

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

BERNARD SILVA DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO DE CULTURAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DE
GOIÁS, POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS
MODIS**

Goiânia
2014

BERNARD SILVA DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO DE CULTURAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DE
GOIÁS, POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS
MODIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção de título de Mestre em Geografia.

Área de concentração:

Natureza e Produção do Espaço

Linha de pesquisa:

Análise Ambiental e
Tratamento da Informação Geográfica

Orientador: Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Goiânia
2014

BERNARD SILVA DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO DE CULTURAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DE
GOIÁS, POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS
MODIS**

Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Dr. Manuel Eduardo Ferreira - UFG
Orientador

Dr. Nilson Ferreira Clementino - UFG
Membro Interno

Dr. Alexandre Camargo Coutinho
Membro Externo - Embrapa

Goiânia
2014

DEDICATÓRIA

À minha família...
*Aos meus pais, Francisco e Márcia,
e ao meu irmão, Leonardo, pelo
Incentivo e força.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por iluminar o meu caminho, pois sua presença traz alegria à minha vida.

Ao meu orientador, o professor Manuel Eduardo Ferreira, pela sua dedicação, ensinamento e força durante todo período do mestrado.

À Patrícia Christiana, pela força, amor e ajuda nas etapas importantes da dissertação.

À equipe da Diretoria de Informações Urbanas e Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável.

Ao Esp. Evando Oliveira, por algumas sugestões matemáticas e lógicas na montagem dos scripts utilizados neste trabalho.

Aos professores Nilson Clementino e Cláudia Valéria, pela contribuição com a pesquisa na etapa de Qualificação.

A toda equipe do Laboratório de Processamento Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da UFG, que me acolheu e muito contribuiu com esta pesquisa.

À Embrapa Informática Agropecuária, pelo fomento da bolsa de estudos no âmbito do projeto Metodologia para Mapeamento da Agricultura Brasileira (MAPAGRI).

RESUMO

A expansão agrícola no Brasil ainda vem ocorrendo de forma bastante intensa, principalmente no Centro-Oeste, com destaque para os estados do Mato Grosso e Goiás, ambos com uma grande representatividade do bioma Cerrado. As principais culturas agrícolas, com ênfase no mercado internacional, têm sido a soja, o milho e a cana-de-açúcar. Com isso, torna-se absolutamente necessário o desenvolvimento e a aplicação de técnicas baseadas em sensoriamento remoto para mapear as áreas de cultivos em nível regional, de forma rápida e precisa. Por meio dos dados do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo da plataforma orbital TERRA, tal uso da terra no país pode ser acompanhado de forma sistemática, com destaque para as áreas de pastagem, florestas, cerrado e agricultura. Neste contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi o de aprimorar as técnicas para o mapeamento de soja e milho na mesorregião do Centro Goiano, a partir do uso de imagens Índice de Vegetação (EVI) advinda de séries temporais do MODIS, entre 2002 e 2010. As imagens EVI, apesar da elevada qualidade, contêm algumas interferências atmosféricas, inerentes ao processo de aquisição, como a presença de nuvens; neste sentido, um conjunto de métodos para minimizar tais ruídos foi aplicado aos dados desta pesquisa. De forma geral, dentre os procedimentos metodológicos, foram adotadas (1) a aplicação da banda *pixel reliability*, com o intuito de retirar pixels contaminados por nuvens, (2) uso de estimativas de pixels contaminados (excluídos das imagens), e (3) aplicação de filtro interpolador para preenchimento de vazios em cada cena, com a obtenção de perfis espectro-temporais contínuos e suavizados para cada classe de uso analisada ao longo do tempo. Com este processamento digital, foi possível a caracterização fenológica da agricultura, seguida por uma classificação pelo método de árvore de decisão desenvolvida na linguagem IDL, com ajuda de métricas fenológicas e análises estatísticas da resposta do pixel ao longo do tempo. Os resultados demonstram a eficiência do método para o acompanhamento temporal de áreas agrícolas no Cerrado, ainda que para regiões com pequenas áreas de plantios ocorra um erro de omissão, devido ao tamanho do pixel do sensor MODIS (6,25 hectares, favorecendo a mistura espectral). Nas áreas com grandes plantios de soja, alcançou-se uma exatidão de 78% da classificação, enquanto que as de milho ficaram abaixo de 48%, devido principalmente às poucas áreas destinadas atualmente para este cultivo em Goiás. Como parte desta pesquisa, uma ferramenta para processamento digital de imagens foi criada e colocada à disposição para análise de dados MODIS/EVI (para ambiente ENVI/IDL), visando o mapeamento de áreas agrícolas no bioma Cerrado.

Palavras-chave: MODIS, séries temporais, agricultura, processamento digital de imagens, métricas fenológicas.

ABSTRACT

Agricultural expansion in Brazil is still quite intense, especially in the Midwest region, especially in the states of Mato Grosso and Goiás, both with a large representation of the Cerrado biome. The main agricultural crops, with emphasis on the international market, are soybeans, corn and sugarcane. Thus, it becomes absolutely necessary the development and application of new techniques based on remote sensing to map areas of crops at a regional scale, as quickly and accurately as possible. Using data from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) aboard the Terra platform, such land use in the country can be systematically monitored, especially in grazing areas, forests, savanna and agriculture. In this context, the main objective of this research was to improve techniques for mapping the soybean and corn in the middle region of Goiás (*Centro Goiano* macro-region), with the use of Vegetation Index images (EVI) obtained from MODIS time-series between 2002 and 2010. The EVI images, despite the recognized high quality, contain some atmospheric interference, inherent to the process, as the presence of clouds; in this sense, a set of methods to minimize such noise were applied to datasets. Overall, among the methodological procedures of this research, were adopted (1) the application of *pixel reliability* band, in order to remove pixels contaminated by clouds, and (2) the use of estimates of contaminated pixels (excluded from each image), and (3) the application of interpolation filters to each scene, to obtain continuous temporal-spectral profiles for the land use class analyzed over the time. Due to digital processing, it was possible to characterize the phenological response for agriculture, followed by its classification through a decision-tree method in IDL language, with the aid of phenological metrics and statistical analysis of the pixel response. The results demonstrate the efficiency of the method for the temporal monitoring of agricultural areas in the Cerrado (Goiás), although an omission error for regions with small areas of planting occurred due to the pixel size of MODIS (6.25 hectares, favoring a spectral mixture). In areas with large plantings of soybeans, was achieved an accuracy of 78%, while corn remained below 48%, due mainly to the few areas intended for this crop in Goiás. As part of this research, an image processing tool for MODIS/EVI dataset (developed for ENVI/IDL) was created and put available for agriculture mapping in the Cerrado biome.

Keywords: MODIS, time-series, agriculture, digital image processing, phenological metrics

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução em área (Ha) das principais culturas agrícolas na mesorregião do Centro Goiano, entre 1990 e 2010.....	20
Figura 2 – Estádios reprodutivo da soja.....	21
Figura 3 - Ciclo vegetativo do milho.....	23
Figura 4 - Espacialização das plantações de cana-de-açúcar da safra 2005/2006 (Verde) e safra 2010/2011 (Vermelho).....	25
Figura 5 - Comportamento espectral da folha. Adaptado de JENSEN (2009).....	28
Figura 6 - (a) Imagem original NDVI, (b) filtrado pelo filtro convolucional da mediana, e (c) aplicação da transformação MNF.....	37
Figura 7 - Tela inicial do TIMESAT.....	38
Figura 8 - Localização da área de estudo no Centro Goiano, Estado de Goiás.....	39
Figura 9 - Mapa de cobertura e uso do solo da mesorregião do Centro Goiano (SEMARH, 2006).....	40
Figura 10 - Mapa de solos da mesorregião do Centro Goiano.....	41
Figura 11 - Mapa de declividade do Centro Goiano.....	43
Figura 12 - Mapa de capacidade de uso do solo.....	46
Figura 13 - Distribuição geográfica da precipitação média anual mensal entre 2000 e 2010 no Centro Goiano.....	48
Figura 14 - Comportamento mensal e anual da precipitação no Centro Goiano, entre 2000 e 2010.....	49
Figura 15 – Mosaico aerofotogramétrico obtido com o VANT na área de pivô em Itaberaí - GO (Primeira Campanha de campo, em março de 2013).....	51
Figura 16 – Ponto de campo que representa a plantação de cana-de-açúcar no município de Itaberaí - GO (Primeira Campanha de campo, em março de 2013).....	51
Figura 17 – Ponto de campo que representa a plantação de soja no município de Bela Vista de Goiás - GO (Primeira campanha de campo, em março de 2013).....	52
Figura 18 - Fluxograma do processamento das imagens EVI e <i>pixel reliability</i>	53
Figura 19 - Pesos atribuídos aos valores de pixel da banda <i>pixel reliability</i>	54
Figura 20 - Procedimento de empilhamento das imagens EVI filtradas (sem nuvens), onde cada banda representa uma data.....	55

Figura 21 - Exemplo de organização das imagens, com base nas datas das cenas disponíveis no banco de dados.	55
Figura 22 - Projeção do sensor no terreno (IFOV – Instantaneous Field Of View).....	56
Figura 23 - Perfil de séries temporais de EVI com ruídos.....	57
Figura 24 - Perfil pré-processado (linha vermelha tracejada) e pós-processado (linha azul) pelo algoritmo <i>RemoveNoise.pro</i>	57
Figura 25 - Procedimentos para o mapeamento das áreas agrícolas.	58
Figura 26 - Parâmetros da geração de máscara agrícola. (a) e (b) intervalo do período inicial da safra, (c) e (d) intervalo final da safra, (e) e (f) intervalo do período de EVI Máximo, (g) quantidade de safras e (h) o valor máximo de EVI acima para agricultura.	59
Figura 27 - (a) Imagem EVI com aplicação da imagem pixel reliability e (b) imagem EVI interpolada ao longo do tempo.....	62
Figura 28 - Perfil temporal da imagem EVI pela banda <i>pixel reliability</i> e do interpolador linear temporal.....	62
Figura 29 - Perfil da atuação do algoritmo <i>RemoveNoise.pro</i>	63
Figura 30 - Assinaturas espectros-temporais das classes de uso da terra. 30(a) Cerrado, 30(b) Pastagem, 30(c) Floresta e 30(d) Área agrícola (Soja).....	65
Figura 31 - Composições Máximas e Mínimas de EVI entre os anos de 2002 e 2010, onde a cor vermelha representa a área agrícola.	67
Figura 32 – Métrica de amplitude esquerda entre os anos de 2002 e 2010, onde a cor verde representa a área agrícola.....	68
Figura 33 - Posição de ocorrência dos pontos <i>in loco</i> no valor de EVI Mínimo.....	69
Figura 34 - Posição de ocorrência dos pontos <i>in loco</i> no valor de EVI Máximo.....	70
Figura 35 - Exemplo de área cultivada com soja (polígono vermelho) identificado para a safra 2009/2010, sobre imagem do LANDSAT 5 de agosto de 2009 (a esquerda) e janeiro de 2010 (a direita).	71
Figura 36 - Exemplos de máscaras de soja (vermelho) da safra 2010/2011 próxima aos plantios de cana (verde) mapeados pelo projeto CANASAT, também em 2010/2011..	72
Figura 37 - Exemplos de máscaras de soja (vermelho) da safra 2010/2011 próxima aos plantios de cana (verde) mapeados pelo projeto CANASAT, também em 2010/2011..	72
Figura 38 - Comparativo de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE.....	73

Figura 39 – Coeficiente de determinação de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE.	74
Figura 40 – Diferença de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE.....	74
Figura 41 – Comparativo de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE.....	75
Figura 42 – Coeficiente de determinação de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) com dados do IBGE.....	75
Figura 43 – Diferença de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE.....	76
Figura 44 – Áreas de soja mapeadas na safra 2010.....	78

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estádios do ciclo de desenvolvimento da soja.	22
Tabela 2 - Estádios do ciclo de desenvolvimento do milho.	23
Tabela 3 - Informações técnicas do sensor MODIS.	29
Tabela 4 - Descrição das bandas espectrais do sensor MODIS.	30
Tabela 5 - Utilização dos produtos MODIS.	31
Tabela 6 - Produtos disponibilizados no MOD13Q1.	32
Tabela 7 - Classes do uso e capacidade do solo.	45
Tabela 8 - Informações sobre a imagem <i>pixel reliability</i>	52
Tabela 9 - Análise de erros no mapeamento da cultura da soja pelo método desta pesquisa, em comparação com dados do IBGE.	75
Tabela 10 - Análise de erros no mapeamento da cultura do milho pelo método desta pesquisa, em comparação com dados do IBGE.	76
Tabela 11 - Comparativo do mapeamento feito pelo sensor MODIS com os dados do IBGE.	78

