

**ESTIMATIVA DE NDVI NO ESTADO DE
MINAS GERAIS UTILIZANDO IMAGENS
DOS SATÉLITES CBERS_2B/CCD E
MSG/SEVIRI**

LIDIANE APARECIDA BORGES

2010

LIDIANE APARECIDA BORGES

**ESTIMATIVA DE NDVI NO ESTADO DE MINAS GERAIS
UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES CBERS_2B/CCD E
MSG/SEVIRI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora
Profa. Elizabeth Ferreira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Borges, Lidiane Aparecida.

Estimativa de NDVI no estado de Minas Gerais utilizando
imagens dos satélites CBERS_2B/CCD e MSG/SEVIRI / Lidiane
Aparecida Borges. – Lavras: UFLA, 2010.

60 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Elizabeth Ferreira.

Bibliografia.

1. PCD. 2. METEOSAT. 3. Sensoriamento remoto. 4. Satélites
meteorológicos. 5. Índice de vegetação por diferença normalizada. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 526.982

LIDIANE APARECIDA BORGES

**ESTIMATIVA DE NDVI NO ESTADO DE MINAS GERAIS
UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES CBERS_2B/CCD E
MSG/SEVIRI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de Fevereiro de 2010

Prof. Antonio Augusto de Aguiar Dantas UFLA

Prof. Margarete Marin Lordelo Volpato UFLA

Profa. Elizabeth Ferreira
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A minha mãe
APARECIDA BORGES
A minha irmã
LINDA INÊS
A toda minha FAMÍLIA
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Engenharia, pela formação e estrutura oferecida ao desenvolvimento deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelos recursos disponibilizados.

Aos Professores Elizabeth Ferreira e Antonio Augusto Aguilar Dantas Mello, pela confiança, orientação e oportunidade de trabalho durante o período de pós-graduação.

A todos os colegas de turma e do Setor de Engenharia, pelo convívio e amizade.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Sensoriamento remoto dos recursos naturais.....	3
2.2 Satélite Meteosat.....	4
2.3 Satélite CBERS-2B.....	8
2.4 Índices de vegetação	11
2.5 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	15
3 METODOLOGIA.....	18
3.1 Área de estudo	18
3.2 Satélite METEOSAT	20
3.2.1 Aquisição dos dados	20
3.2.2 Processamento das imagens.....	24
3.2.3 Cálculo dos índices de vegetação	25
3.3 Satélite CBERS 2B	26
3.3.1 Aquisição dos dados	26
3.3.2 Calibração radiométrica.....	28
3.3.3 Georreferenciamento	29
3.3.4 Cálculo do índice de vegetação	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Avaliação temporal do NDVI através do satélite Meteosat-9.....	33
4.2 Variação do NDVI para as regiões que possuem PCDs	42
4.3 Comparação dos valores de NDVI's das imagens CBERS-2B e METEOSAT-9 nos municípios que possuem PCDs	46
5 CONCLUSÕES	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

RESUMO

BORGES, Lidiane Aparecida. **Estimativa de NDVI no estado de Minas Gerais utilizando imagens dos satélites CBERS_2B/ CCD e MSG/SEVIRI.** 2010. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O presente trabalho objetivou-se estimar e comparar o índice de vegetação NDVI gerado a partir de imagens do satélite Meteosat-9 (alta resolução temporal) com os valores de NDVI gerados a partir de imagens do CBERS 2B_CCD (alta resolução espacial), em algumas regiões do estado de Minas Gerais. Para tanto, foram gerados mapas de índice de cobertura vegetal (NDVI) para várias épocas do ano utilizando imagens do satélite Meteosat-9. Considerou-se como área de estudo o Estado de Minas Gerais, localizado entre as coordenadas geográficas 14° e 23° de latitude Sul e 39° e 51° de longitude Oeste de Greenwich. Dentro do estado de Minas Gerais alguns municípios foram escolhidos para comparar os valores de NDVI, obtidos pelo satélite METEOSAT com aquelas obtidas pelo satélite CBERS 2B. O estudo foi realizado entre os meses de agosto, setembro e outubro de 2009. As imagens CBERS-2B utilizadas foram disponibilizadas pelo INPE, e as imagens do METEOSAT-9, foram obtidas através do departamento de engenharia da Universidade Federal de Lavras, onde há um laboratório que recebe as imagens diretamente da EUMETCast. As imagens foram processadas pelo software ENVI (“Environment for Visualizing Images”). Foram confeccionados mapas de NDVI semanal para os meses de agosto, setembro e outubro de 2009, através dos dados do Meteosat-9. Em datas que correspondiam à mesma época do ano, foram calculados nas regiões em estudo os valores de NDVI pelos dois satélites, para proceder à comparação entre os valores encontrados. Os valores máximos de NDVI encontrados através do satélite Meteosat-9 foram em torno de 0,6 e valores mínimos em torno de -0,2. O satélite CBERS-2B por possuir média resolução espacial, possibilitou que fosse realizado um estudo mais detalhado da variação dos valores de NDVI dos municípios. Quando se comparou os valores de NDVI obtidos a partir de imagens geradas pelos dois satélites verificou-se que o Satélite Meteosat-9, não foi capaz de discriminar algumas áreas nas imagens devido à grande heterogeneidade da vegetação nas áreas estudadas, pois por possuir baixa resolução espacial o mesmo não foi capaz de discriminar, algumas áreas nas imagens geradas.

* Comitê Orientador: Elizabeth Ferreira - UFLA (Orientadora) e Antonio Augusto Aguillar Dantas - UFLA.

ABSTRACT

BORGES, Lidiane Aparecida. **Estimates of NDVI in different of the state of Minas Gerais using images from satellites CBERS_2B/CCD and MSG/SEVIRI**. 2010. 60 p. Dissertation (Master's in Agricultural Engineering) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

This study aimed to estimate and compare the vegetation index NDVI generated from images of satellites Meteosat-9 (high temporal resolution) with NDVI values generated from the CBERS 2B_CCD (high spatial resolution) in some regions of the state of Minas Gerais. Therefore, were generated maps of vegetation index (NDVI) for various times of the year using images from the Meteosat-9. Considered as the study area the state of Minas Gerais, located between the geographic coordinates 14° and 23° South and 39° and 51° of longitude west of Greenwich. On the state of Minas Gerais some municipalities were chosen to compare the values of NDVI, obtained by the satellite Meteosat with those obtained by the CBERS-2B. The study was conducted between the months of August, September and October 2009. The CBERS-2B images used were provided by INPE, and images from the engineering department of the Federal University of Lavras, where a laboratory receiving images directly from EUMETCast. The images were processed by the software ENVI. Maps have been prepared weekly NDVI for the months of August, September and October 2009, using data from Meteosat-9. On dates that correspond to the same time of year, were calculated in the regions under study the values of NDVI for the two satellites, to make the comparison between the values found. The maximum NDVI found by the Meteosat-9 were around 0.6 and minimum values around -0.2. The CBERS-2B has a medium spatial resolution, enabled him to perform a more detailed study of variation of NDVI of the municipalities. When comparing the NDVI values derived from images generated by the two satellites it was found that the satellite Meteosat-9, was not able to discriminate some areas in the images due to the heterogeneity of vegetation in the study area, because by having low resolution space it was not able to discriminate, some areas in the images generated.

* Guidance Committee: Elizabeth Ferreira - UFLA (Major professor) and - Antonio Augusto Aguillar Dantas – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o emprego de imagens de satélite vem se estabelecendo como um instrumento de fundamental importância nos estudos sobre o balanço de energia e de água, identificação de áreas em processo de degradação, desmatamento e monitoramento de pastagens entre outros. As imagens de satélites passaram a representar uma das maneiras mais adequadas de monitoramento ambiental, quer em escala local ou global. Enfim, este recurso permite obter resultados satisfatórios sobre análises em diversas áreas da ciência, em escala regional, sobretudo no ramo da agricultura.

Dados obtidos por sensoriamento remoto possibilitam análises que subsidiam o processo de planejamento e gestão do meio ambiente. Existem várias técnicas de processamento de imagens que otimizam a exploração dos dados de sensores remotos como aquelas, por exemplo, referentes aos índices de vegetação (IVs).

Segundo Moreira & Shimabukuro (2004), na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Embora muitos IVs existam, os mais usados e conhecidos são: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).

Na climatologia, os IVs também são importantes, pois possibilitam conhecer a repartição e a densidade de ocupação do solo pela vegetação, a qual tem grande influência no ciclo hidrológico, e do carbono. Ademais, os IVs podem ser utilizados, dentre outros fins, para se verificar as conseqüências da variabilidade climática interanual sobre a vegetação, assim como auxiliar no entendimento e análise da variação sazonal da vegetação (Teixeira, 2003).

O satélite CBERS-2B carrega a bordo três câmeras. A câmera CCD tem boa resolução espacial (20 x 20 m), mas baixa resolução temporal (26 dias). Esta câmera produz imagens nas faixas do visível (vermelho) e do infravermelho próximo, tornando possível a estimativa de NDVI. O sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible Infrared Imager*) do Meteosat-9 possui ótima resolução espacial, gerando imagens a cada 15 minutos, são geradas imagens em 12 canais, incluindo as faixas do visível e do infravermelho próximo (Schmetz et al., 2002). Referências que relacionam as estimativas de NDVI geradas a partir de imagens que foram produzidas por sensores que operam com diferentes resoluções espaciais e temporais são escassas na literatura. Estas referências são muito importantes para obtenção e comparação de NDVI com altas frequências de observação.

Objetivou-se com este trabalho estimar e comparar os índices de vegetação NDVI gerados a partir de imagens do satélite Meteosat-9 (alta resolução temporal) com os valores de NDVI gerados a partir de imagens do CBERS 2B_CCD (alta resolução espacial), em algumas regiões do estado de Minas Gerais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensoriamento remoto dos recursos naturais

Pesquisadores em vários programas internacionais vêm estudando o uso potencial de dados de sensoriamento remoto, com o objetivo de obter informações precisas sobre as condições e processos da superfície terrestre. Os resultados desses estudos têm demonstrado que avaliações quantitativas dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera podem levar a um melhor entendimento das relações entre o crescimento vegetativo e o manejo de água, por exemplo. Informações mais detalhadas sobre a superfície da terra podem agora ser obtidas dentro de uma ampla faixa de resolução espacial e resolução temporal.

A tarefa de proporcionar informação confiável e precisa a partir de pequenas áreas (nível de pequenas fazendas, por exemplo) ou para uma bacia hidrográfica completa, abrangendo milhões de hectares de terra irrigada, está longe de ser trivial. Medidas de sensoriamento orbital, contudo, podem proporcionar informação regular sobre as condições hidrológicas e agrícolas da superfície da terra para vastas áreas. A capacidade do sensoriamento remoto em fornecer produtos para identificação e monitoramento do crescimento vegetativo e de outros parâmetros biofísicos relacionados tem experimentado um grande avanço nos últimos 20 anos, apesar de vários casos ainda permanecerem sem solução. Revisões sobre aplicações do sensoriamento remoto no manejo de água na agricultura e hidrologia são apresentadas por Choudhury et al. (1994), Kustas & Norman (1996), Bastiaanssen et al. (1998) e Ray & Dadhwal (2001).

Nóbrega et al. (2004) desenvolveram um trabalho que teve como objetivo avaliar a relação entre os componentes de estresse hídrico e o rendimento na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), por meio de técnicas de sensoriamento remoto termal, tendo obtido resultados satisfatórios.

2.2 Satélite Meteosat

Nas últimas três décadas, as imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários da série Meteorological Satellite (Meteosat) têm sido disponibilizados continuamente, contribuindo para resultados científicos importantes sobre a dinâmica do clima global. Pela sua própria definição, tais satélites têm período orbital de 24 horas, e encontram-se posicionados sobre o Equador terrestre, a uma altitude de 36 mil km (FIGURA 1).

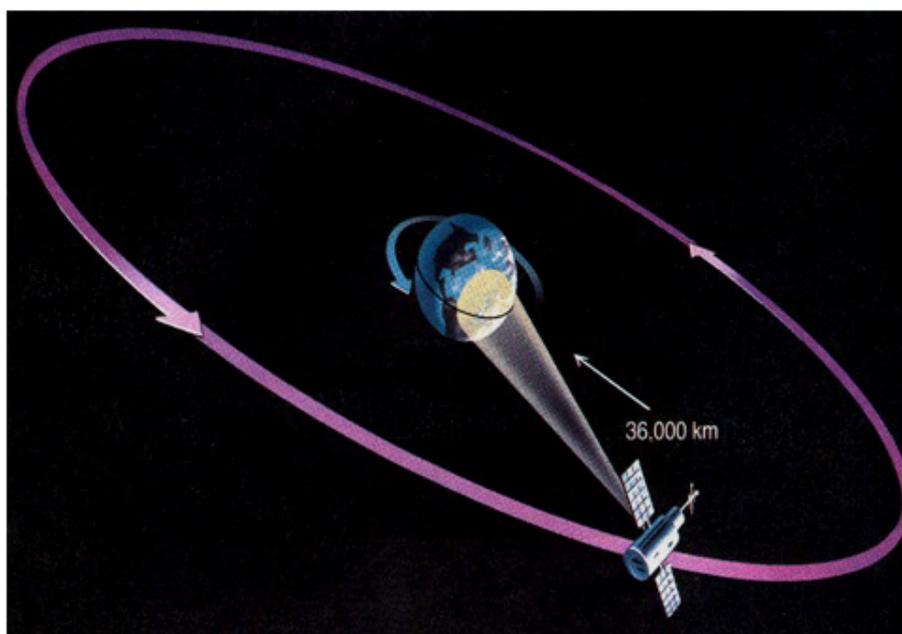


FIGURA 1 Posição e órbita desenhada pelo satélite Meteosat. Fonte: INPE.

