica por trás dos IV baseia-se não somente no fato de que a energia refletida no vermelho e no infravermelho próximo são diretamente relacionadas a atividade fotossintética da vegetação, mas também na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais pode minimizar as principais fontes de “ruídos” que afetam a resposta da vegetação (SILVA, E. 2004).

Change detection é o processo de detecção de mudanças no estado de um objeto ou fenômeno por intermédio da identificação das diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área em diferentes épocas (HAYES e SADER, 1997). Diferentes fenômenos podem ser indicados por meio da detecção de mudanças, como desmatamentos, modificações no uso do solo (substituição de matas nativas por agricultura), queimadas, variações na geometria de aquisição das imagens etc. Estas mudanças resultam em alterações nos valores de radiância dos pixels (SILVA, 2004), daí a possibilidade de comparação de duas datas.

Silva, E. (2004) aponta alguns dos principais aspectos ligados aos fatores que, de maneira geral, influenciam a detecção de mudanças:

- ♦ Diferenças no sistema sensor. É importante considerar a semelhança dos sensores que coletam as imagens. Até mesmo bandas correspondentes à mesma parte do espectro

(isto é, duas bandas correspondentes ao vermelho) podem ter diferentes funções de resposta espectral, o que pode fazer com que os valores dos *pixels* para o mesmo alvo sejam diferentes.

- ◆ Diferenças na época do ano e hora de aquisição das cenas. Mudanças sazonais podem ocasionar grandes diferenças em cenas contendo vegetação (devido à senescência da planta e mudanças na arquitetura do dossel). Diferenças na estação e hora do dia também afetam a elevação e o azimute solar.
- ◆ Diferenças nas condições atmosféricas. As condições de tempo dominantes podem afetar a transmitância e o espalhamento atmosférico. Diferenças consistentes em condições atmosféricas totais são frequentemente associadas a mudanças sazonais. Por exemplo, diferenças na direção predominante do vento podem ser importantes (ventos que chegam sobre o oceano contêm aerossóis com propriedades de espalhamento diferentes daqueles que chegam sobre uma área urbana). Outra diferença atmosférica comum e considerável é o conteúdo de água na atmosfera. A umidade atmosférica no verão tende a ser maior que no inverno.
- ◆ Diferenças na calibração das imagens. Para a obtenção de resultados mais precisos em uma análise de detecção de mudanças, é importante trabalhar com imagens calibradas. Se uma calibração em unidades físicas como a radiância não é possível, uma calibração relativa pode ser melhor que nenhuma calibração, especialmente se os instrumentos que coletam as imagens tiverem intervalos dinâmicos diferentes.
- ◆ Diferenças na resolução espacial das imagens. Diferentes tamanhos de *pixels* podem conduzir à detecção de mudanças espúrias. É importante que as imagens originais (antes de reamostragem ou reprojeção) tenham a mesma resolução espacial. Para cenas com faixas grandes de imageamento tais como as do AVHRR, SeaWiFS e MODIS, os tamanhos dos *pixels* diferem dentro de uma mesma cena. Em tais casos, é necessário considerar as diferenças na geometria de visada do sensor.
- ◆ A acuidade da correção geométrica é outro fator importante na detecção de mudanças. Townshend et al., (1992) demonstraram que, mesmo quando a precisão do registro para dados relativamente grosseiros tais como os do sensor AVHRR, é próxima a um quarto do pixel, as falsas mudanças na imagem resultantes de erros provenientes do registro das imagens tendem a ser mais predominantes que as mudanças reais

ocorridas na cobertura da superfície. A conclusão desse trabalho foi que o efeito do erro advindo do registro de imagens na imagem diferença foi maior para conjuntos de dados multitemporais de regiões que eram espacialmente heterogêneas.

- ♦ Entretanto, não há, na literatura, consenso sobre o que pode ser considerado como uma alta acuidade e sobre o efeito quantitativo do erro nas imagens mudança quando se trabalha com uma acuidade de 0,5 ou 0,2 pixels, por exemplo. É claro, porém, que quanto mais precisa for a correção, menor a possibilidade de falsas mudanças na imagem resultante.

Dentre os métodos de detecção de mudanças, podemos citar: Análise de Pós-classificação, Análise de Vetor de Mudança, Análise por Componentes Principais, Razão de Imagens, Subtração de Imagens e Diferença de Índices de Vegetação.

No presente trabalho, utilizaremos o Método de Diferença de Índices de Vegetação. Trata-se de uma técnica comumente utilizada dentro do método de imagem diferença que consiste no registro de imagens em dois tempos diferentes (t_1 e t_2) em que é feita a subtração pixel a pixel e produzida uma terceira imagem, que representa as mudanças entre as duas datas (MAS, 1999; SILVA, E. 2004; SILVA, A. 2004).

Essa técnica é comumente empregada para detecção de mudanças na cobertura vegetal e uso da terra, especialmente quando se utilizam índices de vegetação, e tem sido tratada em muitos trabalhos como um método específico de detecção de mudanças.

A seguir, serão apresentadas as características sobre vários Índices de Vegetação, descritos por Eastman (1998) em uma revisão bibliográfica de vários pesquisadores.

De acordo com Eastman (1998), o *Ratio Vegetation Index* (RATIO) foi proposto por Rouse et al., (1974) para separar vegetação verde de solo utilizando Imagem Landsat – MSS. O RATIO é produzido por uma simples divisão de valores de reflectância contidos em bandas do infravermelho próximo por aqueles contidos na banda do vermelho, sua fórmula é descrita a seguir.

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

Em que:

NIR: banda correspondente ao Infravermelho Próximo (Near Infra Red – NIR);

RED: banda correspondente ao vermelho.

O resultado detecta o contraste entre a banda vermelha e a infravermelha para pixels da vegetação com valores de índices elevados que estão sendo produzidos por combinações de reflectância baixas no vermelho (por causa da absorção da clorofila), e altas no infravermelho (em consequência da estrutura da folha). Além disso, o fato do índice ser construído como uma relação, os problemas de iluminação, variável, em consequência da topografia e das condições de iluminação solar (azimute e distância zenital) são minimizados. Entretanto, o índice é susceptível a erros pela divisão por zero e a escala resultante da medida pode ser não é linear. Em consequência, as imagens IV RATIO não têm distribuições normais, sendo difícil de aplicar alguns procedimentos estatísticos (EASTMAN, 1998).

Já 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 *Transformed Vegetation Index* (TVI) proposto por Deering et al., (1975, apud EASTMAN, 1998) modifica o NDVI para adicionar uma constante de 0,50 para todos os valores e efetuar a raiz quadrada dos resultados. A constante 0,50 é introduzida para evitar operações com valores negativos de NDVI. O cálculo da raiz quadrada pretende corrigir os valores do NDVI introduzindo uma distribuição normal. O TVI é expresso da seguinte forma:

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}} + 0.5$$

Todavia, o uso do TVI requer que o valor mínimo NDVI introduzido seja maior que -0.5 para evitar abortar a operação (EASTMAN, 1998). Valores negativos ainda permanecerão menores que -0.5 para o NDVI. Além disso, não há nenhuma diferença técnica entre o NDVI e o TVI em termos de produção de imagem ou detecção de vegetação ativa.

O *Corrected Transformed Vegetation Index* (CTVI) proposto por Perry e Lautenschlager (1984, apud EASTMAN, 1998) pretende corrigir o TVI adicionando a constante de 0.50 para todos os valores NDVI, nem sempre eliminando todos os valores negativos de NDVI, podendo ter um alcance de -1 a +1. Valores menores que -0.50 tornam-se valores negativos menores depois da operação de adição. Assim, o CTVI é elaborado para resolver essa situação dividindo o (NDVI + 0.50) por seu valor absoluto ABS (NDVI + 0.50) e multiplicando pela raiz quadrada do valor absoluto (SQRT[ABS(NDVI + 0.50)]). Isto suprime o sinal negativo, a equação é escrita da seguinte forma:

$$CTVI = \frac{((NDVI + 0.5))}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

A correção é aplicada de maneira uniforme, utilizando a imagem CTVI produzida, devendo não ter diferença com a imagem NDVI inicial ou TVI, sempre que o TVI realizar corretamente a operação da raiz quadrada. Essa correção é realizada para eliminar valores

negativos e gerar a imagem IV que é similar, se não melhor que o NDVI. Contudo, Thiam (1997, apud EASTMAN, 1998) indicou que o resultado imagem do CTVI pode ser muito ruidoso devido a uma super-estimação da vegetação verde. Para obter melhores resultados, Thiam sugeriu ignorar o primeiro termo da equação do CTVI e adicionar simplesmente a raiz quadrada dos valores absolutos para o NDVI e TVI, para se apresentar um novo índice conhecido como *Thiam's Trasnformed vegetation Index* (TTVI), expresso pela fórmula:

$$TTVI = \sqrt{\left(ABS\left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED}\right) + 0.5\right)}$$

O simples *Ratio Vegetation Index* (RVI) possui a mesma deficiência que o TVI, embora seja computacionalmente mais simples. O RVI é o contrário da relação simples proposta pelo RATIO, como mostrada por sua expressão:

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

O *Normalized Ratio Vegetation Index* (NRVI) é uma modificação do RVI por meio do resultado para RVI -1 normalizado com RVI +1:

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

Essa normalização é similar ao efeito do NDVI, pois reduz efeitos de iluminação topográfica, efeitos atmosféricos e cria uma distribuição normal estatisticamente desejável.

Os Índices de Vegetação a seguir possuem o objetivo principal de cancelar o efeito do brilho do solo nos casos em que a vegetação é esparsa onde os pixels contêm uma mistura de vegetação verde e solo de fundo. Essa é uma importância particular dos IV nos estudos em ambientes áridos e semi-áridos.

O procedimento é baseado no conceito da linha do solo. Uma linha de solo é uma equação linear que descreve o relacionamento entre valores de reflectância na banda vermelha e infravermelha para pixels de solo exposto. Essa linha é produzida realizando-se uma regressão linear simples entre as duas bandas, em uma amostra de pixels de solo exposto. Uma vez

conhecido o relacionamento, todos os pixels desconhecidos em uma imagem que possuem a mesma relação nos valores de reflectância no vermelho e infravermelho são assumidos como solo exposto. Pixels desconhecidos que se distanciam da linha de solo por possuírem valores de reflectância maiores na banda infravermelha são assumidos como vegetação. Aqueles pixels que se distanciam da linha de solo porque suas reflectâncias na banda vermelha são altas são freqüentemente assumidos como água.

O *Perpendicular Vegetation Index* (PVI) utiliza a distância perpendicular para cada coordenada de pixel para a linha de solo. Para derivar essa distância perpendicular, quatro passos são necessários:

- ✓ Determinar a equação da linha do solo pela regressão da reflectância dos valores do solo exposto, valores para o vermelho (variável dependente) *versus* infravermelho próximo (variável independente). Esta equação apresenta-se na fórmula:

$$Rg5 = a_0 + a_1 Rg7$$

- ✓ Determinar a equação da linha perpendicular pela fórmula:

$$Rp5 = b_0 + b_1 Rp7$$

Em que: b_0 e b_1 , são derivados como segue:

$$b_0 = Rp5 - b_1 Rp7$$

Em que: $Rp5$ = reflectância no vermelho e $Rp7$ = reflectância no infravermelho

$$b_1 = -1/a_1$$

Em que: a_1 é a rampa da linha do solo.

- ✓ Encontrar a intersecção das duas linhas ($Rgg5$ e $Rgg7$):

$$Rgg5 = b_1 a_0 - b_0 a_1 / b_1 - a_1$$

$$Rgg7 = a_0 - b_0 / b_1 - a_1$$

- ✓ Encontrar a distância entre a intersecção ($Rgg5$, $Rgg7$) e a coordenada do pixel ($Rp5$, $Rp7$), utilizando, para isso, a Teorema de Pitágoras:

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

Tentativas para melhorar o desempenho do PVI podem ser encontradas em outras sugestões de PVI como as seguintes:

$$PVI_1 = \frac{(bNIR - RED + a)}{\sqrt{b^2 + 1}}$$

$$PVI_2 = \frac{NIR - a * RED + b}{\sqrt{1 + a^2}}$$

$$PVI_3 = aNIR - bRED$$

Em que: a = intersecção da linha do solo e b = inclinação da linha de solo.

O *Difference Vegetation Index* (DVI) foi sugerido por Richardson & Wiegand em 1977 como um índice mais fácil para cálculo do algoritmo:

$$DVI = \gamma NIR - RED$$

Onde: γ = inclinação da linha de solo.

Similar ao PVI_1 , os valores DVI iguais a zero representam solo exposto, valores menores que zero, indicando água e valores maiores que zero indicando vegetação.

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

O *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index* (TSAVI) apresenta um pouco de resistência para umidade em terras altas não apresentando bom desempenho em áreas de vegetação densa, o TSAVI₁ é um bom índice para utilização em regiões semi-áridas.

$$TSAVI_1 = \frac{a(NIR - a * RED - b)}{RED + a * NIR - a * b}$$

Em que:

a = inclinação linha do solo

b = intersecção da linha do solo

Modificado uma segunda vez, o TSAVI apresentou a adição do fator 0.08 para minimizar os efeitos do brilho de fundo do solo. Essa segunda versão é descrita:

$$TSAVI_2 = \frac{a(NIR - aRED - b)}{RED + aNIR - ab + 0.8(1 + a^2)}$$

O *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (MSAVI) propõe duas modificações no SAVI, baseadas na modificação do fator L . Ambos pretendem uma melhor correção do brilho do solo de fundo em diferentes condições de cobertura vegetal.

No MSAVI₁, o fator L é selecionado como uma função empírica devido ao fato de que o L decresce com a diminuição da cobertura vegetal, como é o caso em terras semi-áridas. O MSAVI₁ pode cancelar ou minimizar o efeito do brilho do solo.

$$MSAVI_1 = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L)$$

$$L = 1 - 2 \gamma N$$

$$DVI * W DVI$$

Em que:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*;

WDVI = *Weighted Difference Vegetation Index* NIR-y RED;

γ = inclinação da linha do solo de fundo;

2 = utilizado para aumentar o intervalo dinâmico *do* L (0 a 1).

A segunda modificação do SAVI o $MSAVI_2$ utiliza um fator L indutivo para:

- ✓ Remover o “ruído” do solo que não foi cancelado pelo produto NDVI e WdVI.
- ✓ Valores maiores que 1 no $MSAVI_1$ podem ser devido ao valor negativo do NDVI e WdVI. Dessa forma há limitação em sua utilização para áreas com alta densidade de vegetação.

$$MSAVI_2 = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$$

O *Weighted Difference Vegetation Index* (WdVI), embora simples, é muito eficiente como a maioria dos índices de vegetação. O efeito do peso na banda do vermelho, com a inclinação da linha do solo, é a maximização do sinal da vegetação no vermelho e no infravermelho próximo e a minimização do efeito do brilho do solo. O WdVI é descrito na seguinte expressão:

$$WdVI = NIR - \gamma RED$$

Em que: γ = inclinação da linha do solo.

Alguns Índices de vegetação foram especificamente criados para correção dos efeitos atmosféricos, são eles:

O Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera (ARVI). Neste índice, os efeitos atmosféricos do espalhamento atmosférico por aerossóis, principalmente evidenciados no vermelho, podem ser corrigidos, pixel a pixel, por intermédio da diferença entre as reflectâncias azul e vermelho.

Enhanced Vegetation Index (EVI) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação em regiões de alta biomassa, além de apresentar melhor capacidade de monitoramento através de uma quebra do sinal do substrato do dossel vegetal e de redução das influências atmosféricas.

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L} (1 + L)$$

Onde: ρ são as refletâncias da superfície corrigidas ou parcialmente corrigidas para efeitos atmosféricos; L é o fator de ajuste para o substrato; e $C1$ e $C2$ são os coeficientes para correção de aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar, poeira), o quais utilizam a banda azul para corrigir a influência dos aerossóis na banda do vermelho.

Como foi visto ao longo deste capítulo, existe uma variedade de índices de vegetação; no entanto, este estudo pretende gerar os índices, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). O primeiro por apresentar uma gama de trabalhos e pesquisas relacionados ao mesmo, e o segundo por apresentar uma constante capaz de minimizar as influências do solo de fundo (pois a bacia do rio Araguari se encontra em áreas de Cerrado sofrendo influências do solo).

2.4 – 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 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; a seguir, a descrição dos sensores a bordo da plataforma Terra:

- **MODIS:** *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*;
- **CERES:** *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* possui a propriedade de medição da energia radiante emitida e refletida da superfície e da atmosfera, ou seja, mede o fluxo radiante no topo da atmosfera para monitorar o balanço de energia;
- **MOPPIT:** *Measurements of Pollution in the Troposphere* mede o grau de poluição da Terra (monóxido de carbono e metano);
- **MISR:** *Multangle Imaging Spectroradiometer*, destinado ao mapeamento da vegetação, áreas desertas e cobertas por gelo, coleta dados sobre nuvens e aerossóis atmosféricos;
- **ASTER:** *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, disponibiliza dados simultâneos da superfície terrestre, imagens utilizadas para vegetação, temperatura, tipos de rochas e vulcões.

Os sensores a bordo da plataforma Aqua:

- **MODIS:** *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*;
- **AIRS:** *Atmospheric Infrared Sounder*, fornece dados sobre temperatura e umidade para previsões climáticas;
- **AMSU:** *Advanced Microwave Sounding Unit*, integrado ao AIRS, atua na medição de temperatura em camadas superiores da atmosfera, especialmente estratosfera;
- **CERES:** já descrito anteriormente;
- **AMSR:** *Advanced Microwave Radiometer*, sensor passivo radiométrico de microondas, responsável por coletar radiação de microondas emitida;

- **HSB:** *Humidity Souder for Brazil*, capta umidade atmosférica em regiões com muita nuvem.

O sensor MODIS, objeto de estudo dessa pesquisa, encontra-se presente em ambas plataformas espaciais e terá suas características detalhadas no próximo item.

2.4.1 – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

De acordo com Barker et al., (1992, apud LATORRE et al.), 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.

Dentre os sensores da plataforma Terra e Aqua, o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) merece destaque especial por abranger uma gama de funções, destacadas sucintamente no QUADRO 4.

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 μm a 14,385 μm , 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. O QUADRO 5 apresenta a descrição das bandas do sensor MODIS.

QUADRO 4 - Aplicações, medidas e instrumentos do satélite Terra EOS – AM.

Aplicações	Medidas	Instrumentos
Atmosfera	Propriedades das nuvens	MODIS, MISR, ASTER
	Fluxo de Energia e Radiação	CERES, MODIS, MISR
	Química da Troposfera	MOPITT
	Propriedades dos Aerossóis	MISR, MODIS
	Temperatura da Atmosfera	MODIS
	Umidade da Atmosfera	MODIS
Solo	Cobertura da terra e uso da mudança da Terra	MODIS, MISR, ASTER
	Dinâmica da Vegetação	MODIS, MISR, ASTER
	Temperatura da superfície	MODIS, ASTER
	Ocorrência de incêndios	MODIS, ASTER
	Efeitos Vulcânicos	MODIS, MISR, ASTER
Oceano	Temperatura da superfície	MODIS
	Fitoplancto e Material Orgânico dissolvido	MODIS, MISR
Criosfera	Mudança do gelo na terra	ASTER
	Gelo do mar	MODIS, ASTER
	Cobertura de neve	MODIS, ASTER

FONTE: ATDB Modis.

A análise do QUADRO 5 permite inferir que as primeiras 19 bandas são da porção refletida do espectro eletromagnético, e que as bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres, e estão localizadas em posição semelhante às do sensor ETM+/Landsat (fato que possibilita a comparação de dados de ambos sensores ETM+ e MODIS), as bandas de 8-16 para as observações oceânicas, as bandas 17-19 para as medições atmosféricas, e o intervalo que compreende as bandas 20-36 exceto a banda 26, cobrem a porção termal do espectro.

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.

QUADRO 5 – Descrição das 36 Bandas do sensor MODIS.

USO PRIMÁRIO	FOCO	BANDA	LARGURA DA BANDA (μm)	RESOLUÇÃO (m)
Terra/Nuvens Limites	RED	1	0.620 – 0.670	250
	NIR	2	0.841 – 0.876	250
Terra/Nuvens Propriedades	BLUE	3	0.459 – 0.479	500
	VIS	4	0.545 – 0.565	500
	SWIR/MWIR	5	1.230 – 1.250	500
	SWIR/MWIR	6	1.628 – 1.652	500
	SWIR/MWIR	7	2.105 – 2.155	500
Cor do oceano/ Fitoplancto Biogeoquímica	VIS	8	0.405 – 0.420	1000
	VIS	9	0.438 – 0.420	1000
	VIS	10	0.483 – 0.493	1000
	VIS	11	0.526 – 0.536	1000
	VIS	12	0.546 – 0.556	1000
	NIR	13	0.662 – 0.672	1000
	NIR	14	0.673 – 0.683	1000
	NIR	15	0.743 – 0.753	1000
	NIR	16	0.862 – 0.877	1000
Atmosfera Vapor d'água	NIR	17	0.890 – 0.920	1000
	NIR	18	0.931 – 0.941	1000
	NIR	19	0.915 – 0.965	1000
Superfície Nuvem Temperatura	SWIR/MWIR	20	3.660 – 3.840	1000
	SWIR/MWIR	21	3.929 – 3.989	1000
	SWIR/MWIR	22	3.929 – 3.989	1000
	SWIR/MWIR	23	4.020 – 4.080	1000
Atmosfera Temperatura	SWIR/MWIR	24	4.433 – 4.498	1000
	SWIR/MWIR	25	4.482 – 4.549	1000
Nuvens de Cirro Vapor d'água	SWIR/MWIR	26	1.360 – 1.390	1000
	LWIR	27	6.535 – 6.895	1000
	LWIR	28	7.175 – 7.475	1000
	LWIR	29	8.400 – 8.700	1000
Ozônio	LWIR	30	9.580 – 9.880	1000
Nuvem/superfície Temperatura	LWIR	31	10.780 – 11.280	1000
	LWIR	32	11.770 – 12.270	1000
Topo de nuvem Altitude		1		
	LWIR	33	13.185 – 13.485	1000
	LWIR	34	13.485 – 13.785	1000
	LWIR	35	13.785 – 14.085	1000
	LWIR	36	14.085 – 14.385	1000

FONTE: ATDB Modis.

Legenda

	Reflectância	Temperatura	Vapor
Terra			
Oceano			
Atmosfera			
Nuvens			
Ozônio			

FONTE: SILVA, A. 2003.

QUADRO 6 - Bandas MODIS para aplicações terrestres
comparadas àquelas dos sensores NOAA/AVHRR e ETM+/Landsat
 (intervalos espectrais em μm)

Faixa Espectral	NOAA / AVHRR	Landsat ETM+		MODIS
Azul		0.450 - 0.515		0.459 - 0.479
Verde	0.550 - 0.680	0.525 - 0.605	0.520 - 0.900	0.545 - 0.565
Vermelho		0.630 - 0.690		0.620 - 0.670
Infravermelho Proximo	0.725 - 1.1 xm	0.775 - 0.900		
Infravermelho Medio				1.230 - 1.250
Infravermelho Medio		1.550 - 1.750		1.628 - 1.652
Infravermelho Medio		2.090 - 2.350		2.105 - 2.155
Resolucao Espacial		30, 15m		250 500, 1000m
Resolucao Temporal	12 horas	16 dias		1 - 2 dias

FONTE: SILVA, A. (2004).

Os produtos MODIS estão em uma estrutura de grade, isto é, imagens obtidas segundo órbitas que são reprojatadas em uma grade com tamanho e área fixa, o que facilita a correlação entre os dados e a sua localização na Terra. O *Tile* refere-se ao recorte que representa cada cena de uma imagem MODIS, cada *tile* possui uma referência horizontal e vertical (Cf. FIGURA 11) numérica em uma grade que recobre todo o planeta Terra o que facilita a localização da cena que recobre a área da pesquisa, cada *tile* possui uma área de 1200 Km x 1200 km, globalmente são 460 *tiles*. Para cobrir todo o território brasileiro, são necessários 15 *tiles*. Esses dados, originalmente na projeção *sinusoidal* (SIN) e no formato *Hierarchical Data Format* (HDF), podem ser reprojatados para uma projeção de interesse do usuário por meio

do *Modis Reprojection Tool* ou HEGTOOLS (aplicativos desenvolvidos pelo Centro de Distribuição de Dados EDC/DAAC).

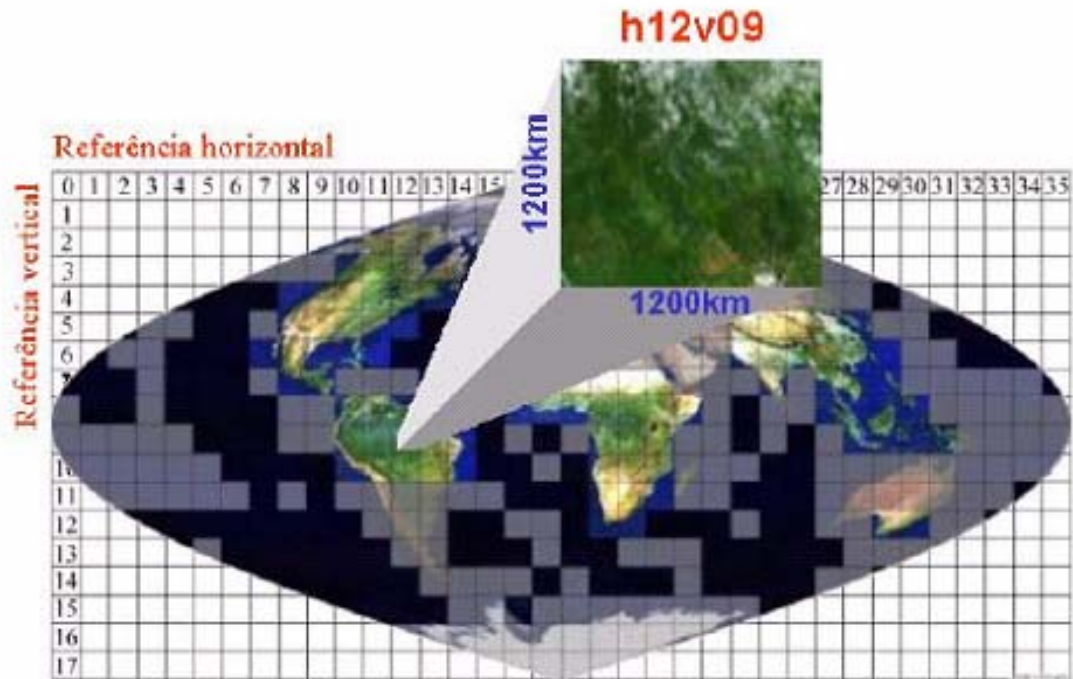


FIGURA 11 – Sistema de referência dos dados MODIS. Em destaque o *tile* de referência horizontal 12, e vertical 09.

FONTE: CD Workshop MODIS.

Os produtos MODIS são divididos em cinco níveis de processamento (0 a 4), que variarão em função do grau de processamento realizado, e que, segundo Latorre et al., (2003, p. 108-109) podem ser:

- **Nível 0:** imagem em estado bruto, sem nenhum tipo de tratamento, não sendo disponível ao usuário;
- **Nível 1 (1A):** contém uma base de dados de 36 canais do MODIS, utilizado como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento. Indicadores de qualidade são adicionados aos dados para indicar a perda ou *pixels* ruins. Medidas no visível, infravermelho próximo e médio são feitas apenas durante o dia, enquanto que

as medidas na faixa do infravermelho termal são feitas tanto durante o dia quanto a noite;

- **Nível 1 (1B):** os produtos contêm os dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas pelo nível 1A. As radiâncias são em $W/(m^2 \cdot \mu sr)$. Em adição, o BRDF (reflectância bidirecional) pode ser determinado para bandas do espectro refletivo (1 a 19 e 26) por meio do conhecimento da irradiação solar (a exemplo da determinação de dados MODIS e da geometria de iluminação do alvo). Dados adicionais são fornecidos, incluindo as estimativas de qualidade, de erro e de dados de calibração;
- **Nível 2:** os produtos deste nível são derivados de radiâncias calibradas a partir de produtos MODIS obtidos previamente. Os produtos conhecidos como nível 2G (L2G) são gerados a partir de um conjunto de dados de um simples dia do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade baseada na Terra (earth-based grid), preservando todas as amostras dos dados originais do nível 2. Cabe salientar que, a menor quantidade de dados processados em um determinado período e definida nos níveis 1 e 2 como granular (granule) e correspondem à aproximadamente cinco minutos de imageamento. O MODIS imagea 288 “grânulos” a cada 24 horas, sendo sua cobertura equivalente a uma área aproximada de 2340 Km (*across-track*) por 2030 Km (*along-track*);
- **Nível 3:** neste nível os produtos são espacialmente re-amostrados e temporariamente compostos para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização. As escalas de tempo dos produtos destes níveis variam de um simples dia para um ano inteiro.

Além das bandas individuais destacadas anteriormente, o sensor MODIS também disponibiliza uma variedade de pacotes de produtos, no total são 44. O QUADRO 7 mostra os produtos MODIS disponíveis com diferentes aplicações, disponíveis para os usuários de maneira geral.

QUADRO 7 – Produtos do sensor MODIS.

Aplicação	Produtos
Calibração	MOD 01 – Nível 1A Radiância MOD 02 – Nível 1B Radiância calibrada e georretificada MOD 03 – Dados de georreferenciamento
Atmosfera	MOD 04 - Aerossol MOD 05 – Vapor d'Água MOD 06 – Nuvem MOD 07 – Perfil atmosférico MOD 08 – Produto atmosférico em formato matricial MOD 35 – Máscara de nuvem
Terra	MOD 09 – Reflectância de superfície MOD 11 – Temperatura superficial do terreno e emissividade MOD 12 – Cobertura do solo/mudanças na cobertura MOD 13 – Índices de vegetação em formato matricial (NDVI máximo & MVI integrado) MOD 14 – Anomalias termais, fogo & queimadas MOD 15 – Índice de área foliar & fPAR MOD 16 – Evapotranspiração MOD 17 – Fotossíntese e produtividade primária bruta MOD 43 – Reflectância de superfície MOD 44 – Conversão de cobertura vegetação
Criosfera	MOD 10 – Cobertura de neve MOD 29 – Cobertura de gelo do mar
Oceano	MOD 18 – Radiância normalizada de água de saída MOD 19 – Concentração de pigmentos MOD 20 – Fluorescência de clorofila MOD 21 – Concentração de pigmentos da clorofila_a MOD 22 – Radiação fotossinteticamente disponível (PAR) MOD 23 – Concentração de sólidos em suspensão MOD 24 – Concentração de matéria orgânica MOD 25 – Concentração de cocólitos MOD 26 – Coeficiente de atenuação de água oceânica MOD 27 – Produtividade primária dos oceanos MOD 28 – Temperatura da superfície do mar MOD 31 – Concentração de ficocitrina MOD 36 – Coeficiente de absorção total MOD 37 – Propriedades dos aerossóis oceânicos MOD 39 - E(água límpida)

FONTE: SILVA, E. (2004).