Lista de Siglas

ALOS	- Advanced Land Observing Satellite
ARVI	- Atmospherically Resistant Vegetation Index
CANASAT	- Monitoramento de Cana-de-açúcar
CCD	- Charge Coupled Device
CONAB	- Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	- Enhanced Vegetation Index
ETM+	- Enhanced Thematic Mapper Plus
FOMENTAR	- Fundo de Participação e Fomento à Industrialização
FORTTRAN	- Formula Translation System
HDF	- Hierarchical Data Format
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IDL	- Interactive Data Language
IFOV	- Instantaneous Field Of View;
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LSPA	- Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária
MATLAB	- Matrix Laboratory
MNF	- Minimum Noise Fraction
MODIS	- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MODLand	- MODIS Land
MOD09	- Surface Reflectance; Atmospheric Correction Algorithm Products
MOD13	- Vegetation Indices
MRT	- MODIS Reprojection Tool
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NDVI	- Normalized Difference Vegetation Index
OPEP	- Organização dos Países Exportadores de Petróleo
Pixel	- Picture Element
PROALCOOL	- Programa Nacional do Álcool Combustível
PRODUZIR	- Programa do Desenvolvimento e Industrialização de Goiás
RGB	- Red Green Blue
SAVI	- Soil Adjust Vegetation Index

SIEG	- Sistema de Estadual de Geoinformação de Goiás
SPOT	- Satellite Pour l'Observation de la Terre
SRTM.	- Shuttle Radar Topography Mission
SUDECO	- Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste
TM	- Thematic Mapper
TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
USDA	- United States Department of Agriculture
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado
VIIRS	- Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 -INTRODUÇÃO	16
OBJETIVOS	17
Objetivo Geral	17
Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 - A expansão da fronteira agrícola em Goiás	18
2.2 -Principais culturas em Goiás.....	21
2.2.1 – Soja	21
2.2.2 – Milho	22
2.2.3 – Cana-de-açúcar	23
2.3 -SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À VEGETAÇÃO.....	27
2.4 – Aspectos gerais do sensor MODIS	29
2.4.1 - MOD13Q1 (250 metros, compositing de 16 dias) – Índice de Vegetação.	31
2.5 –Índices espectrais	32
2.5.1 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	33
2.5.2 - Soil Adjust Vegetation Index (SAVI)	33
2.5.3 - Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	34
2.5.4 - Enhanced Vegetation Index (EVI)	34
2.6 - SÉRIES TEMPORAIS EM SENSORIAMENTO REMOTO	35
2.6.1 - Métodos de análises de séries temporais por sensoriamento remoto	36
2.6.1.1 - Método com uso de filtro mediana.....	36
2.6.1.2 – Timesat	37
CAPÍTULO 3 – DESENHO EXPERIMENTAL.....	39
3.1 – Localização da área de estudo	39
3.2 - Caracterização fisiográfica da área de estudo	39
3.2.1 - Cobertura e uso do solo	39
3.2.2 – Solos no Centro Goiano.....	41
3.2.3 - Declividade.....	42
3.2.4 – Capacidade e uso do solo.....	43
3.2.5 – Dados pluviométricos	47
3.3–Materiais e Métodos	50
3.3.1 – Base de dados	50
3.3.2 – Levantamento de dados in loco	50

3.3.3 - Tratamento das imagens do produto MOD13Q1	52
3.3.4 – Mapeamento de áreas agrícolas	58
3.3.5 – Análises dos resultados.....	60
CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 – Resultados dos tratamentos das imagens EVI/MODIS	62
4.1 – Assinaturas espectro-temporal.....	64
4.2 – Métricas fenológicas e geração das máscaras agrícolas	67
4.2.1 – Métricas fenológicas.....	67
4.3 – Geração e avaliação estatística das máscaras agrícolas de soja e milho	71
4.4 – Aplicação do Método para o Estado de Goiás.....	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
6. APÊNDICES	88
APÊNDICE A	88
Scripts utilizados no empilhamento de imagens.....	88
APÊNDICE B.....	91
Scripts utilizados na suavização de imagens temporais EVI.....	91
APENDICE C	96
Tutorial de instalação e utilização do script de empilhamento de imagem no software ENVI.....	96

CAPÍTULO 1 -INTRODUÇÃO

Em 2010, o Brasil era um dos maiores exportadores de produtos agropecuários do mundo, com o etanol em primeiro lugar, seguido pela soja e o milho. Os principais exportadores dos produtos agropecuários são a União Europeia, com 20,4 bilhões de dólares, a China, com 11 bilhões, Estados Unidos, com 5,4 bilhões, Rússia, com 4,6 bilhões, Japão, com 2,37 bilhões, e outros países com 33,2 bilhões de dólares (MAPA, 2010).

Os níveis de exportações citados acarretaram num crescimento da produção interna agrícola brasileira. A produção de grãos teve um aumento de 17,4 milhões de toneladas, em 1960, para 150,8 milhões de toneladas em 2010, um crescimento de mais 800% durante 50 anos (MAPA, 2010). Além do crescimento na produção de grãos e outros produtos agropecuários, houve aumento de terras para os plantios. Essas terras passaram de 22 milhões, em 1960, para 47,7 milhões em 2010 (MAPA, 2010).

A fronteira agrícola agiu de diversas formas em todas as regiões do Brasil, atrelada a valores como os migrantes predominantes por região e a ocupação econômica do território “conquistado” (BORGES, 1996), trazendo, portanto, a necessidade de se localizar esta expansão, incluindo as respectivas culturas agrícolas em cada região do país. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE realiza um levantamento mensal para a previsão e acompanhamento de safras com estimativas de produção, rendimento médio e áreas plantadas e colhidas em todo território brasileiro. Os dados do levantamento sistemático da produção agrícola feita pelo IBGE têm caráter apenas informativo e não espacial, tendo como unidade de coleta o nome do município.

Por outro lado, sabendo-se da grande importância na localização das ocorrências de práticas agrícolas, destaca-se aqui o projeto Geosafras, da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, iniciado em 2004, com o objetivo de desenvolver tecnologias no mapeamento de diferentes cultivos no Brasil. Este projeto fornece dados sobre estimativas de áreas cultivadas, estimativa de produtividade, entre outros. Entretanto, todos estes projetos, de grande proporção, necessitam de um aporte de recursos significativo, dependentes também de iniciativas governamentais, nem sempre condizentes com a real necessidade de monitoramento, bases de dados e tecnologias.

Neste sentido, a pesquisa ora apresentada busca suprir esta demanda por informações espaciais sobre as áreas agrícolas, de uma forma sistemática, com baixo

custo e elevado dinamismo, inicialmente aplicada a uma área-teste do bioma Cerrado, a mesorregião do Centro Goiano, no Estado de Goiás, com grande representatividade do agronegócio brasileiro, sobretudo no que tange aos plantios de soja, cana e milho. Para tanto, técnicas avançadas de sensoriamento remoto, com elevada resolução temporal, foram estudadas, desenvolvidas e aplicadas, apontando-se novas formas de mapeamento e monitoramento de safras agrícolas para a referida mesorregião em Goiás.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Esta pesquisa teve por objetivo aprimorar as técnicas de sensoriamento remoto voltadas ao mapeamento de áreas agrícolas (soja e milho) na mesorregião do Centro Goiano, Estado de Goiás, utilizando séries temporais de imagens EVI/MODIS no período 2002 – 2010.

Objetivos específicos

- Caracterizar estados fenológicos para diferentes tipos de cultivos agrícolas;
- Descrever a dinâmica das áreas agrícolas;
- Estruturar uma biblioteca espectro-temporal com os tipos de uso do solo na área de estudo;
- Criar ferramentas computacionais (códigos e algoritmos) para o mapeamento das áreas agrícolas de forma semi-automática.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A expansão da fronteira agrícola em Goiás

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Goiás ocupa a 4ª posição em produção de cana-de-açúcar. Devido às políticas de expansão e modernização agrícola, hoje Goiás tem um papel importante no cenário agropecuário nacional. Os processos de expansão em Goiás podem ser caracterizados por duas fases: a) frentes de expansão e pioneiras; b) fronteira agrícola (CARRIJO, 2008).

O início do processo das frentes de expansão foi marcado pela descoberta do ouro por Bartolomeu Bueno Silva (Anhanguera) e João Leite Ortiz por volta do século XVIII. Houve necessidade de construir pequenas vilas em torno das regiões exploradas, que eram afastadas das cidades mais estruturadas, por exemplo, a região sudoeste (DINIZ, 2006).

No século XX, outro fato que marcou o processo de expansão foi à ocupação da região sul de Goiás pelos imigrantes vindos da região sudeste do país, basicamente de São Paulo e Minas Gerais, com o objetivo de ocupação de terras devolutas, onde as terras eram baratas por causa da sua abundância de oferta (MIZIARA, 2008).

Ainda no início do século XX, surge uma nova frente de ocupação do território goiano, a frente pioneira, com o advento da estrada de ferro, cujo objetivo era de integrar o estado com a União. Neste período houve muitas migrações para esta região, por exemplo, a importação de trabalhadores para a construção da estrada de ferro. Segundo BERTRAN (1988), alguns municípios foram favorecidos com a estrada de ferro devido sua localização nas proximidades, a maioria contida na região sudeste de Goiás, tais como Catalão, Ipameri, Corumbaíba e Goiás. Deixando de ser uma economia bastante agrária para o autoconsumo, tornando-se base capitalista para exportação de produtos agrícolas, sendo o arroz um dos principais produtos exportado.

Na linha do movimento da frente pioneira, houve também como fato importante para o processo de ocupação do estado, o movimento chamado “Marcha para Oeste”, ação da União na região. O movimento foi criado no período do governo de Getúlio Vargas (1930 – 1945), com o intuito de povoar a região do Centro-Oeste devido à alta magnitude de “terras vazias” e interiorizar o Brasil.

A construção de Goiânia e Brasília impulsionou o aumento da população no Estado de Goiás, pois, com a criação de Brasília, o governo federal investiu na infra-

estrutura da região através das redes rodoviárias, garantindo uma maior integração do Centro Oeste com o restante do país, representado pelo crescimento do fluxo de mercadoria.

Nas regiões sul e sudeste do país, o esgotamento de solos tornava-se cada vez mais gradativo, devido o seu pioneirismo agrícola nacional. Com a visão de aumentar a produtividade agrícola, o governo federal criou medidas para fortalecer os processos produtivos e sua modernização, buscando novas áreas com potenciais agrícolas. Neste período, o estado implantou Planos Nacionais de Desenvolvimento a fim de modernizar a agricultura, por meio de novas tecnologias como as técnicas de irrigação, estruturação e a distribuição de produtos agrícolas (CARRIJO, 2008 apud GONÇALVES NETO, 1997:133).

Com a necessidade de novas áreas agrícolas, as áreas de chapadas tornaram-se uma boa opção com potencial agrícola, devido às suas características fisiográficas serem favoráveis, como: topografia plana e classes de solos, do tipo Latossolos. Com essas variáveis há uma tendência de expansão agrícola na região e sua modernização (PESSÔA, 1988), iniciando-se em Goiás uma nova frente de ocupação da região, conhecida como “Expansão da Fronteira Agrícola”.

A baixa fertilidade dos solos encontrados em Goiás, devido a uma elevada acidez (solos antigos, bastante lixiviados), foi um obstáculo inicial para a apropriação da região para a agricultura. No entanto, com os avanços tecnológicos deste setor (novos maquinários, insumos/sementes e defensivos químicos, por exemplo), trouxeram à Goiás o potencial para se firmar como um dos principais estados produtores de grãos e carne do país. Esta fase ficou conhecida como Revolução Verde.

Outro fato relevante para inserção da modernização da agricultura em Goiás foram os incentivos vindos da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), com diretrizes para inovar/difundir a tecnologia e realizar estudos de pesquisa no desenvolvimento da região. A Figura 1 mostra a evolução das principais culturas agrícolas em Goiás de 1990 a 2010.