O primeiro satélite da série, o Meteosat-1, foi lançado em órbita da Terra no ano de 1977, seguido de outros seis satélites da série lançados nos anos de 1981, 1988, 1989, 1991, 1993 e, em setembro de 1997 foi lançado o sétimo satélite da série (Meteosat-7), o qual, por ser um satélite geoestacionário (em

órbita de 36.000 km de altitude), imageia 42% da Terra (FIGURA 2) compondo, assim, a primeira geração dos satélites Meteosat.

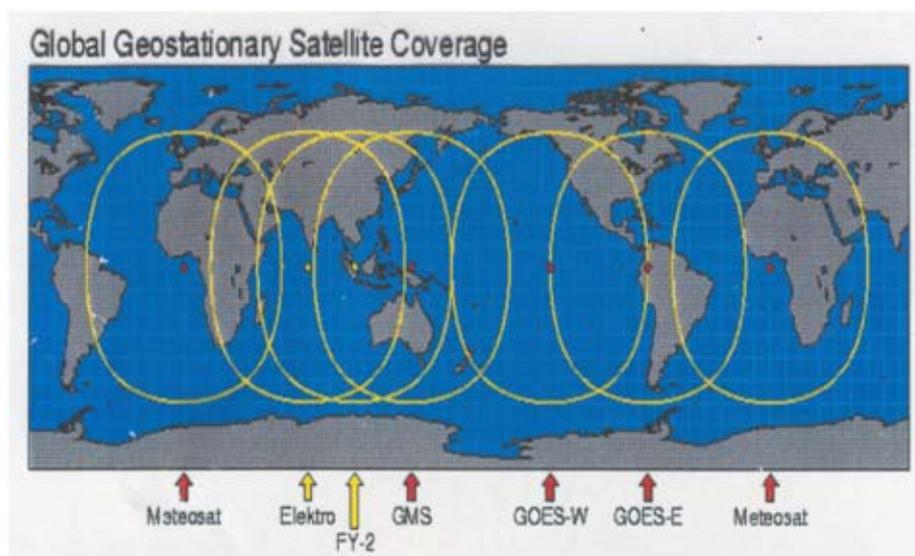


FIGURA 2 Satélites geostacionários, com representação das áreas cobertas por cada um, entre eles o Meteosat. Fonte: INPE.

Lançado em dezembro de 2005, em substituição ao Meteosat-7, o atual Meteosat-9 compõe a segunda geração dos satélites Meteosat (Meteosat Second Generation)/MSG-2, uma réplica do Meteosat-8 (MSG-1) lançado em 2002 (EUMETSAT) que permite obter imagens em mais comprimentos de onda e em intervalos mais curtos que os dos satélites anteriores, o que o torna particularmente adequado para previsões de curto prazo de fenômenos meteorológicos como neve, trovoadas e nevoeiro. Os dados gerados pelos seus 12 canais espectrais fornecem 20 vezes mais informações do que os seus antecessores.

O sensor imageador SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) a bordo da série MSG coleta dados de radiâncias ou irradiâncias

integradas em 12 canais nas bandas espectrais (TABELA 1) do visível, infravermelho próximo e infravermelho térmico (Schmetz et al., 2002), incluindo bandas de absorção pelo vapor de água, ozônio e dióxido de carbono, com uma resolução espacial entre 1 km e 3 km no nadir. Os primeiros três canais destinam-se prioritariamente ao sensoriamento remoto da superfície terrestre, enquanto os outros canais destinam-se preferencialmente a estudos sobre a atmosfera.

TABELA 1 Faixas espectrais e resolução espacial do MSG/SEVIRI.

Canais	Banda Espectral	Resolução
VIS 0.6	0.56 – 0.71 μm	3 km
VIS 0.8	0.74 – 0.88 μm	3 km
IR 1.6	1.50 – 1.78 μm	3 km
IR 3.9	3.48 – 4.36 μm	3 km
IR 8.7	8.30 – 9.10 μm	3 km
IR 10.8	9.80 – 11.80 μm	3 km
IR 12.0	11.0 – 13.0 μm	3 km
WV 6.2	5.35 – 7.15 μm	3 km
WV 7.3	6.85 – 7.85 μm	3 km
IR 9.7	9.38 – 9.94 μm	3 km
IR 13.4	12.4 – 14.4 μm	3 km
HRV	0.50 – 0.90 μm	1 km

Atualmente, os dois satélites da série MSG, Meteosat-8 e Meteosat-9 coletam dados de radiâncias com uma resolução temporal de 15 minutos, permitindo uma seqüência de 96 imagens por dia para cada canal (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites - EUMETSAT, 2007). As novas tecnologias a bordo dos satélites têm melhorado a qualidade das informações meteorológicas, possibilitando a geração de cartas da temperatura da superfície do mar, informações do vigor da vegetação, da instabilidade atmosférica e da quantidade de aerossóis, as quais são algumas das principais inovações, além da recepção de novas imagens a cada 15 minutos. Além das melhorias da nova geração da série de satélites Meteosats, o fato de transmitirem dados a Terra através de um sistema simples, também utilizado para transmissão de canais de televisão permite, de um lado, reduzir o custo de infra-estrutura de recepção de imagens e, por outro, enviar uma série de informações adicionais, como por exemplo, dados de direção e velocidade dos ventos na superfície dos oceanos.

A dinâmica dos padrões temporais e espaciais da vegetação, por meio de imagens orbitais, é de grande importância para os sistemas de modelagem dos processos de interação entre o clima e a biosfera. Regiões semi-áridas tropicais e extratropicais apresentam intensas mudanças na sua cobertura vegetal, associadas ao regime pluviométrico da região, a dinâmica natural da sua vegetação, e à ação antrópica (Barbosa et al., 2006). Estas mudanças podem ser detectadas e monitoradas a partir da análise de imagens orbitais por meio de transformações para índices de vegetação (IV). Uma componente chave na melhoria de medidas da superfície é a estratégia de aquisição de dados, a qual, de certa forma, demanda análises rápidas, simplificadas e freqüentes, sendo compatíveis com a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo.

Embora já existam disponíveis sensores de maior qualidade espacial, como o AVHRR/NOAA e MODIS/TERRA, os dados do sensor SEVIRI tem

grande uso em estudos envolvendo a análise de ecossistemas, em função da disponibilidade de novas imagens a cada 15 minutos. Essa resolução é ideal para monitoramento de mudanças na superfície terrestre em larga escala. Dentre os produtos disponíveis para uso imediato, destacam - se os vários parâmetros de vegetação, como a fração de cobertura vegetal (FVC), índice de área foliar (LAI) e fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (FAPAR).

No Brasil, além de instituições dedicadas à sensoriamento remoto e meteorologia como o INMET, (Instituto Nacional de Meteorologia), o INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), e a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e as Universidades Federal de Alagoas (UFAL) através do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) e a Universidade Federal de Lavras por meio do seu Departamento de Engenharia, recebem em tempo “quase real” as imagens do satélite Meteosat-9 e produtos Land SAF por meio do sistema EUMETCast da EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of to Meteorological Satellites).

2.3 Satélite CBERS-2B

Muitos países dependem das imagens obtidas por Satélites de Observação da Terra de países que detém avançadas tecnologias na área espacial. Entretanto, em muitos casos, tais satélites não são inteiramente adequados às peculiaridades do território ou dos recursos naturais investigados. Nesse contexto, o governo do Brasil, na década de 1980, engajou-se na implementação do programa espacial chinês e brasileiro, onde o Programa CBERS foi o marco de uma nova etapa.

O programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres) foi implantado em 1988 após parceria

assinada entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST), num convênio técnico-científico binacional envolvendo Brasil e China. A inserção do Brasil em um sistema completo de sensoriamento remoto possibilitou um grande avanço tecnológico para o país, refletidos no fomento da ciência, indústria e serviços relacionados à área espacial. A missão CBERS mantém três satélites de observação terrestre em órbita: o CBERS-1 (lançado em 1999 e inativo desde 2003), o CBERS-2 (lançado em 2003) e CBERS-2B (lançado em 2007). Inicialmente o programa previa o desenvolvimento e a construção de apenas dois satélites de sensoriamento remoto e, devido ao sucesso da missão, em 2002 foi assinado um acordo para continuidade do programa, que ainda prevê o lançamento de mais dois satélites a partir de 2010: O CBERS-3 e o CBERS-4.

O satélite CBERS-2B é composto de dois módulos. O módulo carga útil, (Tabela 2), acomoda os sistemas ópticos (CCD - *High Resolution CCD Cameras*, WFI - *Wide Field Imager* e HRC *High Resolution Camera*) e os eletrônicos usados para observação da Terra e coleta de dados. O módulo serviço contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

TABELA 2 Características dos sensores a bordo do CBERS-2B.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial(m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada (km)
WFI	Vermelho	0,63 - 0,69	260	5	890
	Infravermelho próximo	0,77 - 0,89			
	PAN	0,51 - 0,73			
	Azul	0,45 - 0,52			
Câmar a CCD	Verde	0,52 - 0,59	20	26	113
	Vermelho	0,63 - 0,69			
	Infravermelho próximo	0,77 - 0,89			
HRC	PAN	0,5 - 0,8	2,7	130	27

A órbita do CBERS-2B é heliossíncrona a uma altitude de 778 km (FIGURA 2), perfazendo cerca de 14 revoluções por dia. Nesta órbita, o satélite cruza o equador sempre na mesma hora local, 10:30 da manhã, permitindo assim que se tenha sempre a mesma condição de iluminação solar para a comparação de imagens tomadas em dias diferentes. O satélite demora 26 dias para retornar ao mesmo ponto de cobertura da Terra. Este é o tempo necessário para se ter imagens de todo o globo terrestre com suas câmaras CCD e HRC que possuem campos de visada de 113 Km a 120 Km, respectivamente. Já com a câmara WFI, que consegue imagear uma faixa de 890 km de largura, o tempo necessário para uma cobertura global é de 5 dias. Com a câmara CCD é possível se obter

imagens em visada lateral, podendo-se obter imagens da mesma área do terreno a cada 26 dias.



FIGURA 3 Posição e órbita desenhada pelo satélite CBERS-2B. Fonte INPE.

O satélite CBERS-2B é equipado com câmaras para observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais. São sistemas de sensores que combinam características especiais para atender as diferentes escalas temporais e espaciais.

2.4 Índices de vegetação

As análises da vegetação e detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar 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”. A utilização de índices de vegetação (IVs), gerados a partir de dados de sensoriamento remoto, constitui uma importante estratégia para o monitoramento dos ecossistemas.

Moreira (2005) afirma que os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre Ponzoni & Shimabukuro (2007) ressaltam ainda que a baixa reflectância da vegetação nas bandas do visível é devido à absorção da radiação solar pelos pigmentos fotossintetizantes, enquanto que a alta reflectância na região do infravermelho próximo se deve ao espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas em função da estrutura celular (FIGURA 3).

Diversos índices de vegetação têm sido propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente na região do visível e do infravermelho próximo. 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).

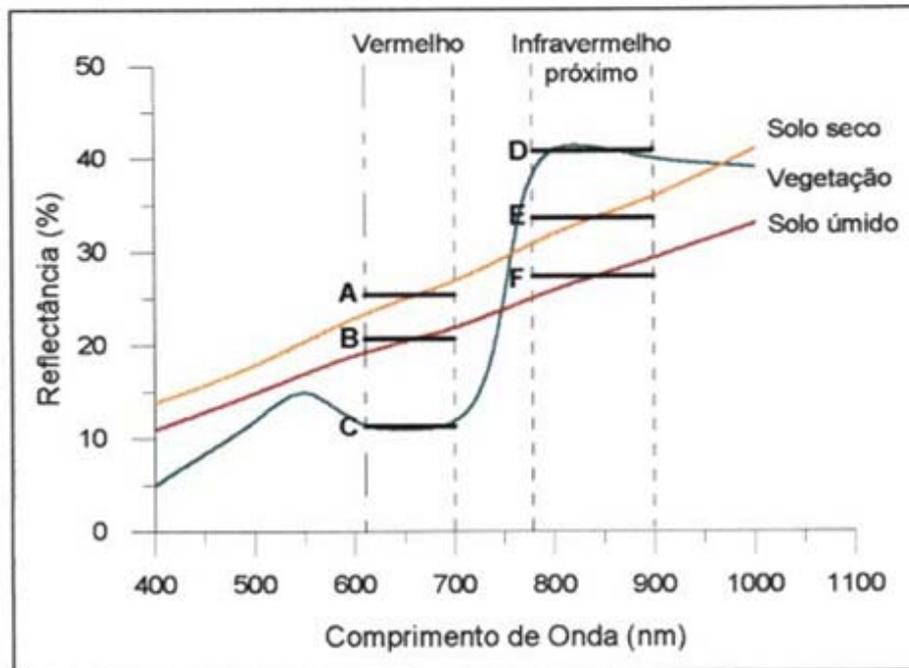


FIGURA 4 Reflectância da vegetação nas bandas do visível e do infravermelho próximo. Fonte INPE.

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.

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, citados por Epiphanyo et al., 1996). 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, A., 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 & 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, A., 2004), daí a possibilidade de comparação de duas datas. Nesse contexto, os IVs destacam-se nas estimativas de vários parâmetros da vegetação relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como a biomassa e índice de área foliar. Estes índices também têm a função de minimizar os efeitos de iluminação da cena, a declividade da superfície e a geometria de aquisição da imagem, os quais influenciam nos valores de reflectância da vegetação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Dentre suas principais aplicações estão o monitoramento e a discriminação de uso do solo, a avaliação das condições de crescimento de culturas, as ocorrências de doenças, pragas, déficit hídrico, geadas, entre outros. Sendo que, o índice de vegetação ideal deve ser sensível a vegetação, insensível ao fundo do solo e não ter interferências da atmosfera (Liu, 2006).