Dentre estes produtos, pode-se destacar os destinados a estudos do balanço energético, cobertura terrestre e a vegetação (LATORRE et al., 2003):

Produtos destinados ao Balanço Energético:

MOD09: produto MODIS de reflectância da superfície, estimativa da reflectância espectral da superfície para cada uma de suas bandas, que variam de 1 a 7. Esse produto vem

acompanhado pelas informações de cada *pixel*, garantindo a integridade de seus dados por meio da QA (*Quality Assurance*).

MOD10 e 29: são parâmetros para o balanço de energia global, refletindo muito a radiação solar incidente de volta ao espaço, estão sendo desenvolvidos alguns algoritmos para o mapeamento global da cobertura de gelo, bem como a temperatura nas superfícies congeladas dos mares.

MOD11: necessário para descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitado para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos. Utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) e a emissividade recuperados dos dados do AQUA/MODIS, com resoluções espaciais de 1 km e 5 km da superfície terrestre em condições atmosféricas adequadas.

MOD43: diz respeito aos parâmetros da distribuição da função da reflectância bidirecional (BRDF)/ALBEDO. A reflectância da superfície terrestre é altamente anisotrópica. Seu valor, quando observado do espaço dependerá de duas variáveis: o ângulo de visada do sensor e o de iluminação solar. Isto se deve, principalmente, aos efeitos direcionais da transferência radiativa no interior dos dosséis ou solos, além dos efeitos geométricos, tais como o de sombreamento, causados pela estrutura tridimensional da vegetação e outras superfícies. O albedo é importante na modelagem de diversos sistemas climáticos da Terra, sendo definido como a fração de energia descendente que é refletida de volta à atmosfera pela superfície.

Produtos destinados à Cobertura Terrestre:

MOD12: esse produto apresenta três produtos que contêm parâmetros de tipos de cobertura da terra e mudança no solo, sendo produzido com uma resolução espacial de 1 km. A mudança na cobertura terrestre será documentada, segundo Justice et al., (1998, apud LATORRE et al., 2003), por meio de duas aproximações: a primeira, que utilizará dados com resolução mais fina (250 m), no intuito de alerta de mudanças da cobertura terrestre, e a segunda que empregará dados de resolução mais ampla (1 km), utilizando técnicas mais direcionadas a estes tipos de dados como é o caso do Vetor de Mudança.

MOD14: diz respeito às anomalias termais; as informações das queimadas podem ser utilizadas para conduzir modelos regionais de emissão e transporte de gases e química

atmosférica. O referido produto tem como característica a inclusão da ocorrência do fogo e o cálculo da energia de cada foco, além de composições de oito e 30 dias de suas ocorrências.

MOD44: utiliza dados das bandas com resolução espacial de 250 m, e os produtos da conversão da cobertura vegetal com o objetivo de mostrar a distribuição global da ocorrência de mudanças da superfície.

Produtos destinados à Vegetação:

MOD15: é o *Leaf Area Index* (LAI) ou Índice de Área Foliar e a Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (FPAR), fornecidos diariamente ou em com base de oito dias. O LAI representa importante propriedade estrutural do dossel da vegetação, medindo a área de folhas por unidade de área de terreno. E a FPAR mede as proporções da radiação disponível nos comprimentos de onda que a vegetação fotossinteticamente ativa absorve (400 a 700 nm).

MOD17: produto que fornece uma medida precisa do crescimento da vegetação terrestre e sua produtividade. O uso teórico é para definir o fluxo dinâmico do carbono na sazonalidade da superfície terrestre para o modelamento climático.

MOD13: apresenta os produtos relativos aos índices de vegetação; esse produto será melhor caracterizado a seguir.

2.4.2 – Produto MOD13

O MOD13 possui dois índices de vegetação, o NDVI e o EVI. Uma particularidade do NDVI é o fato do mesmo ser mais sensível à clorofila, enquanto o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel.

Como visto anteriormente, o NDVI é uma relação entre medidas espectrais das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, visando eliminar diferenças sazonais do ângulo do sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica. O NDVI apresenta rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento de biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (LATORRE et al., 2003, p. 117).

O índice de vegetação melhorado (EVI), desenvolvido no intuito de otimizar o sinal da vegetação, melhora a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação por intermédio de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (LATORRE et al., 2003, p. 117).

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.

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 (Cf. FIGURAS 12 e 13 respectivamente);
- Duas imagens com informações que atestam a qualidade dos produtos Índice de Vegetação - NDVI *Quality* (Cf. FIGURA 14) e EVI *Quality* (Cf. FIGURA 15);
- Imagens refletância das bandas BLUE, RED (Cf. FIGURA 16), NIR (Cf. FIGURA 17) e MIR (Cf. FIGURA 18);
- Três imagens referentes à maneira em que estes dados foram adquiridos, ângulo de visada (Cf. FIGURA 19), ângulo zenital solar (Cf. FIGURA 20) e azimuth (Cf. FIGURA 21).

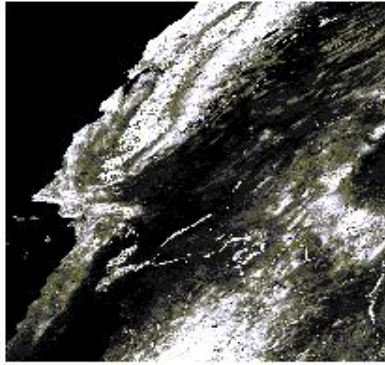


FIGURA 12 - Produto "pronto" NDVI

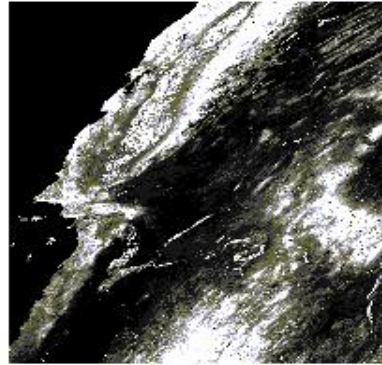


FIGURA 13 - Produto "pronto" EVI

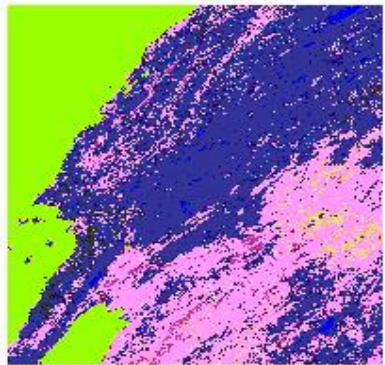


FIGURA 14 - Produto NDVI *Quality*

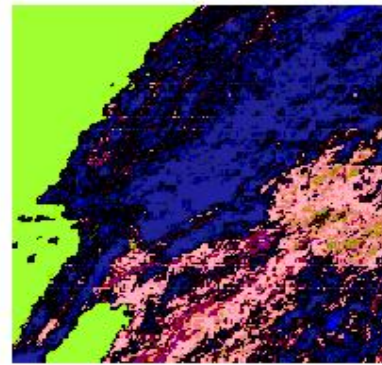


FIGURA 15 - Produto EVI *Quality*

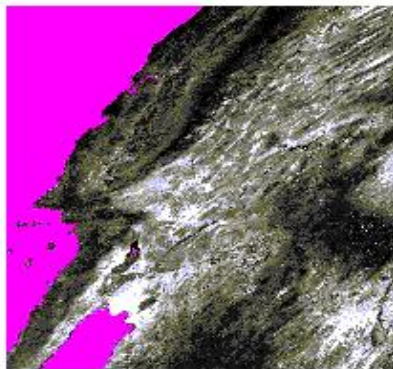


FIGURA 16 - Banda RED

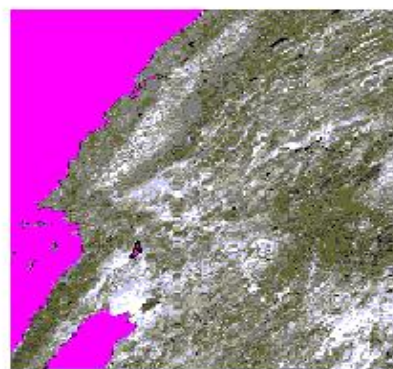


FIGURA 17 - Banda NIR

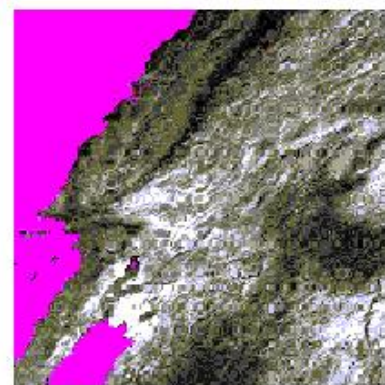


FIGURA 18 - Banda MIR

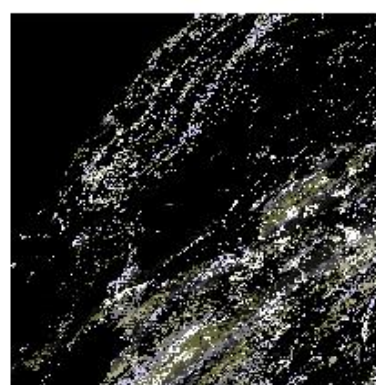


FIGURA 19 - Ângulo de visada

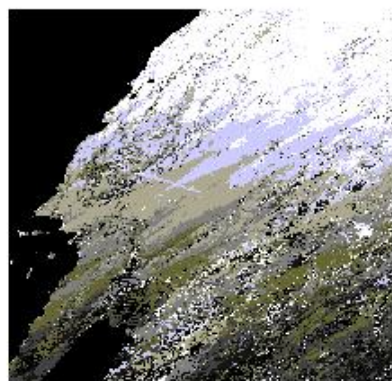


FIGURA 20 - Ângulo zenital solar

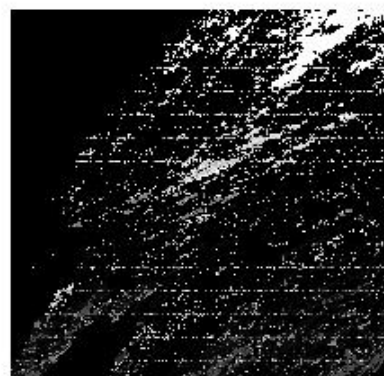


FIGURA 21- Azimute

FONTE: http://64.233.161.104/search?q=cache:EZk3WXrUNDMJ:tbrs.arizona.edu/cdrom/VI_Product/VI_Product.html++MOD13C1&hl=pt-BR

Como comentado anteriormente, os produtos MODIS são disponibilizados ao usuário georreferenciados e, de acordo com Silva, A. (2004), apresentam alto grau de credibilidade, uma vez que já foram realizados testes de validação. A correção atmosférica, que elimina pixels com a influência de nuvens, aerossóis, vapor d' água e/ou poluentes, é uma outra vantagem da utilização desses produtos.

É importante destacar, que mesmo o produto MOD13 apresentando os índices de vegetação NDVI e EVI “prontos”, optou-se pela geração dos mesmos a partir das bandas individuais contidas no referido produto, essa opção se deu em virtude de dificuldades na manipulação dos índices de vegetação disponibilizados no produto. Outra alternativa para a geração dos índices de vegetação, é a utilização das bandas do vermelho e infravermelho próximo contidas no produto MOD09 (Reflectância da Superfície).

Em anexo o leitor pode ter acesso aos passos necessários para obter as imagens MODIS.

3 - MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 – Materiais

3.1.1 – Documentos cartográficos

- ◆ Folhas Topográficas editadas pelo Instituto Brasileiro 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.**

3.2 - 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 três etapas distintas:

- Aquisição dos produtos e manipulação das imagens.
- Geração dos Índices de Vegetação e elaboração dos mapas de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal.
- Aplicação do método de detecção de mudanças - Imagem Diferença.

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

3.2.2 – Geração dos Índices de Vegetação e elaboração dos mapas de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal

A geração da composição colorida foi possível utilizando as bandas do produto MOD13Q1 (RGB - Red, NIR, Blue) para melhor identificação e localização geográfica dos diferentes alvos/categorias de uso da terra.

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.

3.2.3 – Aplicação do método de detecção de mudanças Imagem Diferença

Objetivando detectar mudanças, foi utilizado o método Imagem Diferença. Essa técnica baseia-se no registro de imagens de dois tempos diferentes (t_1 e t_2), quando é feita a subtração pixel a pixel e produzida uma terceira imagem, imagem residual que representa as mudanças entre duas datas (MAS, 1999). A imagem diferença realça as mudanças ocorridas dentro de um determinado recorte temporal e espacial, podendo ser aplicada com objetivo de realçar alvos como expansão de áreas urbanas, mudanças no uso do solo, diferenças sazonais na vegetação no desmatamento ou desflorestamento.

No trabalho em questão, a detecção de mudanças foi realizada a partir da subtração da imagem Índice de Vegetação referente ao mês de janeiro da imagem Índice de Vegetação

referente ao mês de outubro. A escolha dessas imagens se deu em virtude do mês de janeiro representar o máximo vigor vegetativo e o mês de outubro representar o início do calendário agrícola para as culturas anuais. Portanto, muitas áreas de solo preparado e vegetação dissecada para o plantio direto, ou seja, índices de vegetação baixos, ausência de vigor vegetativo. Os resultados serão apresentados no capítulo 4.

Vale ressaltar que o processamento digital ao qual sofreram as imagens MODIS consistiu na geração de composição colorida, índices de vegetação, detecção de mudanças e na reclassificação desses produtos, o que possibilitou gerar os mapas de uso do solo, tendo em vista que a imagem foi disponibilizada já georreferenciada, e com as correções geométricas e radiométricas devidamente realizadas.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa teve como foco principal discutir a viabilidade da utilização de imagens provenientes do sensor MODIS, mais especificamente as imagens reflectância que compõem o pacote de produtos Índice de Vegetação (produto MOD13Q1), com vistas à identificação de mudanças na paisagem da Bacia do Rio Araguari, que apresenta as várias feições que são significativas da vegetação do Cerrado, e grande parte da sua área destinada à produção de grãos e pecuária. Para tal, as imagens reflectância (Red, NIR e Blue) compuseram as composições coloridas e as bandas Red e NIR foram transformadas em Índices de Vegetação, para a partir daí realizar a Detecção de Mudanças e elaboração dos Mapas de Uso do Solo na Bacia do Rio Araguari.

Segue adiante a descrição dos resultados obtidos a partir desses subprodutos.

4.1 – Composição Colorida MODIS

Foi notado um bom desempenho na utilização das bandas individuais a partir da geração da composição colorida (Cf. FIGURA 22), destacando-se as áreas vegetadas (representadas pelos tons de verde) e as áreas desmatadas ou destinadas ao plantio (tons de rosa), foram testadas várias composições coloridas. No entanto, a utilizada (RGB – Red, NIR, Blue) foi a que apresentou melhor contraste entre as áreas vegetadas e não vegetadas para a data escolhida (novembro de 2003). Outra vantagem da composição utilizada está no fato de a mesma apresentar cores muito próximas ao real, o que facilita a interpretação de usuários que não estão muito familiarizados com esse tipo de produto.

Ao analisar a figura, é possível a verificação da atividade fotossintética da vegetação em grande parte da área da Bacia do Rio Araguari, pois a data faz referência ao início do período chuvoso.

Um melhor acompanhamento das áreas desmatadas ou destinadas ao plantio foi alcançado com a comparação das imagens Índice de Vegetação NDVI e SAVI para diferentes datas

demonstrando, por exemplo, o comportamento sazonal da vegetação na área da bacia em questão. Os resultados dessa comparação pode ser observado no tópico a seguir.

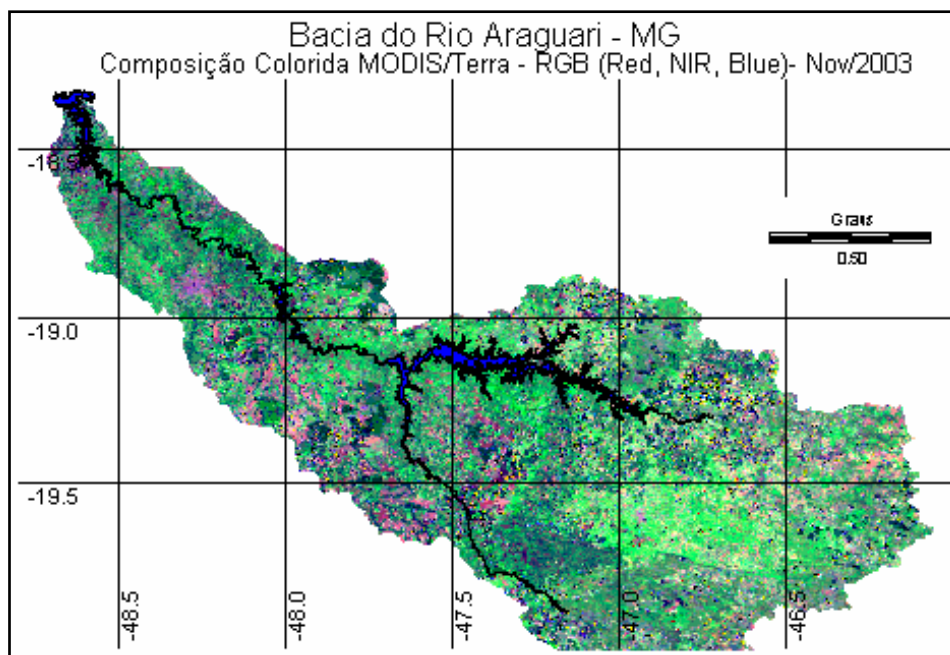


FIGURA 22 - Composição Colorida RGB (Red, NIR, Blue).

4.2 – Índices de Vegetação NDVI e SAVI

A partir da utilização de duas bandas do espectro eletromagnético (banda correspondente ao Vermelho e Infravermelho Próximo), foi possível a geração de produtos como o índice de vegetação que, conforme os objetivos desta proposta de trabalho, serão analisados em seus resultados e apresentados pelos subprodutos obtidos após a geração desses.

Como comentado anteriormente, foram escolhidas 12 datas distintas do produto MOD13Q1 correspondentes ao período de um ano (a partir de junho de 2003 até maio de 2004), no intuito de realizar um acompanhamento da evolução temporal dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI, nos diferentes meses do referido período, possibilitando a comparação do desempenho dos respectivos índices em relação às mudanças na cobertura vegetal e diferenças sazonais. Como se pode observar nas FIGURAS 23 a 46, de modo geral, os índices de vegetação mensal NDVI e SAVI apresentaram um bom resultado no que se refere ao aspecto visual, ou seja, mesmo sem efetuar uma análise mais elaborada. Utilizando para tal outras técnicas, é possível visualizar as mudanças ocorridas no estado fenológico da vegetação.

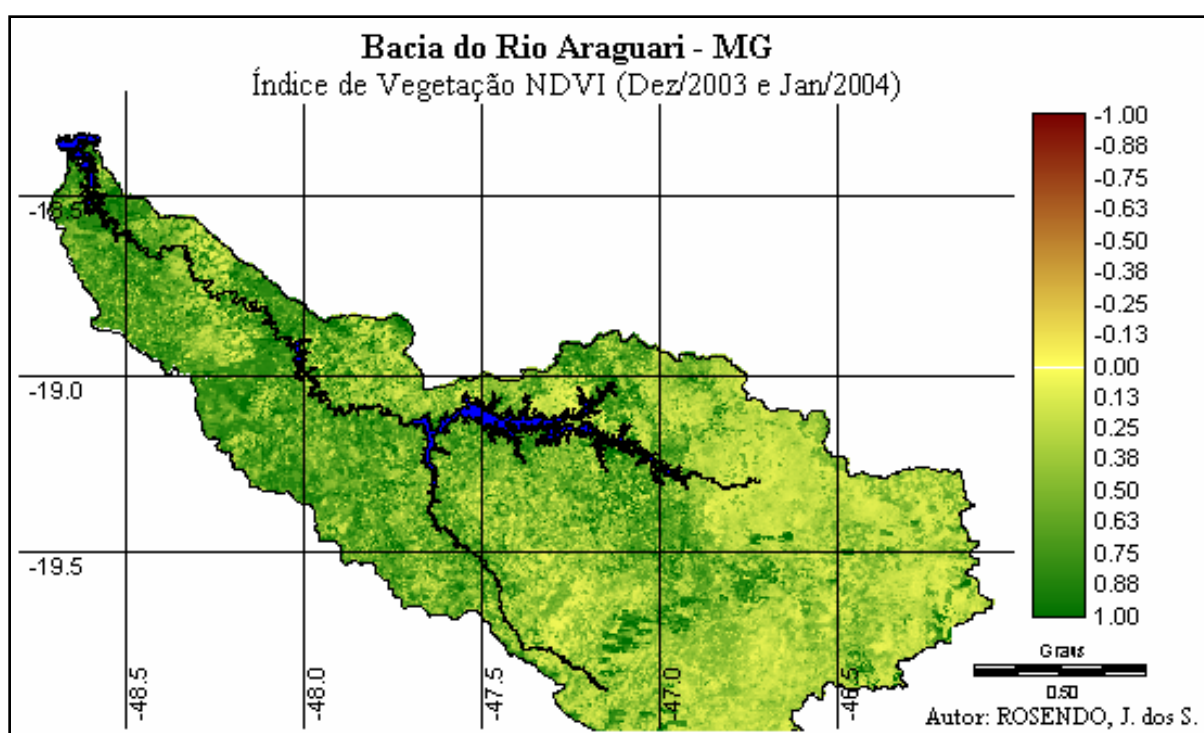


FIGURA 23 – Índice de Vegetação NDVI (Dez/2003 e Jan/2004)

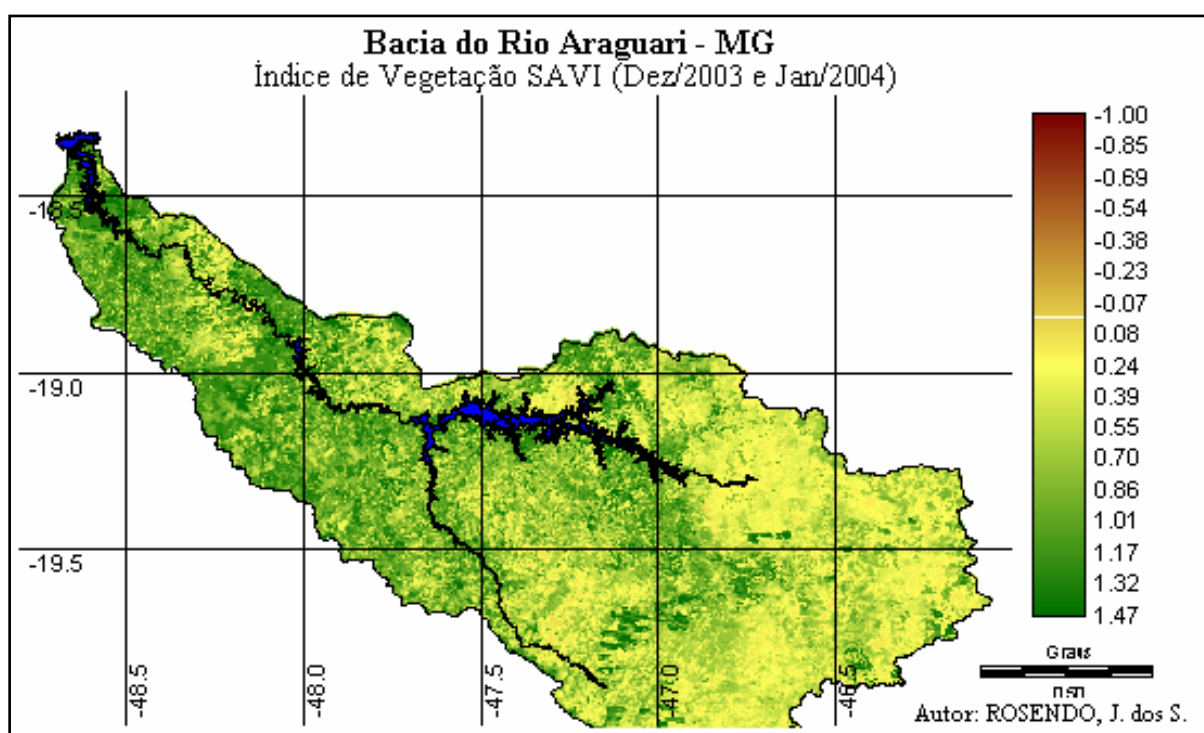


FIGURA 24 – Índice de Vegetação SAVI (Dez/2003 e Jan/2004)

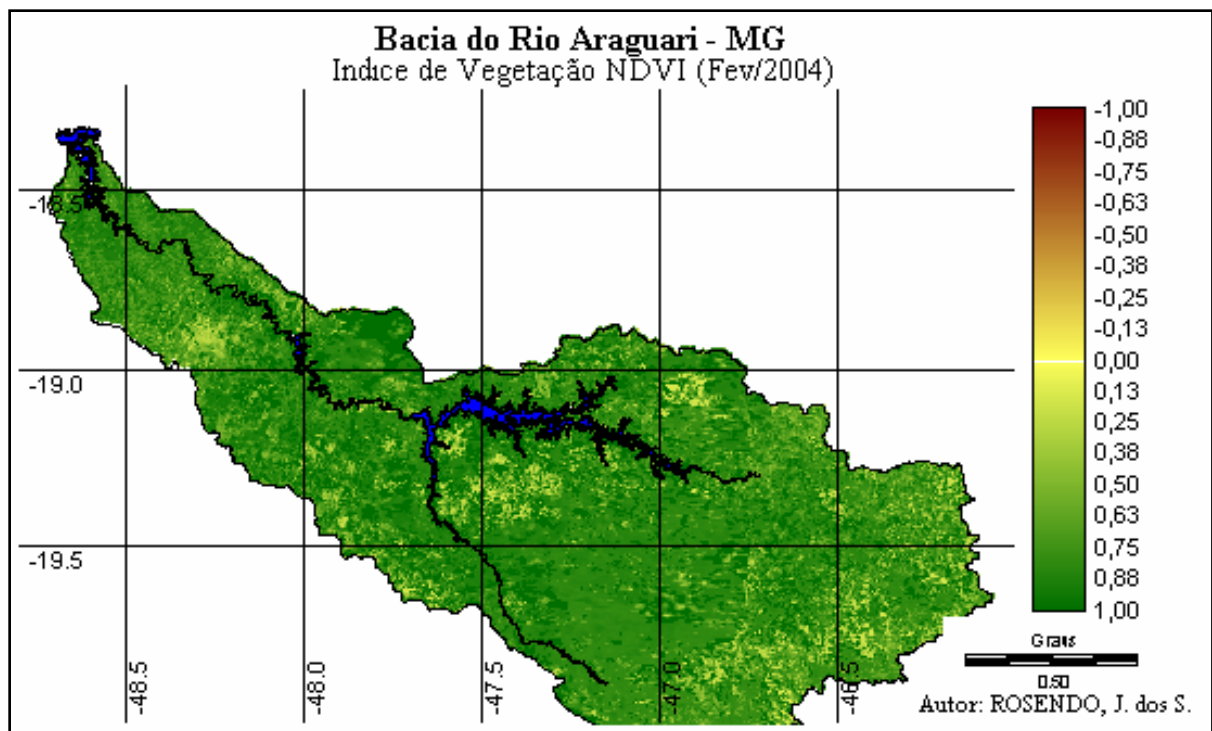


FIGURA 25 – Índice de Vegetação NDVI (Fev/2004)

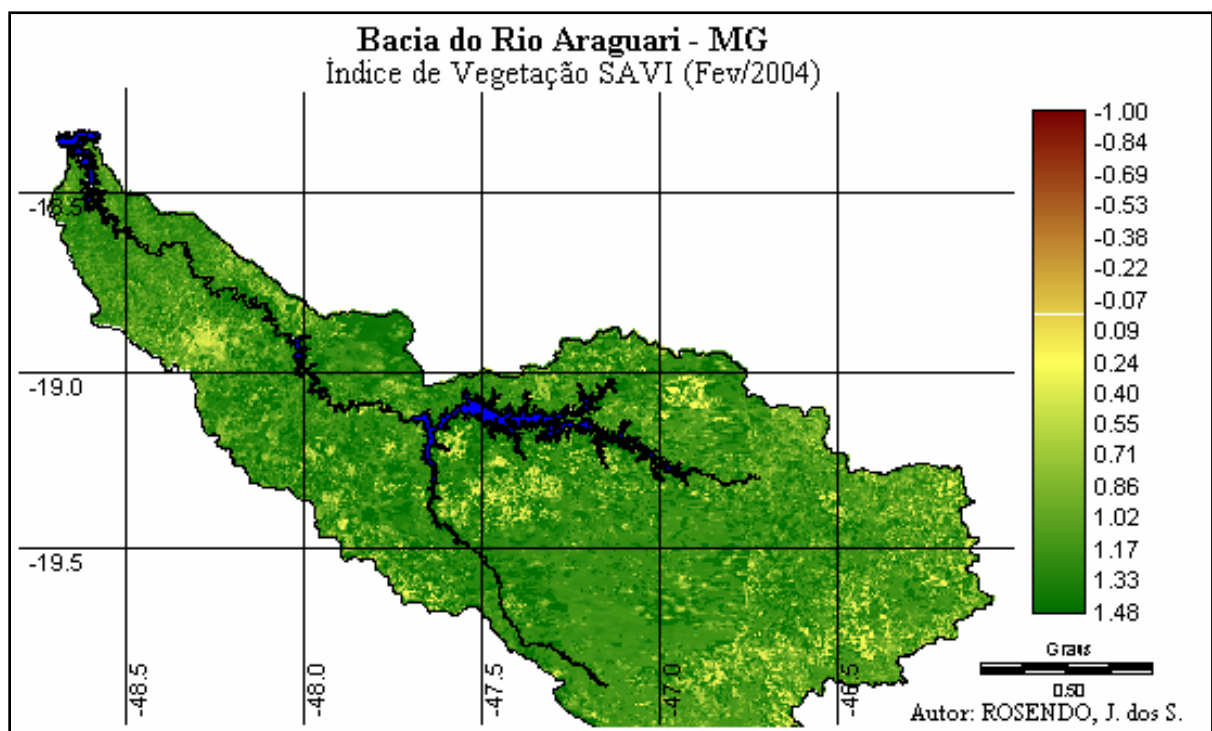


FIGURA 26 – Índice de Vegetação SAVI (Fev/2004)