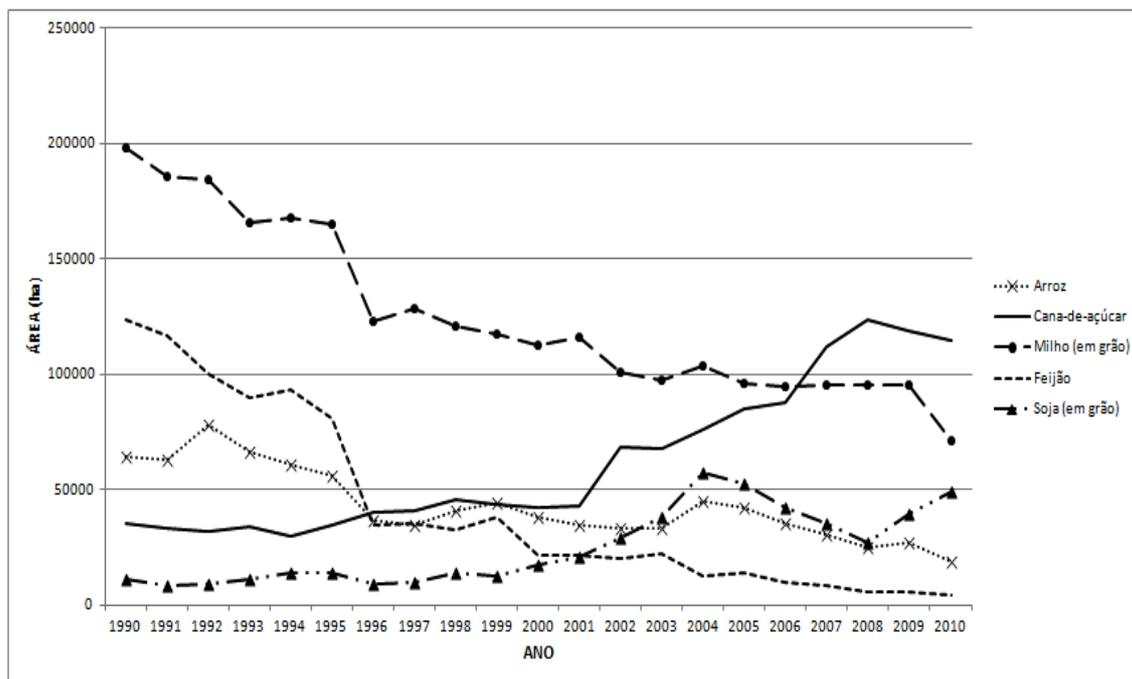


Figura 1 - Evolução em área (ha) das principais culturas agrícolas na mesorregião do Centro Goiano, entre 1990 e 2010.

O arroz na década de 1970 em Goiás foi uma das culturas mais atuantes, pois era utilizada para abertura das práticas agrícolas no estado. O arroz em relação ao feijão é mais resistente a fatores climáticos. Comparado com a soja, o custo da produção do arroz é menor, pois não necessita de investimento em tecnologia da fertilidade do solo. Tanto o arroz quanto o feijão eram culturas de abastecimento interno, e foram perdendo espaço para as culturas de exportação, como a soja. Já o milho sempre esteve nas primeiras colocações de maiores cultivos em Goiás, pois é uma cultura resistente à condição climática e sempre teve contida no agronegócio como na produção de ração, farelo e etc. (FERNANDES, 2007).

A Figura 1 mostra também que a cana-de-açúcar, a partir do ano 2002, teve um aumento de área plantada, ultrapassando a plantação de arroz, feijão, soja e milho (este último a partir de 2006). No século XX (mais especificamente na década de 1970), através do programa PROALCOOL (Programa Nacional do Álcool Combustível), o governo federal incentivou a produção de etanol no intuito de atender aos mercados internos e externos, por causa da crise internacional do petróleo/esgotamento de suas reservas no mundo.

À época, houve uma redução na produção de petróleo pelos países membros do OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), com certa instabilidade

política no Oriente Médio. Já no século XXI, devido à outra crise internacional, agora mais vinculada ao controle das emissões de gases de efeito estufa/aquecimento global, o governo federal se volta à produção de bicompostíveis, menos poluentes (CASTRO et al., 2010).

2.2 -Principais culturas em Goiás

2.2.1 - Soja

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma leguminosa dicotiledônea que teve a sua origem na China com uma produção em larga escala desde 52° N até 50° S, sendo predominantes nos Estados Unidos, Brasil, China e Argentina (ADAMI, 2004 apud FAGERIA, 1989; NORMAN et al., 1995; ZHANG e SMITH, 1999). Esta planta tem um caule hipsídico com poucas ramificações e raízes com o eixo principal muito ramificado. A altura da soja comercializada pode variar de 60 a 110 centímetros, tornando mais fácil a sua colheita mecânica (SANTOS, 2010).

De acordo com os dados do IBGE de Produção Municipal para Culturas Temporárias (2012), o Brasil possui uma área com mais de 25 milhões de hectares plantados com soja. Em termos agrônômicos, o ciclo de desenvolvimento da soja é dividido em duas fases: vegetativa e reprodutiva (Figura 2).

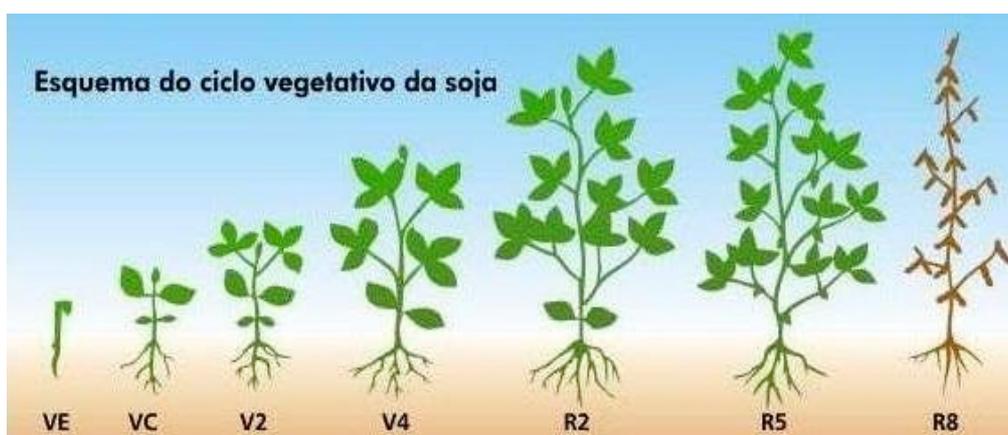


Figura 2 – Etapas do ciclo de desenvolvimento da soja.

Fonte: <<http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/caracteristicas.aspx>>, acessado em 02 de julho de 2014.

A Tabela 1 mostra a descrição de cada estágio (fase) do ciclo de desenvolvimento da soja.

Tabela 1- Estádios do ciclo de desenvolvimento da soja.

Estádio vegetativos	Estádio reprodutivos
<i>VE - Emergência</i>	<i>R2 - Pleno florescimento</i>
<i>VC - Cotilédone</i>	<i>R5 - Início do enchimento das sementes</i>
<i>V2 - Segundo nó</i>	<i>R8 - Maturação plena</i>
<i>V4 - Quarto nó</i>	

Em Goiás, os programas federais tiveram um grande papel no desenvolvimento da agricultura, ao oferecer incentivos para que empresas do setor de agronegócio se instalassem no estado; outro fator favorável são os aspectos geográficos (como topografia plana, solos profundos e períodos climáticos regulares), facilitando o plantio de commodities agrícolas como a soja e o milho (VIEIRA, 2002).

Além dos fatores acima, a cultura da soja tornou-se muito interessante na região do cerrado, devido à sua cota no mercado internacional, viabilizando uma boa infraestrutura e modernização de seu plantio. Com isso, os produtores foram incentivados a ampliar o plantio para novas terras, tornando o mercado muito lucrativo (VIEIRA, 2002).

2.2.2 - Milho

O milho (*Zeamays L.*) é uma espécie diplóide e alógama, originada na América Central (México), sendo um dos cereais mais cultivados no mundo. Atualmente, a área plantada com milho no Brasil é de 15,8 milhões hectares (CONAB, 2014). Segundo dados da USDA (United States Department of Agriculture), os países que mais produzem milho no mundo são os Estados Unidos, com 353,7 milhões de toneladas, a China, com 218,5 milhões de toneladas, o Brasil, com 79 milhões de toneladas, a União Europeia, somando 64,2 milhões de toneladas, e os demais países somando 242 milhões de toneladas (FIESP, 2014).

O milho é uma das plantas que mais armazenam energia na natureza (EMBRAPA, 2003). Sua semente pesa menos de 0,3 g, podendo chegar em 9 semanas após o plantio com uma altura superior a 2 metros, produzindo entre 400 e 600 sementes (EMBRAPA, 2003).

A Figura 3 mostra as etapas do estágio de desenvolvimento da cultura do milho.

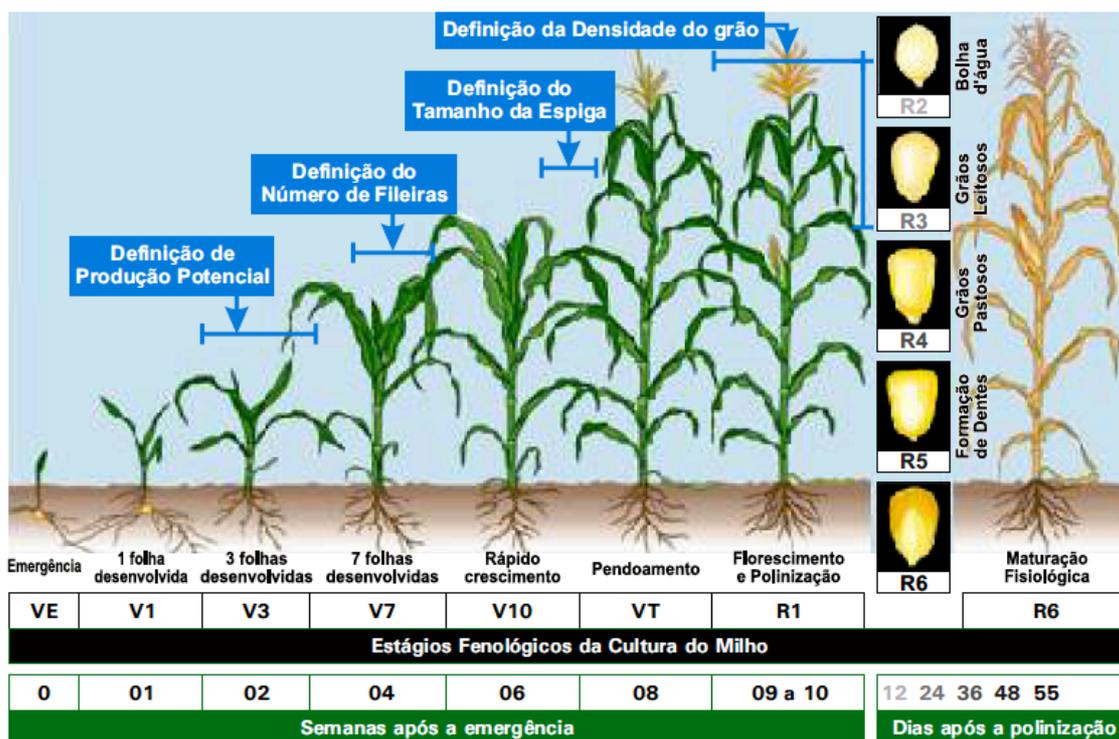


Figura 3 – Estádios do ciclo de desenvolvimento do milho.

Fonte: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABFRQAC/fases-desenvolvimento-cultura-milho>>, acessado em 02 de julho de 2014.

O ciclo do milho possui a divisão de estádios semelhante ao da soja, com duas fases, vegetativa e reprodutiva, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Estádios do ciclo de desenvolvimento do milho.

Estádio vegetativos	Estádio reprodutivos
<i>VE - Emergência</i>	<i>R1 - Florecimento</i>
<i>V1 - Primeira folha</i>	<i>R2 - Grão leitoso</i>
<i>V3 - Terceira folha</i>	<i>R3 - Grão pastoso</i>
<i>V7 - Sétima folha</i>	<i>R4 - Grão farináceo</i>
<i>V10 - Décima folha</i>	<i>R5 - Grão farináceo-duro</i>
<i>VT - Pendoamento</i>	<i>R6 - Maturidade fisiológica</i>

Fonte: EMBRAPA (2003).

2.2.3 – Cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar faz parte do grupo das gramíneas (*Saccharum SSP*), uma planta monocotiledônea, alógama (fecundação cruzada) e de ciclo semi-perene, encontrada geralmente em regiões tropicais e subtropicais (DANIELS e

ROACH, 1987). A exigência de cultivares da cana-de-açúcar é menor em regiões subtropicais em relação às tropicais, pois a germinação dos toletes (pedaços) é boa em temperaturas entre 26°C e 33°C; em regiões mais frias (13°C), é necessária a permanência do tolete na superfície, a fim de absorver melhor os raios solares (CRISPIM, 2006).

O Estado de Goiás é o quarto maior produtor de cana-de-açúcar do país, com 601 mil ha de área colhida com destino à atividade sucroalcooleira na safra 2010/ 2011, o que corresponde a 7,4% da área total estimada para o Brasil (no total de 8 milhões de ha (CONAB, 2010).