2.5 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O NDVI baseia-se no comportamento espectral da vegetação sadia que apresenta na região do visível uma alta absorção da energia incidente, em função dos pigmentos da folha. Os pigmentos não afetam o comportamento da folha na faixa do infravermelho próximo, então nesta região do espectro a folha apresenta uma absorção menor ou alta reflectância. O NDVI é um índice que relaciona imagens obtidas na faixa do infravermelho próximo e do vermelho gerando uma imagem onde quanto maior o vigor vegetal, maior será o NDVI (Chuvieco, 2002). Segundo Tucker (1979), citado por Moreira (2005), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68 μ m) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35 μ m) causada pela estrutura celular das folhas. A diferença entre as bandas do vermelho e infravermelho é proporcional à reflectância da imagem, sendo a medida do grau de vegetação na imagem. Moreira (2005) afirma que os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre.

O NDVI é calculado como uma razão entre a refletividade medida nas regiões do vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético, sendo essas duas bandas espectrais selecionadas em razão de serem mais afetadas pela absorção da clorofila, pela folhagem da vegetação verde e pela densidade dessa vegetação na superfície. Em última análise os IVs têm como objetivo principal isolar a banda do verde, ou seja, analisar o sinal da atividade fotossinteticamente ativa de acordo com a variação temporal e espacial da “mistura” dos pixels.

Quando provenientes de imagens de satélites de baixa resolução espacial e alta resolução temporal, os perfis têm sido propostos em análises regionais de culturas agrícolas, tais como arroz irrigado no Rio Grande do Sul (Klering,

2007) e cereais de inverno no Paraná (Deppe et al., 2007) e na Austrália (Fontana et al., 2007). De acordo com Deppe et al. (2007), a utilização de imagens de NDVI permite o monitoramento do desenvolvimento fenológico das culturas ao longo das safras, sendo possível obter, assim, avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios em períodos anteriores à colheita.

Barbosa et al. (2006) determinou o NDVI através de imagens do MSG/SEVIRI utilizando o canal 2 (0,8 um) e o canal 1 (0,6 um), a partir da composição de imagens pelo valor máximo, para um período de dez dias consecutivos e encontrou valores bastante semelhantes aos encontrados na literatura quando foram utilizados outros satélites.

Vários trabalhos realizados nas diferentes formações vegetais dos biomas de Cerrado e Caatinga associam as variações de precipitação aos valores de NDVI como indicador do vigor da vegetação (Assad et al., 1996), utilizando séries globais com dados de 8 km do sistema de sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Em relação à dinâmica espaço-temporal da paisagem semi-árida Brasileira (Barbosa, 1998; Gurgel & Ferreira, 2003; Barbosa et al., 2006) constaram que os valores de NDVI tendem a aumentar nos anos de La Niña (anos chuvosos), com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente nos anos de El Niño (anos secos).

O NDVI tem sido muito utilizado em estudos que investigam a dinâmica de vegetação com imagens do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat (Ruiz-Luna & Berlangarobles, 1999; Tanser & Palmer, 1999; Gupta et al., 2000; Yuan & Bauer, 2006) e do sensor CCD do CBERS-2 (Moreira, 2005; Poelking et al., 2007). Diversos métodos foram desenvolvidos para o cálculo da evapotranspiração potencial utilizando imagens NDVI, dentre eles cita-se o método SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) que tem por objetivo a obtenção da evapotranspiração (ET) por meio de dados de imagem digital e dados de superfície (Menezes et al., 2007).

O NDVI 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.

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 NDVI pode ser utilizado no estudo do ciclo de crescimento da vegetação e na análise de eventuais perturbações em seu ciclo sazonal. O referido índice pode ser ainda usado em uma vasta gama de estudos como modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, estimativas de parâmetros da vegetação (cobertura vegetal, índice de área foliar); atividades agrícolas (monitoramento do ciclo de crescimento de culturas, modelagem do crescimento e produtividade de plantações); monitoramento de secas; detecção de desmatamentos, entre outras aplicações.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Considerou-se como área de estudo o Estado de Minas Gerais, localizado entre as coordenadas geográficas 14° e 23° de latitude Sul e 39° e 51° de longitude Oeste de Greenwich. Dentro do estado de Minas Gerais alguns municípios foram escolhidos para comparar os valores de NDVI, obtidos pelo satélite METEOSAT-9 com aquelas obtidas pelo satélite CBERS -2B. Esses municípios foram escolhidos por possuírem plataformas de coletas de dados (PCDs), que em trabalhos posteriores serão utilizadas como base para cálculo da evapotranspiração.

Na TABELA 3 estão listadas todas as plataformas de coleta de dados (PCDs) do INPE que estão instaladas no Estado de Minas Gerais.

TABELA 3 Plataforma de coleta de dados (PCDs) do INPE instaladas no Estado de Minas Gerais (**dispõem de saldo-radiômetro e fluxímetro de calor de solo).

Nº de controle	Cidade	
32502	Araçuaí	**
31959	Horonópolis	
32511	Lavras	**
32526	Machado	**
30800	Perd (Parque estadual do R. Doce)	
32504	Pirapora	**
31930	Santa Fé de Minas	
32509	Viçosa	

Na FIGURA 5 está representado o Estado de Minas Gerais numa composição RGB dos canais 3, 2 e 1 do satélite METEOSAT-9, mostrando a localização das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) do CPTEC/INPE.

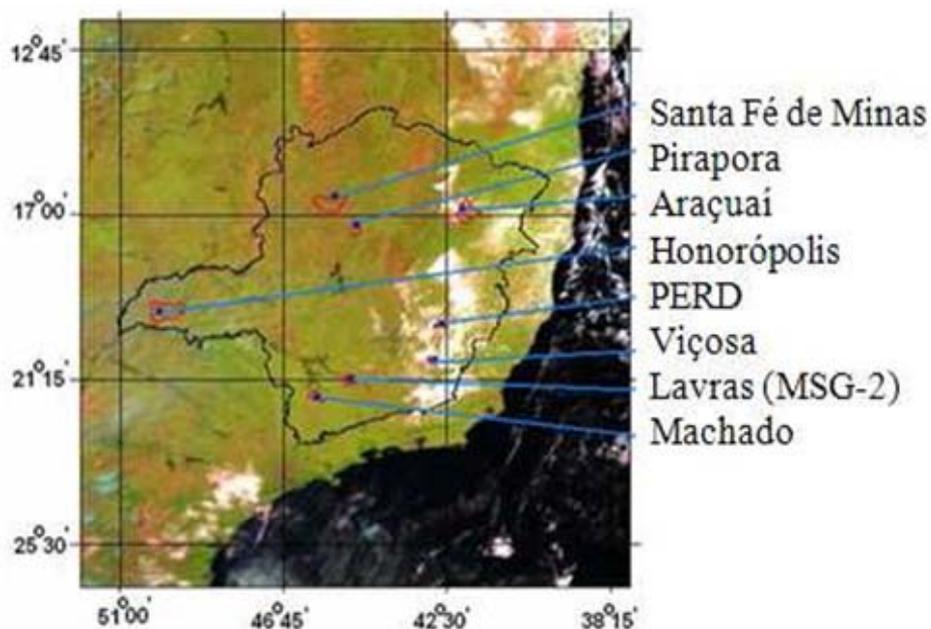


FIGURA 5 Localização da área de estudo e das Plataformas de Coleta de Dados do CPTEC/INPE, classificadas como “Agrometeorológicas”, no Estado de Minas Gerais.

3.2 Satélite METEOSAT

3.2.1 Aquisição dos dados

A distribuição dos dados do satélite Meteosat-9 é feita pela EUMETCast utilizando-se o satélite de telecomunicações NSS806, localizado em órbita geossíncrona na longitude de 40,5° WGr. O satélite utiliza a Banda C para retransmitir e distribuir arquivos de dados e de imagens usando o padrão DVB (Digital Video Broadcast). Foram utilizadas as imagens do satélite Meteosat-9, recebidas entre os dias 02 de agosto a 23 de outubro de 2009 na Estação de Recepção EUMETCast, situada no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA).

Estas imagens foram recebidas no formato de dados disseminados pela EUMETCast, “level 1,5” através do *software* Tellicast. A denominação nível 1.5, corresponde ao arquivo que foi corrigido de efeitos radiométricos e geométricos indesejados, foi georeferenciado utilizando-se uma projeção padronizada, está calibrado e linearizado. Os dados em nível 1.5 são adequados para a derivação de produtos ambientais e meteorológicos (EUMETSAT, 2007).

Os componentes básicos para recepção dos dados transmitidos são uma antena, dois computadores e os softwares. A antena (FIGURA 6) é composta por um refletor parabólico de 2,4 metros, um alimentador com polarização LHC e um amplificador LNB para amplificar o sinal com baixos níveis de potência. Os computadores (FIGURA 7) operam utilizando plataforma Windows XP, sendo utilizadas duas máquinas: uma para a recepção dos dados e outra para o processamento das imagens recebidas.



FIGURA 6 Antena utilizada para recebimento dos dados do satélite Meteosat, situada no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA).

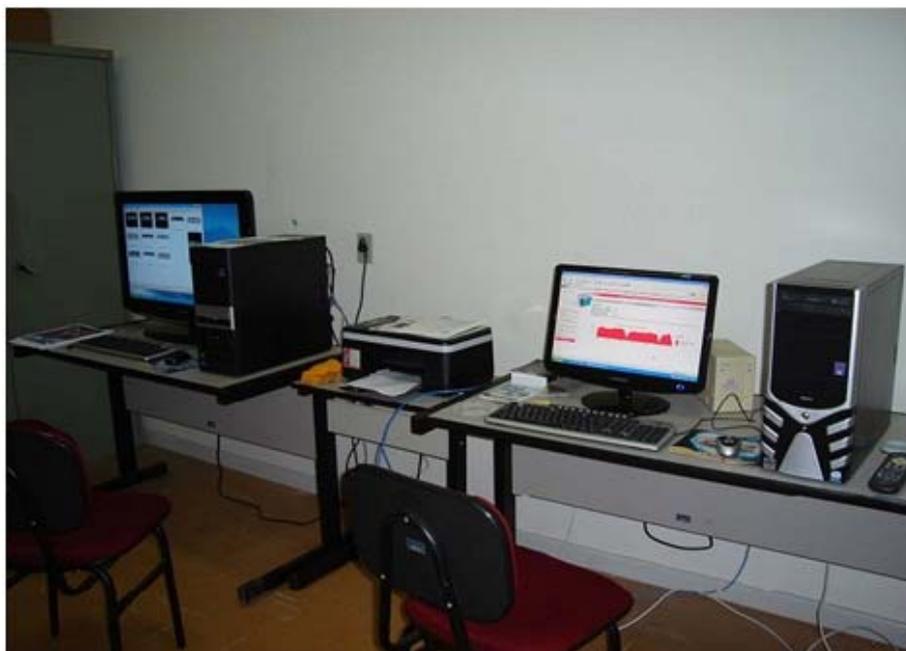


FIGURA 7 Os computadores utilizados plataforma para a recepção dos dados e outro para processar as imagens recebidas.

As imagens do MSG/SEVIRI são adquiridas em oito seções, no sentido dos paralelos, e codificadas em 1024 níveis de cinza (10bits). Para codificação das imagens para 8 bits (256 níveis de cinza) e montagem das seções, ou seja, na elaboração do mosaico, foi utilizado o software MSG Data Manager (FIGURA 8). Para o georreferenciamento e conversão dos dados para os formatos ASCII e GEOTIFF foi utilizado o software MSG GEOTIFF e finalmente trabalhadas com o *software* ENVI ITT. O georreferenciamento de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência, em última instância, o sistema de coordenadas planas de uma certa projeção cartográfica. Como qualquer projeção cartográfica guarda um vínculo bem definido com um sistema de coordenadas geográficas, pode-se dizer então que o registro estabelece uma

relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas usando assim transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1º e 2º graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. No georeferenciamento o sistema de projeção utilizado é o de projeção Geográfica Latitude/Longitude, e *Datum*: WGS-84.

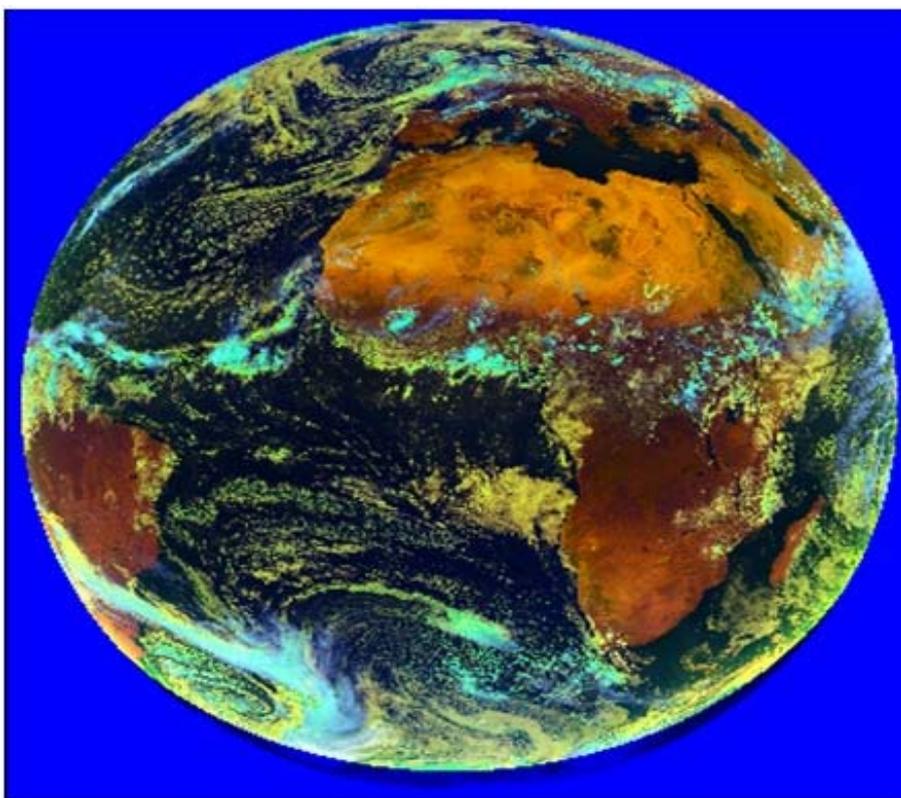


FIGURA 8 Mosaico das seções do MSG/SEVIRI, composição colorida 321, com o uso do software MSG Data Manager.