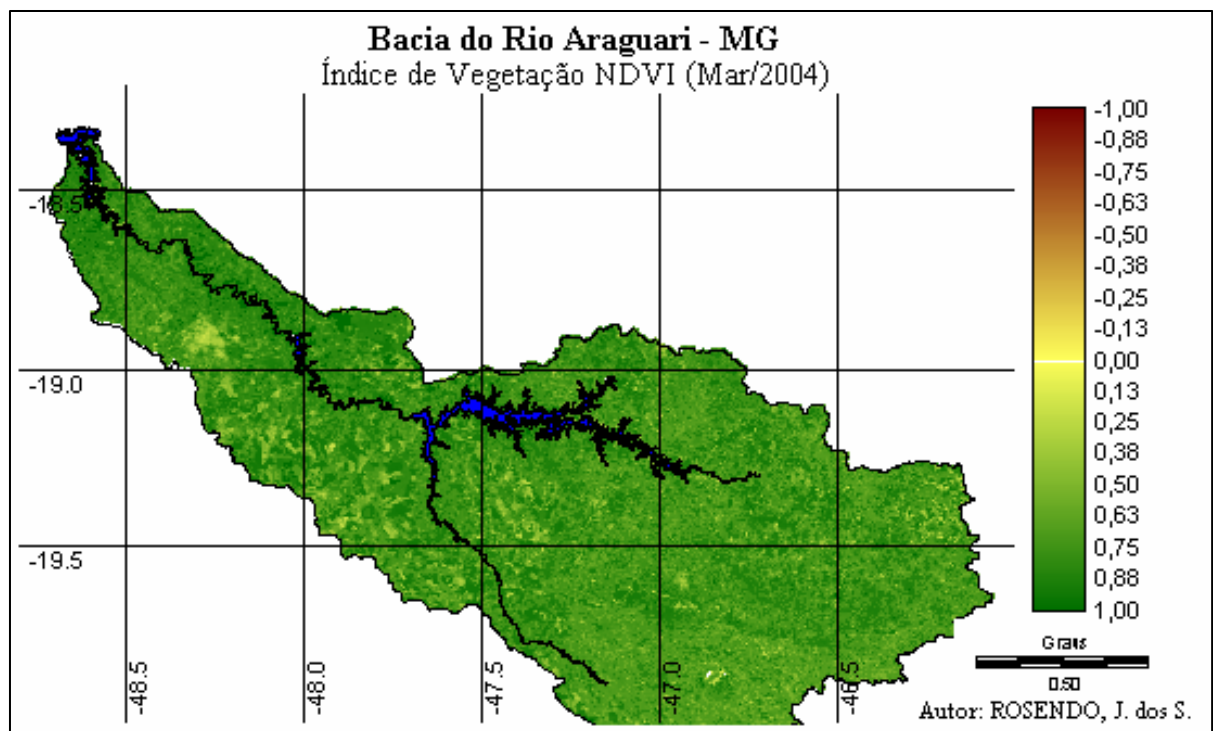


FIGURA 27 – Índice de Vegetação NDVI (Mar/2004)

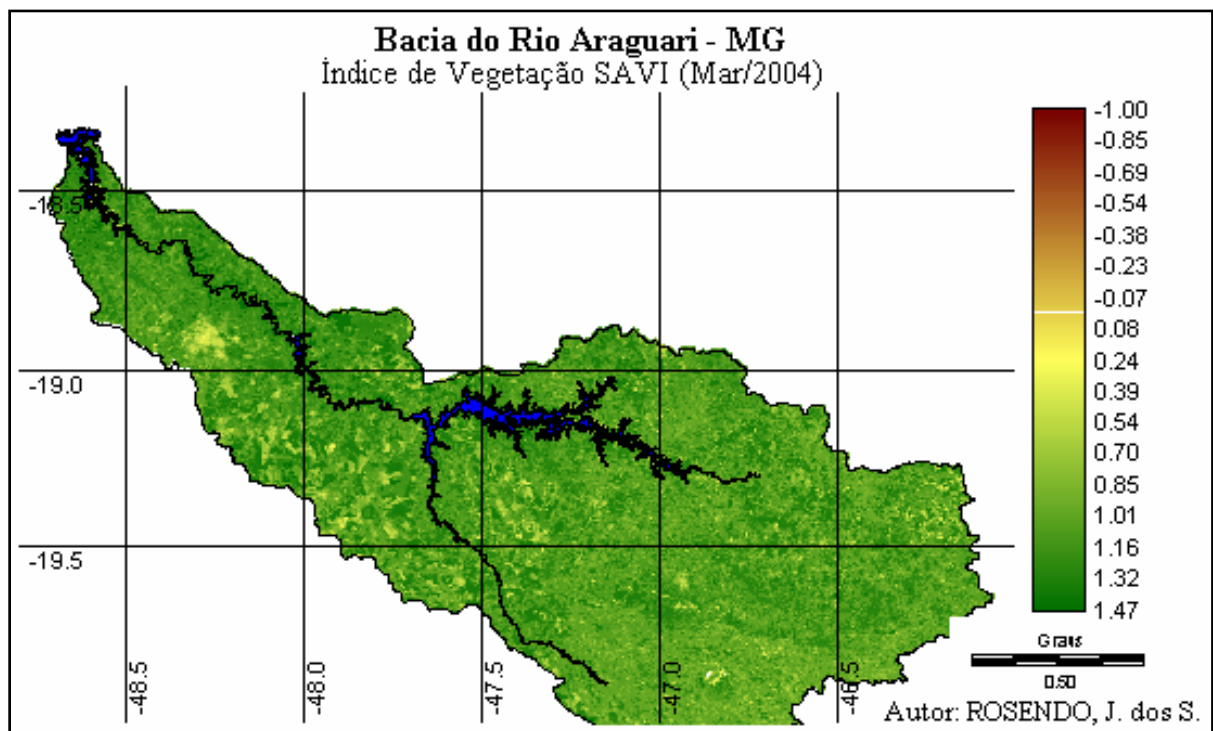


FIGURA 28 – Índice de Vegetação SAVI (Mar/2004)

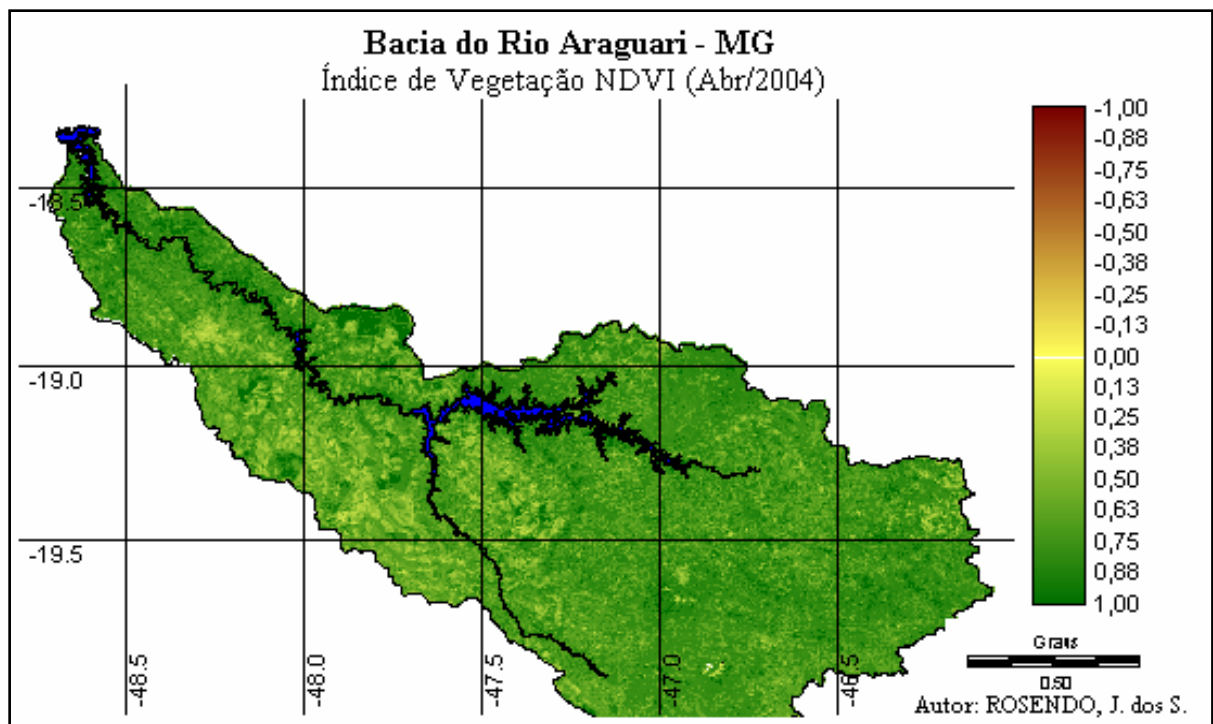


FIGURA 29 – Índice de Vegetação NDVI (Abr/2004)

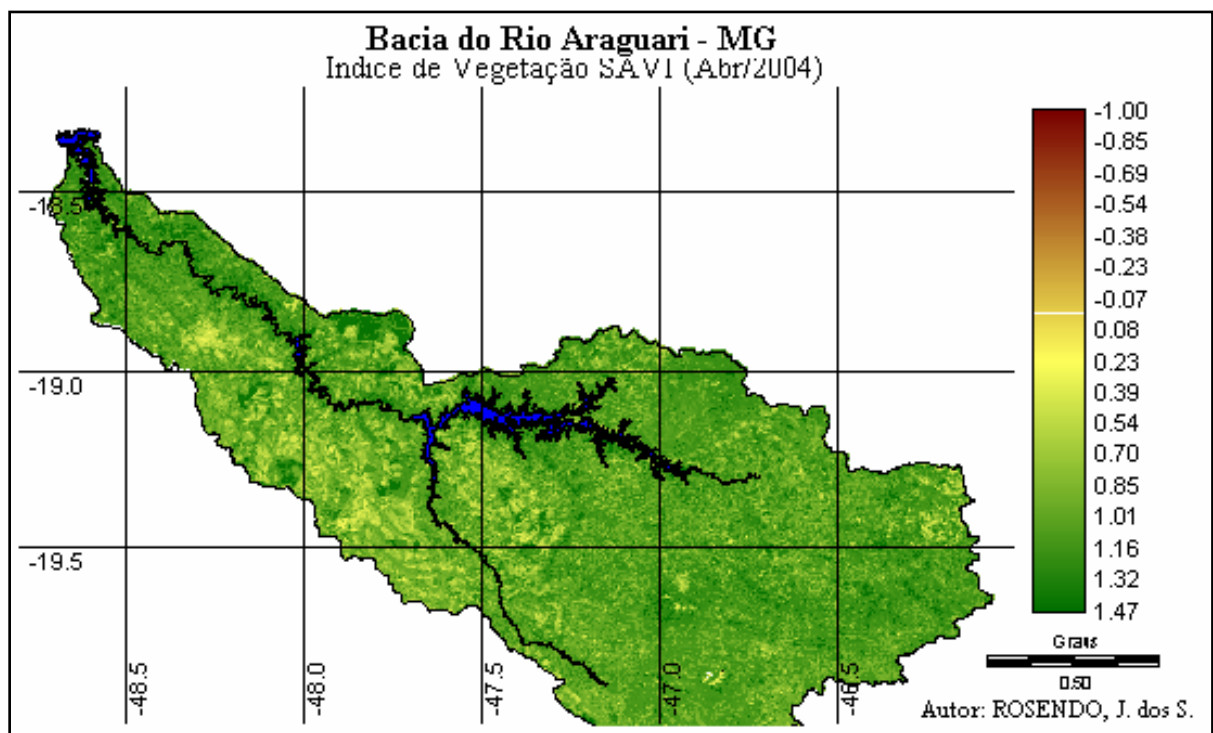


FIGURA 30 – Índice de Vegetação SAVI (Abr/2004)

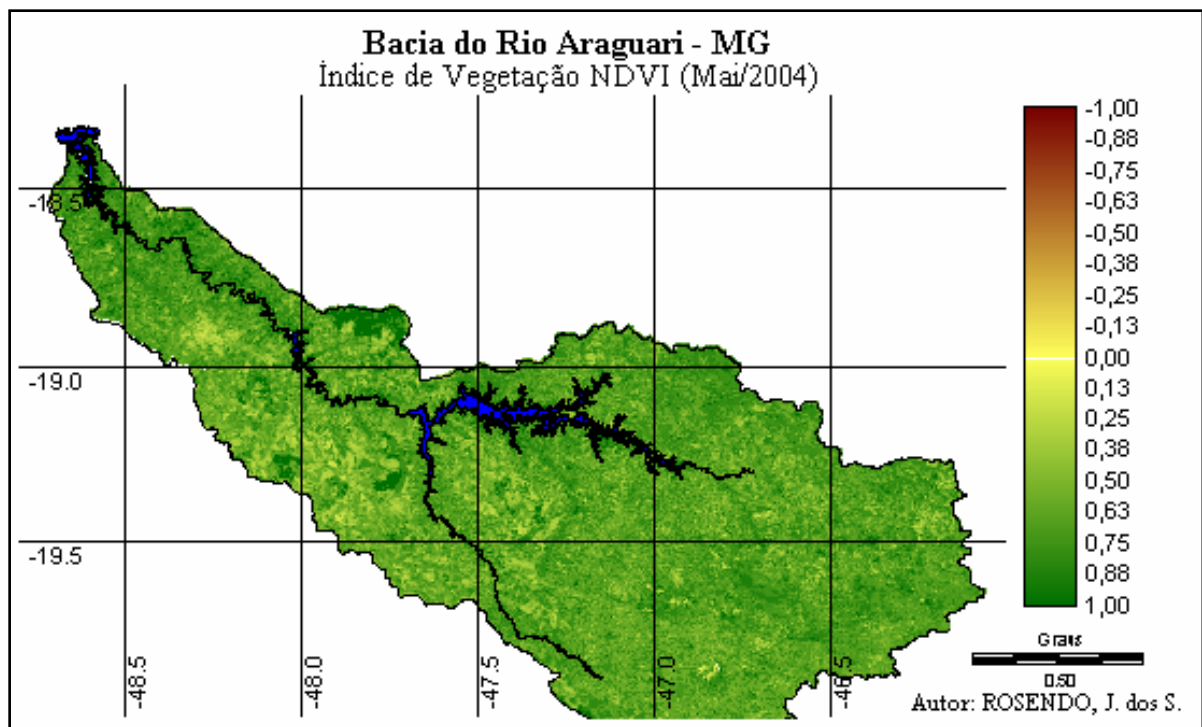


FIGURA 31 – Índice de Vegetação NDVI (Maio/2004)

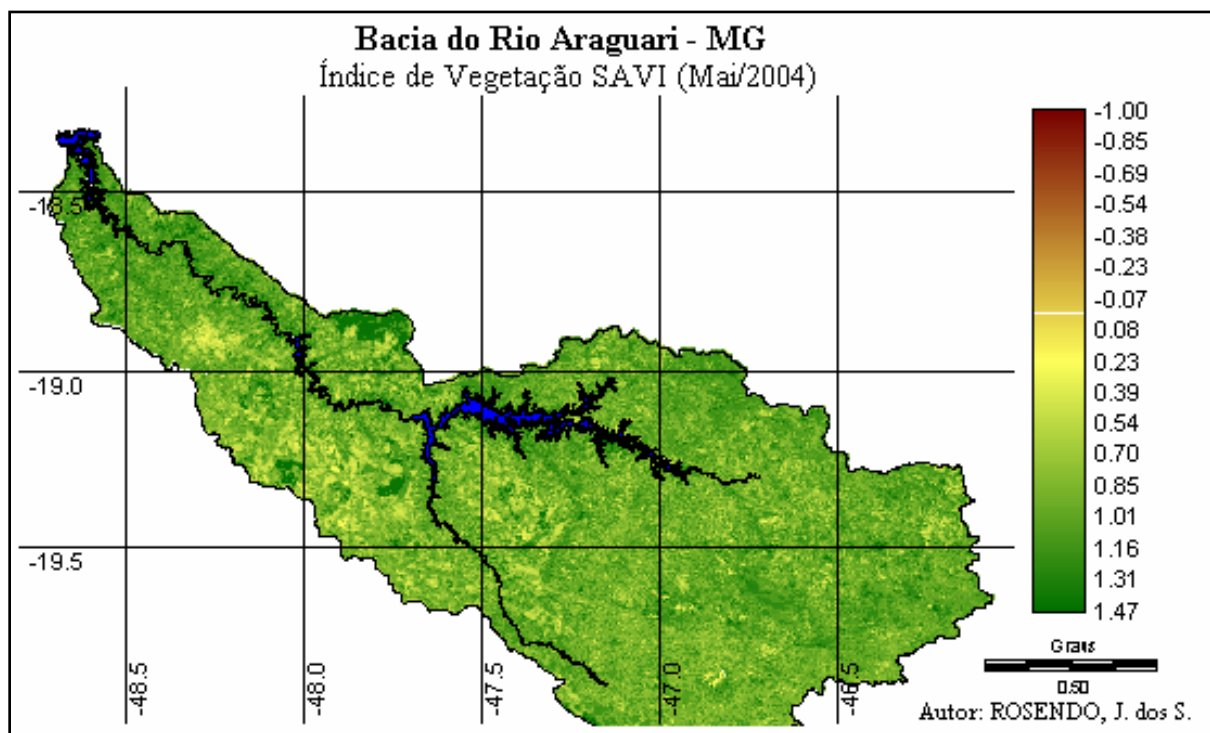


FIGURA 32 – Índice de Vegetação SAVI (Maio/2004)

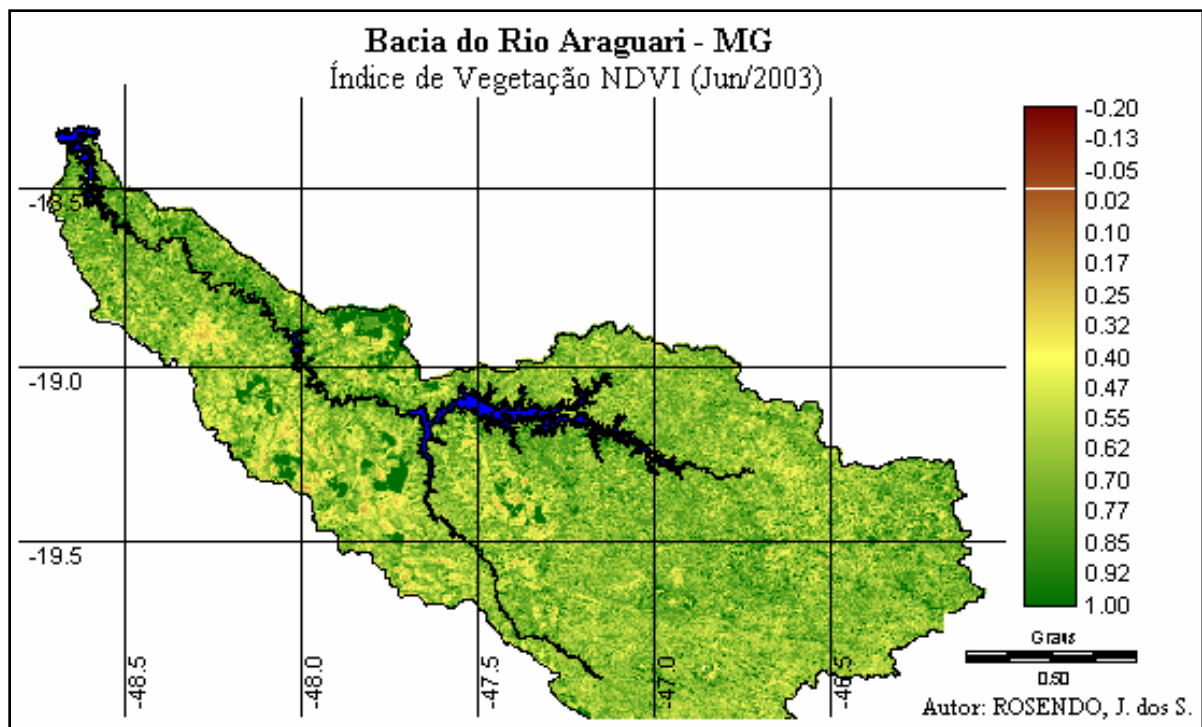


FIGURA 33 – Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003)

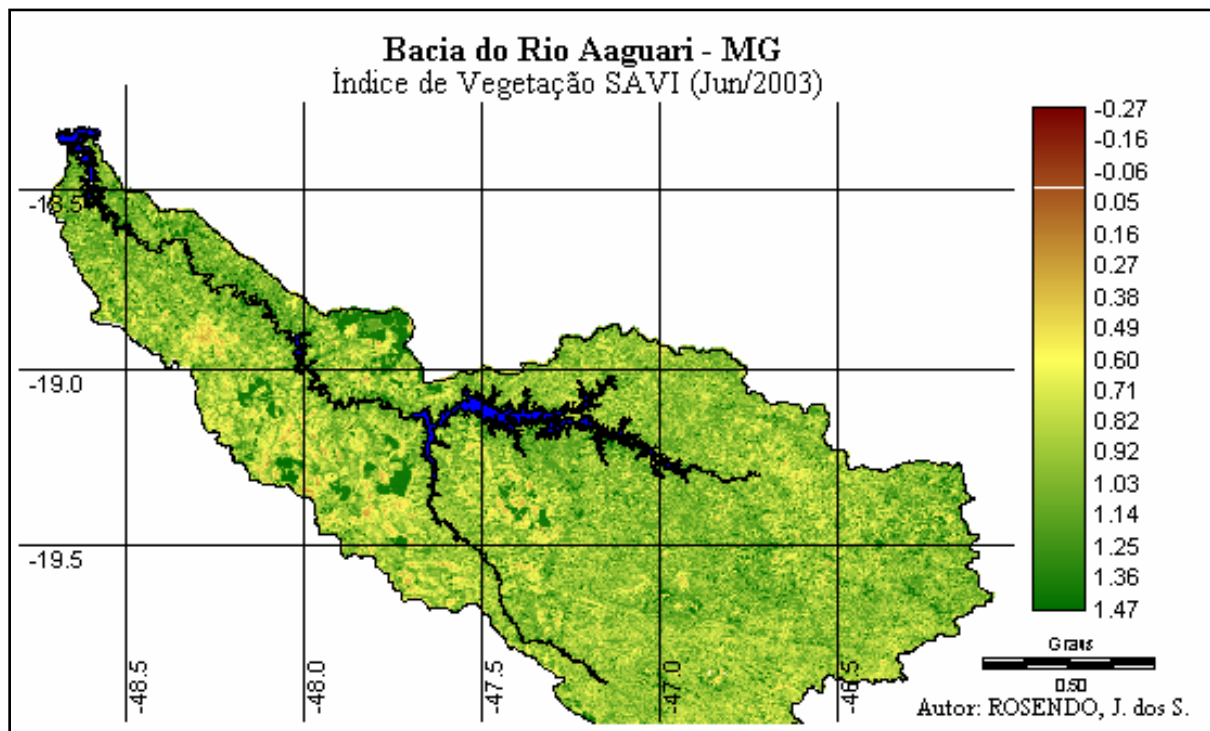


FIGURA 34 - Índice de Vegetação SAVI (Jun/2003)

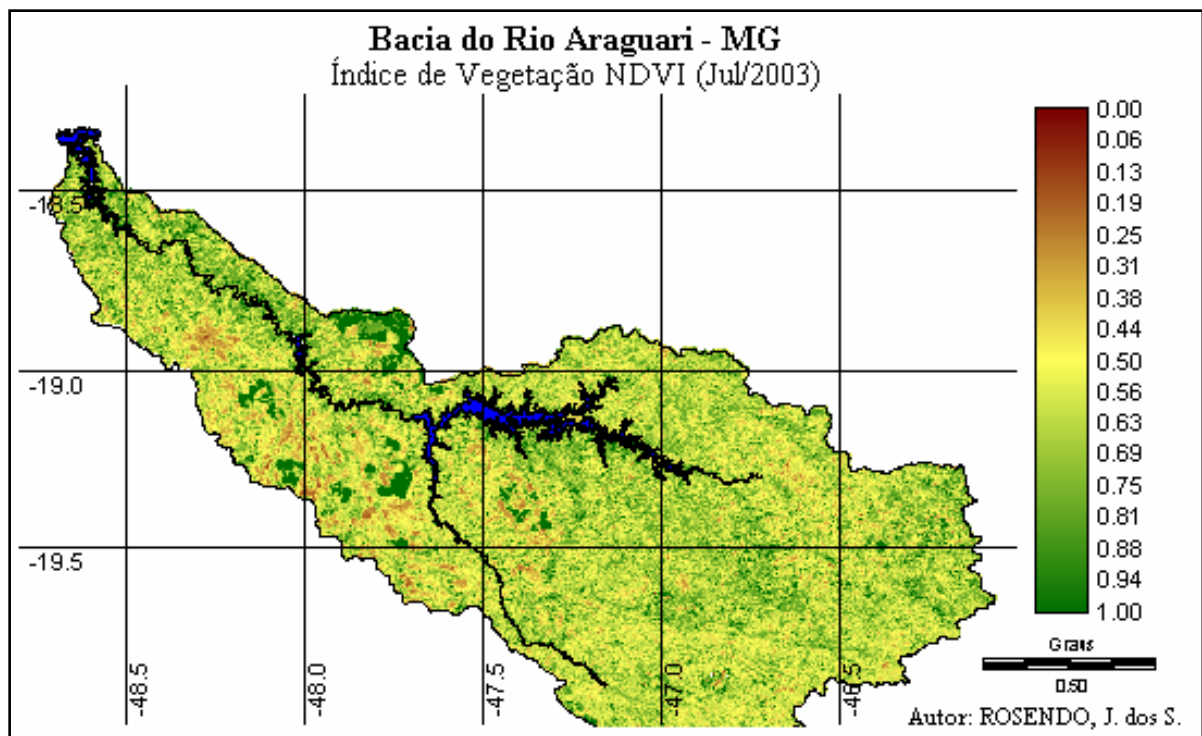


FIGURA 35 – Índice de Vegetação NDVI (Jul/2003)

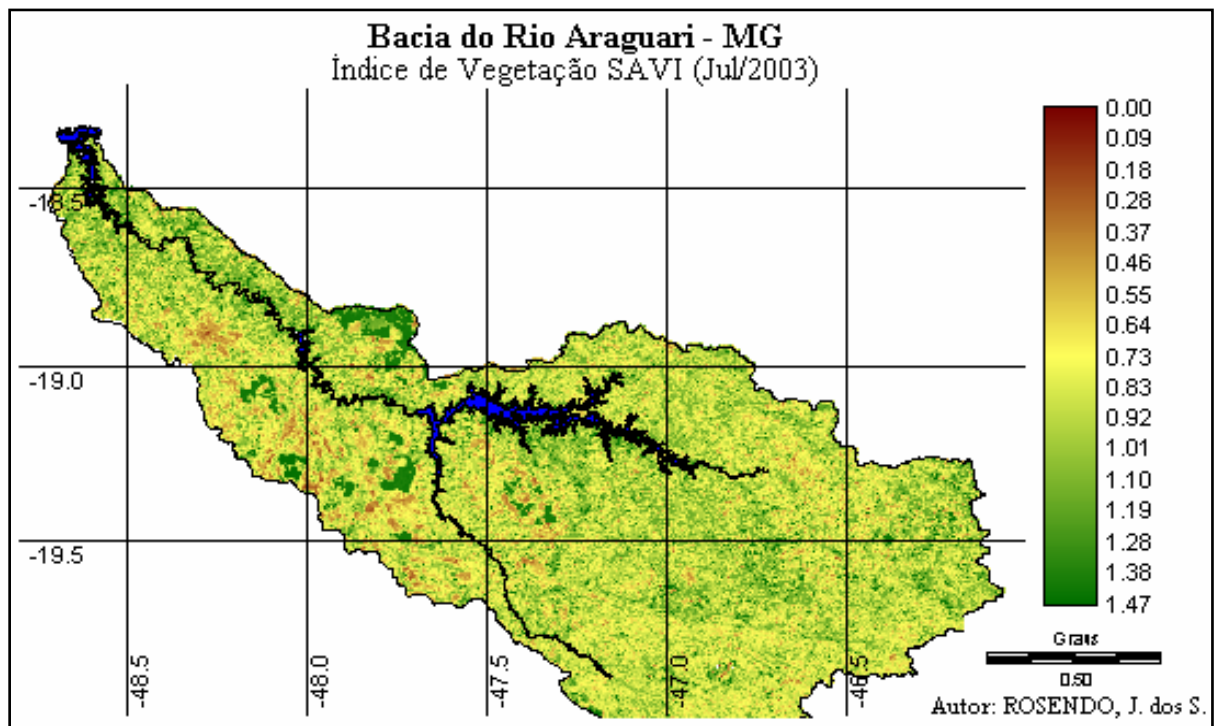


FIGURA 36 - Índice de Vegetação SAVI (Jul/2003)

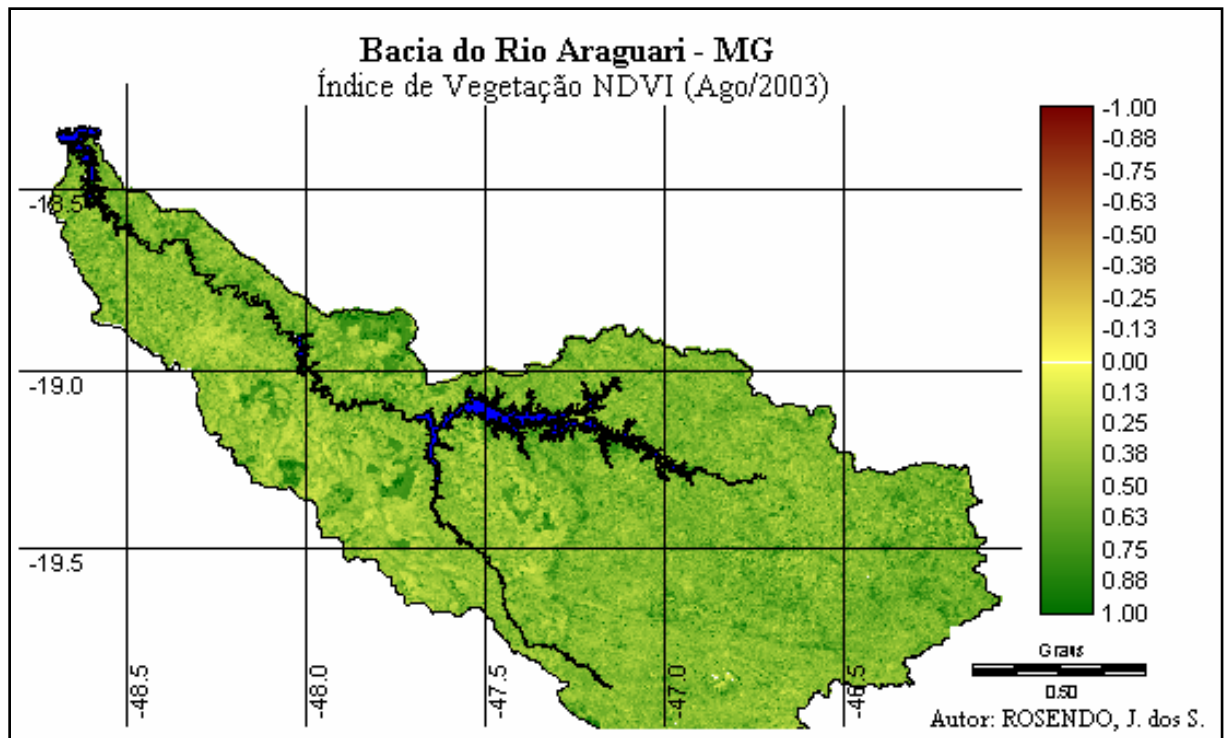


FIGURA 37 – Índice de Vegetação NDVI (Ago/2003)