Goiás apresenta uma boa aptidão agrícola (em termos de solos e relevo), e possui grandes eixos rodoviários (boa logística), importantes para o escoamento dos produtos para diversas regiões do Brasil (CASTRO et al., 2010 apud CASTRO et al., 2007; EMBRAPA SOLOS, 2009)

CARRIJO (2008), analisando as justificativas das empresas do setor sucroalcooleiro inseridas nos programas PRODUZIR e FOMENTAR constatou que os preços das terras e arrendamentos na região Centro-Oeste são mais baixos que no Sudeste-Sul, além de oferecer uma topografia relativamente plana, a qual facilita a mecanização tanto do plantio como da colheita; como consequência, há uma redução de custos e a supressão da queima pré-colheita, já exigida pelas atuais leis ambientais, além de agregar melhores condições à produção, como os solos mais profundos e bem drenados (Latosolos / Argissolos), clima sazonal, disponibilidade de recursos hídricos e amplas áreas agricultáveis (RIBEIRO e FERREIRA, 2010). A Figura 4 informa a localização das plantações de cana-de-açúcar no Estado de Goiás, das safras 2005-2006 e 2010-2011, com destaque para a área de estudo deste projeto.

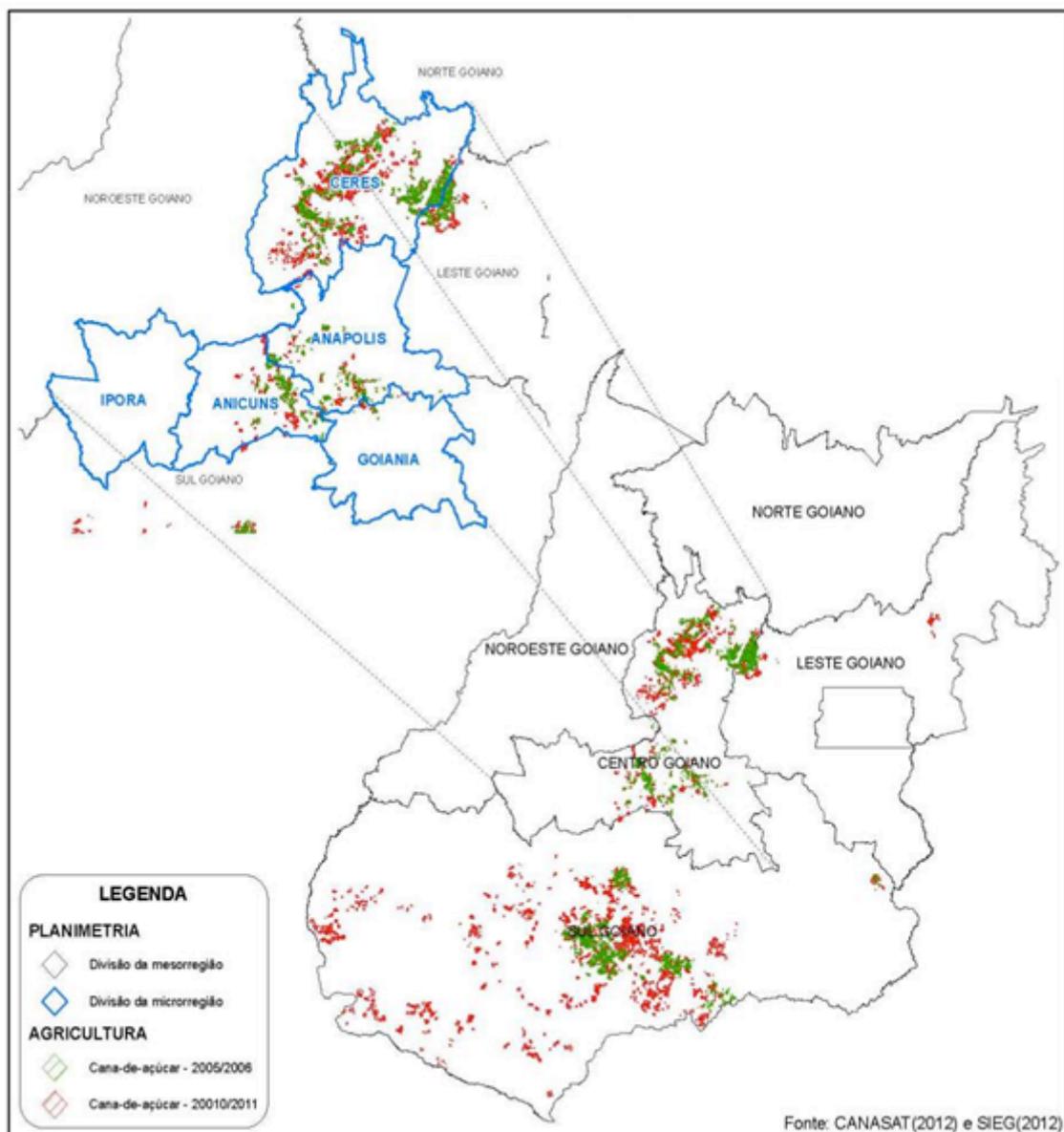


Figura 4 - Espacialização das plantações de cana-de-açúcar da safra 2005/2006 (Verde) e safra 2010/2011 (Vermelho).

A região do sul goiano, de acordo com CASTRO et al. (2010), apresenta uma concentração de usinas sucroalcooleiras, que chega a 2/3 do total das usinas no Estado de Goiás. As usinas no sul goiano localizam-se nas microrregiões do rio Meia Ponte (a leste), rio dos Bois e de Quirinópolis (CASTRO et al., 2010).

Segundo MIZIARA (2010), o processo de expansão da fronteira agrícola proporciona, geralmente, um crescimento da ocupação no sentido Sul – Norte, devido à proximidade aos centros com economia mais expressiva em âmbito nacional. No trabalho de ABDALA e CASTRO (2011), foi realizada uma análise multitemporal sobre o avanço da monocultura da cana na microrregião do Meia Ponte (Sul Goiano)

utilizando técnicas de classificação de imagens de sensores orbitais nos anos 2002, 2003, 2006 e 2009, no intuito de estudar a expansão da plantação de cana na região.

Constatou-se que há uma concentração de plantação de cana na região sudoeste desta microrregião, onde era ocupada por culturas anuais (soja e milho), tendo estas que se deslocarem para a região nordeste da microrregião do Meia Ponte, substituindo áreas ocupadas por pastagens. O motivo desta substituição se deve à aptidão agrícola de solos mais profundos e relevos praticamente não acidentados (suavizados).

Na região do Centro Goiano, a 2ª maior no estado com áreas plantadas com cana, conforme o projeto CANASAT (dados de 2012), a concentração de áreas com plantios está na microrregião de Ceres, conforme a Figura 4, com 104.323,47 ha, ocupando 72,15% da área plantada no Centro Goiano.

No trabalho de FERREIRA e DEUS (2010), a microrregião de Ceres se destaca devido a diversos aspectos, como a infraestrutura, apresentando 11 usinas sucroalcooleiras, sendo destas 6 em funcionamento. As primeiras usinas implantadas na região foram nos municípios de Goianésia, pelo Grupo Matari, hoje chamada de Usina Goianésia (desde 1969), Jalles Machado (desde 1980), no município de Itapuranga, a usina Vale Verde Empreendimentos Agrícolas (desde 1979), a usina do Grupo Devale em Itapaci (desde 1982), e a usina Cooper Rubi em Rubiataba (desde 1984).

As instalações destas usinas na região têm como um aditivo histórico a contextualização da crise internacional do petróleo em 1973, e o incentivo das políticas públicas do PROALCOOL, na metade da década de 1970, com o objetivo de transformação da matéria-prima em energia.

Outro fator preponderante na instalação de usinas sucroalcooleiras, ou para diversos ramos de produção que necessitem escoar seus produtos, é o sistema viário, que avalize uma boa circulação e distribuição dos seus produtos (FERREIRA e DEUS, 2010). Especificamente nas usinas sucroalcooleiras, vale a atenção das estradas vicinais, que ligam as áreas de plantação com as usinas e rodovias principais (FERREIRA e DEUS, 2010).

O Centro Goiano possui rodovias de grande importância não só para escoamento de produtos, mas para transição de investimentos, instituições e pessoas na região; uma destas rodovias é a BR-060, que liga o Norte do país (Marabá-PA) ao sul (Acegá - RS). FERREIRA e DEUS. (2011) constataram que a microrregião de Ceres (Centro Goiano) é uma das maiores em quantidade de empreendimentos

sucroalcooleiros implantados, e dentro do Centro Goiano é a que tem o maior destaque em relação aos benefícios dos programas de incentivos fiscais (PRODUZIR e FOMENTAR), atraindo e reativando usinas sucroalcooleiras.

Ainda quanto à aquisição de terras para o cultivo canavieiro, FERREIRA e DEUS (2011) ressaltam os impactos socioeconômicos negativos deste processo, de ordem tributária, pois nem sempre as usinas estão localizadas nos municípios em que estão as áreas de plantio com cana-de-açúcar, caso dos municípios de Nova Glória, São Luiz do Norte e Uruana, todos em Goiás, onde a arrecadação financeira ocorre nos locais onde as usinas estão instaladas.

2.3 - SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À VEGETAÇÃO

Segundo NOVO (1992), sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia capaz de adquirir informações acerca de um alvo ou objeto, sem que haja contato físico entre este e o sensor, através de sistema de sensores a bordo de aeronaves e plataformas orbitais. Os sensores podem ser classificados de duas formas: Sensores não imageadores, os quais caracterizam informações do objeto através de gráficos das curvas espectrais, e os Sensores imageadores, como uma imagem dos objetos observados.

Diversas técnicas em sensoriamento remoto são desenvolvidas na região em que a radiação eletromagnética é emitida e ou refletida em diferentes alvos e seus diferentes estágios (SANTOS, 2010 apud MOREIRA, 2003). Para estudos de sensoriamento remoto relacionados à vegetação é necessário avaliar a fisiologia da planta e a forma que no qual a radiação interage com sua estrutura (SANTOS, 2010).

A folha é localizada na parte superior das plantas, tornando-se o elemento principal de interação com a radiação eletromagnética, sendo que a radiação pode ser absorvida, refletida ou emitida (SANTOS, 2010 apud MOREIRA, 2003). A Figura 5 mostra o comportamento espectral da folha e os principais elementos atuantes na sua resposta.

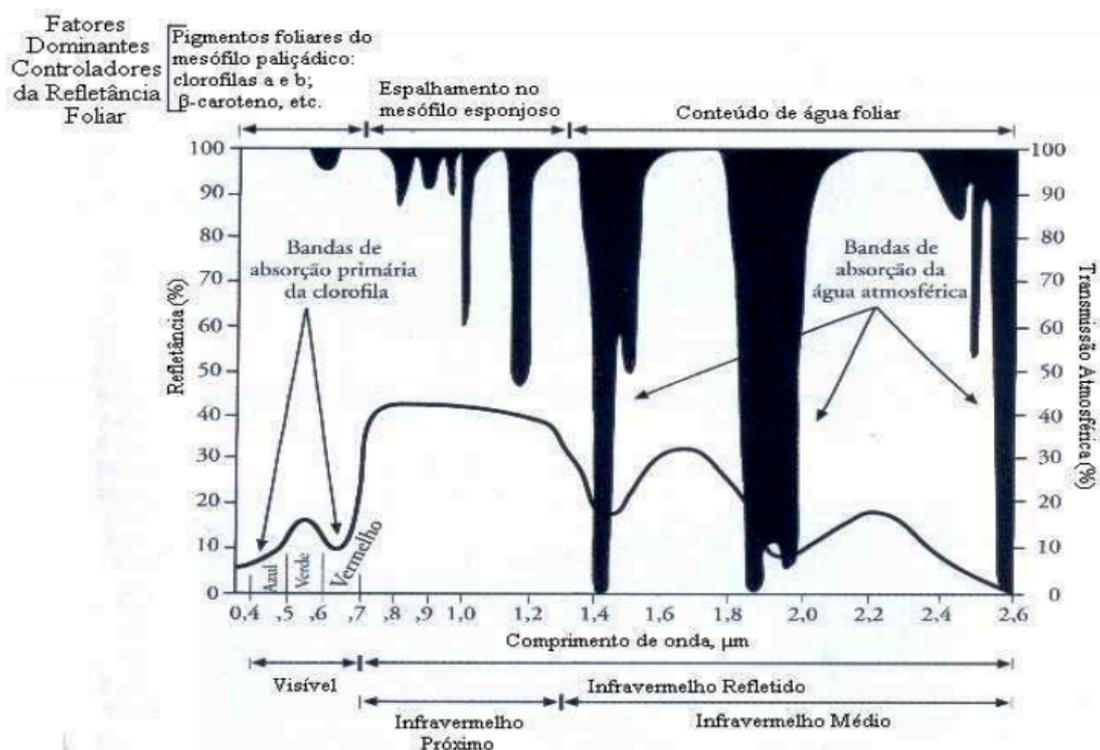


Figura 5 - Comportamento espectral da folha. Adaptado de JENSEN (2009).