Na TABELA 4 estão relacionadas às características espectrais dos canais do sensor SEVIRI, utilizados nas estimações dos NDVI's.

TABELA 4 Características espectrais dos canais do SEVIRI utilizados nas estimativas de NDVI.

Canal n°	Resoluções		
	Espectral (mm)	Espacial (km)	Temporal
1	0,56 - 0,71	3,7 x 3,7	15 min
2	0,74 - 0,88	3,7 x 3,7	15 min

3.2.2 Processamento das imagens

Posterior ao georreferenciamento e conversão dos dados para o formato GEOTIFF, o processamento das imagens para cálculo do NDVI foi feito por meio do software ENVI. As imagens brutas geradas pelo sensor SEVIRI do Meteosat-9, foram importadas para o ENVI.

Inicialmente foi feito o recorte da área que consistiu em selecionar apenas as áreas de interesse. Este procedimento é imprescindível para facilitar o processamento dos dados e excluir o que não é relevante. Para o recorte da área foi necessário obter o limite da área de trabalho, ou seja, do estado de Minas Gerais. Esse limite foi obtido a partir do Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais (Geoprocessamento em Minas Gerais - GEOMINAS, 2007). Posterior ao recorte do estado de Minas Gerais foi feito um estudo da variação temporal do índice de vegetação normalizada (NDVI), para todo o estado de Minas Gerais. Para isso, foram selecionadas uma imagem de cada semana dos meses de agosto, setembro e outubro. Para a escolha da imagem, procedeu ao critério da imagem que não apresentava nuvens. Feita essa escolha, as imagens foram processadas no software ENVI, onde se realizou o cálculo do NDVI, e para realçar o grau de vigor da cobertura do solo foi feito um fatiamento de cores no mosaico NDVI atribuindo-se cores (fatiamento) sobre a região de estudo. A atribuição de cores

(fatiamento) foi associada ao grau de vigor da cobertura do solo sobre a região de estudo.

3.2.3 Cálculo dos índices de vegetação

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é a relação entre as diferenças das reflectâncias nos comprimentos de ondas nas regiões do espectro da luz visível (canal 1) e do infravermelho próximo (canal 2). O processamento das imagens para cálculo do NDVI foi feito de acordo com o método descrito por Chuvieco (2002).

$$NDVI = \frac{[canal2(0,74 - 0,88\mu m) - canal1(0,56 - 0,71\mu m)]}{[canal2(0,74 - 0,88\mu m) + canal1(0,56 - 0,71\mu m)]}$$

O NDVI é calculado para cada *pixel* e produz uma escala linear entre -1 e +1, sendo que o valor próximo a +1 se refere ao *pixel* vegetado. Depois de calculados os índices NDVI foram realizados a análise temporal deste índice para os meses de agosto, setembro e outubro de 2009, conforme descrito no texto acima.

Foi feito gráficos do índice de vegetação normalizada (NDVI) em relação ao tempo. Para confecção dos gráficos foram utilizadas imagens diárias do Meteosat-9, do período de 02 de agosto a 23 de outubro, totalizando 72 imagens, sendo que alguns dias não foram possíveis obter imagens, por problemas na transmissão dos dados, e queda de energia neste período, o qual foi muito recorrente neste período.

Os gráficos foram construídos nas áreas em torno das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), nos municípios de Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora. Para minimizar os efeitos da cobertura de nuvens, foi selecionado para cada *pixel* o maior valor de NDVI de acordo com Barbosa et al. (2006).

3.3 Satélite CBERS 2B

3.3.1 Aquisição dos dados

Na TABELA 5 encontram-se as Órbitas-ponto e datas de passagem das imagens do satélite CBERS-2B utilizada neste estudo, correspondentes aos municípios de Lavras, Machado, Araçuaí e Pirapora.

TABELA 5 Órbitas-ponto e datas de passagem das imagens do satélite CBERS-2B utilizada neste estudo.

Satélite CBERS-2B		
Órbita-ponto	Município	Data de Passagem
154/123	Lavras	24/08/2009
154/124	Araçuaí	16/08/2009
151/119	Machado	19/08/2009
154/119	Pirapora	1/9/2009

As imagens do CBERS-2B foram disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE).

Na FIGURA 8 pode ser vista uma imagem gerada pelo sensor CCD do CBERS-2B, composição RGB de uma imagem órbita ponto 154/123, dentro da qual está inserido o município de Lavras - MG em 24 de agosto de 2009.

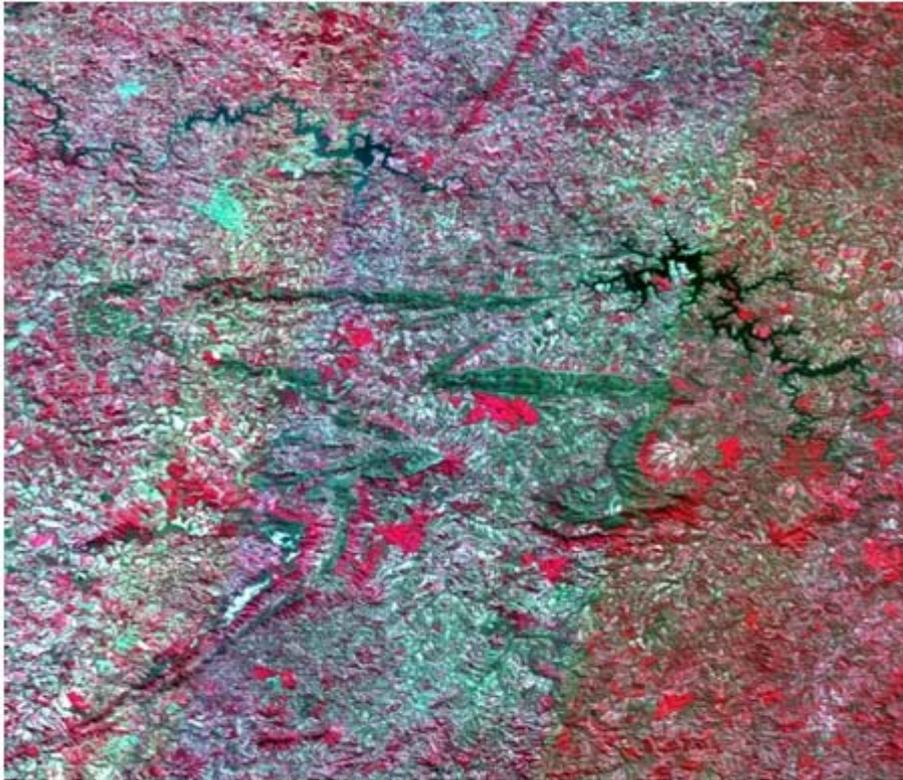


FIGURA 8 Imagem gerada pelo sensor CCD do CBERS-2B, composição RGB de uma imagem órbita ponto 154/123, dentro da qual está inserido o município de Lavras - MG em 24/08/2009. Fonte: CPTEC/INPE.

Na Tabela 6 estão descritas as resoluções espectrais (das bandas referentes aos comprimentos de ondas do vermelho e do infravermelho próximo), espaciais, temporais e dimensões das imagens obtidas pelo sensor CCD.

TABELA 6 Resoluções espectrais, espaciais, temporais e dimensões das imagens obtidas pelo sensor CCD do satélite CBERS-2B.

Sensor	Banda	Resoluções		
		Espectral (nm)	Espacial (m)	Temporal (dias)
CCD	3	0,63 - 0,69	20 x 20	26
	4	0,77 - 0,89	20 x 20	26

O sensor CCD mede a radiância espectral de cada pixel e armazena-os em forma digital. Esses valores são denominados de nível de cinza ou número digital (NC) e variam de 0 a 255 (8 bits) no caso do CBERS-2B.

3.3.2 Calibração radiométrica

Para o cálculo dos índices de vegetação é necessário atualizar os coeficientes de calibração radiométrica, que é o processo de conversão do número digital (ND) de cada pixel da imagem, em radiância espectral. Nesse estudo utilizou-se o software ENVI para realizar esta conversão, por meio da ferramenta IAR calibração de Reflectância (Reflectância interna relativa média) para normalizar as imagens para um espectro médio de cena. Isto é particularmente eficaz para a redução de dados hiperespectrais de reflectância relativa em uma área onde não existem medições em terra e pouco se sabe sobre a cena. Um espectro médio é calculado a partir de toda a cena e é utilizado como o espectro de referência, que é então dividido o espectro de cada pixel da imagem.

3.3.3 Georreferenciamento

O georreferenciamento de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência, em última instância, o sistema de coordenadas planas de uma certa projeção cartográfica. Como qualquer projeção cartográfica guarda um vínculo bem definido com um sistema de coordenadas geográficas, pode-se dizer então que o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas usando assim transformações geométricas simples (usualmente transformações polinomiais de 1^o e 2^o graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

A escolha de uma transformação deve-se basear nas suas propriedades, de modo a melhor modelar a realidade física, ou seja, uma transformação geométrica consiste num modelo matemático que tem função de permitir que se projetem entidades de um espaço para outro, preservando ou não suas características geométricas como forma e dimensão.

Neste trabalho o georreferenciamento das imagens CBERS-2B_CCD foi feito no *software* ENVI, que possui uma rotina automatizada para registro destas imagens, tomando como referência os mosaicos da NASA. Deve-se ressaltar que essa alternativa foi explorada e priorizada em função do interesse de operacionalizar o processamento das imagens. A projeção utilizada é a UTM, Zone 23S e *datum*: SAD-69/Brasil;

As imagens do satélite Meteosat se encontram numa projeção diferente, então foi necessário converter as imagens do CBERS-2B, para a mesma projeção e *datum* do satélite Meteosat 9, para que a comparação dos valores de NDVI pudessem ser feitas. A conversão foi feita por meio das ferramentas disponibilizadas pelo *software* ENVI, para projeção/Geográfica Latitude/Longitude e *datum*: WGS-84.

3.3.4 Cálculo do índice de vegetação

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é a relação entre as diferenças das reflectâncias nos comprimentos de ondas nas regiões do espectro da luz visível (banda 3) e do infravermelho próximo (banda 4).

No processamento foi executado o cálculo do NDVI para as imagens do CBERS, de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{[canal4(0,74 - 0,88\mu m) - canal3(0,56 - 0,71\mu m)]}{[canal4(0,74 - 0,88\mu m) + canal3(0,56 - 0,71\mu m)]}$$

O NDVI é calculado para cada *pixel* e produz uma escala linear entre -1 e +1, sendo que o valor próximo a +1 se refere ao *pixel* vegetado. O cálculo do índice de vegetação normalizada foi feito para os municípios que possuem as PCDs, que são eles: Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora. Por se tratar de uma imagem CBERS, cuja resolução espacial é maior, foi avaliado o valor de NDVI para todo o município, possibilitando uma posterior comparação com os dados do Meteosat-9.

Para realçar o grau de vigor da cobertura do solo foi feito um fatiamento de cores no mosaico NDVI atribuindo-se cores (fatiamento) sobre a região de estudo utilizando o software ENVI. A atribuição de cores (fatiamento) foi associada ao grau de vigor da cobertura do solo sobre a região de estudo.

Pra finalizar e validar as determinações os valores obtidos de NDVI do satélite Meteosat-9, para os municípios de Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora, foram comparados com as mesmas regiões correspondentes com os valores obtidos a partir das imagens CBERS-2B. Para comparação dos valores foi feito o cálculo de NDVI, para cada *pixel* da imagem, isso foi feito pela ferramenta de estatística do software ENVI, e foram obtidos os valores máximos e mínimos de NDVI pelos dois satélites. Na TABELA 7, encontram-se os municípios, datas e

horários das passagens das imagens geradas pelos satélites Meteosat-9 e CBERS-2B utilizadas para comparação dos valores de NDVI.

TABELA 7 Municípios, datas e horários das passagens das imagens geradas pelos satélites Meteosat-9 e CBERS-2B utilizadas para comparação dos valores de NDVI.

Município	Data de Passagem	Horário de Passagem
Lavras	24/08/2009	13h30min
Araçuaí	16/08/2009	13h30min
Machado	19/08/2009	13h30min
Pirapora	1/9/2009	13h30min

Foi feito também um estudo dos valores de NDVI, obtidos pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9, especificamente nas áreas em torno das PCDs, dos municípios estudados. Para isso, foram criados vetores que continham essas áreas e dentro dessas áreas foi utilizada uma janela de 3x3 pixels, com resolução de 3,7 x 3,7 km, que continha área em torno das PCDs, esses vetores possibilitaram que fossem feitos os recortes da área de estudo e cálculo dos índices estudados. Essa janela foi criada, por que se tratando de satélites com resoluções espaciais diferentes, no cálculo do NDVI, por questões de escala ele poderia não cair sobre o mesmo ponto de estudo, então essa janela garante que a área para cálculo do NDVI, seja a mesma nos dois satélites estudados.

Essas áreas por possuírem PCDs (plataformas de coleta de dados), que dispõem de saldo-radiômetro e fluxímetro de calor de solo operacionais, possibilitam o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de

Penman-Monteith, de forma rápida e precisa, as quais serão utilizadas para a validação das evapotranspirações determinadas a partir das imagens MSG/SEVIRI. Dentre essas áreas estão: Lavras, Araçuaí, Pirapora e Viçosa. Por isso, se faz necessário um estudo do NDVI, em torno dessas áreas

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho teve como foco principal comparar e analisar imagens provenientes do sensor SEVIRI do satélite METEOSAT- 9 com os dados obtidos pelo satélite CBERS-2B, e subsidiar um estudo posterior de cálculo da evapotranspiração por meio do Meteosat-9, que apresenta como vantagem sua alta resolução temporal, o que permitiria calcular a evapotranspiração diária. A seguir são apresentados os resultados desse estudo para alguns locais do estado de Minas Gerais.