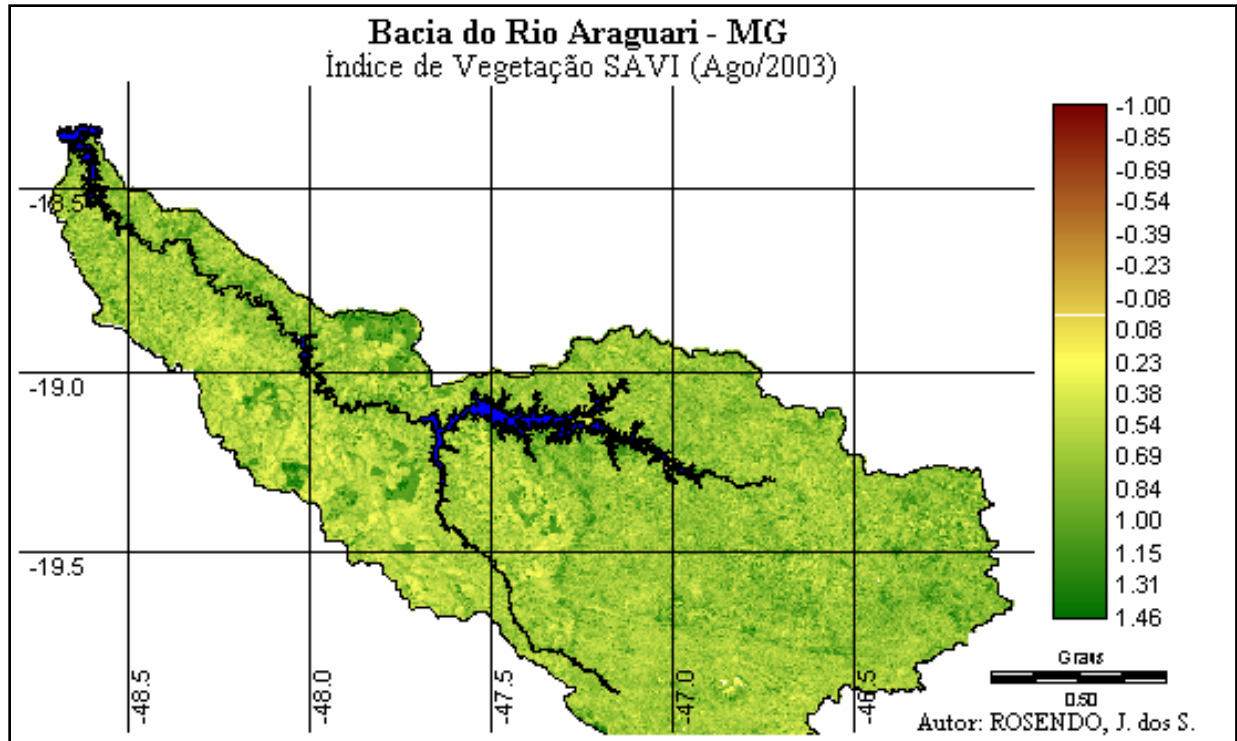


FIGURA 38 - Índice de Vegetação SAVI (Ago/2003)

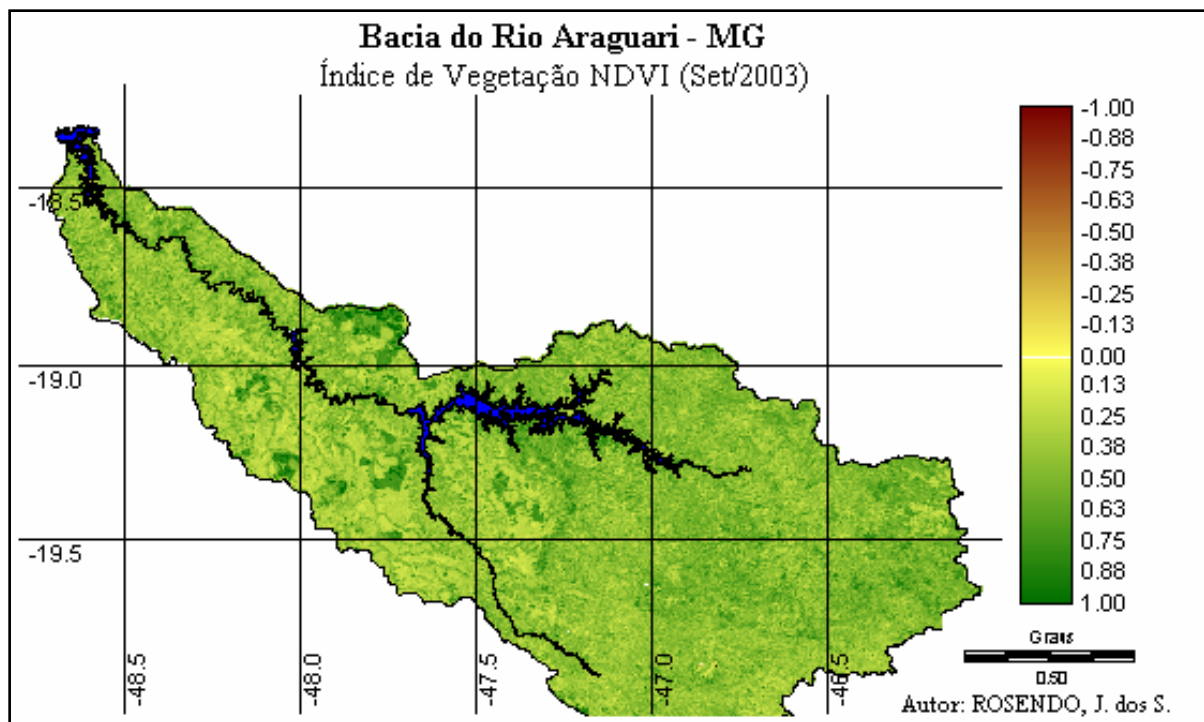


FIGURA 39 – Índice de Vegetação NDVI (Set/2003)

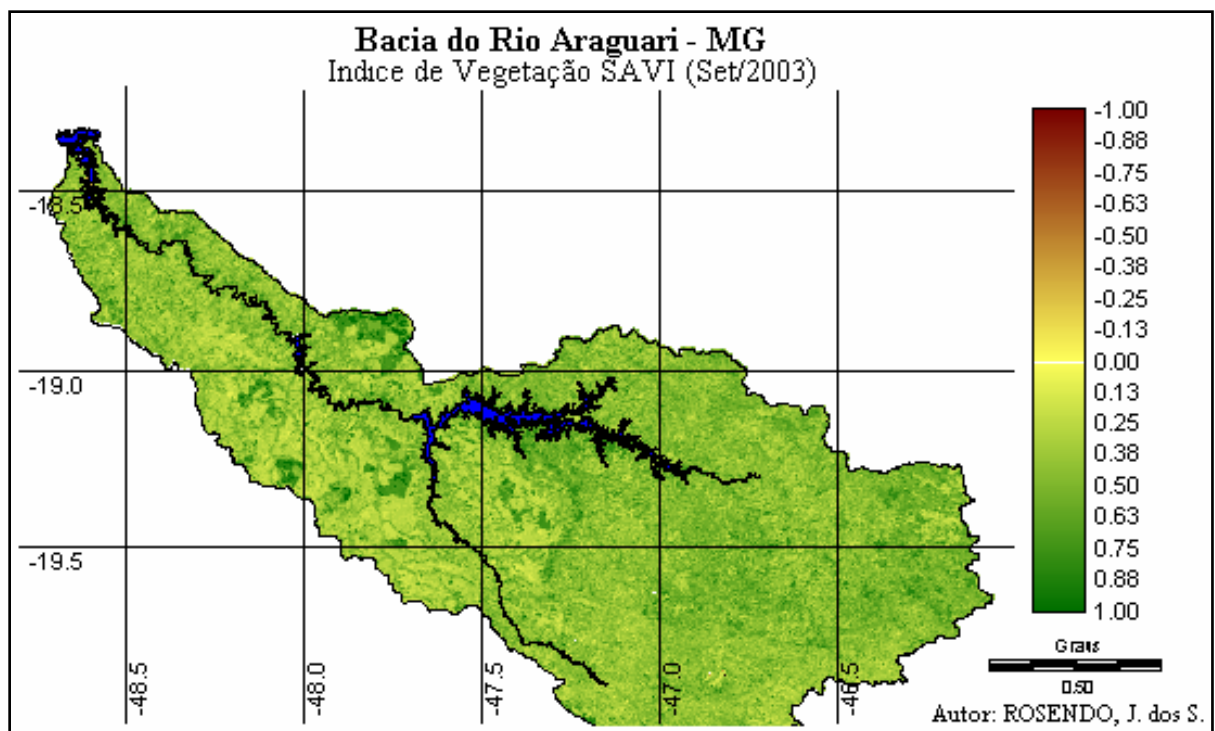


FIGURA 40 – Índice de Vegetação SAVI (Set/2003)

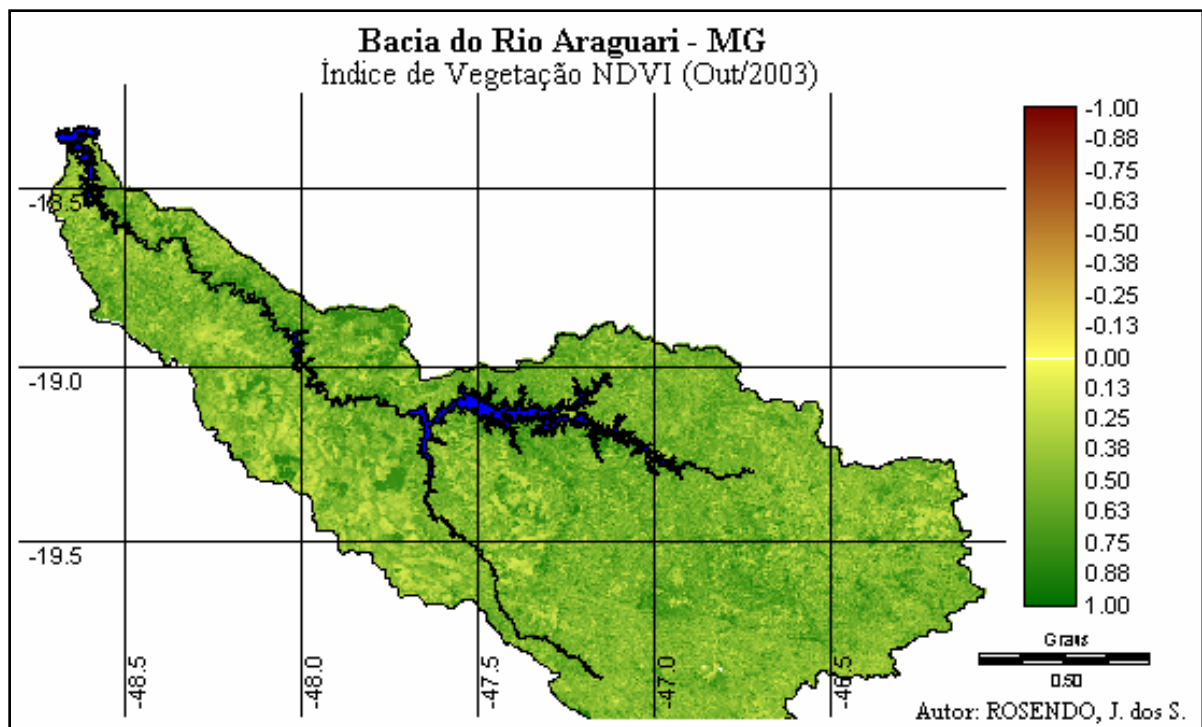


FIGURA 41 – Índice de Vegetação NDVI (Out/2003)

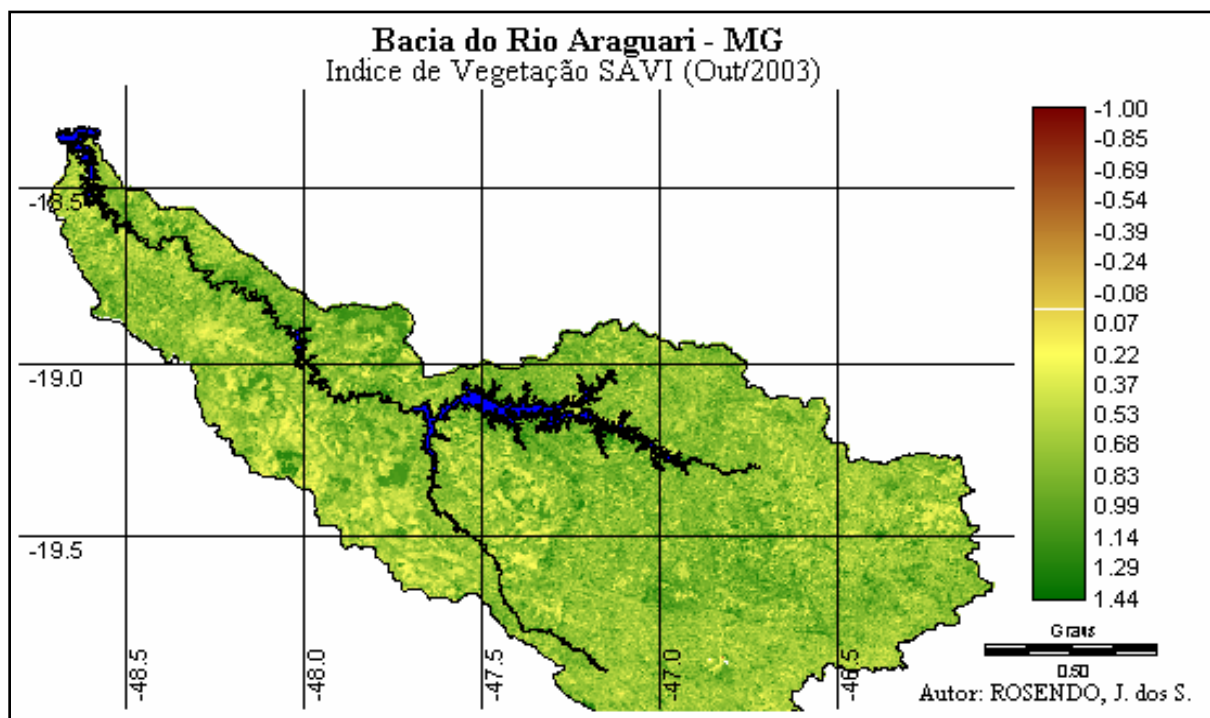


FIGURA 42 – Índice de Vegetação SAVI (Out/2003)

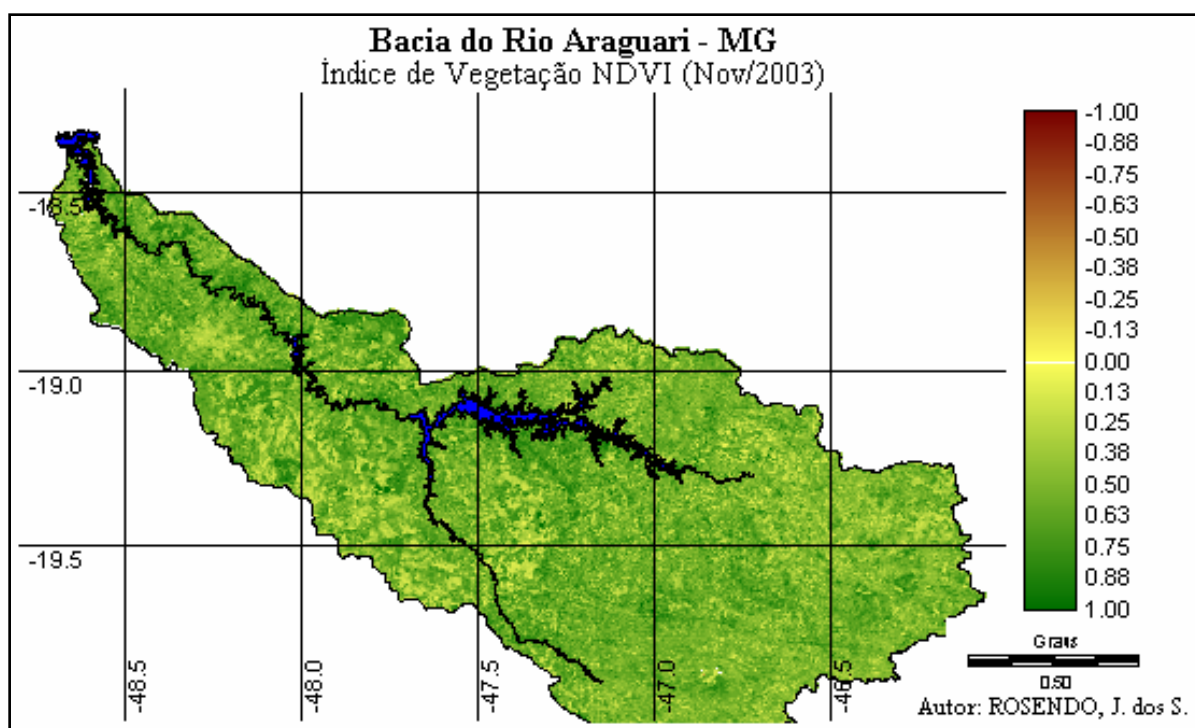


FIGURA 43 – Índice de Vegetação NDVI (Nov/2003)

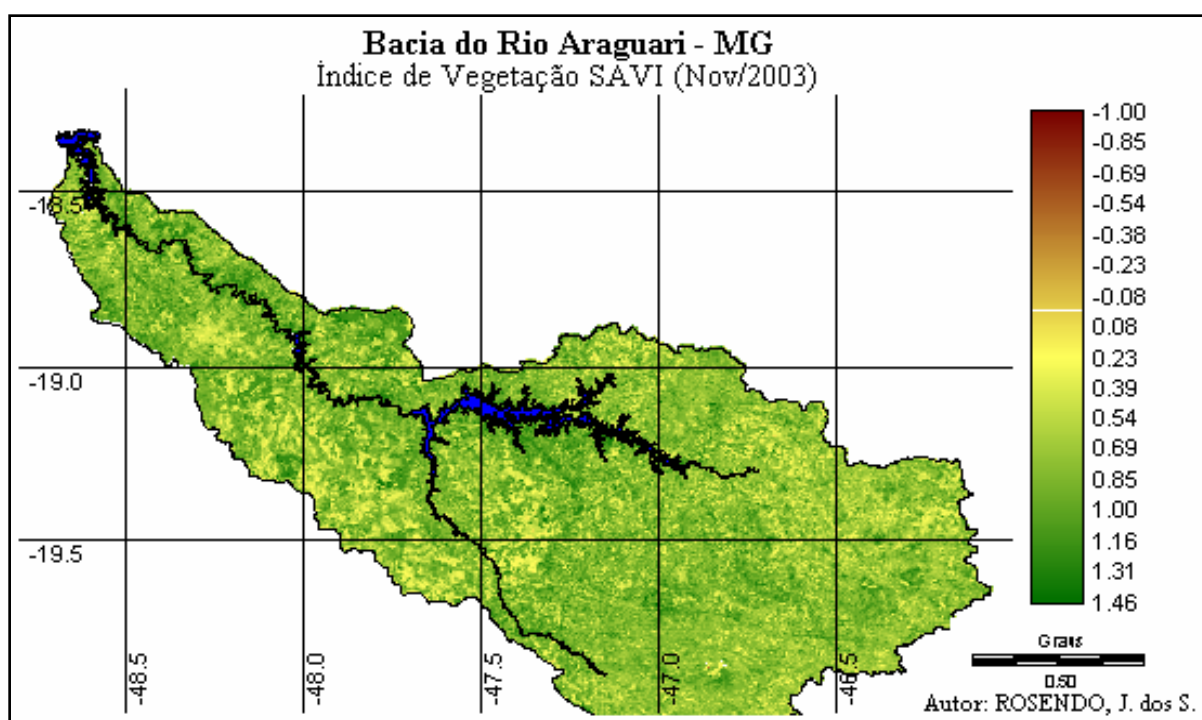


FIGURA 44 - Índice de Vegetação SAVI (Nov/2003)

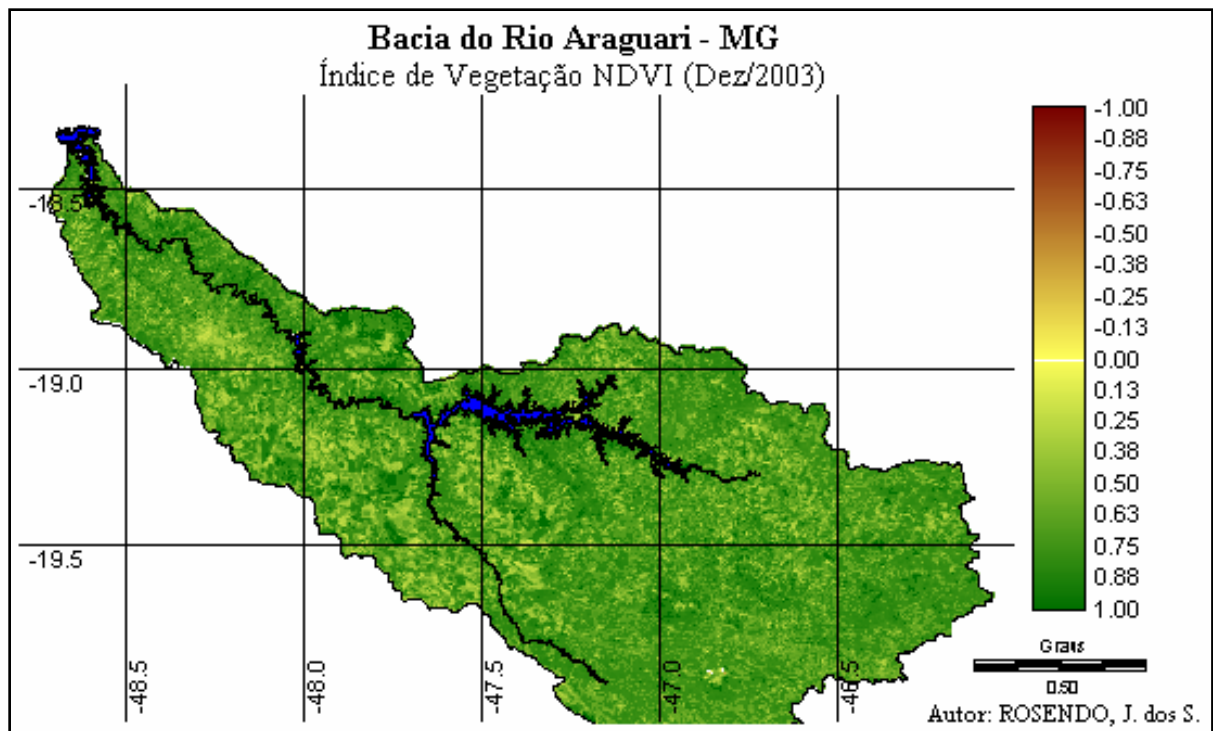


FIGURA 45 – Índice de Vegetação NDVI (Dez/2003)

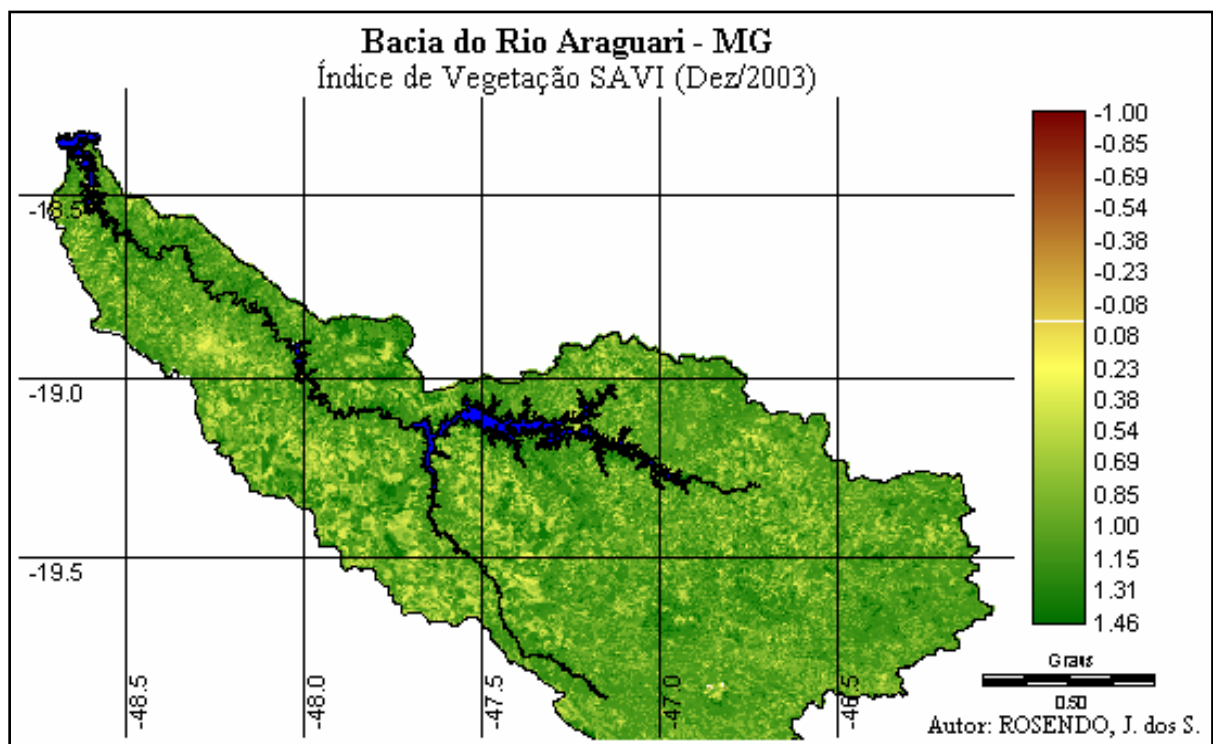


FIGURA 46 – Índice de Vegetação SAVI (Dez/2003)

A apreciação das figuras anteriores comprova a diferença existente no comportamento fenológico, captados pelo sensor MODIS ao longo do ano para os diferentes usos existentes na Bacia do Rio Araguari. Para entender melhor a diferença nos mapas índice de vegetação, faz-se necessário a compreensão do comportamento das diferentes categorias (mata, reflorestamento, culturas anuais, culturas irrigadas, culturas perenes (café), pastagem e corpos d'água).

Ao analisar os mapas índice NDVI e SAVI de vegetação para os meses de dezembro a março, é possível perceber a quantidade de áreas verdes existentes em toda a Bacia do Rio Araguari. Essas áreas de cor verde indicam valores de índice de vegetação elevados, ou seja, grande parte da bacia apresenta alto vigor vegetativo. Esse fato é comprovado ao se analisar a TABELA 1 de dados pluviométricos para alguns municípios da bacia: verifica-se o aumento na quantidade de chuvas. No entanto, não é somente por conta da chuva que os valores do índice de vegetação estão elevados, uma vez que o período de chuvas é também o 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 “aproveite” o máximo de chuvas e de iluminação que os meses posteriores possam oferecer; assim, torna-se complexa a separação dos alvos neste período (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.

Tabela 1 - Dados pluviométricos de alguns municípios da Bacia do Rio Araguari

Meses 2004						Meses 2003							
Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Araxá	216.5	242.3	226.9	44.8	*	25.0	0.0	32.0	57.0	66.6	109.9	73.9	1094.9
Patrocínio	536.9	437.5	210.4	56.1	5.4	0.0	13.3	16.5	75.6	61.1	183.4	175.4	1771.6
Uberlândia	290.7	265.9	165.6	161.6	9.8	0.0	1.2	2.7	38.4	67.1	234.2	179.7	1416.9

* Dados não coletados pela Estação Meteorológica

Fonte: Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia.

A comparação dos mapas de setembro e outubro (FIGURAS 39, 40, 41 e 42) permite constatar que no primeiro caso, que apresenta uma coloração mais amarelada que o segundo,

em virtude das culturas anuais após o período de colheita (março/abril) ficarem em estado de pousio (uma camada de palhada seca sobre a superfície que tem a função de proteger o solo até que ocorra o outro plantio novamente em outubro) essa palhada, como não possui vigor vegetativo, apresenta valores de índice de vegetação baixo, conferindo esse aspecto amarelado ao mapa. No mês de setembro, 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, a vegetação apresenta vigor vegetativo muito superior que as áreas de cultura anual. Um bom exemplo é apontado nos mapas índice de vegetação NDVI e SAVI (FIGURAS 35 e 36) referentes ao mês de julho, em que é possível destacar com clareza as áreas ocupadas pela vegetação natural, nesses meses, é perceptível o destaque às áreas ocupadas por essa categoria, representadas nas cores verdes.

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 mês de julho, intermediário aos meses de maio a outubro, é bom exemplo na ilustração das áreas de reflorestamento que aparecem com grande destaque na cor verde escuro envoltas por outras categorias que apresentam valores mais baixos de índice de vegetação nas áreas centrais da bacia. Em contrapartida, a partir de novembro (FIGURAS 43 e 44) ocorre um aumento no valor do índice de vegetação, em toda a área da bacia, tanto para culturas anuais, quanto para as áreas de vegetação nativa e de reflorestamento.

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.

Um trabalho de campo, percorrendo as principais rodovias e estradas na área da Bacia do Rio Araguari, foi realizado (dezembro de 2003) no intuito de visualizar os tipos de uso presentes na mesma. Com auxílio de GPS, foram extraídas as coordenadas geográficas de algumas categorias presentes na bacia (e que poderiam ser identificadas 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 que não houvesse contaminação do pixel por outros elementos. Essas áreas amostrais (FIGURAS 47, 48, 50 e 51) também foram identificadas no campo, com apoio de imagens de satélite de melhor resolução (Imagem CCD/CBERS de setembro de 2003).

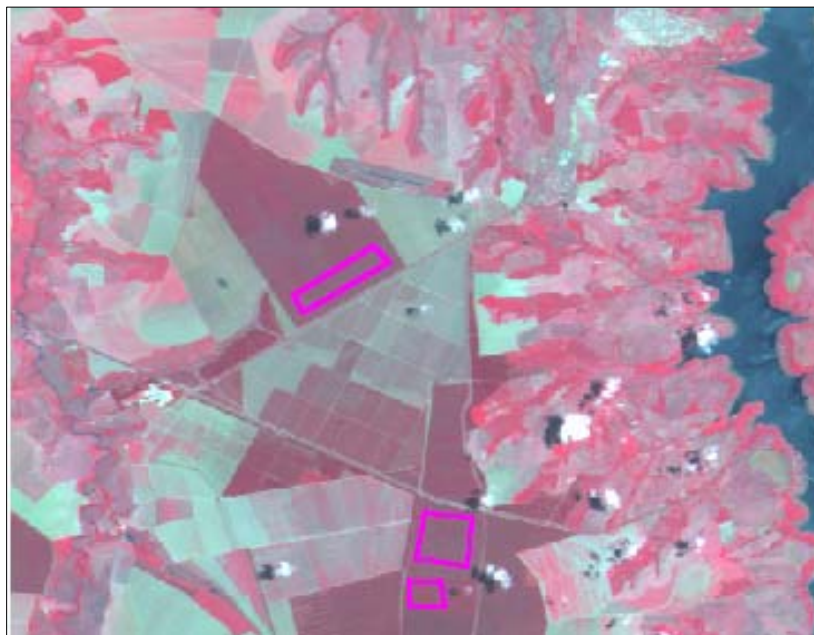


FIGURA 47 - Amostra de reflorestamento na imagem CBERS (resolução espacial de 20 m).