Segundo JENSEN (2009), os elementos atuantes na resposta espectral da vegetação são: os pigmentos foliares, os espalhamentos internos das folhas e quantidade de água interna na folha. O pigmento mais atuante é a clorofila responsável pela coloração verde da folha. No período de senescência ou estresse, a planta deixa de produzir a clorofila, enquanto os pigmentos como caratena e xantofila são mais atuantes, deixando a folha com a coloração amarelada. Com isso, a radiação deixa de ser refletida na região do infravermelho próximo, passando a ser refletida na região do vermelho e azul no espectro eletromagnético.

Outro fator importante é a presença de água interna nas folhas, fazendo com que a radiação reflita menos na região do infravermelho e aumente a absorção nas regiões de 1,4 e 1,9 µm, caracterizadas pela forte absorção de elementos constituintes de água.

2.4 – Aspectos gerais do sensor MODIS

O sensor MODIS é um instrumento acoplado na plataforma orbital TERRA, lançada em 1999, e na plataforma AQUA, lançada em 2002, ambas com a finalidade de se observar e compreender melhor a dinâmica global de processos que ocorrem na superfície terrestre, oceanos e na atmosfera. Este sensor opera nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético (NASA, 2012). A Tabela 3 especifica algumas informações técnicas do sensor MODIS a bordo na plataforma Terra.

Tabela 3 - Informações técnicas do sensor MODIS.

Fonte: JUSTICE et al. (2002).

Órbita	705 km, heliossíncrona, polar descendente passando pela linha do equador aproximadamente as 10:30 am
Cobertura espacial	$\pm 55^\circ$; 2.330 km (imageamentos contínuos a nadir no equador)
Bandas espectrais	36 bandas, entre 0.4 μm – 14.4385 μm
Precisão radiométrica	5% absoluto, < 3 μm ; 1% absoluto, > 3 μm ; 2% de reflectância
Periodicidade	Diária ao norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espacial no nadir	250 m (duas bandas), 500 m (cinco bandas), 1000 m (29 bandas)

O MODIS possui um radiômetro com alta sensibilidade (12 bits), contendo 36 bandas espectrais descritas na Tabela 4, compreendidas entre os comprimentos de onda de 0,4 μm a 14,4 μm , sendo 2 bandas nas regiões do visível e infravermelho próximo com 250 m de resolução espacial, 5 bandas com resolução espacial de 500 m e 29 bandas com 1 km de resolução espacial (JUSTICE et al.,2002).

Tabela 4 - Descrição das bandas espectrais do sensor MODIS.
 Fonte: JUSTICE et al. (2002).

Número da Banda	Largura Espectral (nm)	Resolução Espacial (m)	Aplicações
1	620 - 670	250	Limites de Nuvens, aerossóis, terra
2	841 - 876	250	
3	459 - 479	500	Propriedades da terra, nuvens e aerossóis
4	545 - 565	500	
5	1230 - 1250	500	
6	1628 - 1652	500	
7	2105 - 2155	500	
8	405 - 420	1000	Cor do oceano, Fitoplânctons e biogeoquímica
9	438 - 448	1000	
10	483 - 493	1000	
11	526 - 536	1000	
12	546 - 556	1000	
13	662 - 672	1000	
14	673 - 683	1000	
15	743 - 753	1000	
16	862 - 877	1000	Vapor d'água atmosférico
17	890 - 920	1000	
18	931 - 941	1000	
19	915 - 965	1000	Temperatura de superfície e das nuvens
20	3660 - 3840	1000	
21	3929 - 3989	1000	
22	3929 - 3989	1000	
23	4020 - 4080	1000	
24	4433 - 4498	1000	Temperatura atmosférica
25	4482 - 4549	1000	
26	1360 - 1390	1000	Vapor d'água das nuvens
27	6535 - 6895	1000	
28	7175 - 7475	1000	
29	8400 - 8700	1000	Propriedade da nuvens
30	9580 - 9880	1000	Ozônio
31	10780 - 11280	1000	Temperatura de superfície e nuvens
32	11770 - 12270	1000	
33	13185 - 13485	1000	Altitude máxima das nuvens
34	13485 - 13785	1000	
35	13785 - 14085	1000	
36	14085 - 14385	1000	

O MODIS disponibiliza diversos produtos a partir de suas bandas espectrais, tais como balanço energético, estudo sobre vegetação, produtos relacionados à cobertura terrestre, conhecido como MODLand, usados em aplicações regionais e globais (JUSTICE et al., 2002). Na tabela 5 segue a descrição de cada produto MODLand e suas aplicações.

Tabela 5 - Utilização dos produtos MODIS.
 Fonte: JUSTICE et al. (2002).

Produto	Finalidade	Objetivo de estudo
MOD 09	Reflectância da superfície	
MOD 11	Temperatura da superfície da Terra e emissividade	
MOD 43	BRDF/Albedo	Produtos relacionados ao balanço energético
MOD 10	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar	
MOD 29		
MOD13	Grades de índices de vegetação	
MOD15	Índice de área foliar (LAI) e fPAR	Produtos voltados à vegetação
MOD17	Fotossíntese líquida e produtividade primária	
MOD12	Cobertura e mudança na cobertura terrestre	
MOD14	Anomalias térmicas, fogo e queima de biomassa	Produtos voltados à cobertura terrestre
MOD44	Conversão da cobertura vegetal	

O produto MOD13 é amplamente utilizado em estudos relacionados à vegetação nativa, à agricultura e dentre outros. Composto na sua coleção, os índices espectrais NDVI e EVI são feitos a partir de um processo de *compositing* (composição) de várias imagens, onde selecionam os melhores pixels ao longo de 16 dias de aquisição de imagens, gerando outra imagem com poucas interferências atmosféricas. Este produto é conhecido como MOD13Q1

2.4.1 - MOD13Q1 (250 metros, compositing de 16 dias) – Índice de Vegetação.

Os índices de vegetação contidos no produto MOD13Q1 são elaborados a partir das imagens de reflectância da superfície (MOD09) diariamente. Para elaboração deste produto é aplicado um algoritmo no índice de vegetação pixel a pixel, obtendo 64 observações em 16 dias, sendo 4 observações em apenas 1 dia sobre a mesma cena/região, no intuito de verificar pixels contaminados por nuvens (ROSENDO e ROSA, 2008 apud SILVA, E., 2004, p. 55-56). Assim, são geradas imagens com os melhores pixels observados durante 16 dias.

O produto MOD13Q1 contém 12 imagens ou bandas, sendo elas:

- *NDVI*: Índice de vegetação normalizado, com 250 m de resolução espacial;
- *EVI*: Índice de vegetação normalizado e realçado com, 250 m de resolução espacial;
- *VI Quality detailed QA*: Qualidade de contaminação do pixel;
- *Red reflectance (Band 1)*: Banda da faixa do vermelho;

- *NIR reflectance (Band 2)*: Banda da faixa do infravermelho próximo;
- *Blue reflectance (Band 3)*: Banda da faixa do azul;
- *MIR reflectance (Band 7)*: Banda da faixa do infravermelho médio;
- *View Zenith angle*: Ângulo zenital no momento da aquisição da imagem;
- *Sun Zenith angle*: Ângulo zenital solar;
- *Relative azimuth angle*: Ângulo de azimute relativo do sensor;
- *Composite Day of the year*: O dia do ano que o pixel foi utilizado;
- *Pixel reliability summary QA*: Informação da qualidade de contaminação do pixel.

A Tabela 6 indica os tipos de dados, unidade, escala de valores e fator de escala correspondente aos produtos MOD13Q1.

Tabela 6 - Produtos disponibilizados no MOD13Q1.

Produto	Unidade	Tipo do dado	Escala de valores	Fator de escala
16 days NDVI	NDVI	int16	-2000, 10000	0.0001
16 days EVI	EVI	int16	-2000, 10000	0.0001
16 days VI Quality detailed QA	Bits	uint16	0, 65534	N/A
16 days red reflectance (Band 1)	Reflectância	int16	0, 10000	0.0001
16 days NIR reflectance (Band 2)	Reflectância	int16	0, 10000	0.0001
16 days blue reflectance (Band 3)	Reflectância	int16	0, 10000	0.0001
16 days MIR reflectance (Band 7)	Reflectância	int16	0, 10000	0.0001
16 days view zenith angle	Graus	int16	-9000, 9000	0.01
16 days sun zenith angle	Graus	int16	-9000, 9000	0.01
16 days relative azimuth angle	Graus	int16	-3600, 3600	0.1
16 days composite day of the year	Dia do Ano	int16	1, 366	N/A
16 days pixel reliability summary QA	Rank	int8	0, 3	N/A

Este produto acarreta alguns problemas decorrentes da execução do algoritmo, como por exemplo, a imagem final pode ter pixels de diferentes dias na sua vizinhança, pois o algoritmo não considera a data de aquisição. Em termos de geometria, não há problemas neste processo.

2.5 - Índices espectrais

Os índices espectrais são transformações aplicadas às imagens de satélite, com o objetivo de realçar os objetos diversos da natureza como a vegetação, solo, água, rochas e entre outros. Dentre os vários índices espectrais na área de sensoriamento remoto, neste trabalho serão destacados os índices de vegetação, onde sua finalidade é

ressaltar informações de vegetação fotossinteticamente ativa, baseado na resposta espectral da vegetação nas regiões do vermelho e infravermelho próximo, ao longo espectro eletromagnético.

2.5.1 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Proposto por ROUSE et al. (1973), este índice trata da diferença normalizada entre as bandas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, conforme a equação 1. O mesmo varia de -1 a 1, onde os valores próximos a 1 representam as feições com vegetação densa, enquanto os valores próximos a -1 representam feições com ausência de vegetação e predominância de solo.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

Onde: ρ_{NIR} = Comprimento de onda na região do infravermelho próximo no espectro eletromagnético;

ρ_{RED} = Comprimento de onda na região do vermelho no espectro eletromagnético;

NDVI = Valor variando entre -1 e 1.

2.5.2 - Soil Adjust Vegetation Index (SAVI)

Desenvolvido por HUETE (1988), o SAVI é derivado do NDVI com ajuste de correção sobre interferência do solo. O valor de ajuste (L) varia entre 0 e 1, sendo que áreas com baixa cobertura vegetal o valor de ajuste é 1, as áreas de cobertura vegetal intermediária o valor de ajuste é de 0,5, e onde há maior presença de vegetação o valor de ajuste é 0, igualando-se à aos valores obtidos pela equação do NDVI. Na equação 2 segue a representação do modelo matemático do SAVI.

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} (1 + L) \quad (2)$$

Onde: ρ_{NIR} = Comprimento de onda na região do infravermelho próximo no espectro eletromagnético;

ρ_{RED} = Comprimento de onda na região do vermelho no espectro eletromagnético;

L = Fator de correção do solo variando, entre 0 e 1, conforme a presença de solo;

SAVI = Valor variando entre -1 e 1.

2.5.3 - *Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)*

Este índice foi elaborado por KAUFMAN e TANRÉ (1996), com o intuito de reduzir a interferência atmosférica na imagem de índice de vegetação (NDVI). Este índice utiliza a diferença das imagens nas regiões espectrais do vermelho e azul, (região mais afetada pela atmosfera), para corrigir a região do vermelho e estabilizar o índice que a priori, era aplicado em imagens do sensor MODIS, conforme descrito na equação 3.

$$ARVI = \frac{IVP - [Ver - ca \times (Azul - Ver)]}{IVP + [Ver - ca \times (Azul - Ver)]} \quad (3)$$

Onde: IVP = Comprimento de onda na região do infravermelho próximo no espectro eletromagnético;

VER = Comprimento de onda na região do vermelho no espectro eletromagnético;

Azul = Comprimento de onda na região do azul no espectro eletromagnético;

Ca = Coeficiente de correção dos aerossóis; se não houver informação, o valor será 1;

ARVI = Valor variando entre -1 e 1.

2.5.4 - *Enhanced Vegetation Index (EVI)*

HUETE et al. (1997) criaram o EVI com a intenção de não só melhorar o realce da vegetação, mas também de minimizar os efeitos dos aerossóis presente na atmosfera e da reflectância do solo. Inicialmente, o EVI foi proposto para o sensor MODIS, mas pode ser utilizado em outros sensores que possuem as faixas do azul,

vermelho e infravermelho próximo, por exemplo, os sensores TM (LANDSAT-5), ETM+ (LANDSAT-7), CCD (Série CBERS), IKONOS, QUICKBIRD e entre outros. A equação 4 mostra como o modelo matemático do EVI é descrito.

$$EVI = \frac{2(NIR - R)}{(L + NIR + C1.R + C2.B)} \quad (4)$$

Onde: NIR = Comprimento de onda na região do infravermelho próximo no espectro eletromagnético;

R = Comprimento de onda na região do vermelho no espectro eletromagnético;

B = Comprimento de onda na região do azul no espectro eletromagnético;

C1/C2 = Constante para minimizar o efeito dos aerossóis suspenso na atmosfera;

L = valor para minimizar o efeito de adição de reflectância do solo;

EVI = Valor variando entre -1 e 1.