4.1 Avaliação temporal do NDVI através do satélite Meteosat-9

As FIGURAS 9, 10 e 11 apresentam as imagens de NDVI semanais obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI dos meses de agosto, setembro e outubro 2009. Para isso, foram selecionadas uma imagem de cada semana dos meses de agosto, setembro e outubro. Para a escolha da imagem, procedeu ao critério da imagem que não apresentava cobertura de nuvens.

Os valores de NDVI negativos, de modo geral, indicam a presença de água nas imagens. Já para as nuvens, espera-se que os valores de NDVI sejam em torno de zero. Valores de NDVI, entre -0.2 e 0, representam vegetações com grau de vigor muito baixo, já valores entre 0 e 0.2, o grau de vigor da cobertura vegetal foi considerado como sendo baixo, valores entre 0.2 e 0.4, grau de vigor moderado, entre 0.4 a 0.6 alto grau de vigor e regiões com grau de vigor de cobertura muito altos para valores de NDVI em torno de 0.6 a 1.

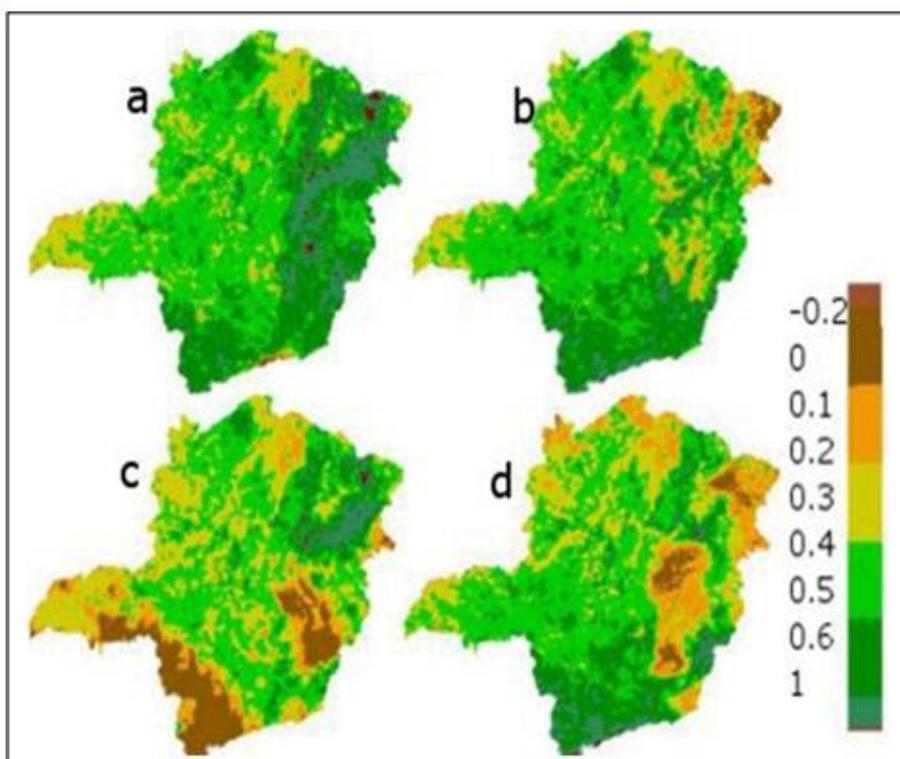


FIGURA 9 Imagens de NDVI obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI, (a) 1ª semana, (b) 2ª semana, (c) 3ª semana e (d) 4ª semana de agosto de 2009, para o estado de Minas Gerais.

Analisando a imagem da primeira semana de agosto de 2009 (FIGURA 9a), nota-se que a mesma apresentou valores de NDVI acima de 0.2. Partes da região do triângulo mineiro e da região norte apresentaram valores de NDVI em torno de 0.2 e 0.3, apresentando baixo grau de vigor da cobertura. A região mais ao sul do estado, e uma faixa a leste do estado que vai desde o sul até o norte, os valores de NDVI encontrados ficou acima de 0.6, com alguns pontos apresentando valores perto ou até mesmo iguais a 1, demonstrando que nestas áreas o grau de vigor de cobertura foi muito alto. Já a maior parte do estado

apresentou alto grau de vigor de cobertura, o qual pode ser notado pela predominância de valores de NDVI em torno de 0.5.

Na segunda semana de agosto (FIGURA 9b), verifica-se que houve uma predominância de valores de NDVI em torno de 0.5, o que representa um alto grau de vigor de cobertura. Na região norte e nordeste os valores de NDVI se encontraram na faixa de 0 a 0.3, apresentando um baixo a moderado grau de vigor de cobertura, assim como parte da região oeste do estado. A região sul encontrou-se com grau de vigor de cobertura muito alto, representado pelos valores de NDVI nesta área acima de 0.6.

Quando se compara a imagem da primeira semana (FIGURA 9a) com a imagem da segunda semana (FIGURA 9b), nota-se houve uma mudança no grau de vigor da cobertura principalmente na faixa a leste do estado que vai desde o sul até o norte, onde na FIGURA 9a, apresentou grau de vigor de cobertura muito alto, representados pelos valores de NDVI encontrados acima de 0.6, já na FIGURA 9b, esta área, apresentou grau de vigor de cobertura alto a muito baixo, este último ocorrendo principalmente numa região mais a nordeste do estado. A região sul e parte da região triângulo mineiro as imagens apresentaram a mesma tendência de grau de vigor de cobertura, assim como grande parte do estado, onde os valores de NDVI ficaram em torno de 0.5, com alto grau de vigor de cobertura.

Na FIGURA 9c, é apresentada a imagem da terceira semana de agosto, pode-se notar que a região sul, apresentou grau de vigor de cobertura muito baixo, praticamente em todo o triângulo mineiro o grau de vigor de cobertura foi baixo. A região a leste do estado também apresentou maiores áreas com grau de vigor de cobertura muito baixo, na parte central e noroeste do estado também houve aumento das áreas com baixo grau de vigor de cobertura. Já região norte continuou apresentando valores de NDVI em torno de 0.2 e 0.3, e a região nordeste apresentou grau de vigor de cobertura muito alto. Quando se compara

as imagens da segunda semana (FIGURA 9b) com a da terceira semana (FIGURA 9c), verifica-se principalmente um aumento das áreas com baixo ou muito baixo vigor de cobertura, a região sul do estado foi onde esta mudança foi mais acentuada.

Na quarta semana (FIGURA 9d), a região sul, central e o triângulo mineiro houve predominância de valores de NDVI entre 0.5 e 0.6, com alto grau de vigor de cobertura as outras regiões apresentaram maiores áreas com baixo ou muito baixo vigor de cobertura. Analisando as FIGURAS 9c e 9d, verifica-se que da terceira para a quarta semana houve uma recuperação do grau de vigor de cobertura nas regiões sul e do triângulo mineiro. Já as regiões leste e nordeste houve um aumento das áreas com baixo ou muito grau de vigor de cobertura, o resto do estado à tendência nos valores de NDVI e conseqüentemente do grau de vigor de cobertura foi a mesma.

Comparando as quatro imagens (FIGURAS 9a, 9b, 9c e 9d), nota-se que a terceira semana foi a que apresentou maior variação no grau de vigor de cobertura, com um aumento das áreas com muito baixo e baixo grau de vigor de cobertura. Essas variações foram mais acentuadas na região sul, onde nas duas primeiras semanas a mesma apresentou muito alto grau de vigor de cobertura e, na terceira semana muito baixo grau de vigor de cobertura, recuperando-se na quarta semana. As regiões leste e nordeste na primeira semana apresentaram muito alto vigor de cobertura, diminuindo nas outras semanas, com a quarta semana havendo uma predominância de grau de vigor de cobertura baixo a muito baixo.

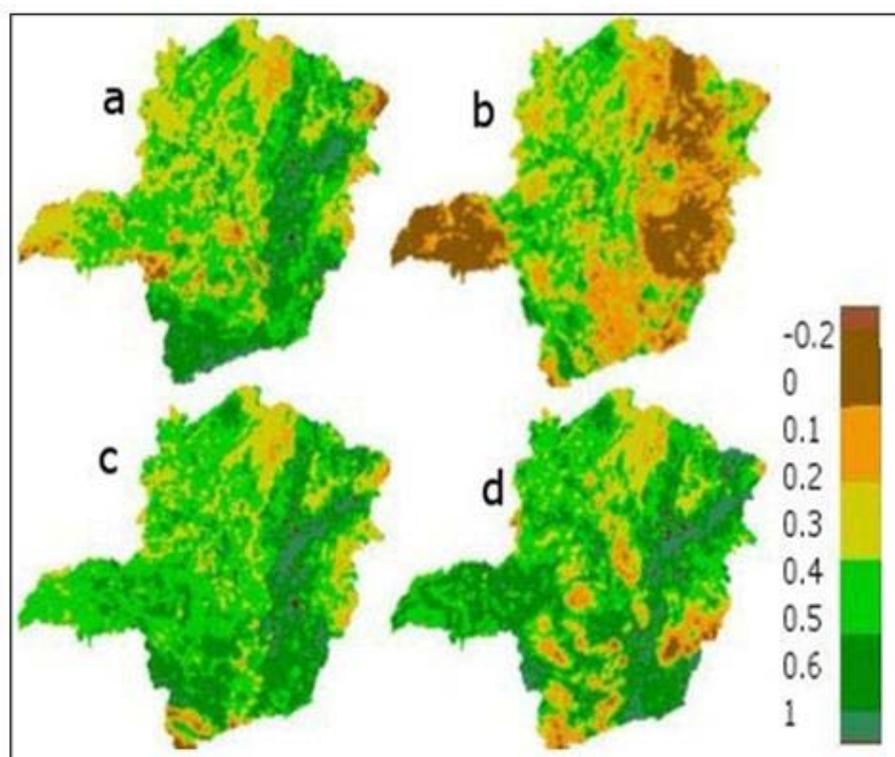


FIGURA 10 Imagens de NDVI obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI, (a) 1ª semana, (b) 2ª semana, (c) 3ª semana e (d) 4ª semana de setembro de 2009, para o estado de Minas Gerais.

Nas FIGURAS 10a, 10b, 10c e 10d, são apresentadas as imagens semanais de NDVI, obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI para o mês de setembro.

Analisando a FIGURA 10a, referente à primeira semana do mês de setembro, pode-se notar que a região sul do estado apresentou valores de NDVI em torno 0.6, com representou alto grau de vigor de cobertura. Na região leste os valores de NDVI se encontraram, acima de 0.6, com uma pequena faixa bem no limite leste do estado com valores de NDVI entre 0.1 e 0.3, indicando respectivamente muito alto grau de vigor e baixo grau de vigor de cobertura para

a região leste. Já a região norte apresentou uma maior área mais ao centro desta região com valores de NDVI entre 0.1 e 0.3, com baixo grau de vigor de cobertura com as áreas em torno desta, com valores de NDVI em torno de 0.4 e 0.5, com moderado grau de vigor de cobertura. Já as regiões central e oeste, apresentaram áreas com maior predominância de valores de NDVI em torno de 0.3, contrastando com áreas de NDVI em torno de 0.5, apresentando baixo e moderado grau de vigor de cobertura.

Já a segunda semana de setembro (FIGURA 10 b), houve um aumento das áreas com baixo grau de vigor de cobertura, em comparação com a primeira semana (FIGURA 10a). A região mais a leste do estado, que vai deste o sul até o norte, nota-se que os valores de NDVI diminuíram bastante, essas áreas apresentaram na primeira semana alto grau de vigor de cobertura, e na segunda semana apresentaram muito baixo e baixo grau de vigor de cobertura, comprovados pelos baixos valores de NDVI, os quais ficaram entre 0 e 0.3. O triângulo mineiro, continuou com a mesma tendência das regiões leste e sul, com diminuição dos valores de NDVI, que nesta semana apresentou valores em torno de 0, muito baixo grau de vigor de cobertura. E a região oeste os valores de NDVI foram de 0.4, com algumas pequenas áreas com valores de 0.2, com moderado e baixo grau de cobertura respectivamente.

Na terceira semana (FIGURA 10c), houve uma recuperação da vegetação representada pelo grau de vigor da cobertura. O triângulo mineiro na segunda semana apresentou muito baixo grau de vigor de vegetação, já na terceira semana a vegetação encontrou-se recuperada com valores de NDVI de 0.5, conseqüentemente alto grau de vigor de cobertura. Houve predominância de valores de NDVI de 0.5, alto grau de vigor de cobertura, com algumas pequenas áreas, com baixo grau de vigor de cobertura.

A quarta semana continuou com a mesma tendência, com um pequeno aumento na região sul e na parte central, das áreas com baixo grau de vigor de vegetação.

Nas imagens semanais de NDVI do mês de setembro, as regiões apresentaram mesma tendência no grau de vigor de cobertura, com exceção da terceira semana (FIGURA 10 c) onde houve uma grande diminuição nos valores de NDVI, principalmente nas regiões sul, leste e no triângulo mineiro as quais apresentaram conseqüentemente baixo grau de vigor de cobertura.

Nas FIGURAS 11a, 11b, 11c e 11d são apresentadas as imagens semanais obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI para o mês de outubro.