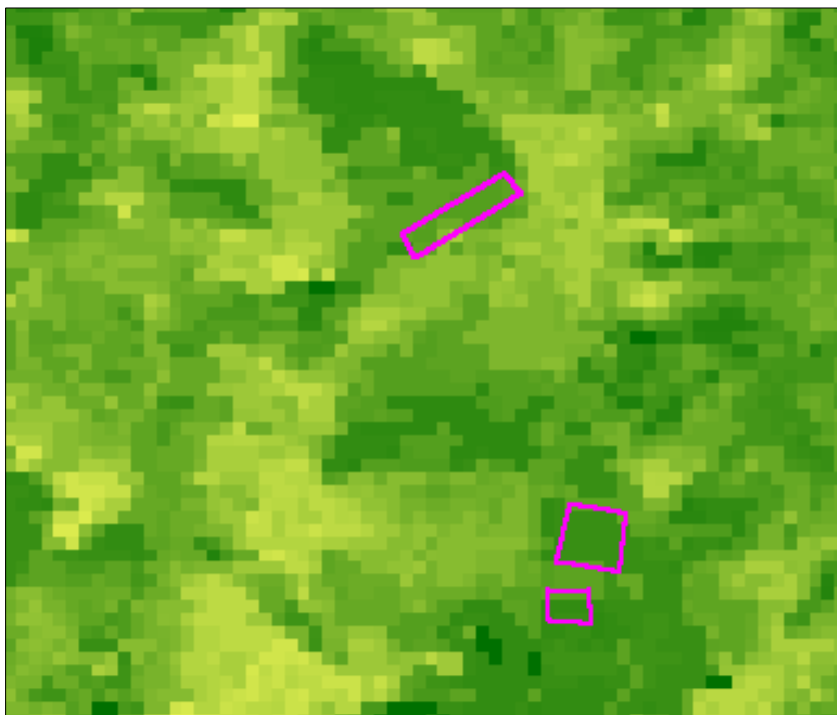


FIGURA 48 - Amostra de reflorestamento na imagem Índice de Vegetação NDVI MODIS (resolução espacial de 250 m).

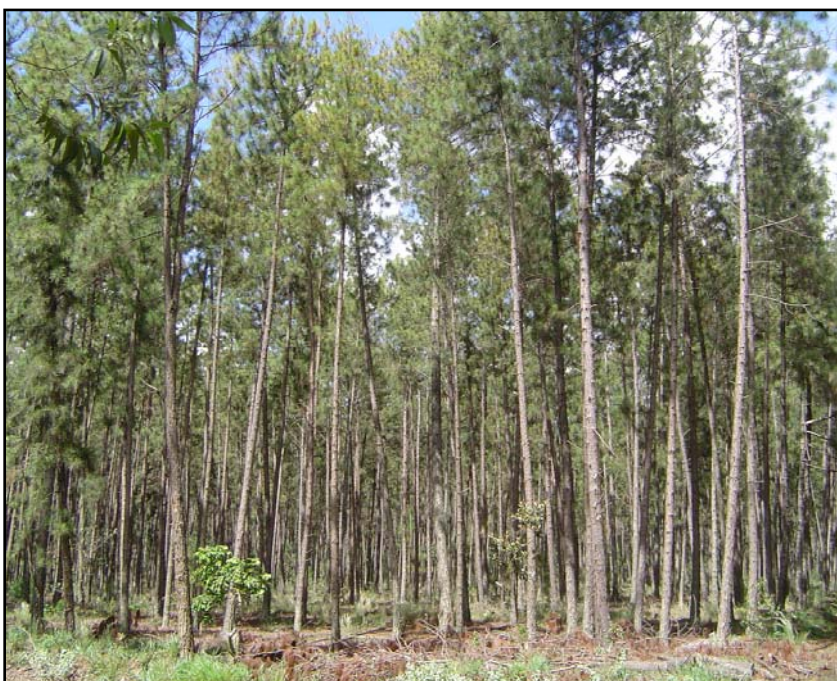


FIGURA 49 - Reflorestamento – Pynus.

LATITUDE: 19° 17' 37.9'' S e **Longitude:** 47° 42' 35.8'' W .

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003.

AUTOR: Roberto Rosa.

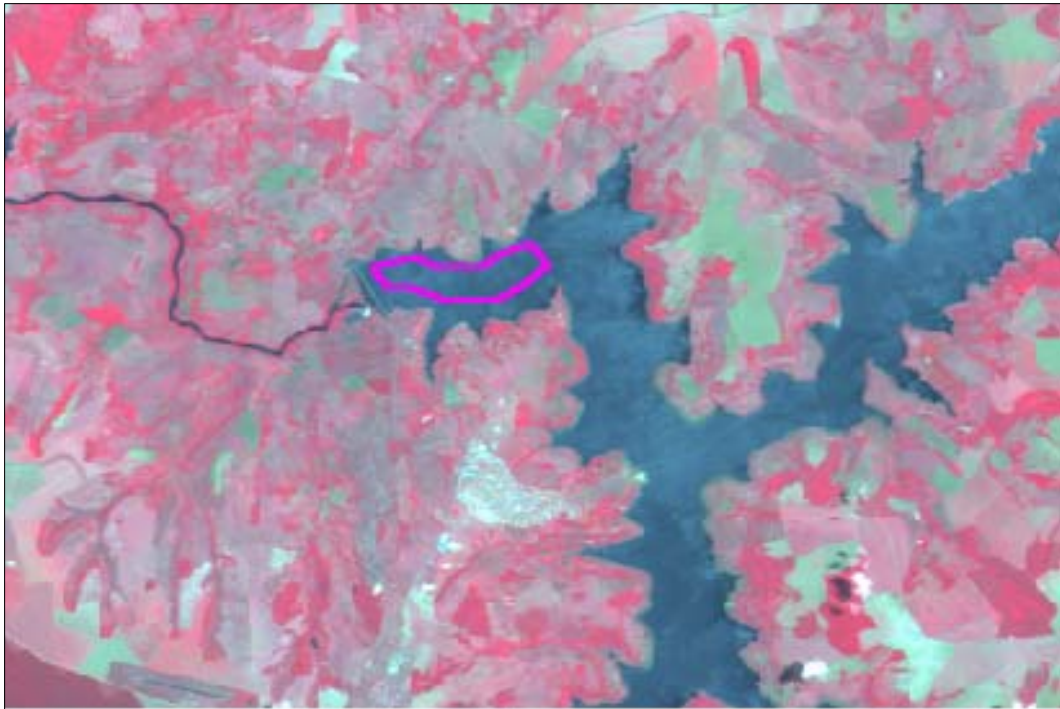


FIGURA 50 - Amostra de corpos d' água na imagem CBERS (resolução espacial de 20 m)

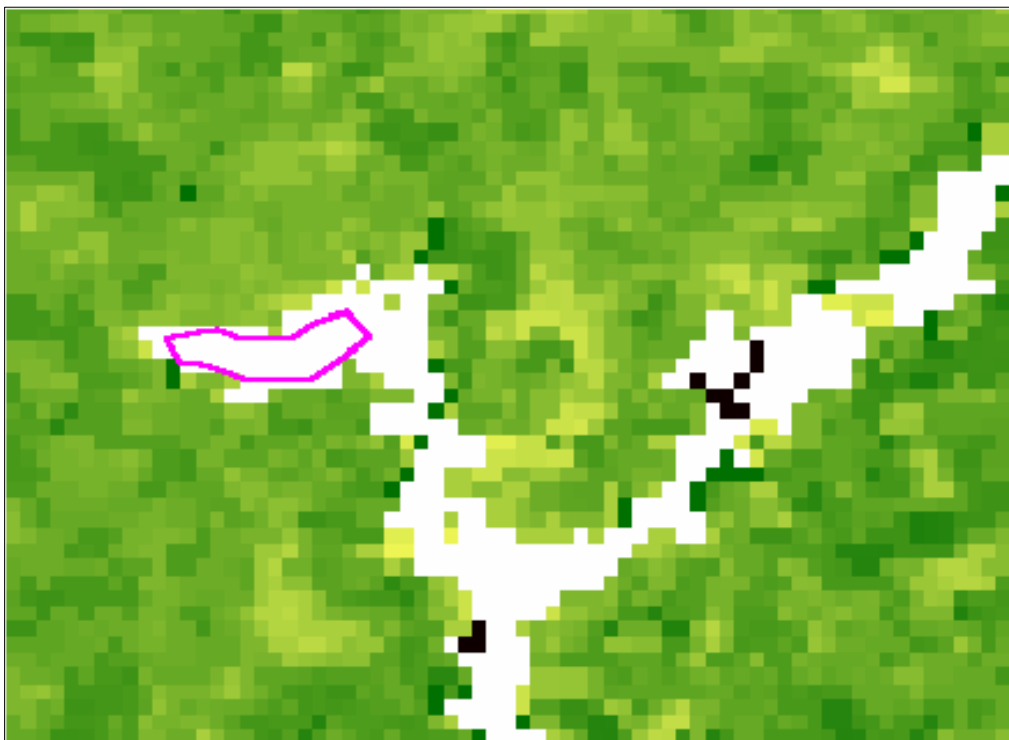


FIGURA 51 - Amostra de corpos d' água em imagem Índice de Vegetação NDVI MODIS (resolução espacial de 250 m)

A FIGURA 52 ilustra com clareza o que ocorre com a vegetação nos períodos seco e chuvoso. É importante destacar, novamente, que quanto mais próximo de 1 for o índice de vegetação, maior a quantidade de cobertura vegetal verde. Isso significa afirmar que no período chuvoso, em virtude do excesso de água, a vegetação apresentará valores elevados, ao passo que no período de seca, devido à ausência de umidade, a vegetação perderá vigor vegetativo.

É visível, no primeiro índice de vegetação representado na figura 52, pelo mês de março, que a coloração esverdeada cobrindo praticamente toda a área da bacia do Rio Araguari indica que a cobertura vegetal apresenta alto vigor vegetativo em consequência do auge do período chuvoso. No segundo índice (NDVI Jul/2003), observa-se o contrário: a coloração esverdeada em toda área da bacia é substituída pela amarelada, indicando a diminuição do vigor vegetativo na maior parte das áreas, principalmente aquelas ocupadas por culturas anuais e pastagens. As áreas que apresentam tons verde escuro, na porção noroeste da bacia, são áreas de reflorestamento que não sofrem com a escassez da água. Esses são exemplos representativos do que acontece com a vegetação em áreas de Cerrado: de um lado o extremo do período chuvoso, e de outro o extremo do período seco.

Os polígonos representados pelo número 1 nas FIGURAS 53 e 54 indicam a categoria mata, já os de número 2 se referem às culturas anuais ou temporárias (FIGURAS 55 E 56). É aparente a quantidade de áreas verdes indicadas na primeira figura (março). Se não houvesse o campo para auxiliar na identificação dos alvos, somente a análise em laboratório, facilmente toda essa área poderia ser classificada ou confundida como áreas de mata. Além do campo, também se faz necessária a comparação entre diferentes datas, auxiliando o usuário a corrigir esse tipo de falha, no caso da segunda figura (julho), mesmo a vegetação sofrendo com o período da seca, a vegetação nativa (mata) continua com alto vigor vegetativo, fato que possibilita separa-la com facilidade de outras categorias.

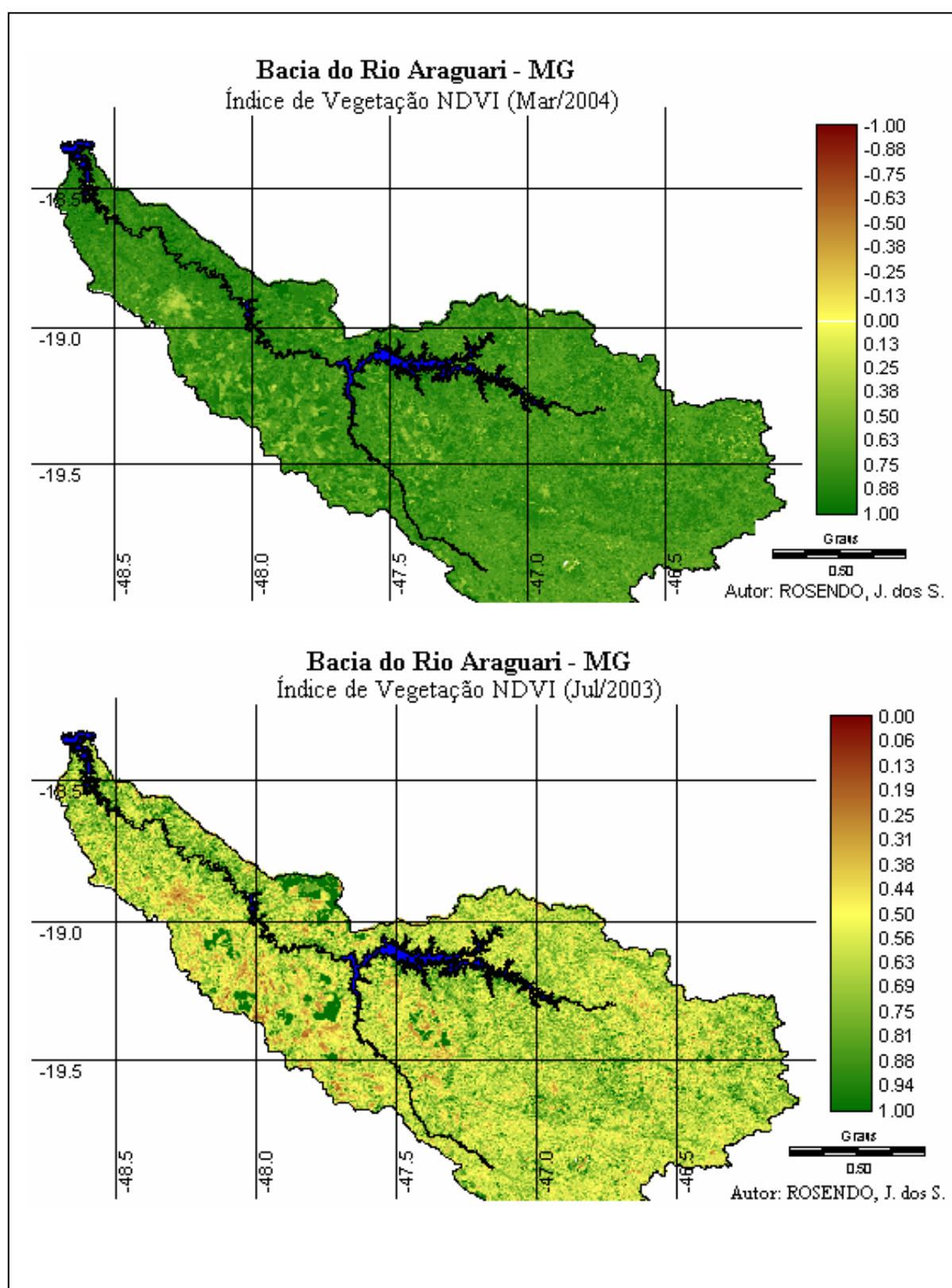


FIGURA 52 - Comparação do Índice de Vegetação NDVI de março (2004) e julho (2003)

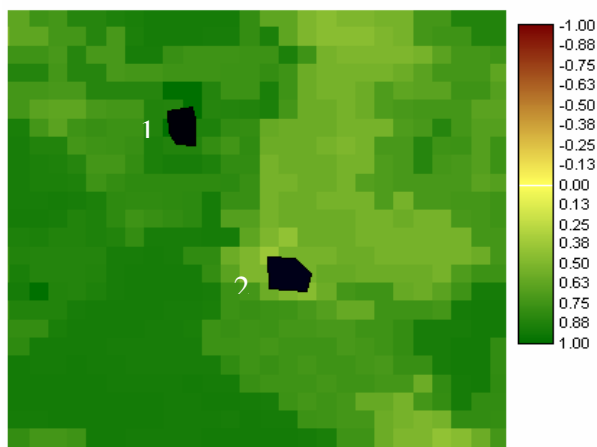


FIGURA 53 - Índice de vegetação NDVI
(mar/2004) mata (1) e cultura (2)

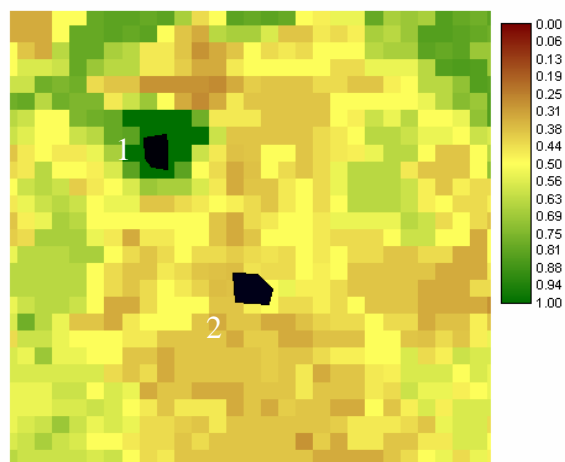


FIGURA 54 - Índice de vegetação NDVI
(jul/2003) mata (1) e cultura (2)



FIGURA 55 – Mata.

LATITUDE: 19° 09' 45.8'' S e **Longitude:** 47° 51' 14.6'' W.

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003.

AUTOR: ROSA, R.



FIGURA 56 - Culturas Anuais (Soja – lado esquerdo; Milho – lado direito)

LATITUDE: 19° 21' 38.4'' S e **Longitude:** 47° 42' 35.8'' W.

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003

AUTOR: ROSENDO, J. dos S.

A análise das FIGURAS 57, 58 e 59 é a mesma para as figuras anteriores com relação ao período chuvoso; a diferença está no comportamento dos alvos, que no caso das áreas de pastagem e de café são diferentes no período seco. Como visto anteriormente, a pastagem perde totalmente seu vigor vegetativo em função da ausência de umidade. Esse fato explica a coloração amarelada no polígono que representa essa categoria; em contrapartida, o café mesmo no período de seca possui vigor maior que a pastagem, o que pode ser percebido na coloração mais esverdeada no polígono das FIGURAS 60 e 61.

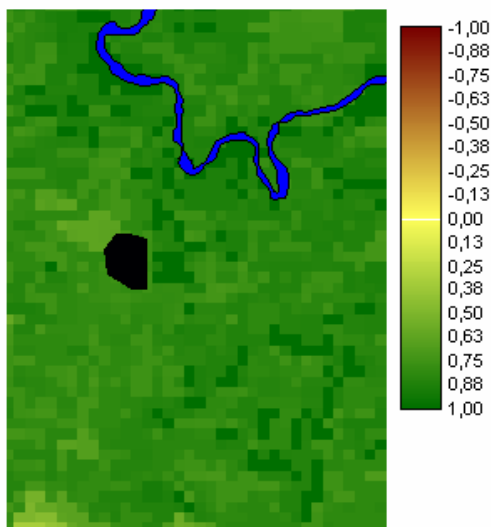


FIGURA 57 - Polígono representando pastagem no índice de vegetação NDVI (mar/2004).

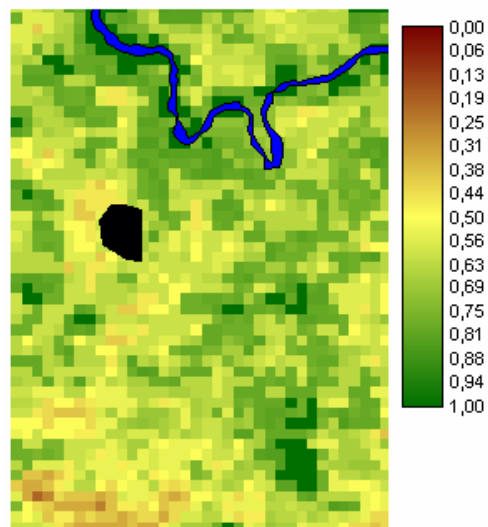


Figura 58 - Polígono representando pastagem no índice de vegetação NDVI (jul/2003).



FIGURA 59 – Pastagem.

FONTE: Trabalho de campo realizado em outubro/2003.

AUTOR: ROSENDO, J. dos S.

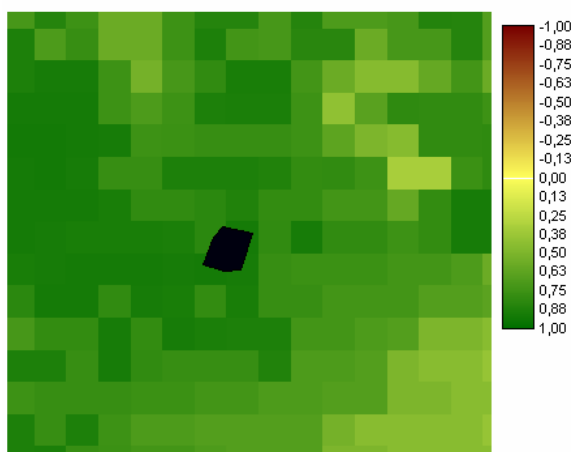


FIGURA 60 - Polígono representando café no índice de vegetação NDVI (mar/2004).

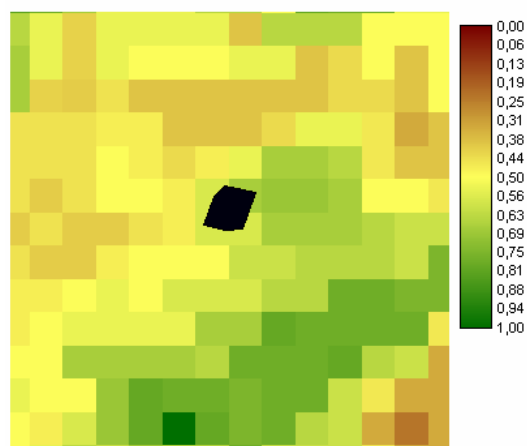


FIGURA 61 - Polígono representando café no índice de vegetação NDVI (jul/2003).



FIGURA 62 - Cultura Anual – Café.

LATITUDE: 19° 38' 12.8'' S e **Longitude:** 46° 14' 39.7'' W.

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003.

AUTOR: ROSENDO, J. dos S.

Com relação ao índice de vegetação SAVI, o que foi percebido ao longo do trabalho é que o mesmo expressa similaridade em relação aos valores do índice de vegetação NDVI, isso quer dizer que o SAVI e o NDVI apresentaram praticamente os mesmos resultados (Cf. FIGURAS 63, 64, 65 e 66). Sem a escala de valores que apresenta números distintos (NDVI varia de -1 a 1 enquanto que o SAVI em função do fator de ajuste do solo varia de -1 a 1.47), o usuário não

seria capaz de diferenciar os índices de vegetação mostrados nas figuras a seguir por meio de uma simples interpretação visual. As figuras ilustram a similaridade existente nos dois índices, por essa razão as comparações realizadas até o presente momento não foram feitas concomitante para os índices NDVI e SAVI.

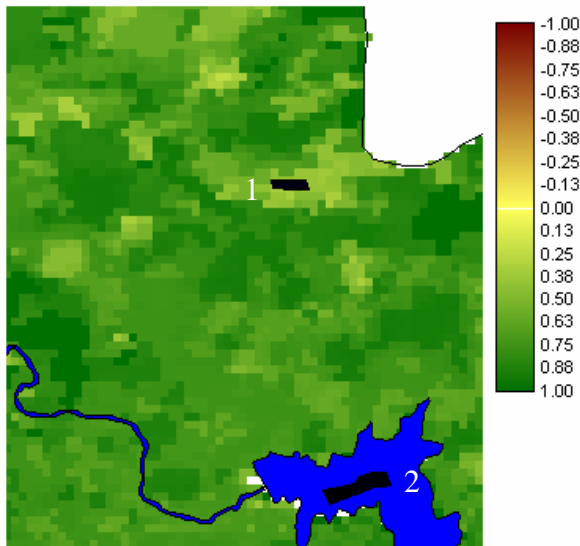


FIGURA 63 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV NDVI (mar/2004)

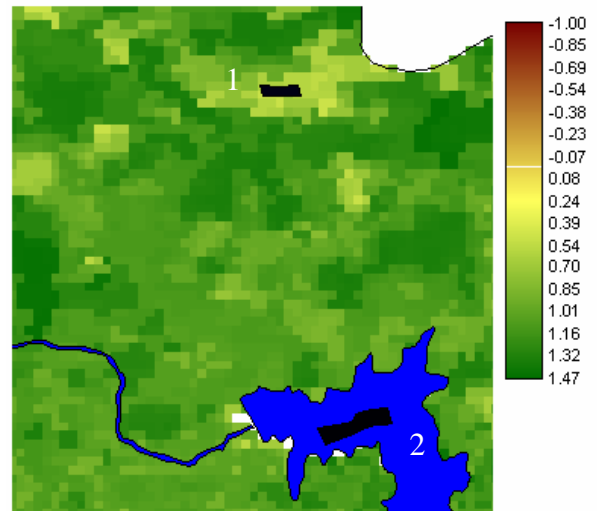


FIGURA 64 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV SAVI (mar/2004)

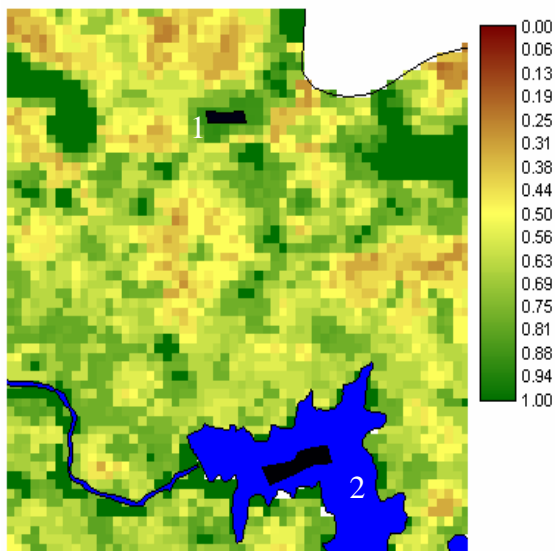


FIGURA 65 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV NDVI (jul/2003)

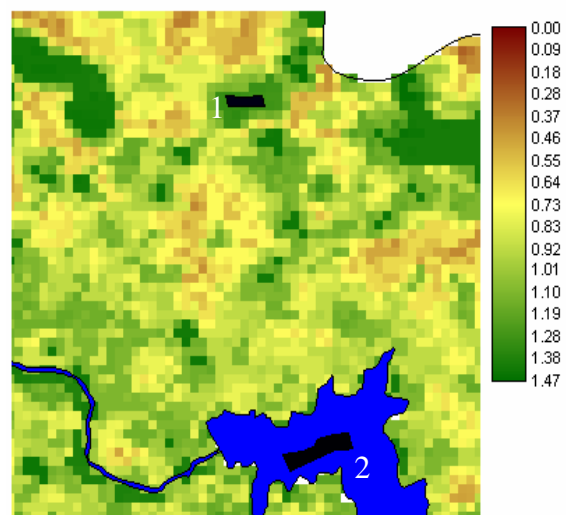


FIGURA 66 - Cultura anual irrigada (1) e corpos d'água (2) em imagem IV SAVI (jul/2003)

As fotos a seguir (FIGURAS 67 e 68) representam áreas de cultura anual irrigada e corpos d'água, respectivamente.



FIGURA 67 - Cultura Anual Irrigada – Milho.

LATITUDE: 19° 11' 37.7'' S e **Longitude:** 47° 51' 20.1'' W.

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003.

AUTOR: ROSA, R.



FIGURA 68 - Corpos d' Água (Represa de Nova Ponte)

LATITUDE: 19° 08' 08.7'' S e **Longitude:** 47° 41' 29.9'' W.

FONTE: Trabalho de campo realizado em dezembro/2003

AUTOR: ROSA, R.

4.3 – Uso do Solo e Cobertura Vegetal a partir de dados MODIS

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 2 e 3, bem como as FIGURAS 69 e 70). 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 do solo e cobertura vegetal.

TABELA 2 - Valores dos números digitais para NDVI.

Categorias							
Datas	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual ²	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

A comparação das FIGURAS 69 e 70 permitem considerar que o comportamento das categorias de análise ao longo do ano foi praticamente o mesmo pra 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

² Cultura anual sem irrigação

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.

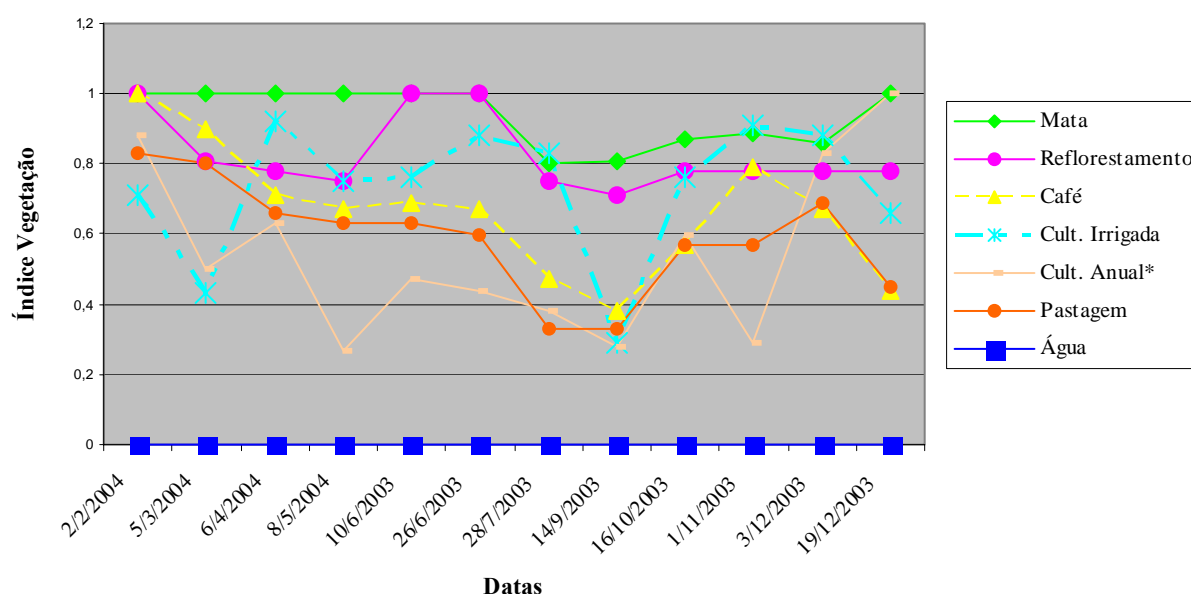


FIGURA 69 - Valores dos números digitais para Índice de Vegetação NDVI.

É possível verificar, ainda, pela análise dos gráficos anteriores, 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 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.

TABELA 3 – Valores dos números digitais para SAVI.