2.6 - SÉRIES TEMPORAIS EM SENSORIAMENTO REMOTO

Séries temporais são conjuntos de informações observados em um determinado intervalo de tempo, de forma discreta, onde cada informação é analisada para um dado período (fixo) ou de forma contínua, ou seja, com um intervalo de tempo sem uma data prevista (BROCKWELL et al., 2006).

Em se tratando de análises de séries temporais, sob uma perspectiva de detecção de mudanças na paisagem, a análise assume duas formas: 1) Análise bi-temporal; 2) Análise da trajetória temporal (COUTO JÚNIOR, 2012 apud COPPIN, et al., 2004). A análise bi-temporal leva em consideração a data adequada e o tipo de sensor (no caso, orbital) que se deseja trabalhar na discriminação de um evento na natureza.

Desta forma, diferenças fenológicas decorrentes de variações ambientais, como a precipitação ou estiagem, apresentam-se com um obstáculo numa série temporal, considerando-se as possíveis quebras na resposta contínua de um alvo natural, como a vegetação. Pode-se destacar também variações de reflectância entre alvos, efeitos sazonais locais e diferenças entre estações climáticas, a depender do tamanho da série

temporal (ex. séries com mais de um ano de análise). Já na análise de trajetórias temporais, esta traz consigo o conceito de perfis ou séries temporais para contornar os problemas inerentes à análise bi-temporal (COUTO JÚNIOR, 2012).

Quando se trata de estudos temporais da vegetação, onde se busca diferir suas características biofísicas com o auxílio de dados orbitais (por sensoriamento remoto), é necessário selecionar as imagens de acordo com as datas do ciclo fenológico de uma determinada cultura a ser estudada (JENSEN, 2009).

As fisionomias vegetais como florestas e gramíneas, possuem ciclos fenológicos específicos, onde cada uma das espécies tem um período específico de brotação, maturidade e senescência (JENSEN, 2009). Já as culturas agrícolas e ou florestas plantadas, estas possuem o seu ciclo fenológico previsível, pois os agricultores trabalham em função de condições meteorológicas conhecidas, com técnicas de manejo e uso do solo adequadas à sua região e tipo de cultivo (JENSEN, 2009).

No trabalho de MARH (2011) foram utilizadas análises de imagens EVI-MODIS em séries temporais para estudo da influência do manejo de culturas simples e duplas (Safrá e Safrinha) no estado no Mato Grosso. Estas análises foram feitas de acordo com os ciclos fenológicos das culturas temporárias no Estado do Mato Grosso.

2.6.1 - Métodos de análises de séries temporais por sensoriamento remoto

2.6.1.1 - Método com uso de filtro mediana

O modelo de filtragem temporal proposto por CARVALHO JÚNIOR et al. (2012), desenvolvido em ambiente C++, tem como objetivo corrigir pixels contaminados por nuvens a partir de um filtro convolucional de mediana que atua ao longo do espectro temporal.

Após a filtragem, é aplicada a transformação MNF (Minimum Noise Fraction), manuseada em tratamento de imagens de sensores hiperespectrais, que descorrelaciona e redimensiona o ruído nas imagens através da rotação dos componentes principais, minimizando efeitos de sazonalidade causados pelo algoritmo do MODIS, produto MOD13 (CARVALHO JÚNIOR et al., 2012). A Figura 6 demonstra as etapas de suavização das imagens NDVI do produto MOD13.

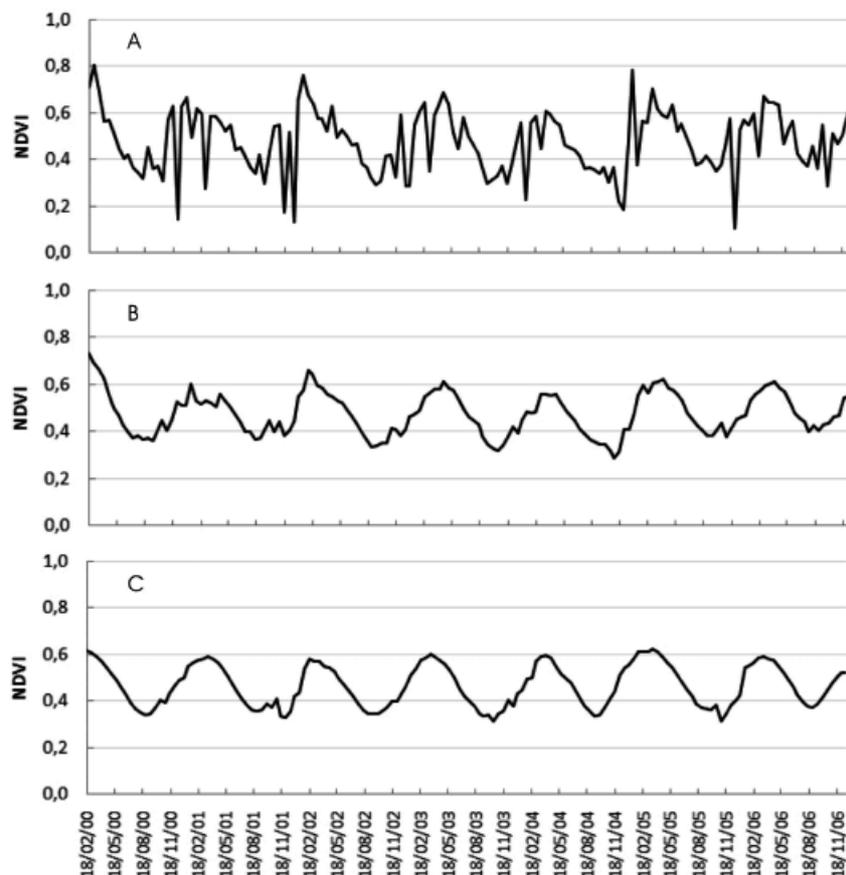


Figura 6 - (a) Série original NDVI com ruído, (b) série filtrada pelo filtro convolucional da mediana, e (c) série filtrada com aplicação da transformação MNF.

2.6.1.2 - Timesat

Desenvolvido por EKLUNDH e JÖNSSON (2012), o TIMESAT é um aplicativo para análise de séries temporais de imagens de satélite, criado nas plataformas MATLAB (MATHWORKS) e FORTRAN, voltado para a suavização dos valores de pixels ruidosos, gerando métricas fenológicas da paisagem. Este software pode ser obtido gratuitamente em <<http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>>.

Os métodos de suavização inseridos no TIMESAT são: Gaussiano, Logístico e Savitsky-Golay. O método mais utilizado para fins de monitoramento agrícola é o Savitsky-Golay, o qual aplica uma regressão polinomial nas imagens de uma série temporal (ex. NDVI ou EVI), com espaçamentos de janela de filtragem iguais para toda a série, suavizando as informações a partir de coeficientes adotados pelo usuário (EKLUNDH e JÖNSSON, 2012).

No momento da suavização das curvas temporais, o usuário pode inserir pesos nos valores dos pixels da banda *pixel reliability*, para que os pixels com má qualidade possam ser usados de forma ponderada, não interferindo em pixels com boa qualidade.

As métricas fenológicas geradas por este software favorecem ao entendimento de uma dada classe de uso do solo ou cobertura vegetal (nativa ou plantada), as quais apresentam uma relação com as práticas agrícolas: data do pico vegetal, período de semeadura (rebrotas), período da colheita (senescência), duração dos ciclos das culturas em dias, etc. A Figura 7 mostra a interface do TIMESAT.

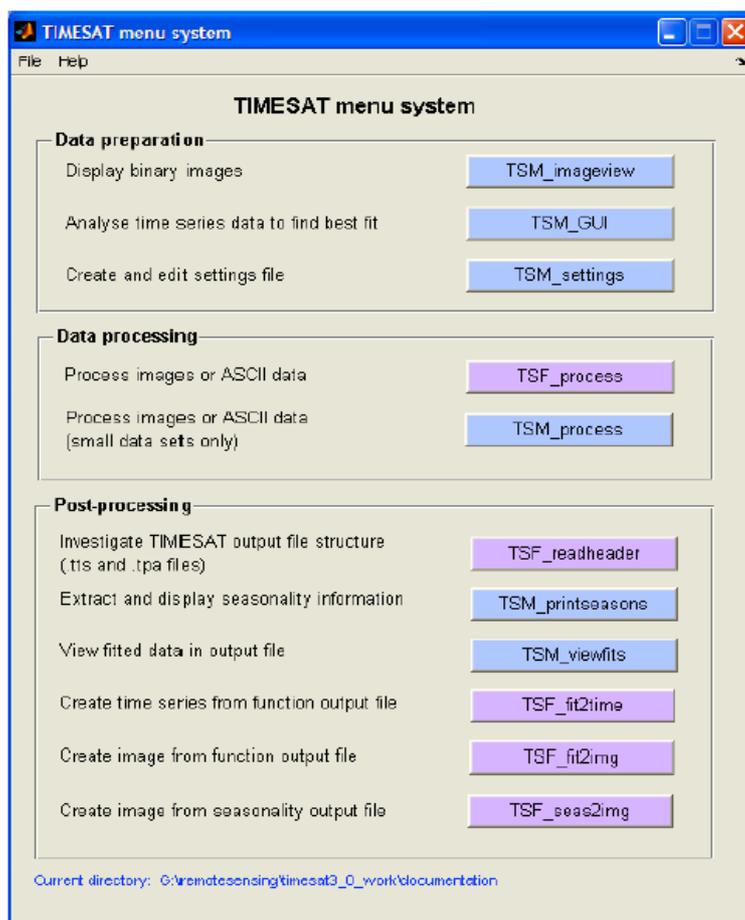


Figura 7 - Tela inicial do TIMESAT.

CAPÍTULO 3 – DESENHO EXPERIMENTAL

3.1 - Localização da área de estudo

A área de estudo selecionada é a mesorregião do Centro Goiano, em Goiás, composta por 82 municípios e 6 microrregiões, com a área de aproximadamente 40.836 km², compreendida entre as latitudes 17° 13' e 14° 12' Sul, e longitudes 48° 25' e 48° 36' Oeste, conforme Figura 8.

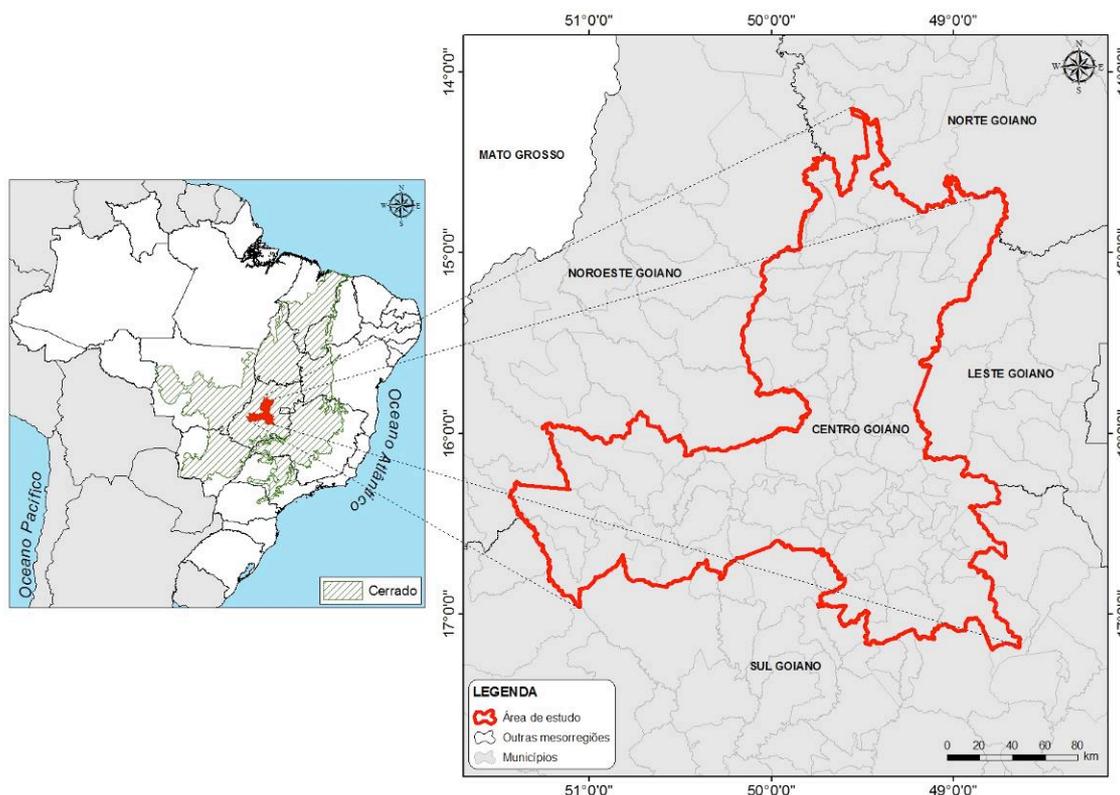


Figura 8 - Localização da área de estudo no Centro Goiano, Estado de Goiás.