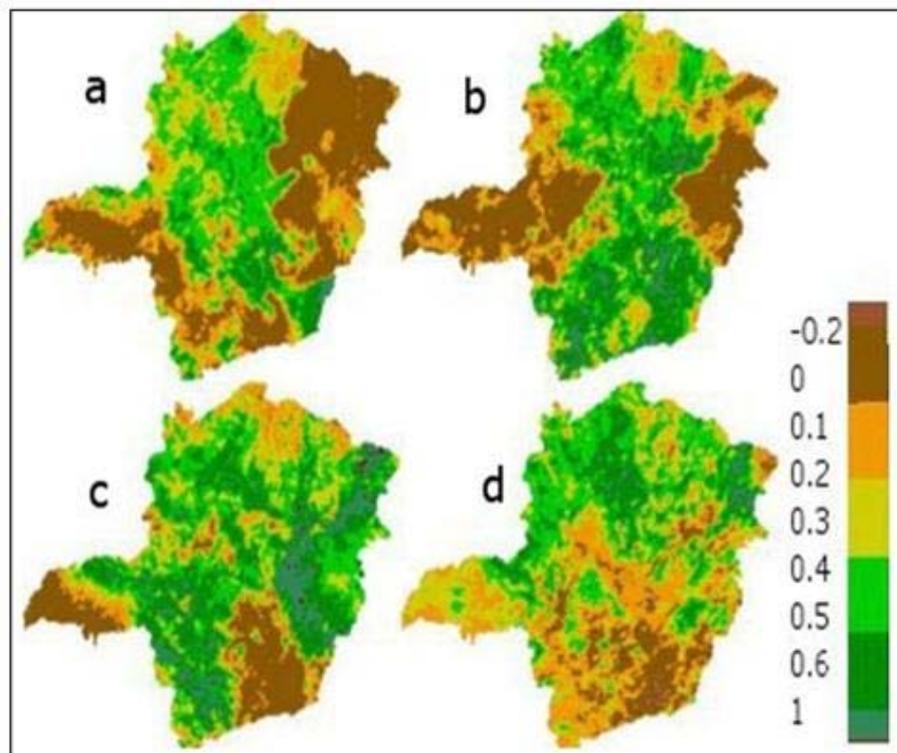


FIGURA 11 Imagens de NDVI obtidas a partir de dados do satélite MSG/SEVIRI, (a) 1ª semana, (b) 2ª semana, (c) 3ª semana e (d) 4ª semana de outubro de 2009, para o estado de Minas Gerais.

Nota-se que na primeira semana de outubro (FIGURA 11a), que as regiões nordeste, grande parte da região sul e do triângulo mineiro apresentaram valores de NDVI em variando 0 a 0.1, ou seja, baixo grau de vigor de cobertura de. As outras regiões os valores de NDVI ficaram em torno de 0.4 e 0.5, apresentando moderado a alto grau de vigor de cobertura.

Na segunda semana (FIGURA 11b), houve uma recuperação da vegetação na região sul, onde os valores de NDVI da primeira para a segunda semana aumentaram, e ficaram em torno de 0.5, indicando o alto grau de vigor de cobertura, com uma pequena área com valores de NDVI de 0.3, com baixo

grau de vigor de cobertura. Na região nordeste houve uma diminuição das áreas que apresentavam muito baixo grau de vigor de cobertura, e aumento das áreas com alto grau de vigor de cobertura. No triângulo mineiro, houve aumento das áreas que apresentavam muito baixo grau de vigor de cobertura. As outras regiões continuaram com a mesma tendência da primeira semana. A terceira semana (FIGURA 11c), nota-se que no triângulo mineiro, houve uma diminuição das áreas com muito baixo grau de vigor de cobertura, e conseqüentemente uma recuperação da vegetação com o aumento das áreas com alto grau de vigor de cobertura. Na região nordeste também houve recuperação da vegetação, e apresentando valores de NDVI em torno de 0.6, o qual representa muito alto grau de vigor de cobertura. A região norte apresentou valores de NDVI em torno de 0.3, baixo grau de vigor de cobertura. Já a região sudeste apresentou nesta semana muito baixo grau de vigor de cobertura, com valores de NVI entre 0 e 0.2. As outras regiões mantiveram a mesma tendência da semana anterior.

Já a quarta semana representada pela FIGURA 11d, verifica-se que o triângulo mineiro juntamente com a região sul, os valores de NDVI variaram entre 0 e 0.3, com muito baixo a baixo grau de vigor de cobertura. A região norte apresentou diminuição das áreas com baixo grau de vigor de cobertura, e aumento das áreas com moderado e alto grau de vigor de cobertura. Nota-se também que a região sul apresentou valores de NDVI negativos, o que indica a presença de água nestas áreas.

Analisando a FIGURA 11, nota-se que na primeira semana o triângulo mineiro e as regiões sul e sudeste, apresentaram muito baixo grau de vigor de cobertura, sendo que na segunda semana houve uma recuperação da vegetação nas regiões sul e sudeste, com aumento das áreas com alto grau de vigor de cobertura. As demais regiões mantiveram a tendência nas duas primeiras semanas, apresentando de moderado a alto grau de cobertura. Na terceira

semana, houve a presença de maiores áreas com alto grau de vigor de cobertura, e na quarta semana pode-se notar na região sul, a presença de água em algumas áreas.

Nas FIGURAS 9, 10 e 11, pode-se notar que os valores de NDVI variaram bastante, em todos os meses estudados. Sendo encontrados valores de NDVI em torno de 0,6, o que indica muito alto grau de vigor de vegetação, o que vai de acordo com Barbosa et. al., 2006, que determinou o NDVI através do METEOSAT -8, encontrando valores máximo de NDVI em torno de 0,6. Já o menor valor encontrado de NDVI foi de -0,1, indicando nessas áreas a presença de água. Já Ferreira et. al. 2009, que estudou a estimativa de valores de NDVI pelo METEOSAT- 9, através do gráfico de perfil horizontal, encontrou valores de NDVI para a área de estudo de 0,4. Nota-se que o satélite METEOSAT-9 não detectou a presença de água na área estudada, com exceção da imagem referente a quarta semana do mês de outubro (FIGURA 11d), onde foi possível a identificação de áreas com a presença de água, por meio dos valores de NDVI.

4.2 Variação do NDVI para as regiões que possuem PCDs

Nas FIGURAS 12 a, b, c e d, pode-se analisar graficamente a variação do NDVI na região em torno da PCDs para os municípios Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora, respectivamente, entre o período de 02 de agosto de 2009 a 23 de outubro de 2009.

Na FIGURA 12 a, verifica-se que os valores de NDVI para a região em torno da PCD do município de Araçuaí, composto pelos valores máximo de NDVI de cada dia, teve pouca variação. O valor máximo de NDVI encontrado na área foi de 0,25 no dia 18 de outubro de 2010, e o valor mínimo foi de 0,19, no dia 25 de agosto de 2010. Essa variação ocorre porque o NDVI representa o vigor de cobertura da vegetação, e esse vigor depende da umidade e consequentemente da precipitação da região. De acordo com a classificação

sugerida no texto acima, para o vigor de cobertura de vegetação, o qual considera valores de NDVI entre 0 a 0.2, como sendo baixo grau de vigor de cobertura e valores entre 0.2 a 0.4, com moderado grau de vigor de cobertura, área estudada se encaixa com de baixo a moderado grau de cobertura de vegetação.

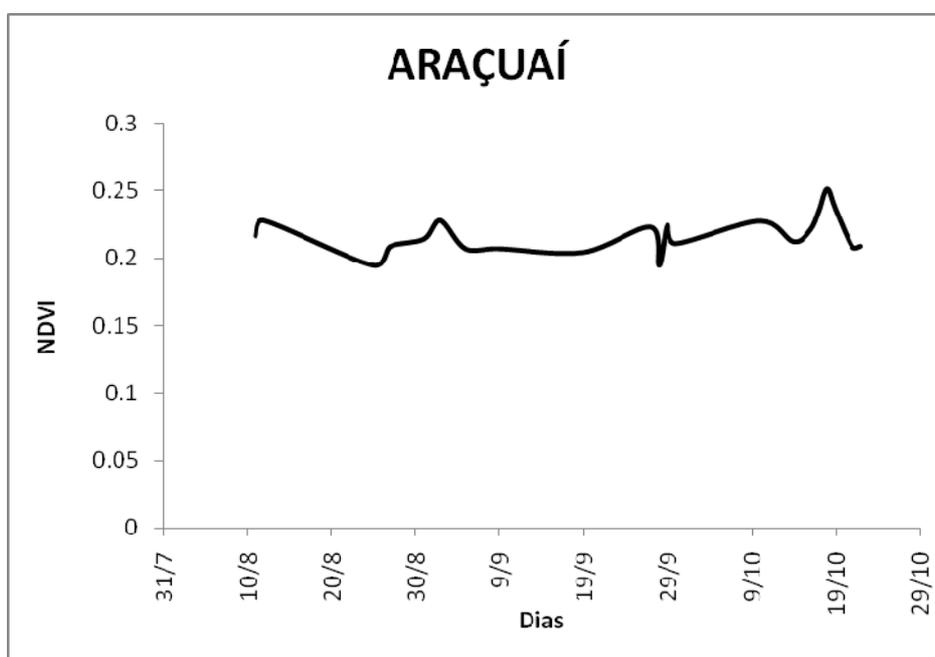


FIGURA 12a Valores de NDVI de 02 de agosto a 23 de outubro de 2009 obtidas pelo MSG/SEVIRI para a região em torno da PCD do município de Araçuaí, MG.

Na FIGURA 12 b, verifica-se que os valores de NDVI para a região em torno da PCD do município de Lavras, composto pelos valores máximo de NDVI de cada dia, houve bastante variação. O valor máximo de NDVI encontrado na área foi de 0.42, e o valor mínimo foi de 0.27, os quais classificam a área como moderado grau de vigor de cobertura. A área apresentou

uma variação de 0.15 nos valores de NDVI, como se pode notar pelos valores máximos e mínimos de NDVI encontrados, mas apesar desta variação os valores de NDVI ficaram na faixa de classificação de vigor de cobertura considerado moderado para toda a área. Além das condições de umidade do solo influenciar na variação do NDVI, por se trabalhar com uma janela de 3X3 pixel, engloba-se uma maior área em torno da PCD, e com isso há uma maior heterogeneidade de vegetação e conseqüentemente, mais variação nos valores de NDVI.

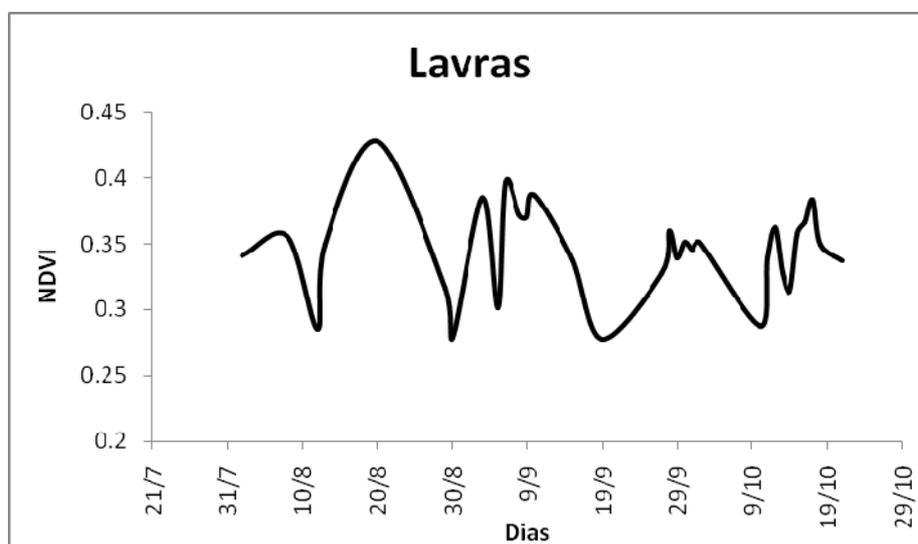


FIGURA 12b Valores de NDVI de 02 de agosto a 23 de outubro de 2009, obtidas pelo MSG/SEVIRI para a região em torno da PCD do município de Lavras, MG.

Na FIGURA 12 c, pode-se notar que os valores de NDVI para a região em torno da PCD do município de Machado, composto pelos valores máximo de NDVI de cada dia, teve variação de 0.13 nos valores de NDVI ao longo do tempo estudado. O valor máximo de NDVI encontrado na área foi de 0.53 e o valor mínimo foi de 0.4. Apesar da variação de 0.13 nos valores de NDVI, o vigor de cobertura da vegetação, para toda a área foi considerado como alto.

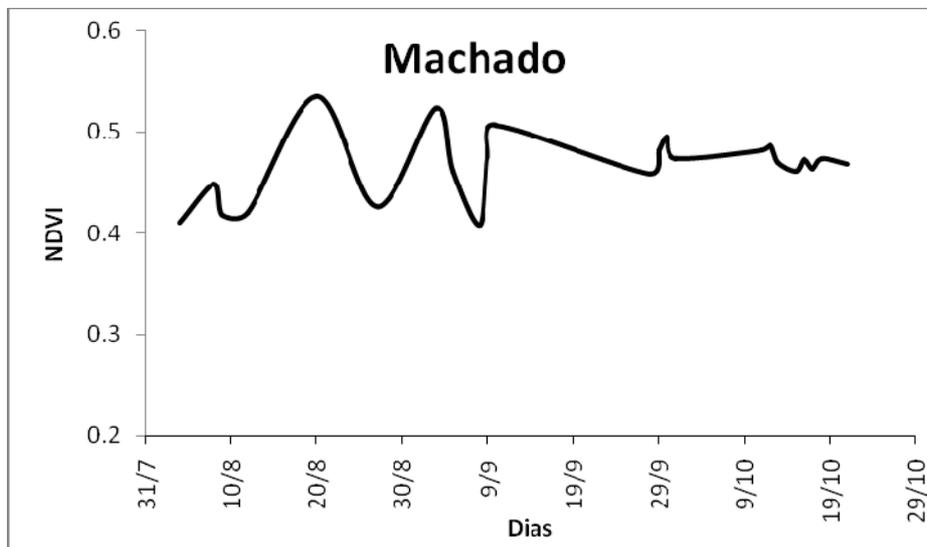


FIGURA 12c Valores de NDVI de 02 de agosto a 23 de outubro de 2009 obtidas pelo MSG/SEVIRI para a região em torno da PCD do município Machado, MG.