Datas	Categorias						Água
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	
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
Σ	15.92	13.95	11.27	13.03	9.52	10.19	0

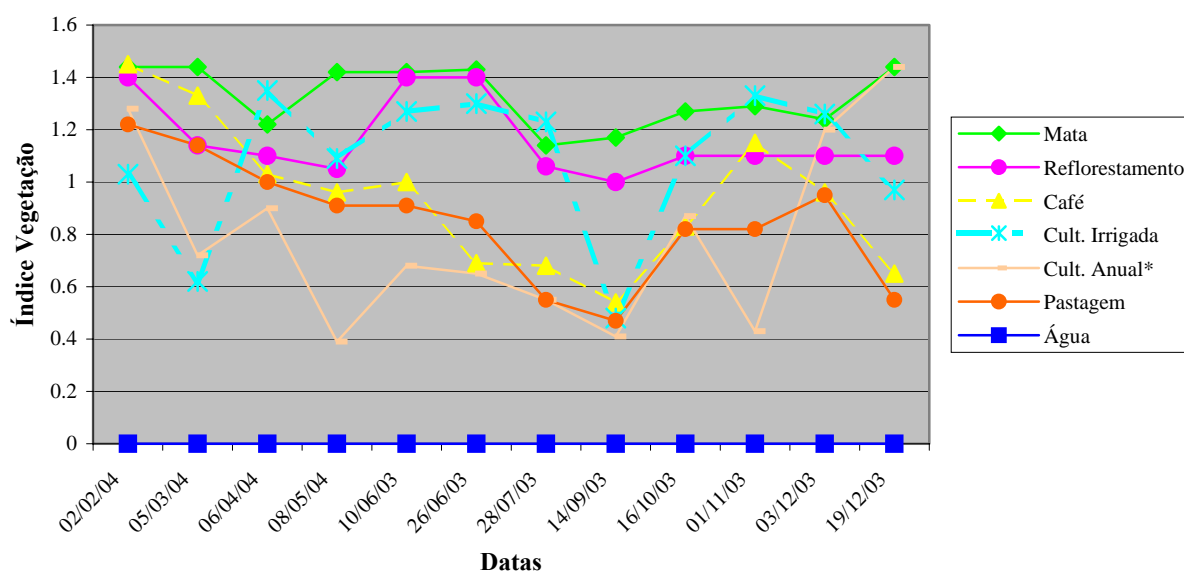


FIGURA 70 - Valores dos números digitais para Índice de Vegetação SAVI.

O mapeamento do uso e ocupação do solo, inicialmente, deveria ter sido realizado por meio da reclassificação das imagens Índice de Vegetação NDVI e SAVI em quatro datas distintas (agosto/03 - período seco, outubro/03 - início período chuvoso, janeiro/04 - meados do período chuvoso e abril/04 – final do período chuvoso); no entanto, pela análise destes índices não foi possível separar as categorias de uso do solo e cobertura vegetal desejada.

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.

No entanto, pela análise da FIGURA 69, verifica-se que o NDVI de junho é o que apresenta um maior potencial separador entre as categorias de uso do solo e cobertura vegetal. Em face do exposto, foi realizada uma reclassificação do NDVI de 10/06/2003 na tentativa de se obter um mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Rio Araguari. A partir da reclassificação, verificou-se que não era 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 71.

No intuito de potencializar a separação dos alvos, foi adotada uma outra 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 72 e 73). 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 essa categoria dificilmente seja confundida com outros alvos.

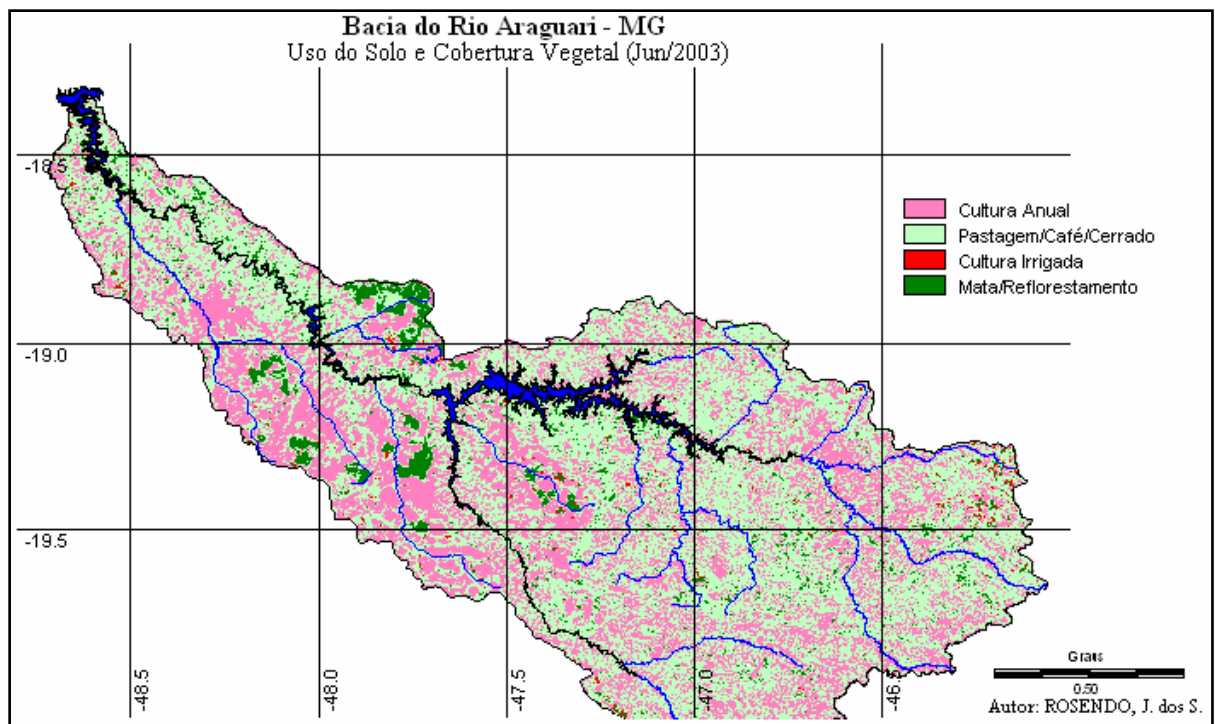


FIGURA 71 – Mapa de uso do solo e cobertura vegetal (jun/2003).

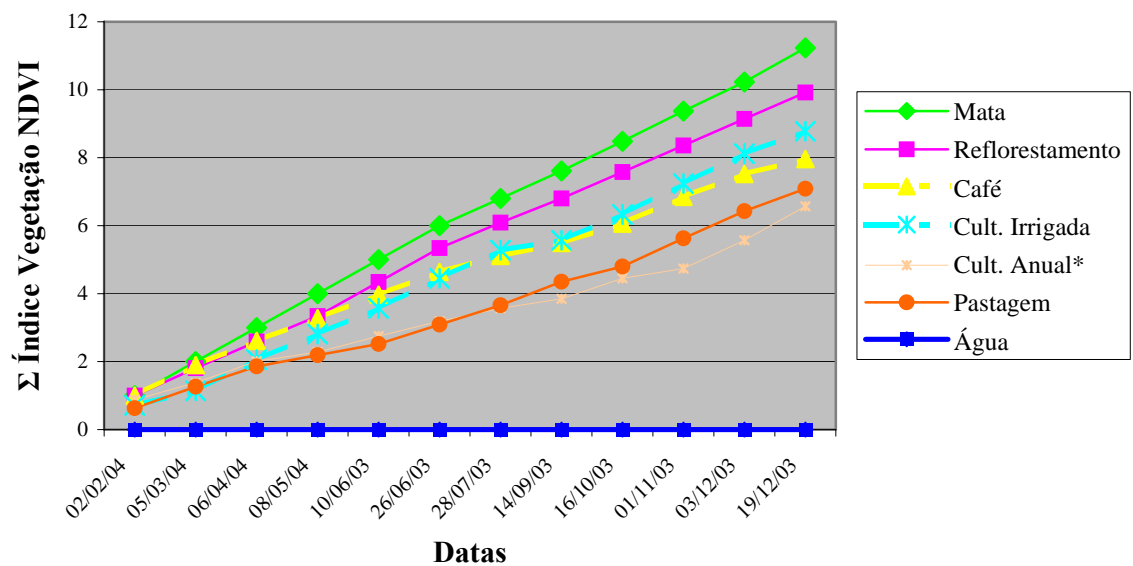


FIGURA 72 - Somatória cumulativa do índice de vegetação NDVI.

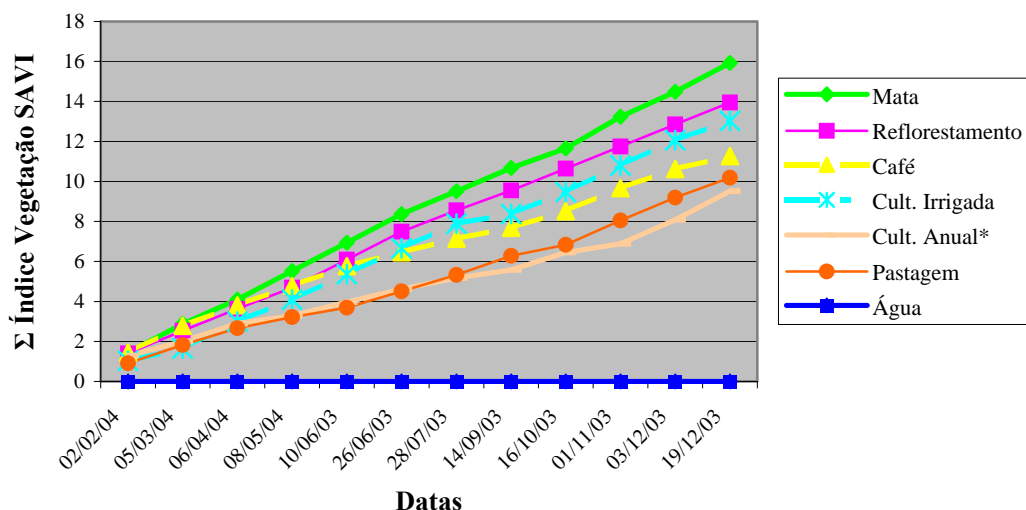


FIGURA 73 - Somatória cumulativa do índice de vegetação SAVI.

A comparação dos gráficos que mostram apenas os valores dos números digitais para os Índices de Vegetação NDVI e SAVI (FIGURAS 69 e 70), com os gráficos anteriores (FIGURAS 72 e 73) permitem 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 confusão entre as mesmas, o que aparentemente pode ser visualizado na FIGURA 74.

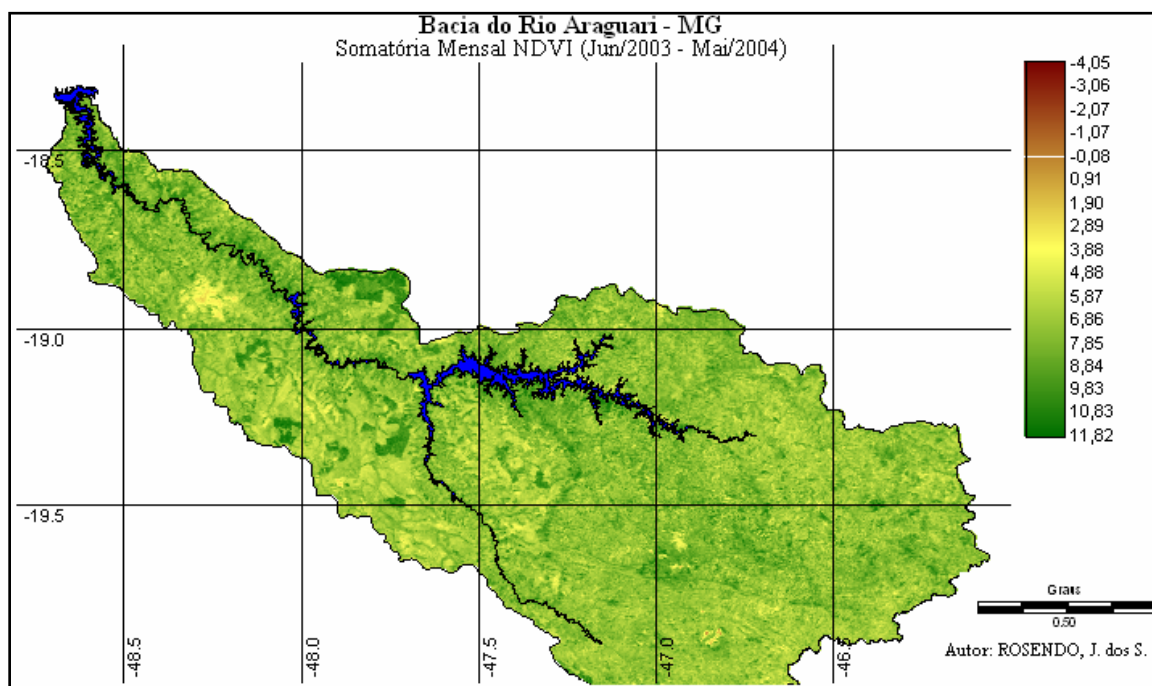


FIGURA 74 – Somatória Mensal do Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003 a Mai/2004).

Ao analisar a figura anterior, é possível perceber que ocorreu uma boa separação das áreas ocupadas pela vegetação natural, incluindo a mata e as áreas de Cerrado, assim como as áreas ocupadas pelo reflorestamento. Observa-se, também, uma boa definição das áreas ocupadas pelas culturas anuais (tons amarelos), assim como a mancha urbana de Uberlândia (porção Oeste da bacia).

Todavia, no momento em que foi gerado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal a partir da somatória dos Índices de Vegetação (FIGURA 75), percebeu-se que essa técnica não apresentou resultados satisfatórios, tendo em vista que apesar dos gráficos apresentarem boa visualização da separação dos alvos, na reclassificação do mapa somatório dos Índices de Vegetação não foi possível separar as categorias como aparentemente era esperado. Portanto, essa técnica mostrou-se pouco apropriada para essa finalidade.

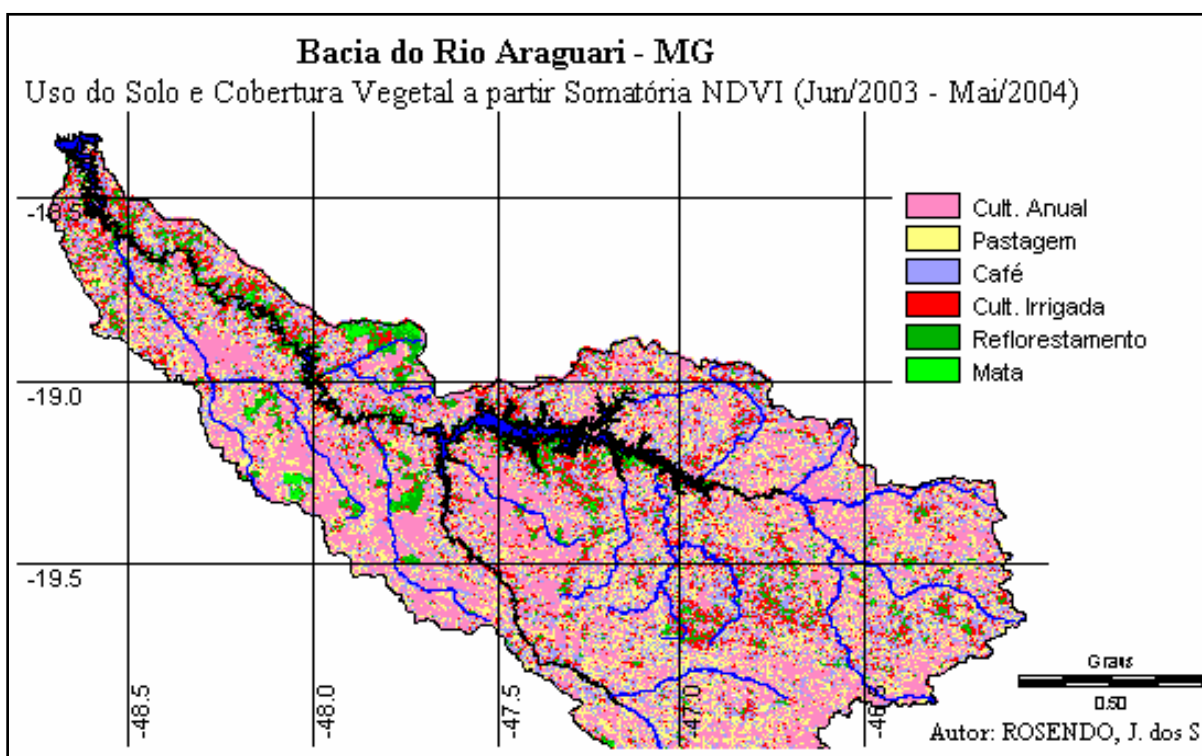


FIGURA 75 – Uso do solo e Cobertura Vegetal a partir da Somatória do Índice de Vegetação NDVI (Jun/2003 a Mai/2004).

A interpretação da figura anterior mostra que a reclassificação utilizada para compor o mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal a partir da somatória das imagens NDVI separou de forma confiável apenas as áreas de mata e reflorestamento (mesmo misturando essas duas categorias). Em contrapartida, foram atribuídas as áreas destinadas às culturas anuais uma porção muito grande da área da bacia, que não condiz com a realidade, ocorrendo uma supressão das áreas de pastagem em detrimento das culturas anuais.

Ainda com a finalidade de melhor separar as categorias, foi realizada a somatória cumulativa para os Índices de Vegetação NDVI e SAVI somente dos meses mais representativos do período chuvoso (Jan/Fev/Mar) e os mais representativos para o período seco (Jun/Jul/Set). A seguir, são apresentados as TABELAS 4 e 5, e os gráficos das FIGURAS 76 e 77, referentes aos períodos chuvoso e seco.

TABELA 4 - Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/2004 a 19/09/2003).

Datas	Categorias						Água
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	
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
Σ	3	2.59	2.34	1.8	2.38	2.08	0

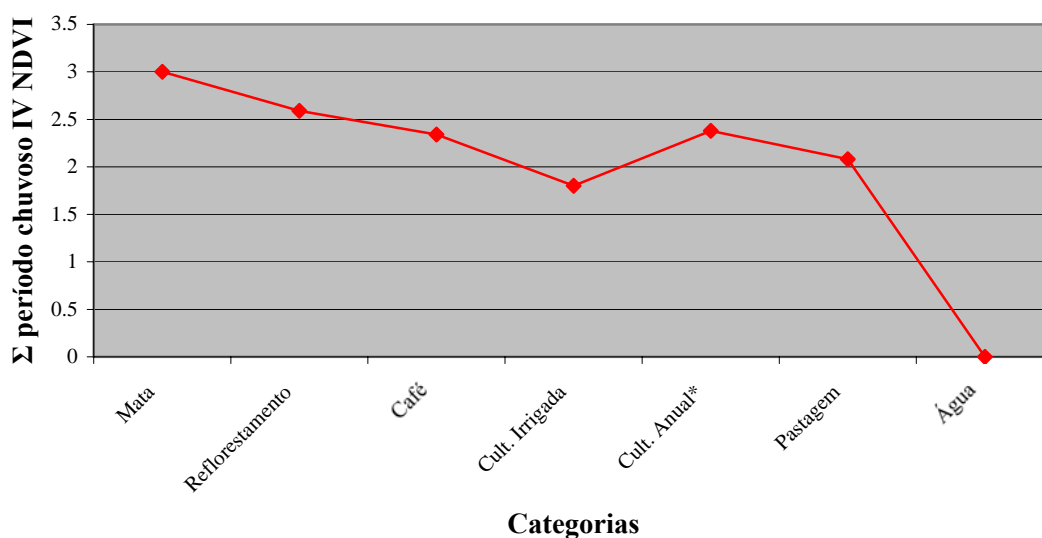


FIGURA 76 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).

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

Datas	Categorias						Água
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	
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
Σ	4.32	3.64	3.43	2.62	3.44	2.91	0

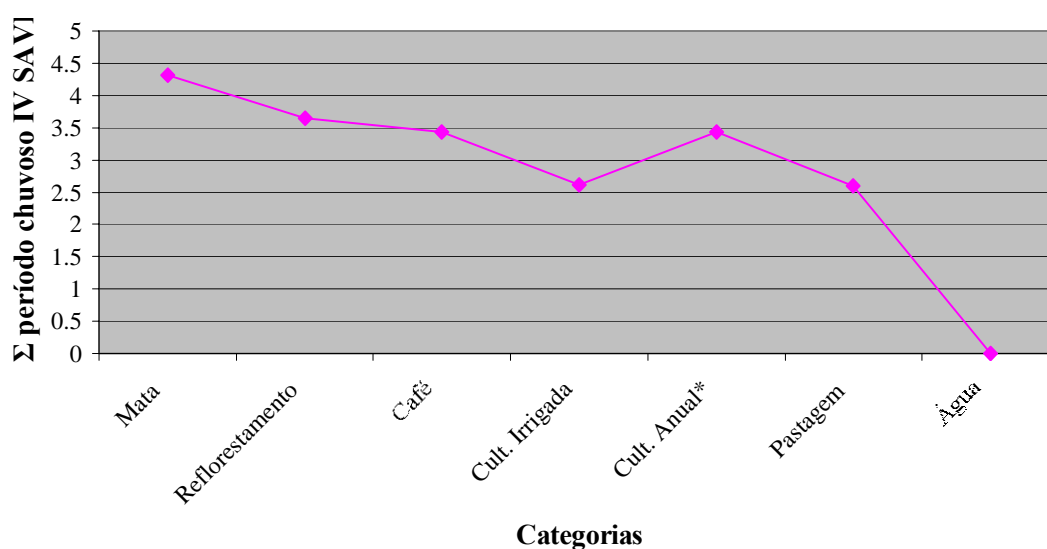


FIGURA 77 – somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período chuvoso (03/01/04 a 5/3/2004).

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, conforme pode ser observado na FIGURA 78.

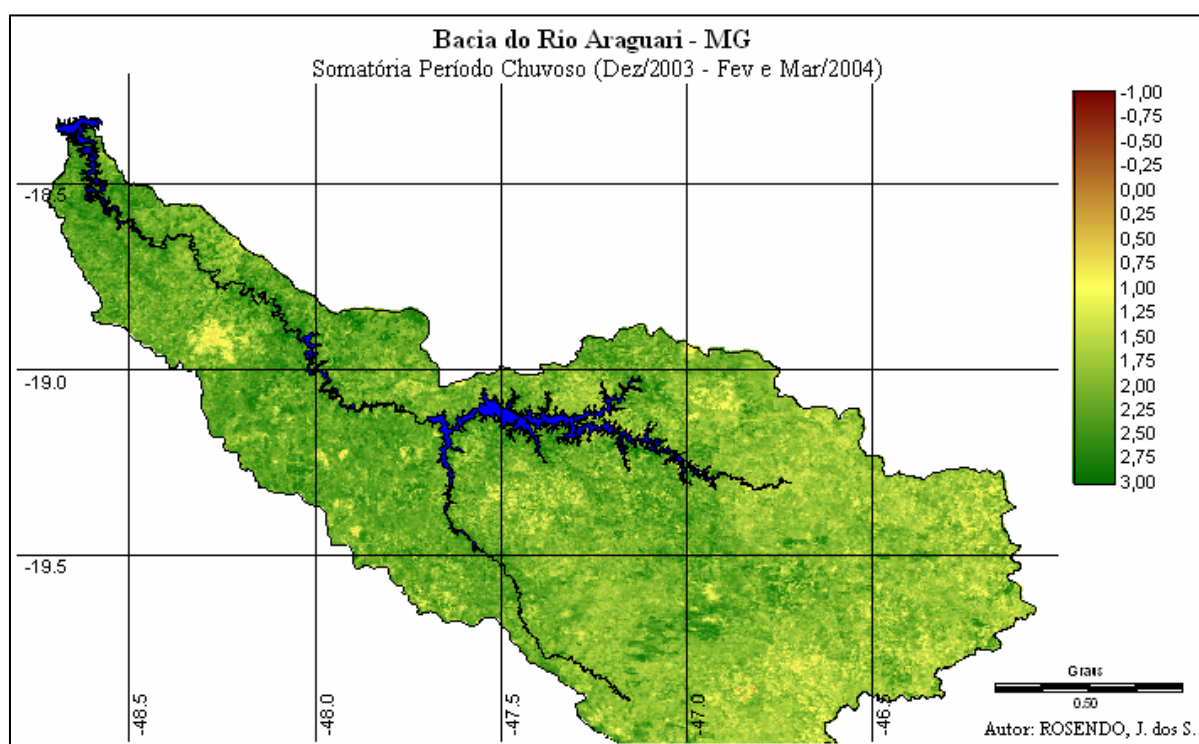


FIGURA 78 – Índice de Vegetação representando a somatória do Período Chuvoso.

As TABELAS 6 e 7 e as FIGURAS 79 e 80 representam os valores dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI de cada categoria para o período seco.

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

Datas	Categorias						Água
	Mata	Reflorestamento	Café	Cult. Irrigada	Cult. Anual*	Pastagem	
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

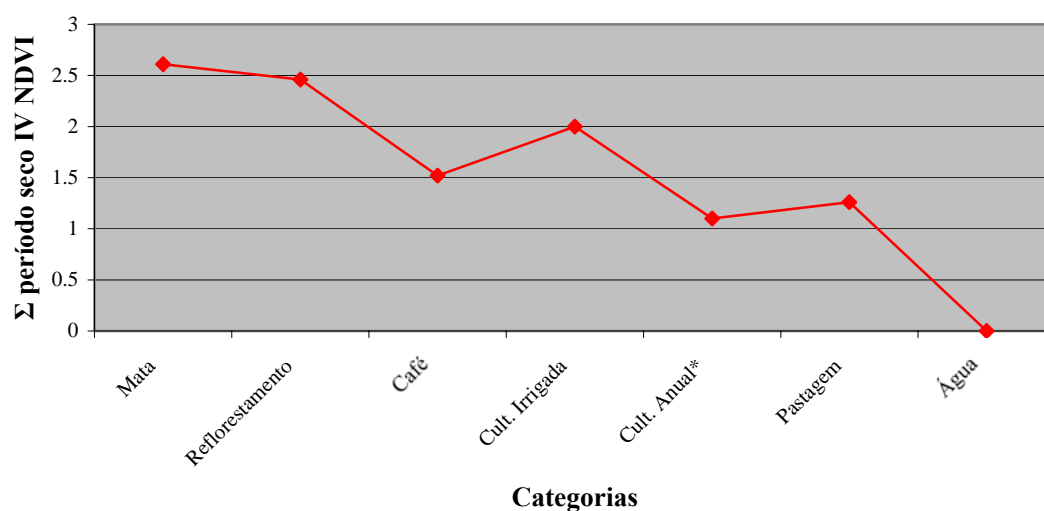


FIGURA 79 – Somatória dos Índices de Vegetação NDVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003).

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

Categorias							
Datas	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
Σ	3.74	3.46	1.91	3.01	1.61	1.87	0

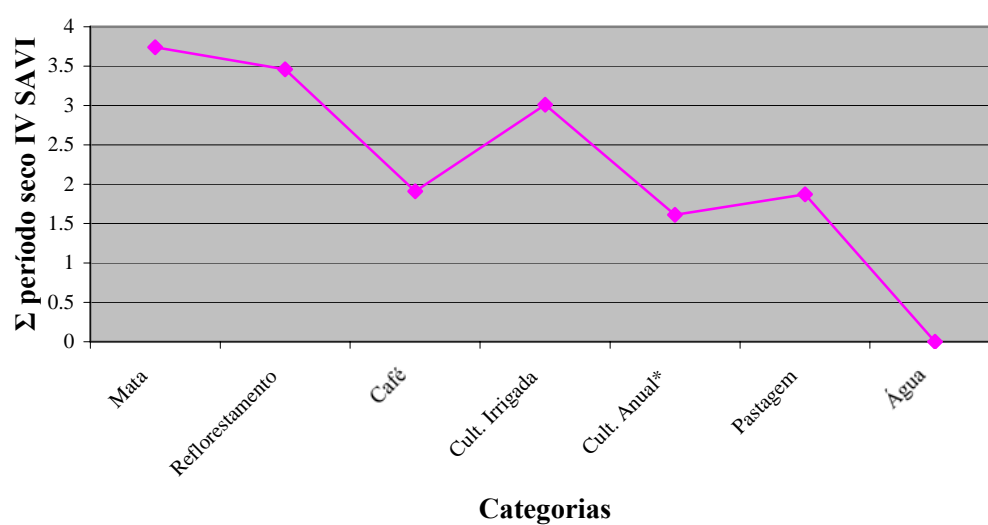


FIGURA 80 – Somatória dos Índices de Vegetação SAVI correspondentes ao período seco (26/06/2003 a 19/09/2003)

A somatória cumulativa dos Índices de Vegetação (FIGURA 81) 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 apresentam 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.

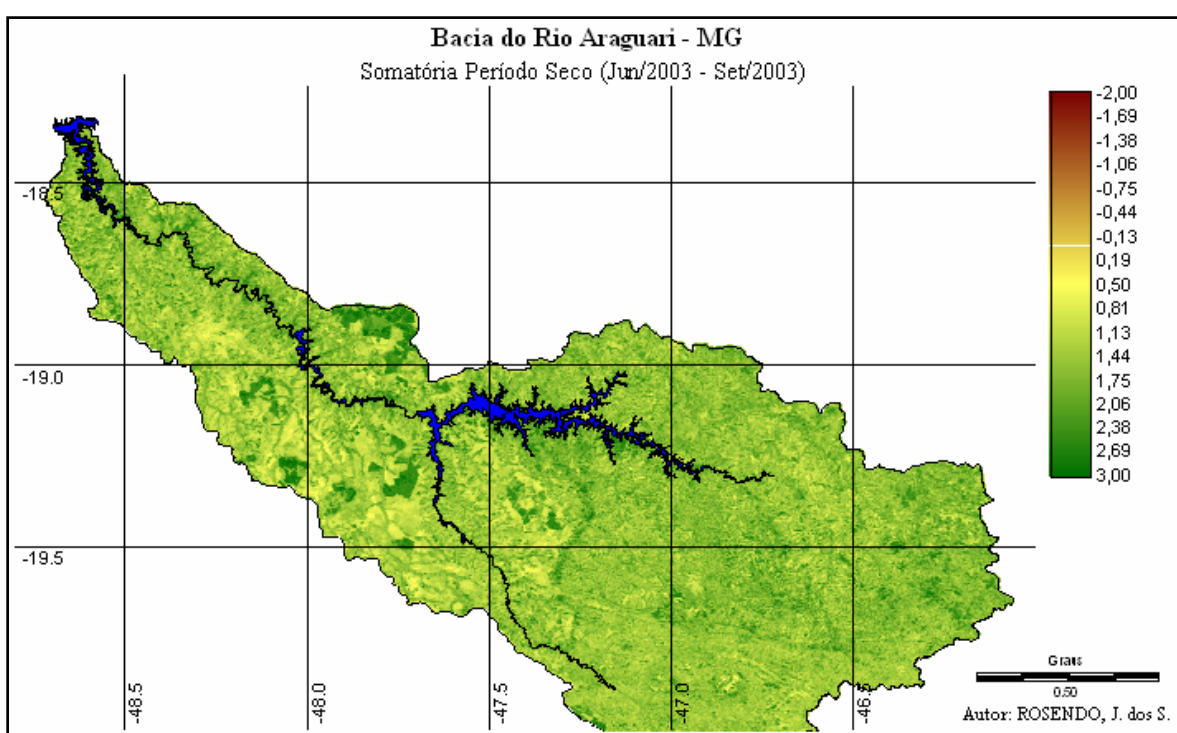


FIGURA 81 – Índice de Vegetação representando a somatória do Período Seco.