3.2 - Caracterização fisiográfica da área de estudo

3.2.1 - Cobertura e uso do solo

Na descrição sobre o uso e cobertura do solo da área de estudo, foram utilizados dados do Sistema de Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG (adquiridos em <<http://www.sieg.go.gov.br/>>). A partir desses dados obtidos pelo SIEG, foram encontradas 6 classes de uso da terra: Água, Agricultura, Pastagem, Reflorestamento, Remanescentes e Área Urbana, conforme a Figura 9.

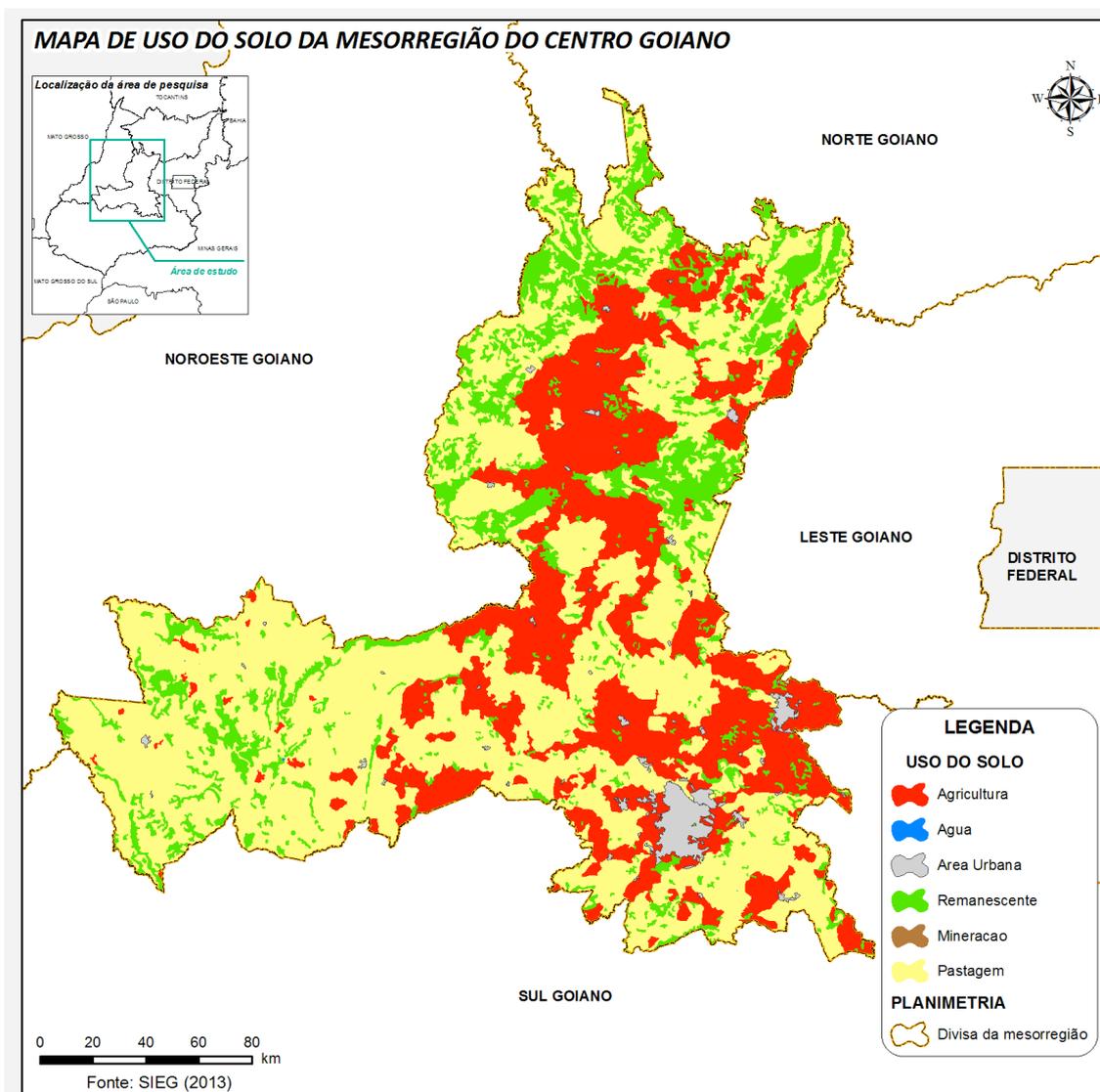


Figura 9 - Mapa de cobertura e uso do solo da mesorregião do Centro Goiano.

Conforme o último mapa de uso do solo gerado para esta mesorregião (apresentado na Figura 9) há uma predominância da classe de pastagem, com 53,3% (2.174.162,48 hectares) da área total, seguido pelas de agriculturas, com 28,64% (1.168.507,83 hectares), remanescentes (Floresta e Cerrado), com 16,33% (666.075,50 hectares), e outras classes (água e áreas urbanas), com 1,73% (70.716,81 hectares).

O Centro Goiano possui uma área tomada pelas pastagens, com 2.174.162,45 hectares, seguido pela agricultura, com 1.168.507,83, ambas ocupando mais da metade do uso da terra na região. Entretanto, o Centro Goiano se destaca também em outras atividades, tais como na prestação de serviços, pólos agroindustriais e farmacêuticos, influenciados pelos municípios de Goiânia (Capital do Estado) e Anápolis.

3.2.2 – Solos no Centro Goiano

Segundo NOVAES (1982), na mesorregião do Centro Goiano são encontradas 7 classes de solos: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos e Plintossolos, conforme mapa na Figura 10.

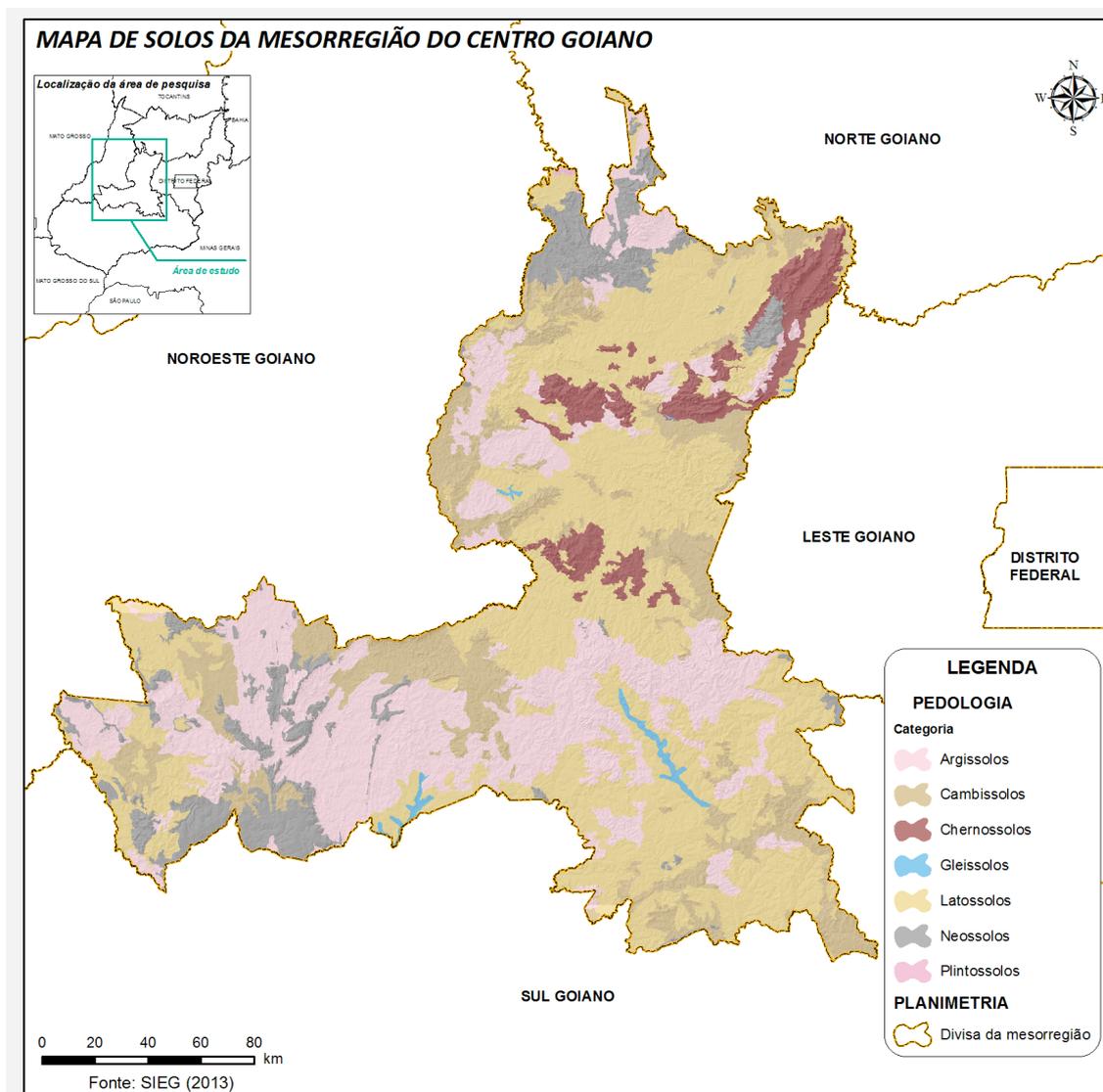


Figura 10 - Mapa de solos da mesorregião do Centro Goiano.

Nesta região predomina a classe de solo do tipo Latossolos, com 41,57% da área total, sendo este muito utilizado para fins agrícolas. Segundo PALMIERI e LARACH (2006), os Latossolos são caracterizados como solos não hidromórficos, possuem propriedades químicas, físicas e mineralógicas com pouca percepção ao longo do perfil, e sua granulometria varia de média a muito argilosa. São solos profundos e localizados em áreas com relevo suavemente ondulado (LEPSCH, 2007).

Outra categoria de solo encontrada na área de estudo, com uma porcentagem notória de 27,36%, é a dos Argissolos. Caracterizados pela movimentação de argila na parte mais superficial do substrato rochoso (TOLEDO et al., 2009); na sequência, estão os Cambiossolos, com 15,94%, com um horizonte B incipiente e pouco desenvolvido.

Os outros tipos de solos encontrados na área somam 14,50%, sendo estes:

- Neossolos: Solos pouco evoluídos, não havendo o horizonte B. Possui características bem parecidas da rocha mãe (material original);
- Gleissolos: Solos com características hidromórficas, contendo muita matéria orgânica, comum a redução intensa de compostos que possuem ferro;
- Chernossolos: Solos comum desenvolvimento médio, devido à atuação de processos de bissialitização (formação de silicatos de alumínio), podendo ou não apresentar acumulação de carbonato de cálcio;
- Plintossolos: Solos com expressiva plintitização (segregação e concentração localizada de ferro).

3.2.3 - Declividade

A declividade tem um papel importante no uso e capacidade do solo. Com objetivo de verificar a declividade da mesorregião do Centro Goiano, utilizou os dados do projeto TOPODATA, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual traz um modelo digital de terreno interpolado para 30 m a partir de uma correção dos dados do SRTM.

Definiu-se 6 classes de declividade sugeridos pelo “Soil Survey Manual” (1953), que podem ser encontradas no trabalho de LEPSCH et al. (1991) sendo elas: A (0 a 2%), B (2 a 5%), C (5 a 10%), D (10 a 30%), E (30 a 45%) e F (declividades maiores que 45%), conforme Figura 11.

Na região há predominância de relevos suaves e ondulados, sendo as classes B (2 a 5%) e C (5 a 10%) com 25% e 37% de ocupação na área, respectivamente. Já as classes de 15 a 30% e > 45% totalizam abaixo de 15% da área total, confirmando o potencial para agricultura mecanizada nesta região.

De acordo com LEPSCH et al. (1991), as áreas de classes B e C compreendem tipos de solos em que não oferecem problemas de erosão hídrica, podendo, caso ocorra,

ser controlada com práticas simples; estas classes de solos também não impedem o uso de máquinas agrícolas. A Figura 11 mostra a distribuição da declividade no Centro Goiano.