Já na FIGURA 12 d, encontra-se os valores de NDVI para a região em torno da PCD do município de Pirapora, composto pelos valores máximo de NDVI de cada dia. O valor máximo de NDVI encontrado no período estudado foi de 0.44, e o valor mínimo foi de 0.32, havendo uma variação de 0.12 nos valores de NDVI, com moderado grau de vigor de cobertura. Nota-se que a variação nos valores de NDVI ocorreu principalmente no início do período estudado, sendo que a partir de 09 de setembro até o final do período estudado, os valores de NDVI ficaram praticamente constantes, não havendo, portanto variação. Isso pode ter ocorrido pelo fato, que no início do período ter havido uma maior variação na umidade do solo, sendo está se estabilizando no final do período e mantendo os valores de NDVI constante.

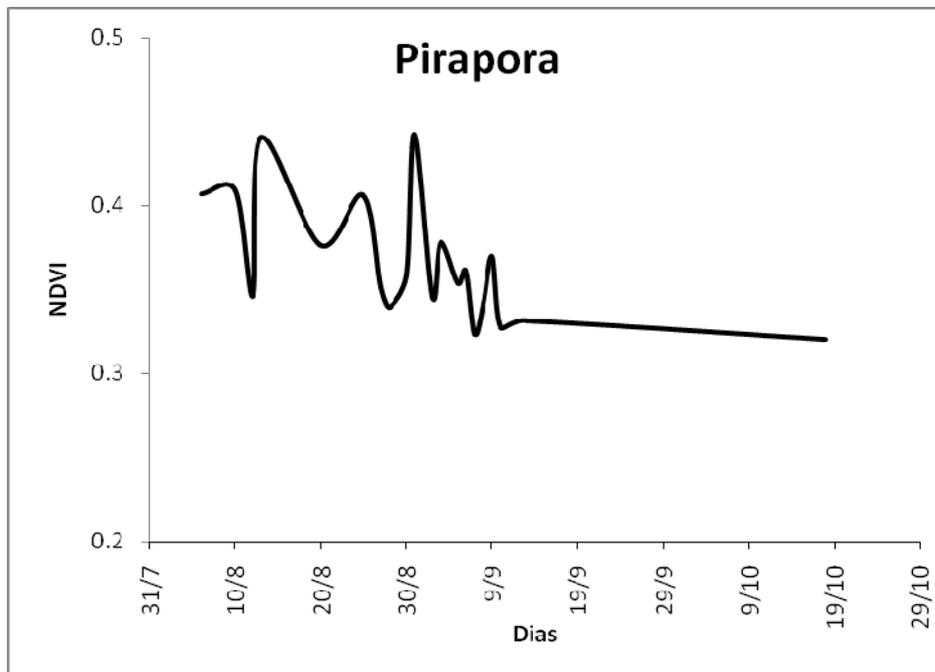


FIGURA 12.d Valores de NDVI de 02 de agosto a 23 de outubro de 2009 obtidas pelo MSG/SEVIRI para a região em torno da PCD do município Machado Pirapora, MG.

Nota-se que em todas as áreas estudadas houve variação nos valores de NDVI, mas a variação não mudou o vigor de cobertura da vegetação. Mantendo a mesma faixa de classificação para cada uma das áreas estudadas.

4.3 Comparação dos valores de NDVI's das imagens CBERS-2B e METEOSAT-9 nos municípios que possuem PCDs

Nas FIGURAS 13, 14, 15 e 16, podem-se analisar as imagens dos valores de NDVI calculados através do sensor CCD do CBERS-2B para as cidades de Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora. Por se tratar de uma imagem CBERS, cuja resolução espacial é maior, foi avaliado o valor de NDVI para todo o município, possibilitando a comparação com os dados do Meteosat.

Na FIGURA 13, encontra-se o mapa de NDVI calculados para o município de Araçuaí. Nota-se que houve uma predominância de valores de NDVI de 0 a 0.1, com baixo grau de vigor de cobertura. No limite do município se encontra as áreas com os maiores valores de NDVI, com valores variando de 0.2 a 0.4, com moderado grau de cobertura, com alguns pontos com valores de 0.4 a 0.6, com alto grau de vigor de cobertura. É possível verificar ainda valores de NDVI negativos, os quais representam a presença de água nestas áreas.

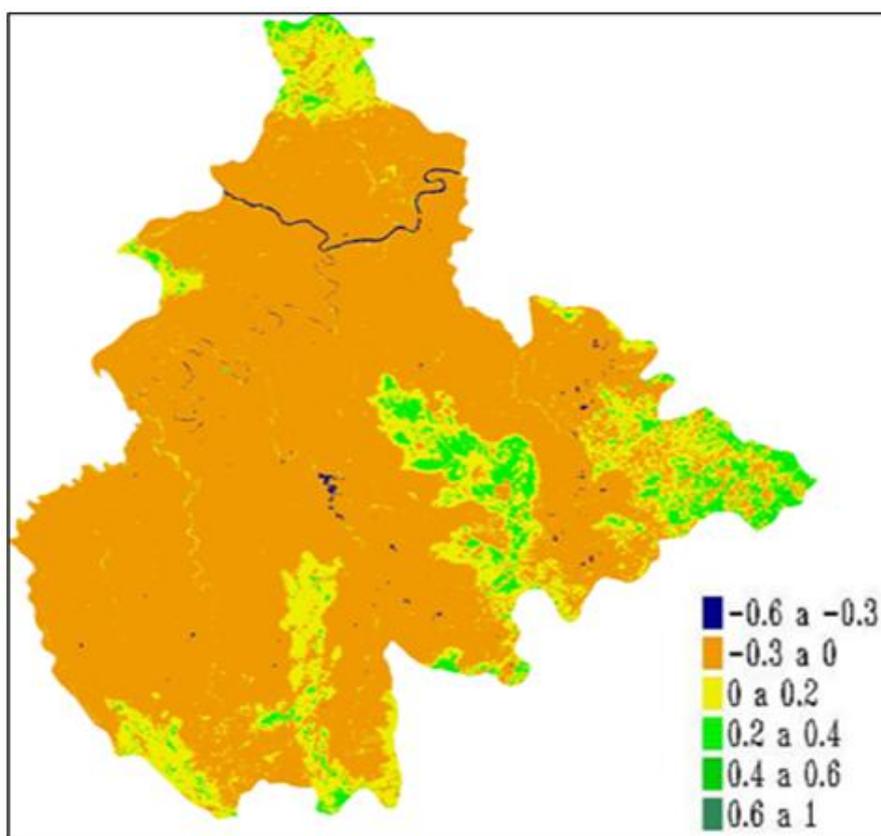


FIGURA 13 Valores de NDVI obtidas a partir de imagens do satélite CBERS-2B do dia 16 de agosto de 2009 para Araçuaí, MG.

Já na FIGURA 14, que representa o mapa de NDVI para o município de Lavras, nota-se a predominância de valores de NDVI entre 0.2 a 0.6, com grau de vigor de cobertura de moderado a alto, com muitas algumas áreas com valores de NDVI acima de 0.6, os quais representam muito alto grau de vigor de cobertura. Verifica-se ainda que área correspondente a cidade de Lavras, encontra-se com valores de NDVI entre 0 a 0.2, com baixo grau de vigor de cobertura, o qual já era de se esperar, por se tratar de uma área urbana. A presença de valores de NDVI negativos demonstram a presença de água, em algumas áreas do município.

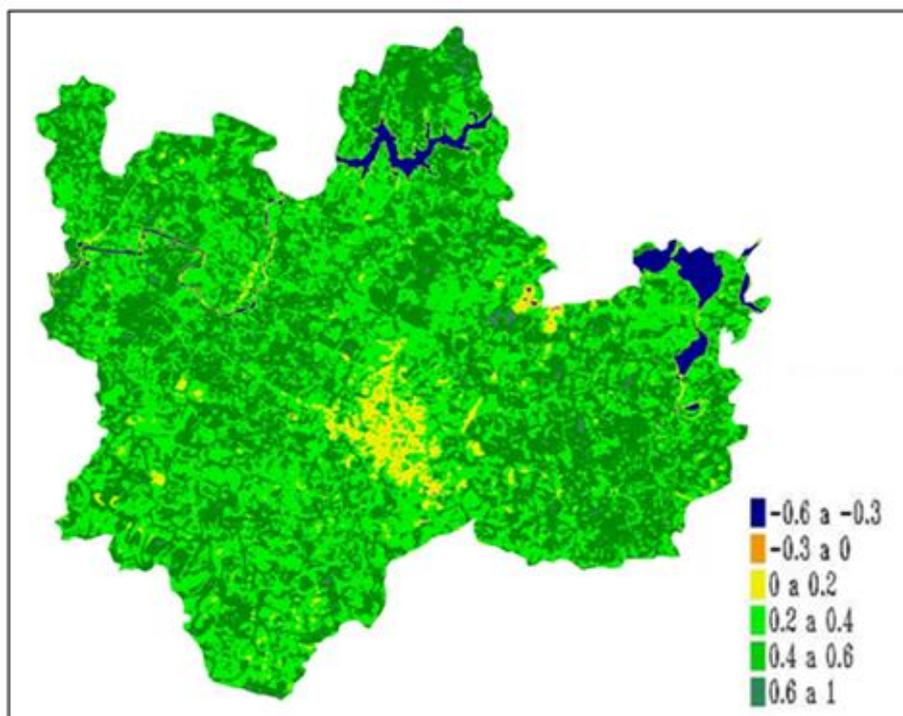


FIGURA 14 Valores de NDVI obtidas a partir de imagens do satélite CBERS-2B do dia 24 de agosto de 2009 para Lavras, MG.

Na FIGURA 15, encontra-se o mapa de NDVI para o município de Machado. Pode-se notar pela FIGURA 15, que os valores de NDVI se encontram bastante variados. A maior parte da área do município se encontra com valores de NDVI entre 0.2 a 0.6, com grau de vigor de cobertura de moderado a alto, com a presença de algumas com muito alto grau de vigor de cobertura e outras com baixo grau de vigor de cobertura de vegetação. Verifica-se que a imagem apresenta-se cortada na parte direita, isto ocorreu porque a cena 151/119 do satélite CBERS usado neste trabalho, não cobriu toda a área do município, mas ela foi usada porque foi suficiente por conter dentro desta região a PCD que é o nosso foco do estudo.

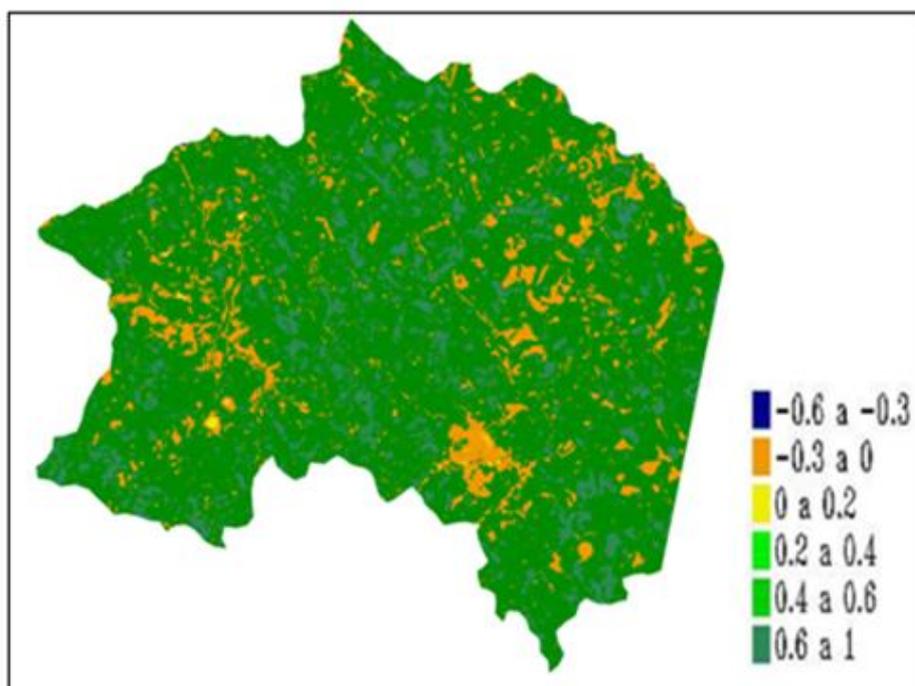


FIGURA 15 Valores de NDVI obtidas a partir de imagens do satélite CBERS-2B do dia 19 de agosto de 2009 para Machado, MG.

Assim como ocorreu com a FIGURA 15, a FIGURA 16 que representa o município de Pirapora, também se apresenta cortada, pois se procedeu ao mesmo critério por utilizá-la, ou seja, a cena 154/119 do satélite CBERS-2B usado neste trabalho, não cobriu toda a área do município, mas ela foi usada porque foi suficiente por conter dentro desta região a PCD que é foco do estudo.

Analisando a FIGURA 16, é possível perceber que houve predominância de valores de NDVI variando de 0 a 0,2, que representa o baixo grau de vigor de cobertura do município de Pirapora.