Na FIGURA 81 é possível visualizar com destaque na cor verde as áreas ocupadas pela vegetação de maior porte, como o reflorestamento, as áreas de mata, em função dessas categorias continuar apresentando vigor vegetativo, mesmo no período seco. As áreas ocupadas pelas culturas anuais e pastagem apresentam boa separação das áreas vegetadas. No entanto, estas áreas possuem valores de Índice de Vegetação muito próximos, o que impossibilita separar essas categorias.

A partir das diversas tentativas de elaboração de um Mapa 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 utilização do Índice de Vegetação do mês de Junho (FIGURA 71) . Embora se tenha tentado elaborar um Mapa de Uso do Solo a partir dos Índices de Vegetação de outros meses.

Portanto, o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal que apresentou melhores resultados na separação das diferentes categorias foi elaborado a partir do NDVI do mês de Junho. É importante destacar que o mesmo comportamento se aplica para o SAVI, não havendo diferenças significativas entre os dois índices. Na TABELA 8 são apresentadas as categorias mapeadas bem como a área ocupada por cada uma delas.

Tabela 08: Categorias de Uso do Solo 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

4.4 – Detecção de Mudanças

A Detecção de Mudanças consiste na técnica de identificar mudanças no estado de um objeto ou fenômeno por meio da identificação das diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas na mesma área em diferentes épocas.

Como visto, são várias as técnicas de Detecção de Mudanças. Contudo, foi utilizado o Método de Diferença de Índices de Vegetação, que consiste em uma técnica comumente utilizada dentro do método de imagem diferença, no qual é realizado o registro de imagens em dois tempos diferentes (t_1 e t_2), fazendo-se a subtração pixel a pixel e, em seguida, é produzida uma terceira imagem; nessa, as mudanças entre as duas datas são representadas em uma terceira imagem.

A Diferença de Índices de Vegetação é comumente empregada para detecção de mudanças na cobertura vegetal e uso do solo, especialmente quando se utilizam índices de vegetação. Tem sido tratada em muitos trabalhos como um método específico de detecção de mudanças. Com isso, diferentes fenômenos podem ser identificados, como desmatamentos, modificações no uso do solo (substituição de áreas originalmente cobertas por matas nativas por agricultura), queimadas entre outros.

As mudanças são identificadas em função de alterações nos valores de radiância dos pixels, possibilitando a comparação entre duas datas. No presente trabalho, foi realizada a detecção de mudanças a partir da subtração dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI do mês de fevereiro pelo de outubro. Essa escolha justifica-se em virtude do mês de fevereiro apresentar altos valores de Índice de Vegetação em grande parte da área da bacia, e outubro devido à diminuição desses valores de Índice de Vegetação em consequência do período de colheita e o final do período seco.

A subtração das imagens que apresentam altos Índices de Vegetação das que possuem índices mais baixos permite identificar em percentagem as áreas que ganharam ou perderam vigor vegetativo. Esse fato pode ser observado na FIGURA 82, na qual as classes de mudança são representadas, e na TABELA 9 são apresentadas a área em km² e a percentagem de cada classe de mudança.

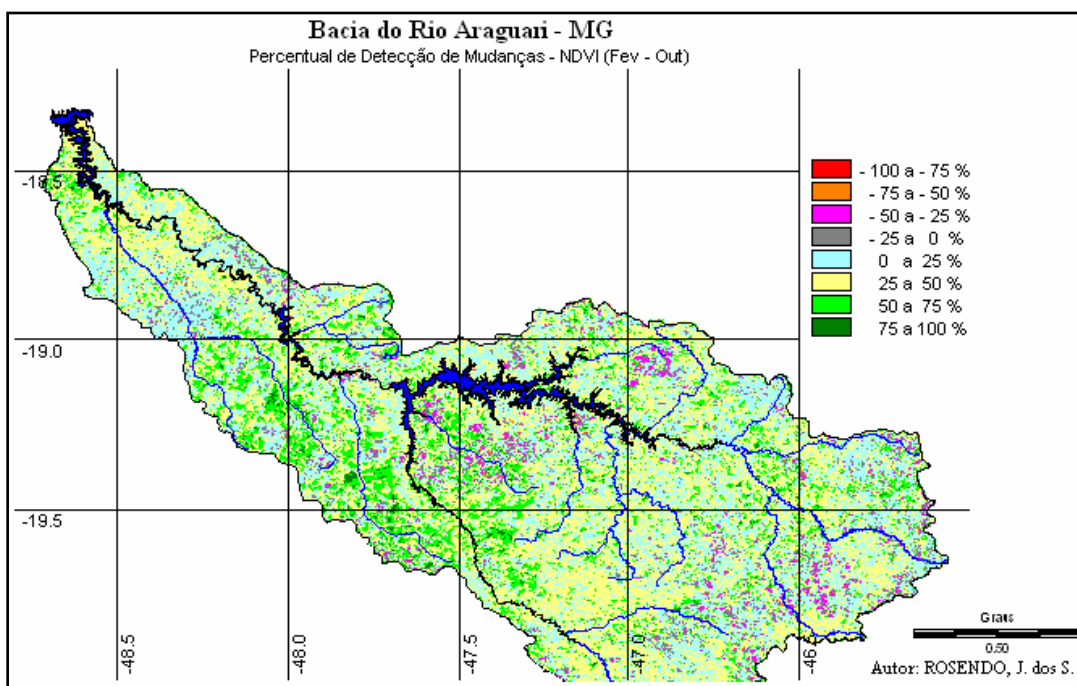


FIGURA 82 – Percentual de Detecção de Mudanças – NDVI (Fev – Out)

TABELA 9 – Percentual de Detecção de Mudanças a partir do NDVI (Fev – Out)

Classes de Mudança (%)	Área (Km2)	Área (%)
-100 a -75	0	0
-75 a -50	49	0,2
-50 a -25	399	2,0
-25 a 0	1185	5,9
0 a 25	6782	33,6
25 a 50	8946	44,3
50 a 75	2581	12,8
75 a 100	244	1,2
Total	20186	100

É possível perceber na TABELA 9 e na FIGURA 82 a escala de valores (dada em percentagens) obtida após a reclassificação da detecção de mudanças. Essa escala apresenta valores que variam de -100 a 100 %.

Os valores negativos indicam perda de vigor vegetativo. As categorias que perderam vigor vegetativo entre -100 a -75% e -75 a -50%, apesar de inseridas na legenda, são pouco representativas na área da bacia. Tal fato se deu em virtude da detecção de mudanças ter sido realizada em uma área maior que a da Bacia do Rio Araguari. Por conseguinte, quando houve o recorte da área de pesquisa, essa categoria manteve-se presente. Contudo, vale ressaltar que essas categorias sugerem tais valores devido à presença de nuvens ou problemas relacionados a ruído dos detectores no momento da aquisição das imagens. Os valores que vão de -50 a -25% e -25 a 0% representam as áreas de cultura irrigada (FIGURA 83) que se encontravam colhidas ou com a palhada seca. Pertencem, também, a essa categoria os corpos d'água, embora apareçam nas figuras com a coloração azulada devido à sobreposição do “layer” da drenagem principal sobre a imagem.

Os valores positivos representam aumento do Índice de Vegetação, ou seja, ganho de vigor vegetativo. As áreas que ganharam de 0 a 25% podem ser classificadas como as áreas de reflorestamento (FIGURA 84), mata (FIGURA 85) e manchas urbanas. A pouca variação desses valores se deve aos mesmos não apresentarem alterações abruptas nos Índices de Vegetação ao longo do ano, permanecendo sempre constantes.

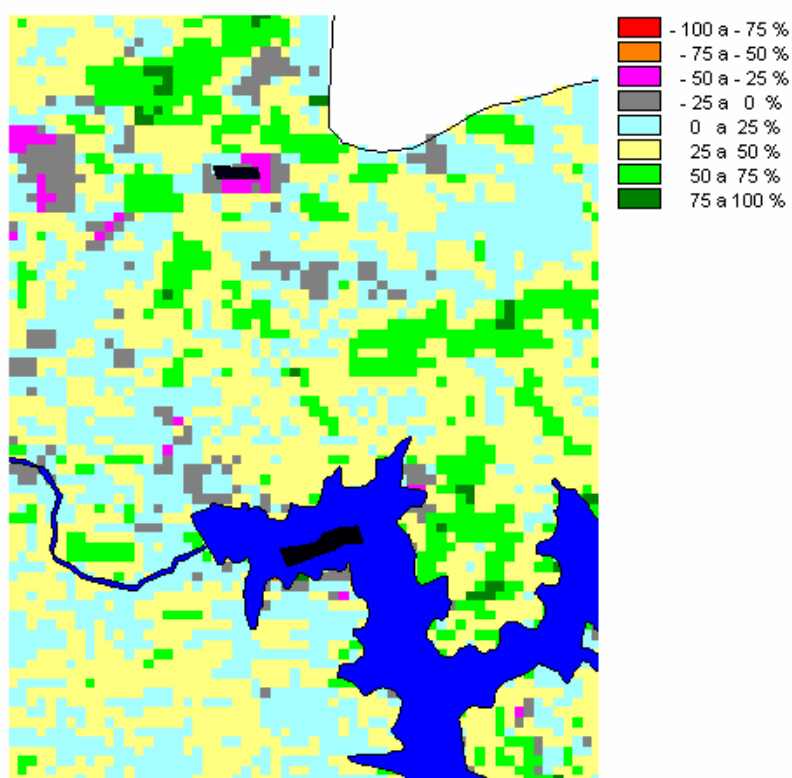


FIGURA 83 – Polígonos representando cultura irrigada e corpos d' água

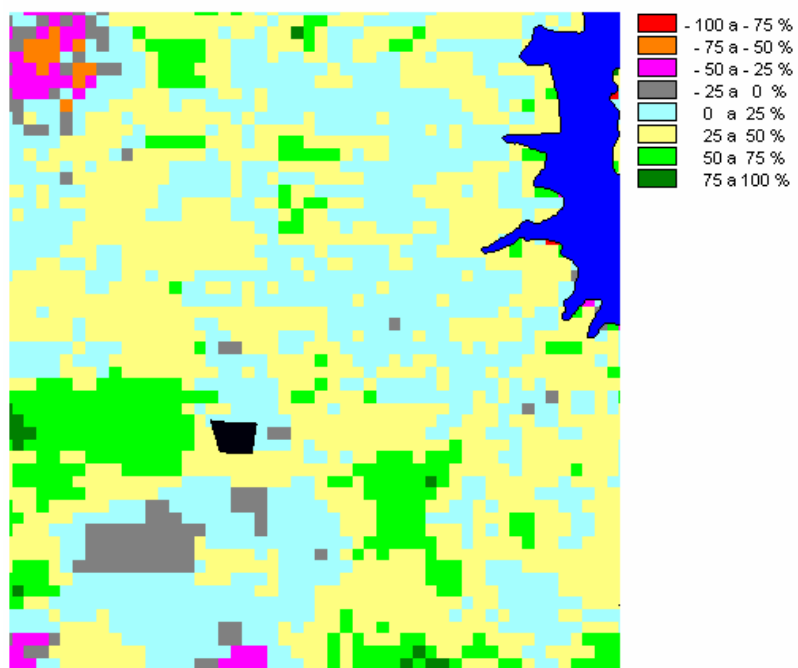


FIGURA 84 – Polígono representando reflorestamento

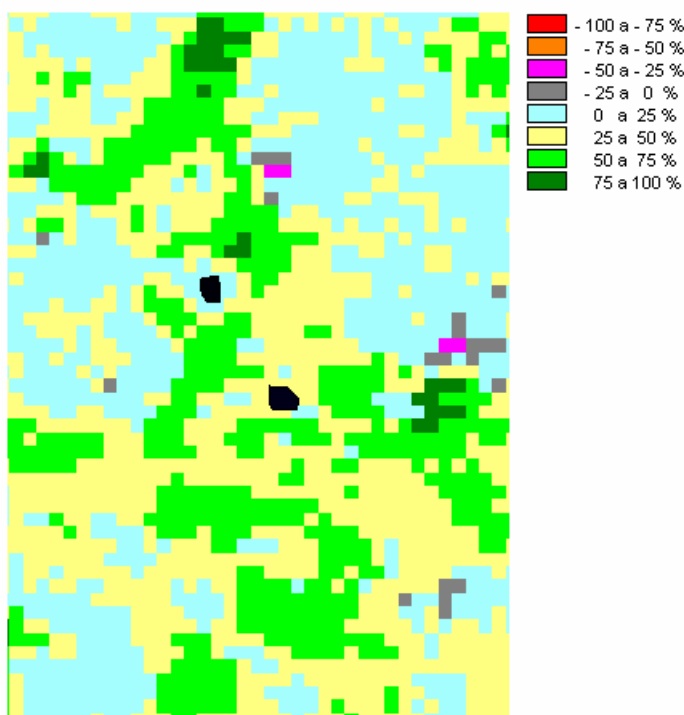


FIGURA 85 – Polígonos representando áreas de mata (0 a 25 %)
e cultura anual (25 a 50 %)

As culturas anuais (FIGURA 85), a pastagem (FIGURA 86) e o café (FIGURA 87) apresentam um aumento do Índice de Vegetação da ordem de 25 a 50%, como resultado do ganho do vigor vegetativo no mês de fevereiro em função do plantio das culturas anuais, assim como o auge do período chuvoso. É importante destacar que mesmo as culturas anuais apresentando valores baixos (FIGURA 85), as mesmas possuem em grande parte das áreas um aumento no Índice de Vegetação de cerca de 50 a 100%, tendo em vista que em outubro as culturas anuais começaram a serem plantadas e, em fevereiro, apresentam o máximo de vigor vegetativo.

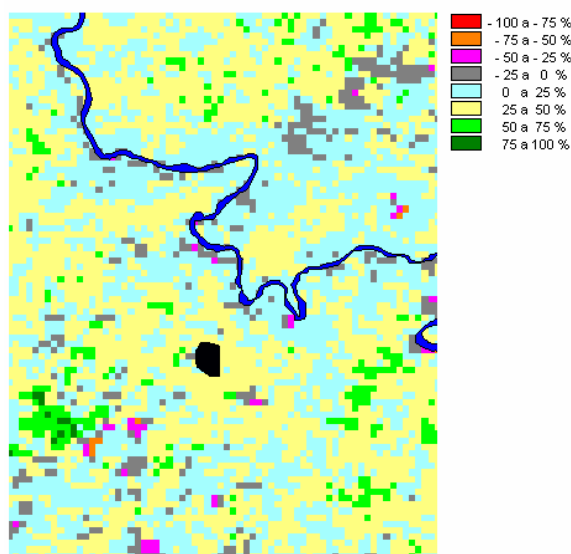


FIGURA 86 – Polígono representando áreas ocupadas por pastagem

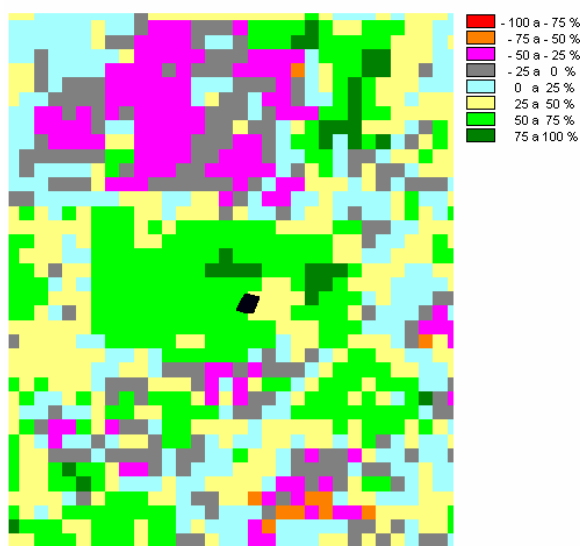


FIGURA 87 – Polígono representando áreas ocupadas por pastagem

Foi comentado ao decorrer do trabalho que os mesmos resultados obtidos para o NDVI também foram alcançados para o SAVI. Dessa maneira, no caso da Detecção de Mudanças os resultados não poderiam ser diferentes (FIGURA 88).

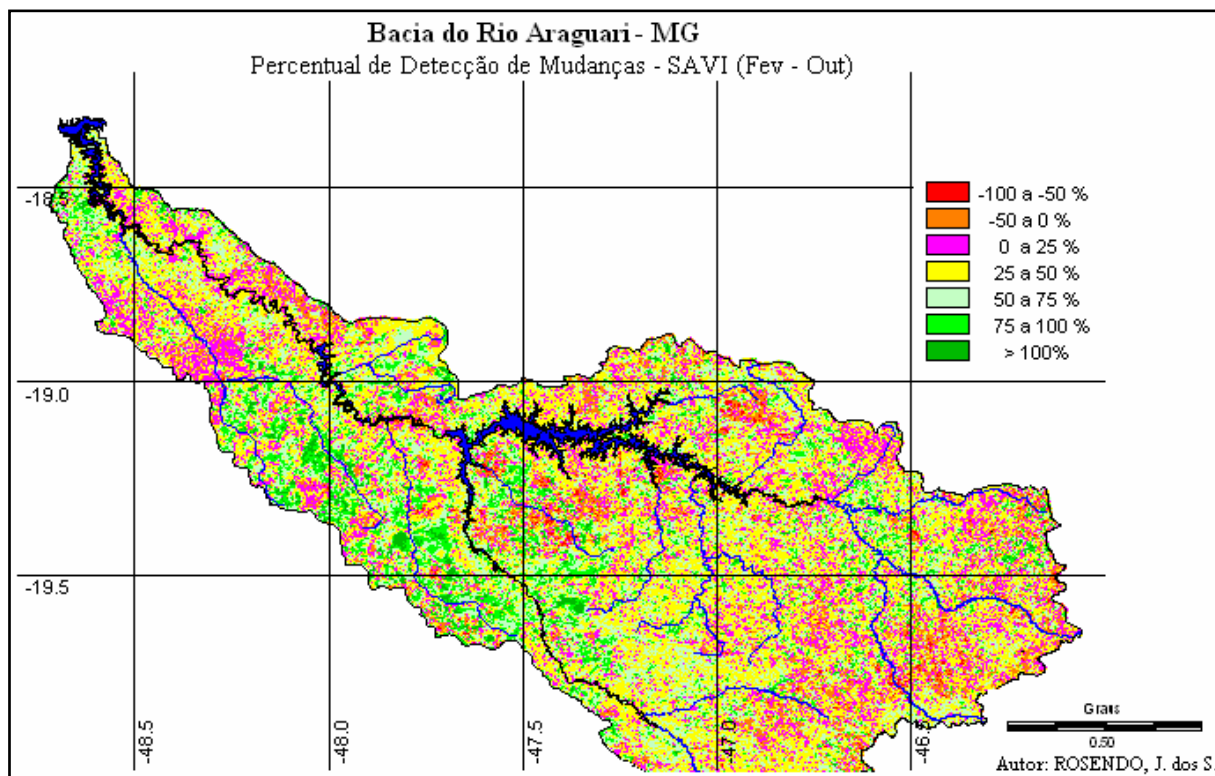


FIGURA 88 – Percentual de Detecção de Mudanças SAVI (Fev – Out)

Resultados satisfatórios foram alcançados no tocante à detecção de mudanças no uso do solo e cobertura vegetal por intermédio da técnica Imagem Diferença a partir dos Índices de Vegetação. Isso significa que foi possível identificar áreas que sofreram modificações a partir das duas datas diferentes. As datas escolhidas apresentaram elevado potencial na detecção dessas mudanças, tendo em vista que fevereiro apresenta o máximo de vigor vegetativo, e outubro a ausência desse vigor.

Foi possível identificar as poucas áreas ocupadas com cobertura vegetal natural (FIGURA 89), o que leva a considerar que existem poucas áreas de vegetação nativa para serem desmatadas. Foi possível perceber, durante a visita a campo, que as áreas ainda ocupadas por mata ou outras feições do Bioma Cerrado restringem-se apenas às áreas que apresentam declividades acentuadas, em que fica impossibilitada a produção agropecuária.

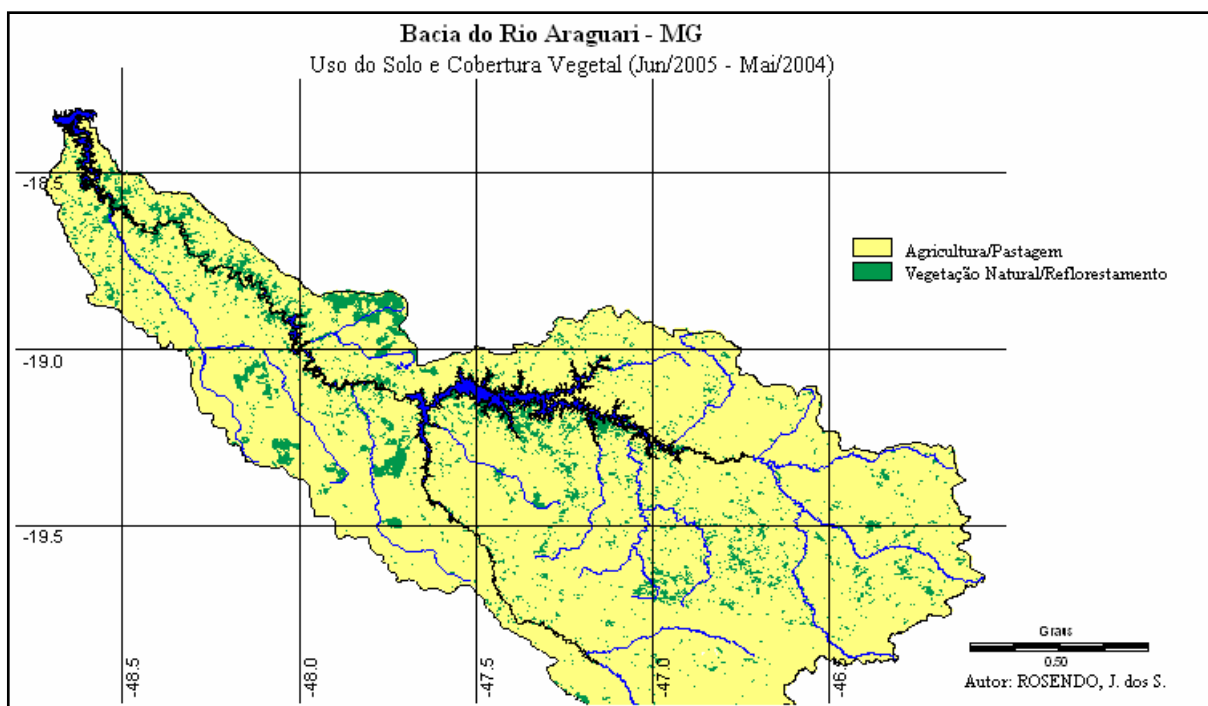


FIGURA 89 – Uso do Solo e Cobertura Vegetal (Agricultura e Vegetação Natural/Reflorestamento)

Ao analisar a figura anterior, é possível perceber que a maior parte da bacia do Rio Araguari é ocupada por agricultura e pastagens. É importante destacar que esse mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal foi elaborado a partir da somatória cumulativa mensal para o período de um ano, sendo possível separar a vegetação de grande porte. Isso significa que a categoria vegetação natural e as áreas de reflorestamento foram reclassificadas em conjunto, pelo fato de ambas categorias apresentarem valores muito similares.

Como visto anteriormente, o Cerrado brasileiro ocupa uma superfície de 204 milhões de hectares, com 35 milhões de hectares ocupados por pastagens, 10 milhões por agricultura e dois milhões por culturas perenes, cifras essas relevantes ao serem consideradas tomando como base a grande extensão das áreas ocupadas por essas culturas. Grande parte da área da bacia do Rio Araguari (91,5%) é destinada à produção agropecuária. Levando-se em consideração que cerca de 17 milhões de toneladas/ano de carbono são armazenadas pelas áreas de pastagem, e 3,6 milhões pelas áreas de culturas anuais e perenes (ASSAD e ASSAD 2001, p. 280 apud EMBRAPA, 1997), deve-se considerar o potencial de estocagem de carbono da bacia em questão em virtude das áreas agricultáveis (maior parte da área) e não com relação às áreas de vegetação natural.

De acordo com dados obtidos ao longo do trabalho, é possível inferir que a bacia do Rio Araguari apresenta Índices de Vegetação baixos durante metade do ano, favorecendo maior potencial erosivo principalmente quando verificadas as condições do solo após o período da colheita. Por conseguinte, a avaliação constante das áreas destinadas à agricultura e à pecuária é de fundamental importância, tendo em vista que o manejo adequado das mesmas contribui para aumentar o armazenamento de carbono.

Mesmo a bacia do Rio Araguari apresentando poucas áreas ocupadas por vegetação natural (aproximadamente 5,6% da área da bacia), é primordial que se chame a atenção para a preservação das áreas restantes, visando o aproveitamento máximo das áreas destinadas à agricultura e pastagem. O manejo adequado das pastagens produtivas e a reabilitação das degradadas e/ou de baixa produtividade contribuem para a mitigação da emissão de gases do efeito estufa na medida em que evitam que novas áreas com vegetação nativa sejam derrubadas.

Sabendo-se que o Cerrado pode contribuir com o sequestro de carbono da atmosfera, é essencial que as áreas ainda cobertas com a vegetação natural sejam preservadas e que o desmatamento nessas áreas seja monitorado.

Nesse contexto, a utilização de produtos provenientes de sensores com resolução moderada, como os Índices de Vegetação MODIS constitui-se em instrumentos fundamentais para análises multitemporais em áreas ainda vegetadas, favorecendo o acompanhamento das modificações no uso do solo em áreas de grande propriedade. No entanto, sua maior potencialidade verifica-se em estudos de mudanças climáticas, especialmente no monitoramento do sequestro de carbono a partir das áreas destinadas a agricultura e pecuária.

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a utilização do produto MOD13Q1 para elaborar os Índices de Vegetação gerados 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, as manchas de vegetação ainda restantes na região, em sua maioria, possuem dimensões inferiores às aquelas capazes de ser detectadas pela resolução do sensor MODIS (250 m), o que a torna impossível sua detecção e conseqüente mapeamento e monitoramento.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como a questão ambiental tornou-se um tema de preocupação global, é preciso chamar a atenção para o impacto ambiental a partir da descaracterização da cobertura vegetal natural. Com relação à Bacia do Rio Araguari, ficou claro que são poucas as áreas ainda ocupadas por vegetação nativa, ao passo que grande parte da área teve a vegetação substituída por agricultura e pecuária. Por isso, é de extrema relevância o monitoramento das áreas ainda cobertas por vegetal nativa.

A utilização das imagens MODIS/Terra a partir da composição dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI apresentou resultados satisfatórios no tocante ao acompanhamento mensal e sazonal das modificações no estado fenológico da vegetação, assim como as diferenças existentes no comportamento da vegetação natural e das outras categorias de análise (reflorestamento, culturas irrigadas, culturas anuais, pastagem, café e corpos d' água).

A escala temporal de análise (junho/2003 a maio/2004) permitiu verificar ao longo do período de um ano a variação nos Índices de Vegetação em virtude da diferença no comportamento das diferentes categorias, a exemplo da vegetação natural, que apresenta altos Índices de Vegetação durante o ano todo, inclusive no período de seca, ao passo que as áreas de pastagem apresentam valores elevados no período chuvoso e sofrem com o período de estiagem.

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 uma 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.

As amostras localizadas geograficamente no trabalho de campo, associadas às imagens de melhor resolução espacial (CCD/CBERS), foram de fundamental importância para efeito de comparação com as imagens MODIS, tendo em vista que a resolução espacial moderada das

imagens MODIS não permitiu maiores níveis de detalhamento das categorias de uso do solo. Conseqüentemente, os polígonos representando cada categoria de uso do solo nas imagens CBERS e MODIS permitiram identificar e acompanhar o desempenho dos Índices de Vegetação durante o período de análise.

Os resultados alcançados com relação à elaboração dos Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal podem ser considerados satisfatórios, mesmo no tocante às modificações ocorridas na metodologia para elaboração dos mapas de uso do solo. Inicialmente, pretendia-se compor os mapas de uso do solo e cobertura vegetal mensais; contudo, na medida em que o trabalho foi sendo desenvolvido, percebeu-se que não era possível separar as categorias de uso do solo nesses mapas, levando-se em consideração que grande parte da bacia apresenta as áreas destinadas à agricultura. Dessa forma, foi adotada outra metodologia na busca de melhores resultados.

A metodologia empregada consistiu na elaboração dos Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal a partir de uma somatória cumulativa realizada em diferentes escalas temporais. A primeira consistiu na somatória cumulativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI mensais para o período de junho/2003 a maio/2004. O resultado dessa somatória foi uma imagem Índice de Vegetação que apresentou bons resultados com relação ao aspecto visual, mas que a reclassificação não proporcionou resultados satisfatórios. A segunda tentativa de elaboração do Mapa de Uso do Solo sem alcançar resultados significativos se deu a partir da utilização dos Índices de Vegetação correspondentes ao período chuvoso. E a terceira tentativa foi a partir da utilização dos Índices de Vegetação correspondentes ao período seco. Essa técnica não se mostrou muito eficiente devido à confusão apresentada pelas categorias tanto no período chuvoso quanto no período seco.

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 possibilitam separá-las. Em consequência disso, elaborou-se um mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal a partir do Índice de Vegetação do mês de junho. De todas as tentativas realizadas, a data referente ao mês de junho foi a que apresentou melhores resultados no sentido de separação das categorias, mesmo havendo a necessidade de unir algumas delas, como as áreas de reflorestamento e mata, e as áreas de pastagem, café e Cerrado.

O mapa de uso gerado a partir do mês de junho possibilitou definir as áreas (km² e %) ocupadas por cada categoria mapeada, de modo que a classe que ocupa maior parte da área da bacia, cerca de 55,7%, é ocupada por áreas destinadas ao cultivo de pastagens, café e áreas de cerrado. A segunda categoria de maior expressão, com 35,8 % da área da bacia destinada ao cultivo das culturas anuais. Portanto, é possível concluir que a bacia do Rio Araguari apresenta o total de 91,5% de suas áreas destinadas à produção agropecuária, ou seja, o equivalente a 18.474 km². Como era de se esperar, uma pequena porção de apenas 5,6% da bacia é constituída por áreas de mata e reflorestamento, vale lembrar que as áreas de vegetação natural ocupam uma porção bem menor, tendo em vista que não foi possível separar ambas as classes.

É possível chegar à conclusão de que a resolução do pixel das imagens MODIS (250 m) não é boa para mapeamentos de uso do solo e cobertura vegetal com maiores níveis de detalhamento do que os elaborados para o presente trabalho.

Contudo, foi demonstrada a eficiência dos Índices de Vegetação MODIS na separação das áreas ocupadas pela agricultura das áreas vegetadas, mesmo a vegetação sendo um alvo muito complexo, que requer análises mais precisas, pois apresenta muitas alterações ao longo do ano, seja no estado fenológico da cobertura vegetal ou em decorrência do período sazonal, e apesar das áreas de vegetação nativa encontrarem-se localizadas nas áreas de relevo acidentado, o que dificulta a sua caracterização.