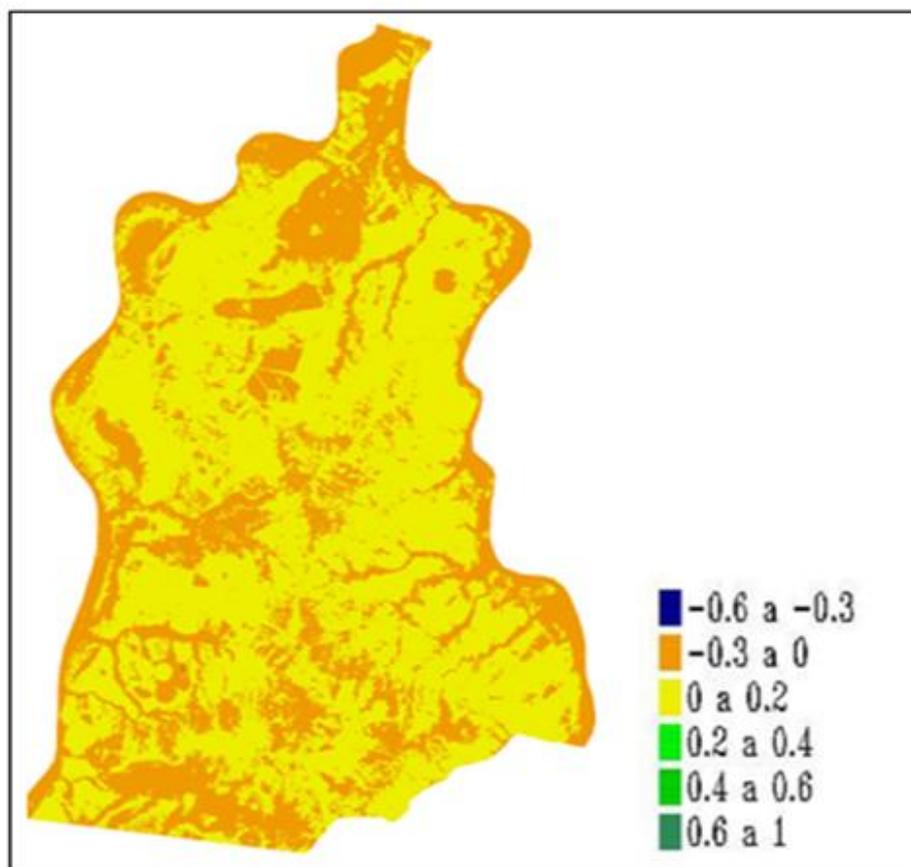


FIGURA 15 Valores de NDVI obtidas a partir de imagens do satélite CBERS-2B do dia 1 de setembro de 2009 para Pirapora, MG.

Para o estudo s valores de NDVI, obtidos pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9, especificamente nas áreas em torno das PCDs, dos municípios estudados, foram criados vetores que continham essas áreas e dentro dessas áreas foi utilizada uma janela de 3x3 pixels, com resolução de 3,7 x 3,7 km, que continha área em torno das PCDs, esses vetores possibilitaram que fossem feitos os recortes da área de estudo e cálculo dos índices estudados. Na Tabela 8, encontram-se os valores de NDVI calculados pelos satélites CBERS-2B e METEOSAT-9, em torno das PCDs de cada município.

TABELA 8 Valores de NDVI calculados pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9, em torno das PCDs de cada município.

Valores de NDVI		
Municípios	CBERS -2B	METEOSAT-9
Araçuaí	0,14	0,1
Lavras	0,18	0,15
Machado	0,32	0,2
Pirapora	0,21	0,12

Para o município de Araçuaí, pelas imagens obtidas pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9 os valores de NDVI encontrados foram semelhantes sendo 0,14 e 0,1 respectivamente pelos dois satélites, em torno das PCD. Esses valores indicam baixo grau de vigor de cobertura nas áreas estudadas. A área em torno da PCD (plataforma de coleta de Dados), no município de Lavras, apresentou valor de NDVI de 0.18, encontrado pelo satélite CBERS-2B, e valor de 0.15, pelo satélite Meteosat-9, os valores encontrados se encaixam na faixa de classificação de baixo grau de vigor de cobertura. Já o município de Machado os

valores de NDVI encontrado pelo satélite CBERS-2B foi de 0.32, enquanto que o valor encontrado pelo Meteosat foi de 0.2, indicando o moderado grau de vigor de cobertura nas áreas em torno da PCD do município de Machado.

A área em torno da PCD do município de Pirapora apresentou valores de NDVI de 0,21 encontrados pelo satélite CBERS-2B, que indicam o moderado grau de vigor da cobertura em torno da PCD, e 0,12 o valor encontrado pelo Meteosat-9, o qual indica baixo grau de vigor de cobertura. Ferreira, et.al.2009, comparou valores de NDVI calculados por satélites de resoluções espaciais e temporais diferentes, e encontrou valores de NDVI 0,7 e 0,4, obtidas pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9, respectivamente, para uma área irrigada por pivô central.

Nota-se que os valores de NDVI, encontrado pelo satélite CBERS-2B, em todas as áreas estudadas foram maiores que os valores encontrados pelo satélite Meteosat-9. Isso se deve ao fato do satélite CBERS-2B possuir maior resolução espacial do que o satélite Meteosat-9. E devido à heterogeneidade das áreas estudadas, as mesmas não pode ser discriminado na imagem do Meteosat-9 devido a baixa resolução espacial.

Na TABELA 9, encontram-se os valores máximos e mínimos de NDVI encontrados pelos satélites Meteosat-9 e CBERS-2B para os municípios de Araçuai, Lavras, Machado e Pirapora.

TABELA 9 Valores de NDVI encontrados pelos satélites Meteosat-9 e CBERS-2B para os municípios de Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora.

Municípios	Satélites			
	Meteosat -9		CBERS-2B	
NDVI	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Araçuaí	0,002	0,577	-0,563	0,476
Lavras	0,002	0,425	-0,380	0,685
Machado	0,002	0,512	-0,513	0,652
Pirapora	0,001	0,349	-0,306	0,198

Nota-se que os valores mínimos de NDVI, encontrado pelos satélites CBERS-2B para todas as áreas estudadas foram negativos, mostrando que houve a presença de corpos água nestes municípios. Enquanto que os valores mínimos encontrados pelo satélite CBERS-2B, indicaram a presença de moderado grau de vigor de cobertura. Já os valores máximos encontrados pelo CBERS-2B, foi superior ao encontrado pelo satélite Meteosat-9, para os municípios de Lavras e Machado, enquanto que em Araçuaí e Pirapora, os valores encontrados pelo satélite Meteosat-9, foi superior ao encontrado pelo satélite CBERS-2B.

No município de Araçuaí, os valores máximos encontrados pelos satélites Meteosat-9 e pelo CBERS-2B, foram de 0,577 e 0,476 respectivamente, com alto grau de vigor de cobertura. O valor de NDVI encontrado para o município de Lavras foi de 0,425 pelo Meteosat -9, indicando alto grau de vigor de cobertura, e pelo CBERS-2B, o valor encontrado para o NDVI foi de 0,685, indicando muito alto grau de vigor de cobertura. No município de Machado os valores de NDVI encontrados forma de 0,512 e 0,652, respectivamente pelos

satélites Meteosat-9 e CBERS-2B, os quais indicam o alto e muito alto grau de vigor de cobertura. Já no município de Pirapora os valores máximos encontrados foi de 0,349 e 0,198, indicando moderado e baixo grau de vigor de cobertura, respectivamente pelos satélites CBERS-2B e Meteosat-9.

Verifica-se que o satélite Meteosat-9, não apresentou a mesma tendência, que o satélite CBERS-2B, para os valores mínimos, nota-se que o satélite Meteosat não apresentou sensibilidade para detectar a presença de água nestas áreas estudadas. Isso ocorre, porque a áreas estudadas apresenta grande heterogeneidade e devido à baixa resolução espacial do Meteosat-9, o mesmo não foi capaz de discriminar a presença de água nas imagens. Já para os valores máximos o município de Araçuaí, os valores encontrados pelos dois satélites tiveram a mesma tendência, com a área estudada apresentando alto grau de vigor de cobertura. Para os outros municípios estudados, os valores de NDVI encontrados apresentaram diferenças na classificação das áreas quanto ao grau de vigor de cobertura, como exposto no texto acima.

5 CONCLUSÕES

Os mapas de NDVI temporal gerado a partir de imagens obtidas pelo sensor SEVIRI do Meteosat-9, mostrou que o satélite Meteosat-9 apresentou pouca sensibilidade para detectar a presença de água nas imagens, devido a grande heterogeneidade da vegetação do estado de Minas Gerais.

O satélite CBERS-2B por possuir média resolução espacial, possibilitou que fosse realizado um estudo mais detalhado da variação dos valores de NDVI nos municípios que possuem PCDs, sendo capaz de fazer uma melhor discriminação dos tipos de paisagem encontrados nas áreas estudadas, podendo assim avaliar de forma mais detalhada como se comportou a variação do grau de vigor de cobertura nestas áreas.

Quando se comparou os valores de NDVI obtidos a partir de imagens geradas pelos dois satélites nas áreas em torno das PCDs, verificou-se que os valores encontrados pelo satélite Meteosat-9, foram menores que os encontrados pelo CBERS-2B, mas tiveram a mesma tendência, com as áreas sendo classificadas pelos dois satélites na mesma faixa de grau de vigor de vegetação.

Quando se comparou os valores mínimos de NDVI, nos municípios de Araçuaí, Lavras, Machado e Pirapora, o satélite Meteosat não foi capaz de detectar a presença de água nas imagens. As diferenças encontradas são esperadas, quando se trabalha com satélites com diferentes resoluções espaciais e temporais. O Satélite Meteosat-9, não foi capaz de discriminar algumas áreas nas imagens devido à grande heterogeneidade da vegetação nas áreas estudadas, pois por possuir baixa resolução espacial o mesmo não foi capaz de discriminar algumas áreas nas imagens geradas.

O Meteosat apresenta como grande vantagem a sua alta resolução temporal, o que permite que se possa fazer um acompanhamento mais periódico

do estudo a ser desenvolvido, e com uma grande quantidade de imagens, a presença de nuvens na imagem pode ser atenuado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D.; CASTRO, L. H. R.; ALMEIDA, S. A. O. Análise exploratória da variação espaço temporal do índice de vegetação NOAA/AVHRR e pluviometria: caso dos cerrados brasileiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 1996. 1 CD-ROM.
- BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.** 1998. 169 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- BARBOSA, H. A.; ACCIOLY FILHO, J. B. P.; MELCÍADES, W. L. B.; MELLO, N. G. S.; SOUZA, J. M. Determinação do índice de vegetação através de imagens Meteosat-8. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: UFAL, 2006. 1 CD-ROM.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1, validation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212/213, n. 1, p. 213-229, Dec. 1998.
- CHOUDHURY, B. J.; AHMED, N. U.; IDSON, S. B.; REGINATO, R. J.; DAUGHTRY, C. S. T. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 50, n. 1, p. 1-17, Oct. 1994.
- CHUVIECO, E. S. **Teledetection ambiental**: la observación de la tierra desde del espacio. Barcelona: Ariel, 2002. 586 p.
- DEPPE, F.; LOCHMANN, M.; MARTINI, L.; ADAMI, M.; FARES, R. Monitoramento da evolução temporal de cultivos agrícolas através de imagens TERRA/MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 145-152.
- 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, jun. 1996.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE EXPLOITATION OF METEOROLOGICAL SATELLITES. **MSG level 1.5 image data format description**. Darmstadt, 2007. 127 p.

FERREIRA, E. et al. Estimativa de NDVI utilizando imagens dos satélites CBERS-2B_CCD, CBERS-2B_WFI E METEOSAT-9_SEVIRI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

FONTANA, D. C.; POTGIETER, A. B.; APAN, A. Assessing the relationship between shire winter crop yield and seasonal variability of the MODIS NDVI and EVI images. **Applied GIS**, Victoria, v. 3, n. 1, p. 1-16, Jan. 2007.

GEOPROCESSAMENTO EM MINAS GERAIS. **Programa integrado de uso da tecnologia de geoprocessamento pelos órgãos do Estado de Minas Gerais**: informações sobre divisão político-administrativa, 853 municípios. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2009.

GUPTA, R. K.; VIJAYAN, D.; PRASAD, T. S.; TIRUMALADEVI, N. C. Role of bandwidth in computation of NDVI from landsat TM and NOAA AVHRR bands. Montreal, Canada. **Advances in Space Research**, Oxford, v. 26, n. 7, p. 1141-1144, June 2000.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 24, n. 18, p. 3595-3609, 2003.

HAYES, J. D.; SADER, A. S. **Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest**. Washington, 1997. Disponível em: <[http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change detection.pdf](http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change%20detection.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Satélite sino-brasileiro de recursos terrestres**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/>>. Acesso em: 3 out. 2009a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sensoriamento remoto e interpretação de imagens**. Disponível em: <<http://www.itid.inpe.br/selper/image/caderno2/cad20.htm>>. Acesso em: 14 nov. 2009b.

KLERING, E. V. **Avaliação do uso de imagens MODIS na modelagem agrometeorológica-espectral de rendimento do arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KUSTAS, W. P.; NORMAN, J. M. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surface. **IAHS Hydrology Science Journal**, Ontario, v. 4, n. 41, p. 495-516, 1996.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriameto remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 767 p.

MENEZES, S. J. M. C.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; PINTO, F. A. C.; ANDRADE, R. G. Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3475-3482.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: _____. **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. cap. 4, p. 79-101.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M. Avaliação do efeito do estresse hídrico no rendimento do feijoeiro por sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 299-305, mar./abr. 2004.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4145-4150.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R. (Org.). **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB; EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 157-199.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURU, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 102 p.

RAY, S. S.; DADHWAL, V. K. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 239-249, Aug. 2001.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2003. 238 p.

RUIZ-LUNA, A.; BERLANGA-ROBLES, C. A. **Modifications in coverage patterns and land use around the huizache-caimanero lagoon system, Sinaloa, Mexico**: a multi-temporal analysis using LANDSAT image Lab de Manejo Ambiental CIAD-Mazatlán, P.O. Cidade do México: Sin, 1999. 238 p.

SCHMETZ, J. P.; PILI, S.; TJEMKES, D.; JUST, J.; KERKMANN, S.; ROTA, A. R. An introduction to Meteosat Second Generation (MSG). **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 83, n. 7, p. 977-992, July 2002.

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. 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

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.

TANSER, F. C.; PALMER, A. **The application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation patterns in a semi-arid, heterogeneous, South African landscape**. Grahamstown: ARC-Range and Forage Institute, 1999. 484 p.

TEIXEIRA, R. F. B. Índice de vegetação IVDN a partir do NOAA e do Terascan na Funceme. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 12-18, jan. 2003.

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 106, n. 3, p. 375-386, Feb. 2006.