Nesse contexto, mesmo as imagens MODIS não apresentando bom potencial na definição de algumas categorias de uso do solo e cobertura vegetal, constituem-se em excelente instrumento para o monitoramento e a análise da vegetação em nível regional e global, podendo contribuir significativamente para estudos de mudanças climáticas e sequestro de carbono, especialmente relacionados aos estágios fenológicos das pastagens e das atividades agrícolas.

Os produtos MODIS possuem grandes potencialidades de aplicações em diversas áreas, são gratuitos e obtidos via ftp (internet) de forma relativamente simples. O seu processamento exige conhecimentos mais apurados; no entanto, nada que dificulte a sua utilização por profissionais com conhecimento nas áreas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D. & ASSAD, M. L. R. C. L. Zoneamento agrícola e balanço de carbono. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R. & MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jagariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 273 – 283.

ATDB. **Algorithm Theoretical Basis Document** v. 3, 1999. Disponível em: <<http://tbrs.arizona.edu/project/MODIS/index.php.pdf>>. Acesso: Jun. 2003.

BACCARO, C. A. D. et al. Mapeamento geomorfológico 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. 1 – 19.

BRITO, J. L. S. **Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): Ensaio de Geoprocessamento**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (FFLCH/USP), São Paulo, 2001.

_____. Adequação das potencialidades do uso da terra na bacia do ribeirão Bom Jardim no triângulo mineiro (MG): ensaio de geoprocessamento. 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. 45 – 68.

BODDEY, R. M. et al. Potencial para acumulação e sequestro de carbono em pastagens de *Brachiaria*. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R. & MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jagariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 213 – 229.

CLEPS JUNIOR, J.; PESSÔA, V. L. S.; GOBBI, W. A. de O. Gestão dos recursos hídricos em minas gerais: o comitê da bacia hidrográfica do rio Araguari. 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. 163 – 184.

DEERING, D. W. **Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors.** 1978. 338 f. Dissertation (Ph. D) – Texas A&M University, College Station, TX.

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.

FEIGL, B. J. O efeito da sucessão floresta/pastagem sobre o estoque de carbono e o fluxo de gases em solos da Amazônia. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R. & MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira.** Jagariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 257 – 271.

FERREIRA, L. G. Aplicações dos produtos do MODIS “Land” para o mapeamento da vegetação e monitoramento ambiental. **Workshop sobre o sensor MODIS. Possibilidades e Aplicações na análise e monitoramento ambiental.** Goiânia, 2003. 1CD-ROM.

FERREIRA, L. G. SILVA, A. P.; JESUS, T. J.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte, MG. **Anais....**São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664.

FRANCO, J. B. S. **Metodologia para identificação de pastagens degradadas utilizando dados de sensoriamento remoto.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

FREITAS, S. R.; CRUZ, C. B. M. **Índices de Vegetação na Caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro**. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Belo Horizonte, Anais Eletrônicos, INPE, p. 2737-2744. CD-ROM, 2003.

HAYES, J. D.; SADER, A. S. **Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest**, 1997. Disponível em: [http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change detection.pdf](http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change%20detection.pdf).

HISTÓRIAS INTERATIVAS. Disponível em: <http://www.historias.interativas.nom.br/lilith/services/anatm.htm>.> Acesso em: Set. 2003.

HOFFER, R. M. Biological and physical considerations in applying computer – aided analysis techniques to remote sensor data. IN: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. (Org.) **Remote sensing: the quantitative approach**. Purdue University, USA: Mc Graw-Hill, 1978, p. 227 – 289.

HUETE, A. R. **A soil adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing Environ. Vol. 25, 1988.

JACKSON, R.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine, v.11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

LATORRE, M. L. et al. Sensor Modis: características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**. v. 6, n. 1, p. 97 – 126, 2003.

LIMA, J. D.; NELSON, W. B. **Uso de Índices de Vegetação no monitoramento da cobertura verde no perímetro urbano da cidade de Manaus**. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Belo Horizonte, Anais Eletrônicos, INPE, p. 2737-2744. CD-ROM, 2003.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R. & MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jagariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. 397 p.

LIMA, S. do C; QUEIROZ NETO, J. P. de & LEPCSH, I. F. Os solos da chapada Uberlândia - Uberaba. 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. 89 – 124.

LUÍZ, G. C. **Estudo do impacto ambiental a partir da análise espaço – temporal** – caso da região Vão do Paraná – GO. 122 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 1998.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison de change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v.20, n.1, p. 139-152, 1999.

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

MOREIRA, M.A.; **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** UFG, 2003.

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

MENEZES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. 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.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto.** Princípios e Aplicações. São Paulo – Edgar Blucher LTDA. 1989.

PEREZ, L. P. et al. Análise de NDVI no Nordeste Brasileiro por Componentes Principais. Resultados Preliminares. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Belo Horizonte, Anais Eletrônicos, INPE, p 2869-2875. CD-ROM, 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.

PRICE, J. C. **Comparing MODIS and ETM+ data for regional and global land classification.** Rev. Remote Sensing of Environment, v. **86**, p. 491-499, aug. 2003.

RESCK, D. V. S. Sistemas de manejo do solo e balanço de Carbono no Cerrados. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R. & MIGUEZ, J. D. G. (Org.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jagariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 231 – 255.

RODRIGUES, S. C. et al. Cartografia geomofológica e os condicionantes hidrogeomorfológicos de erosão em áreas amostrais na bacia hidrográfica do rio Araguari. 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. 21 – 43.

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.

_____. **Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciado da bacia do rio Araguari**. Núcleo de geotecnias, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 1999. Disponibiliza mapas e base Cartográfica da Bacia do Rio Araguari. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/N_geotec/geop.htm> . Acesso em 05 mai. 2003.

_____. **O uso de SIG's para o zoneamento: uma abordagem metodológica**. Tese (Doutorado) Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH/USP), São Paulo, 1995.

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. & 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.

SOARES, B. R. Dinâmica urbana – na bacia do rio Araguari (MG) – 1970 – 2000. 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. 125 – 161.

WORKSHOP MODIS. I Workshop sobre sensor MODIS. Possibilidades e Aplicações na Análise e Monitoramento Ambiental. Goiânia, UFG, 23 a 25 Mai, 2003.

ANEXOS

ANEXO 01

Como obter imagens MODIS

Este item da pesquisa possui o objetivo de auxiliar o *download* de produtos e imagens MODIS para futuros usuários que desconhecem os procedimentos necessários para obtenção desse tipo de informação.

Os produtos MODIS, são adquiridos através do acesso ao *site* <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>. O *site* possui o seguinte *layout* (**figura 1**):

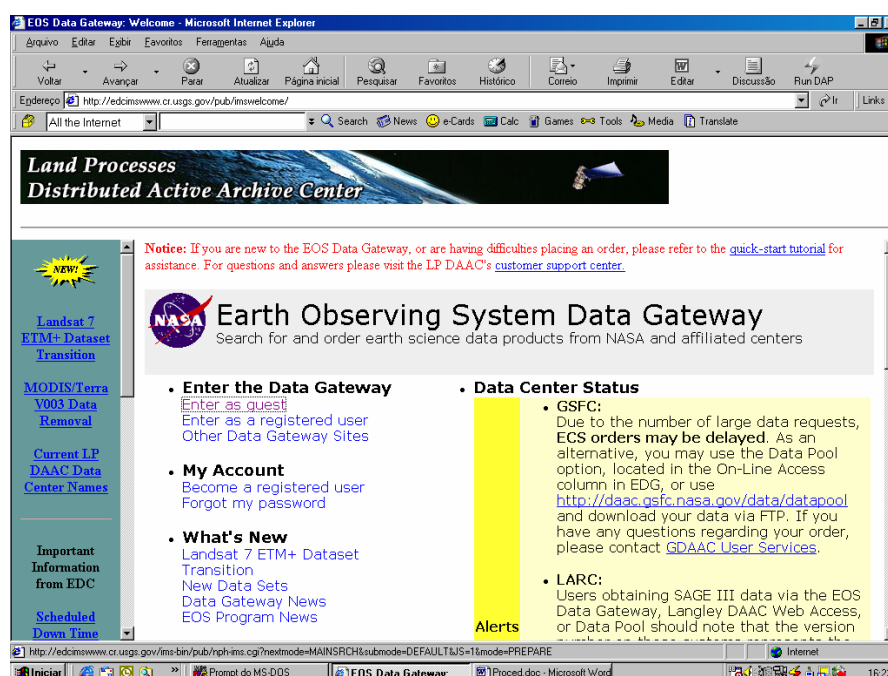


Figura 1: Layout da página inicial MODIS

Fonte: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>¹

No entanto, antes do pedido das imagens ou produtos, o usuário deverá realizar um cadastro pessoal, para isso deverá acessar o ícone "*Become a registered user*". Carregue uma nova página com nome de "*User Registration*", preencha as informações solicitadas na página, clique no botão "Continue..." (o botão fica bem abaixo da página).

¹ Todas as figuras descritas neste anexo e no seguinte possuem como fonte o site: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> Acesso em Agosto de 2004.

Em seguida, carregue a página "*User Registration: Username/Password*". Defina um *password* (senha) e defina também um *Username* (nome de usuário), (o *site* já define um padrão, que pode ser modificado caso o usuário queira). Importante: O *site* define um *username* que tem a inicial como letra maiúscula, e na hora do usuário fazer o *login*, as letras maiúsculas e minúsculas tem que ser consideradas. Clique em "*Submit Registration*".

Aparece a janela "*Registration Completed*", caso o usuário deseje efetuar o *login* imediatamente, clique no botão "*Account sign-in*" que aparecerá a janela do sistema operacional para entrar com Nome de Usuário e Senha.

As **figuras 2 e 3** mostram as páginas em que o usuário preenche um formulário indicando alguns dados para que os pedidos realizados sejam encaminhados pelo e-mail (gratuitamente), ou se preferir, os dados podem ser disponibilizados em CD-ROM (nesse caso será cobrada uma taxa).

Após o correto preenchimento do formulário basta clicar em “ *Submit Order Now*”, e aguardar o recebimento dos arquivos. Logo em seguida o usuário receberá um e-mail do LPDDAC (*Land Processes Distributed Archive Center*) comunicando o registro e informando as instruções necessárias para proceder com o *download*.

EOS Data Gateway: Step 2: Order Form - Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

Voltar Avançar Parar Atualizar Página inicial Pesquisar Favoritos Histórico Correio Imprimir Editar Discussão Run DAP

Endereço: <http://edcwww.cr.usgs.gov/ims-bin/pub/nph-ims.cgi/A053598>

All the Internet Search News e-Cards Calc Games Tools Media Translate

Shopping Cart:
Step 2: Order Form
[Have a question, a problem, or a comment?*](#) | [Help for this page](#)

[Skip navigator \(text browsers\)](#)
[Starred links open new windows](#)

User Name:
guest

Search and Order
[User Preferences](#)
[Search Creation](#)
[Search Status](#)
[Results: Data Set](#)
[Results: Granule](#)
[My Folder](#)
> [Shopping Cart](#)
[Exit to Home](#)

Search types
> [Data Search](#)
[Detailed Document](#)
[Summary Document](#)
[AIRS Browse](#)

[Help](#)

Please fill out your **Contact, Shipping, and Billing** information below. You can then review your entire order or immediately submit your order.

Your Contact Address:

Title: (none) **First Name: (required)** **Initial:** **Last Name: (required)**

Organization: **Internet E-Mail Address: (required)**

Street Address: (required)

City: (required)

Select State (US only): (required)
-- None --
ALABAMA
ALASKA
AMERICAN SAMOA
ARIZONA

Or Enter State/Province:
To enter a state/province, select None from the selection menu and enter state/province above.

Internet 16:54

Figura 2: Página de requisição

EOS Data Gateway: Step 2: Order Form - Microsoft Internet Explorer

Address: <http://edcwww.cr.usgs.gov/imr-bin/pub/rph-ims.cgi/A053606>

Select Country: (required)
 BRAZIL
 -- None --
 UNITED STATES
 ABU DHABI
 ADMIRALTY ISLANDS

Or Enter Country:
 To enter a country, select None from the selection menu and enter country above.

Telephone: (required) 55-34-32394221 **Fax:** 55-34-32394210

Shipping Address: Same as contact address (above)
Billing Address: Same as contact address (above)
 Change Shipping/Billing Address

Your Affiliation:
Type: (required) University **Category: (required)** NOT USA

ASF Data Access Key: (Alaska SAR Facility customers only)
NASDA Data Access Key: (NASDA/HBOC/Japan customers only)

Empty shopping cart if no errors after order has been submitted.
 Go to Step 3: Review Order Summary Before Submitting Order

OR
 Submit Order Now

Figura 3: Continuação da página de requisição

Se o usuário já estiver registrado, carregue a página inicial mencionada acima e acesse o link "Enter as a registered user" que aparecerá a mesma janela do sistema operacional para efetuar *login*.

Quando a página "Primary Data Search" for carregada o usuário tem a opção de escolher o sensor que deseja utilizar. No caso da figura abaixo (4) foi feita a opção pelo sensor MODIS do satélite Terra. Após essa seleção clique em "Choose Data Set Keywords".

EOS Data Gateway: Primary Data Search - Microsoft Internet Explorer

Search Creation: Primary Data Search
 Have a question, a problem, or a comment? | Help for this page
 Save/Restore search | Clear search

Choose Data Sets
 Pick a discipline/topic (for example: Atmosphere: MISR), then choose from the list of data sets.
 For multiple topics: choose one topic & data sets, then the next topic & data sets.
 To select/delete more than one data set, use Ctrl-click for PCs, Apple-click for Macintosh.

MODIS/TERRA VEGETATION INDICES 16-DAY L3 GLOBAL 1KM 151N GRID V003
 MODIS/TERRA VEGETATION INDICES 16-DAY L3 GLOBAL 1KM 51N GRID V004
 MODIS/TERRA VEGETATION INDICES 16-DAY L3 GLOBAL 250M 151N GRID V003
 MODIS/TERRA VEGETATION INDICES 16-DAY L3 GLOBAL 250M 51N GRID V004
 MODIS/TERRA VEGETATION INDICES 16-DAY L3 GLOBAL 500M 151N GRID V003

View Data Set Definition **Choose Data Set Keywords**

Atmosphere:	Cryosphere:	Land:	Oceans:	Solar/Other:
<input type="checkbox"/> AIRS/AMSU-4/HSB	<input type="checkbox"/> MODIS/Aqua	<input type="checkbox"/> AMSR/AMSR-E	<input type="checkbox"/> ADEOS	<input type="checkbox"/> ACIRIM
<input type="checkbox"/> AMSR/AMSR-E	<input type="checkbox"/> MODIS/Terra	<input type="checkbox"/> AVHRR	<input type="checkbox"/> AMSR/AMSR-E	<input type="checkbox"/> Elevation
<input type="checkbox"/> AVHRR	<input type="checkbox"/> MODIS/Terra	<input type="checkbox"/> AVHRR	<input type="checkbox"/> AVHRR	<input type="checkbox"/> Field/In Situ
<input type="checkbox"/> CERES/Aqua	<input type="checkbox"/> MODIS/Aqua	<input type="checkbox"/> GLAS/ICESat	<input type="checkbox"/> GLAS/ICESat	<input type="checkbox"/> GLAS/ICESat
<input type="checkbox"/> CERES/Terra	<input type="checkbox"/> SSM/I	<input type="checkbox"/> Landest 1-5	<input type="checkbox"/> MODIS/Aqua	<input type="checkbox"/> Meteosat/MSG/MSG-III
<input type="checkbox"/> CERES/TRMM	<input type="checkbox"/> TOMS	<input type="checkbox"/> SAR	<input type="checkbox"/> MODIS/Terra	<input type="checkbox"/> SORCE
<input type="checkbox"/> GLAS/ICESat	<input type="checkbox"/> TRMM	<input type="checkbox"/> MISR	<input type="checkbox"/> SEASAT	<input type="checkbox"/> UARS
<input type="checkbox"/> MISR	<input type="checkbox"/> UARS	<input type="checkbox"/> MODIS/Aqua	<input type="checkbox"/> SEAWiFS	
		<input type="checkbox"/> MODIS/Terra	<input type="checkbox"/> SSM/I	
		<input type="checkbox"/> SSM/I		

Figura 4: Escolha do sensor

EDS Data Gateway: Primary Data Search - Microsoft Internet Explorer

By Discipline | By Categories/Attributes

Choose a Data Search Type

☒ Primary Data Search | ☐ Data Granule ID Search | ☐ Local Granule ID Search

Choose Search Area

Find location using [QwestNet](#)

Enter a range of latitudes and longitudes to specify your search region. Formats: degree or degree:minute or degree:minute:second

Northern latitude:
 Western longitude: | Eastern longitude:
 Southern latitude:

☐ Orthographic (Java) | ☐ Stereographic S-pole | ☒ Type in Lat/Lon Range
☐ Equatorial | ☐ Stereographic N-pole | ☐ Type in Path/Row Range
☐ Global Search | ☐ Global granules only | ☐ Type in Lat/Lon Point

Choose a Date/Time Range (not required)

Date format: YYYY-MM-DD (1967-01-25) or MM/DD/YYYY (05/25/1967)
 Time format: HH:MM (14:30) or HH:MM:SS (14:30:01)

You may also enter a date without a time, a start date only, or an end date only.
 Use the help link for information on default values.

Start Date: Time (UTC):
 End Date: Time (UTC):

Figura 5: Escolha da coordenada geográfica

Em seguida Em "*Choose Search Area*", defina a região geográfica em que se encontra a imagem (**figura 5**). Nesse caso optou-se pela procura das imagens a partir da localização das coordenadas geográficas, para isso clique em "*Type in Lat/Long Range*", o usuário possui a opção de definir outro tipo de coordenadas de acordo com sua preferência.

Após a escolha da coordenada, é importante que se faça um recorte temporal das imagens que se deseja obter, ou seja, indicar a data inicial e a final que se deseja procurar as imagens (**figura 6**), esse procedimento é necessário para evitar que imagens indesejadas sejam procuradas, evitando sobrecarga do microcomputador e agilizando a busca. Para isso em "*Choose a Date/Time Range (not required)*" indique a data inicial "*Start Data*" (no caso da figura a data inicial foi 2003/01/01) e a data final "*End Data*" (2003/12/31) da busca que deseja iniciar, e finalize com "*Start Search*" no final da página.

Figura 6: Escolha da data

Após alguns minutos de busca, no *site* aparecerá uma série de imagens/produtos encontrados de acordo com as especificações dadas anteriormente (localização geográfica, data), a partir daí deve-se selecionar as imagens ou produtos de acordo com a preferência do usuário. Uma informação adicional mencionada nessa fase do *dowload* diz respeito à cobertura de nuvens do produto, nessa etapa o usuário já pode visualizar as imagens que pretende obter (figura 7). Após a seleção deve-se clicar em “Accept – Continue to Shopping Cart”(figura 8).

Select	Data Granule ID (Local Granule ID)	Granule Information	On-line Access	Image Quicklook	Request Sample	Start Date	Stop Date	Cloud Co
<input type="checkbox"/>	SC:MOD13Q1.004:2014175055 (MOD13Q1.A2003145.h13v10.004.2003172005823.hdf)	Attributes Pricing	Data* Metadata*	Image Unavailable	Sample Unavailable	25 May 2003, 13:15:00.0	09 Jun 2003, 14:20:00.0	1
<input checked="" type="checkbox"/>	SC:MOD13Q1.004:2014485857 (MOD13Q1.A2003161.h13v10.004.2003184142430.hdf)	Attributes Pricing	Data* Metadata*	Image Unavailable	Sample Unavailable	10 Jun 2003, 13:15:00.0	25 Jun 2003, 14:20:00.0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	SC:MOD13Q1.004:2015303474 (MOD13Q1.A2003177.h13v10.004.2003214100906.hdf)	Attributes Pricing	Access Unavailable	Image Unavailable	Sample Unavailable	26 Jun 2003, 13:15:00.0	11 Jul 2003, 14:20:00.0	0
<input type="checkbox"/>	SC:MOD13Q1.004:2015582615 (MOD13Q1.A2003193.h13v10.004.2003224161816.hdf)	Attributes Pricing	Data* Metadata*	Image Unavailable	Sample Unavailable	12 Jul 2003, 13:15:00.0	27 Jul 2003, 14:20:00.0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	SC:MOD13Q1.004:2015932971 (MOD13Q1.A2003209.h13v10.004.2003240023602.hdf)	Attributes Pricing	Data* Metadata*	Image Unavailable	Sample Unavailable	28 Jul 2003, 13:15:00.0	12 Aug 2003, 14:20:00.0	0

Figura 7: Lista de produtos encontrados pelo sensor

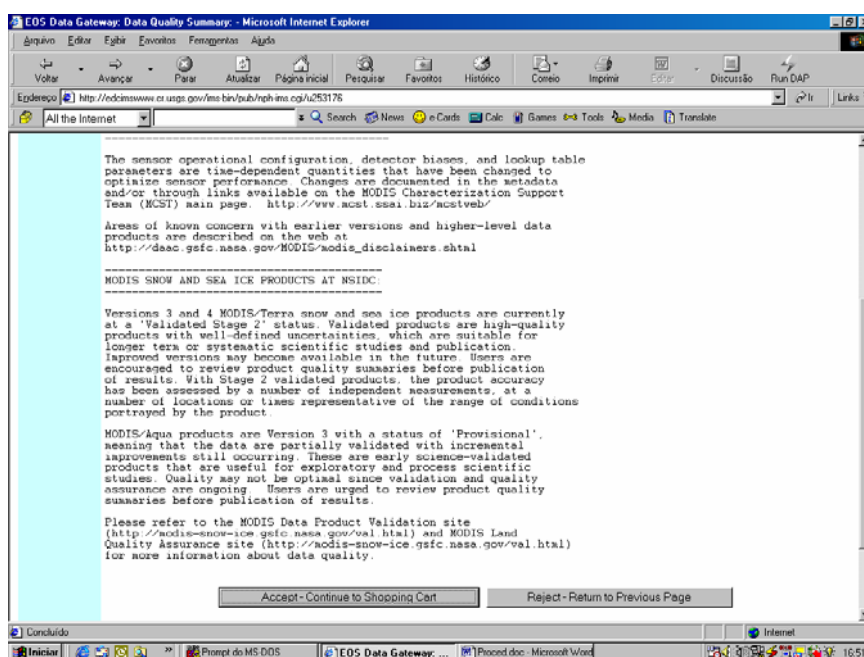


Figura 8: Página continue

Para a visualização obtem-se a pagina *step 1*, onde as imagens estarão de forma ordenada (Figura 9).

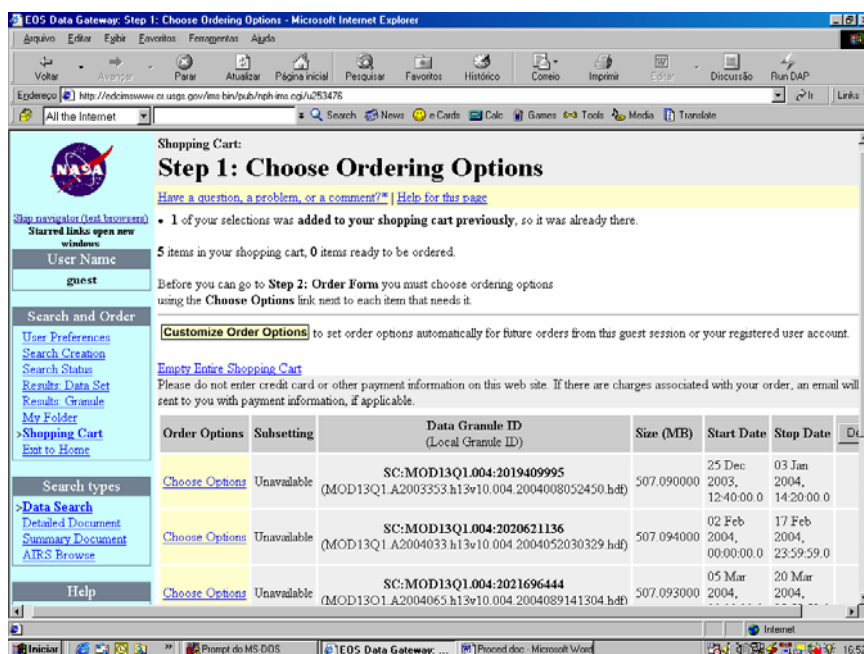


Figura 9: Visualização das imagens

Em seguida o usuário poderá escolher o formato que deseja receber os produtos (**figura 10**), a opção sugerida é o formato FtpPull. O servidor processará o pedido e enviará via e-mail o site para efetuar via ftp o *download* dos produtos. Como as imagens são grandes, o usuário deverá

instalar em seu microcomputador algum aplicativo para auxiliar na aquisição das mesmas. Como exemplo, poderemos sugerir o software *Download Accelerator*. Este software permite que as imagens continuem sendo baixadas caso a conexão de rede caia, ele continua baixando a imagem a partir do ponto que parou, ou seja, não inicia todo o processo novamente.

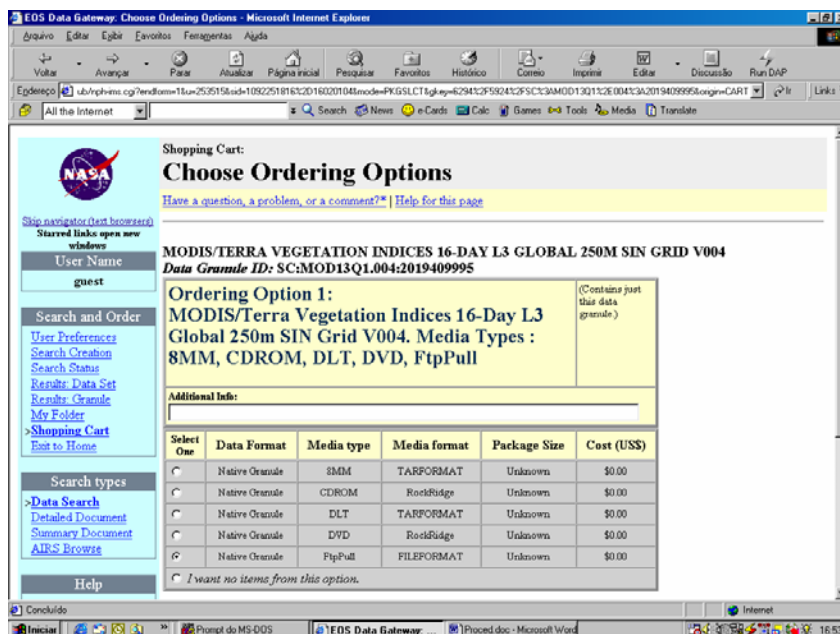


Figura 10: Escolha do formato da imagem

ANEXO 02

Procedimentos necessários para abrir os arquivos MODIS

Para visualizar e utilizar as imagens MODIS depois das mesmas terem sido baixadas, é necessário a utilização do aplicativo o MRT (*MODIS Reprojection Tool* – também disponibilizado gratuitamente), para a instalação desse programa no microcomputador é necessário acessar o site <http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp> e realizar o *download*.

Após instalado no microcomputador o MRT possui a capacidade de converter os arquivos inicialmente no formato HDF para outro formato, como exemplo TIF ou GEOTIFF, passível de ser lido pela maioria dos softwares de geoprocessamento. A figura a seguir (Figura 1) mostra o *layout* do MRT depois de aberto.

Em “*Input Files*” deverá estar indicado a imagem/produto que se deseja, em “*Output File*” deverá ser escolhida a opção GEOTIFF. No campo “*Resampling Type*” deve ser indicada a opção “*Nearest Neighbor*” (Vizinho mais Próximo). Em “*Output Projection Type*” a coordenada indicada deve ser a Geográfica, depois de preenchidos os campos deve-se clicar em “Run” e esperar que o programa converta os arquivos, para o formato desejado.

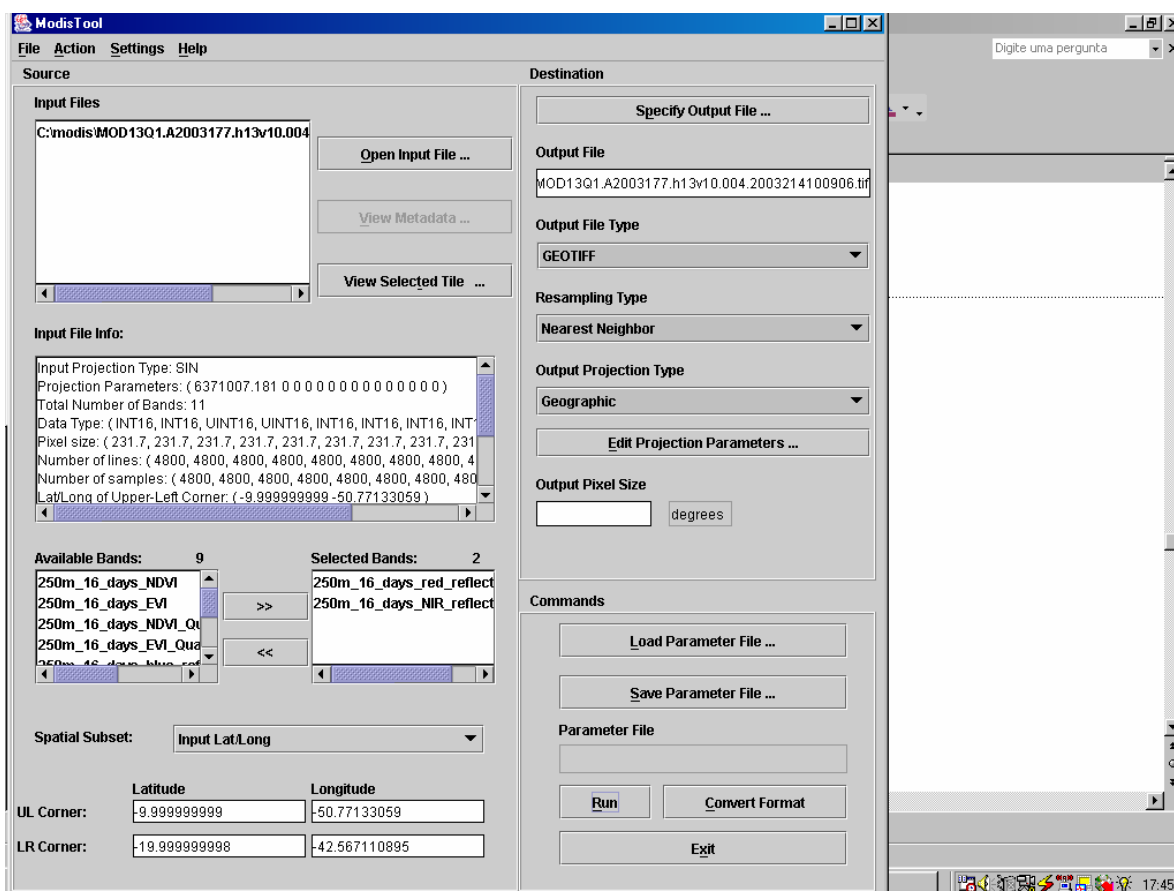


Figura 1: Layout do MODIS Reprojection Tool

A partir deste momento basta utilizar as imagens/produtos com o software de geoprocessamento escolhido pelo usuário (SPRING, IDRISI, etc.).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)