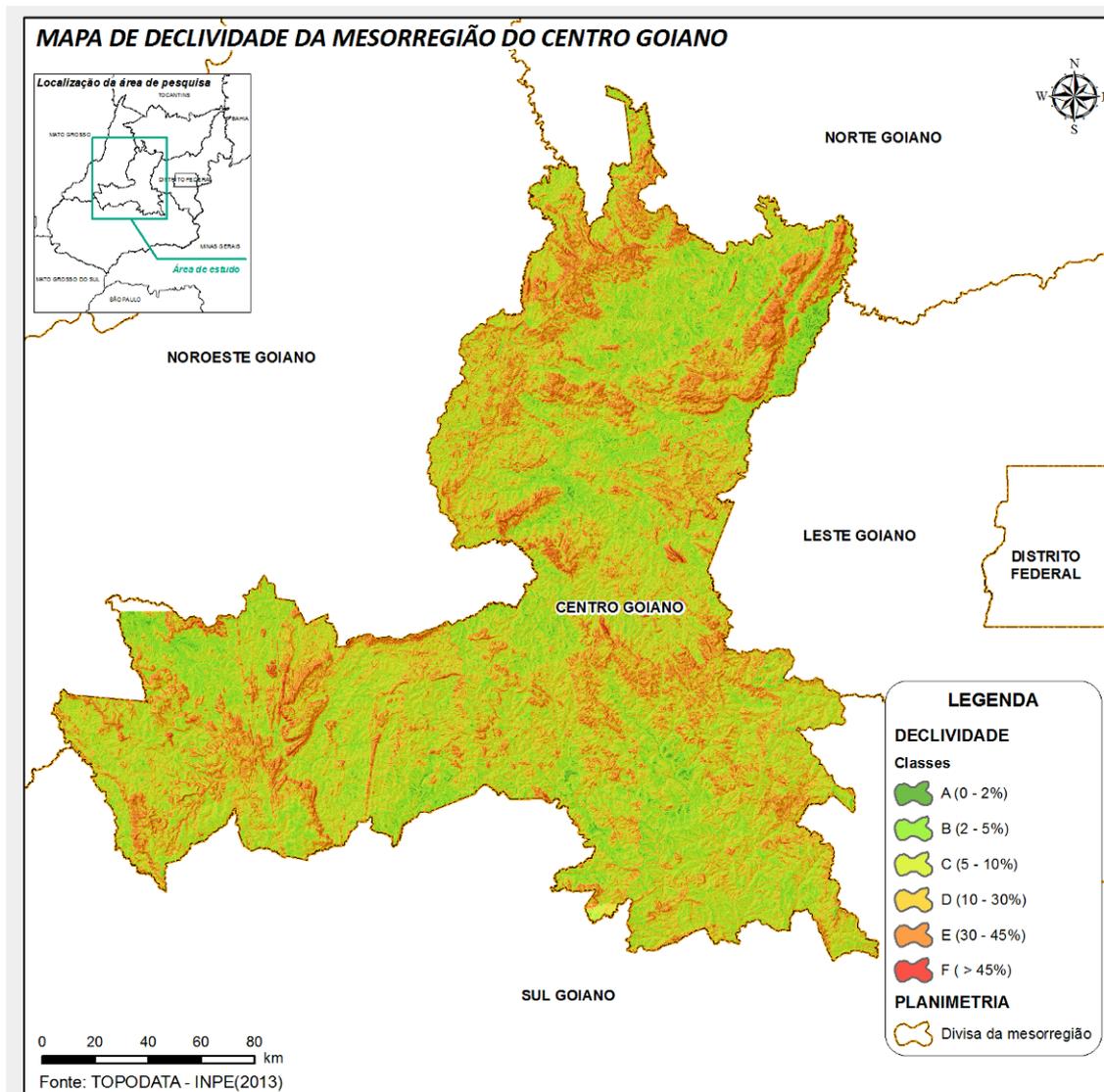


Figura 11 - Mapa de declividade do Centro Goiano.

3.2.4 - Capacidade e uso do solo

Na análise de capacidade do uso do solo foi utilizada a classificação proposta por LEPSCH et al. (1991), que indica o quanto o solo suporta de degradação devido aos cultivos agrícolas (permanente e temporário), pastagem e reflorestamento, sem que haja risco de degradação no terreno. A classificação é dividida em grupos e classes, sendo eles:

Grupo A: Terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens, e/ou reflorestamento e vida silvestre. O grupo é composto por 4 classes sendo:

- Classe I: Terras de boa produtividade, praticamente livres de erosão e próprias para serem cultivadas sem tratamento especiais;
- Classe II: Terras de produtividade moderada a boa, próprias para serem cultivadas com práticas simples de controle da erosão;
- Classe III: Terras de moderada a boa produtividade, próprias para o cultivo com intensas praticas de controle da erosão tais como terraceamento;
- Classe IV: Terras Moderadas de produtividade, próprias principalmente para culturas perenes, devido à declividade ou erosão. Ocasionalmente podem ser utilizadas para culturas anuais, necessitando neste caso de praticas intensas de controle da erosão.

Grupo B: Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre, porem cultiváveis em caso de culturas ou manejos especiais protetores do solo. O grupo B é composto por 3 classes sendo:

- Classe V: Terras normalmente impróprias para culturas, mas utilizáveis para pastagens ou florestas, desde que se adotem praticas adequadas para assegurar sua utilização. Geralmente são planas. As limitações se associam ao encharcamento ou a pedregosidade;
- Classe VI: Terras impróprias para culturas, mas adequadas para pastagens ou reflorestamento, desde que se adotem praticas especiais para assegurar o uso constante. A declividade e/ou a profundidade efetiva são os principais fatores limitantes para o seu uso agrícola;
- Classe VII: Terras próprias para pastagem e florestas, quando utilizadas com extremo cuidado para prevenir a erosão. São muito declives, erodíveis, de superfície irregular, muito seca ou pantanosa. Em climas úmidos devem ser utilizadas apenas para floresta.

Grupo C: Terras apropriadas somente para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água. O grupo C contém apenas uma classe, sendo ela:

- Classe VIII: Terras que não se prestam para culturas, pastagens ou florestas, embora tenham certo valor para abrigo da vida silvestre e recreação. São terras geralmente de superfície irregular, pedregosas, arenosas, encharcadas ou expostas a erosão muito severa.

A Figura 12 mostra a distribuição dessas classes na mesorregião do Centro Goiano. A elaboração do mapa de capacidade do uso do solo, foi feito com dados de declividade separados em 6 intervalos, onde cada classe foi determinada conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Classes do uso e capacidade do solo.

Fonte: Adaptado de RAMPIM et al. (2012).

Parâmetro	Grupo - Classes		
	Intervalo %	Grupo	Classe
D			
E	0 - 2	A	I
C	2 - 6	A	II
L	6 - 12	A	III
I	12 - 20	A	IV
V	20 - 40	B	VI
E	> 40	B	VII

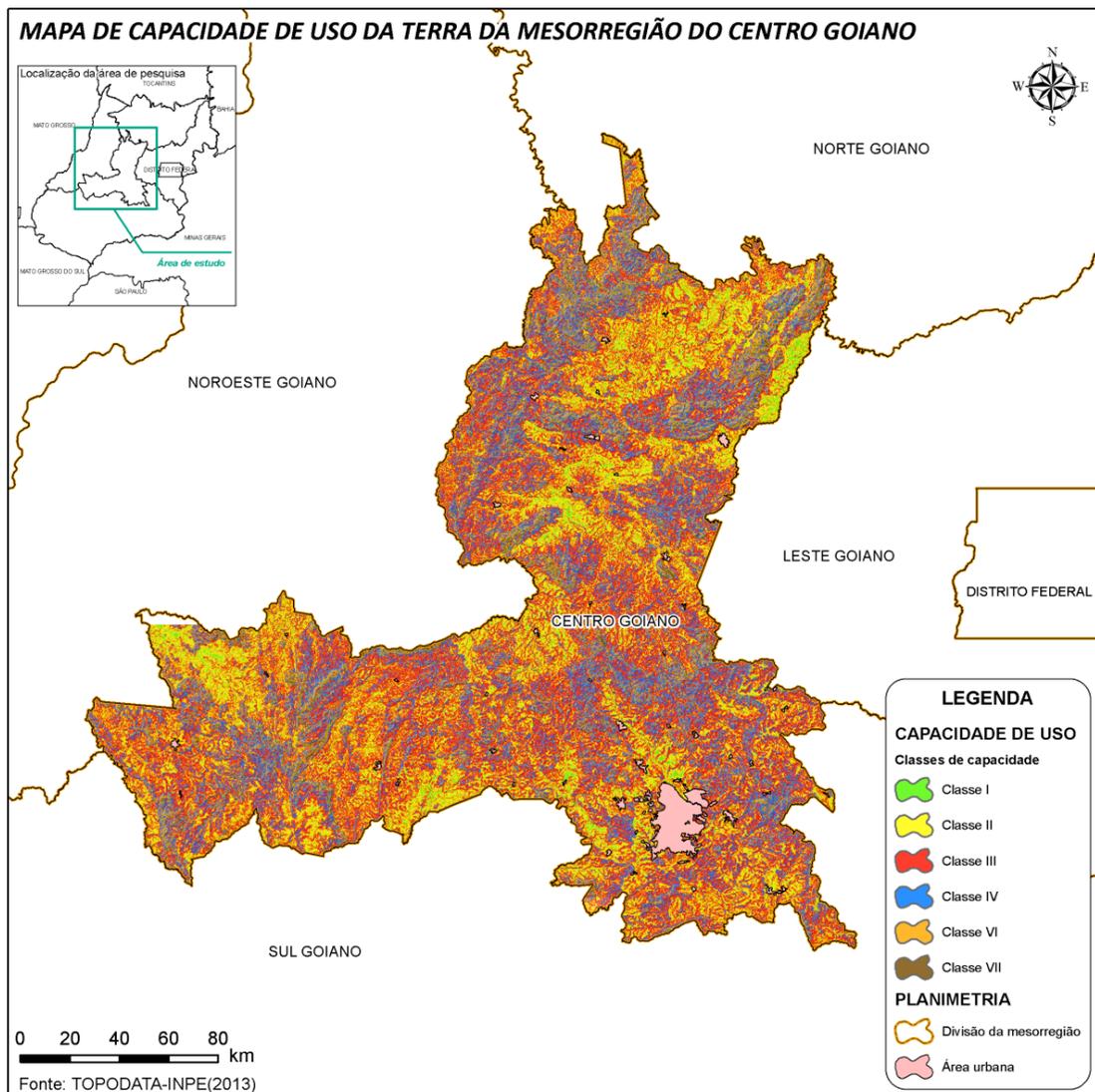


Figura 12 - Mapa de capacidade de uso do solo.

Foram identificados dois grupos de capacidade de uso do solo, grupo A e grupo B. O grupo A se destaca por ter características de terras passíveis à utilização da agricultura, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, ocupando uma área de 85,04% da região (LEPSCH et al., 1991). Dentro deste grupo, foram encontradas as seguintes classes: classe I com 6,55%, classe II com 25,62%, classe III com 37,31% e classe IV com 15%. Houve um destaque maior para as classes II e III, totalizando 62,93% de ocupação na área, consideradas como terras de boa e moderada produtividade. Levando-se em consideração a capacidade de uso da terra, a mesorregião é propensa para plantações de culturas agrícolas com mecanização.

3.2.5 – Dados pluviométricos

A potencialidade da agricultura brasileira está ligada ao clima e sua variabilidade, pois esses fatores são responsáveis pelo desenvolvimento vegetal e alternância de culturas agrícolas, geralmente anuais. A perda ou ganho dos cultivos estão relacionados, na maioria das vezes, com a falta ou excesso de chuva na região (FERREIRA, 2006).

As principais propriedades climáticas, como radiação solar, vento, temperatura do ar e precipitação pluviométrica, são fatores primordiais para o desenvolvimento das plantas e o planejamento da produção agrícola em qualquer região.

Nas regiões tropicais como o Brasil, a precipitação pluviométrica é um fator determinante para definir as épocas de plantio, devido à sua disponibilidade hídrica de forma natural, enquanto nas regiões mais temperadas, o principal fator para definição dos ciclos é a sazonalidade da temperatura do ar (OLIVEIRA et al., 2000). Vale ressaltar que a data do plantio das culturas anuais é condicionada ao regime de chuvas, o tipo de relevo, e solo da região.

Assim, a estimativa de chuvas e sua distribuição são de extrema importância para uma região que deseja desenvolver culturas permanentes e/ou temporárias, refletindo em fatores inerentes ao crescimento das plantas, como a área foliar e distribuição do sistema radicular (FERREIRA, 2006).

Para verificar a potencialidade hídrica e distribuição pluviométrica no Centro Goiano, foi utilizado o produto 3B43 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo de analisar a precipitação em regiões tropicais e subtropicais (KUMMEROW et al., 1998).

O produto 3B43 é um estimador de precipitação mensal, com uma resolução espacial aproximada de 30 km. O formato do arquivo para distribuição é o HDF (Hierarchical Data Format).

As Figuras 13 e 14 demonstram a distribuição geográfica e o comportamento da precipitação média mensal/anual entre janeiro e dezembro, durante os anos de 2000 a 2010.

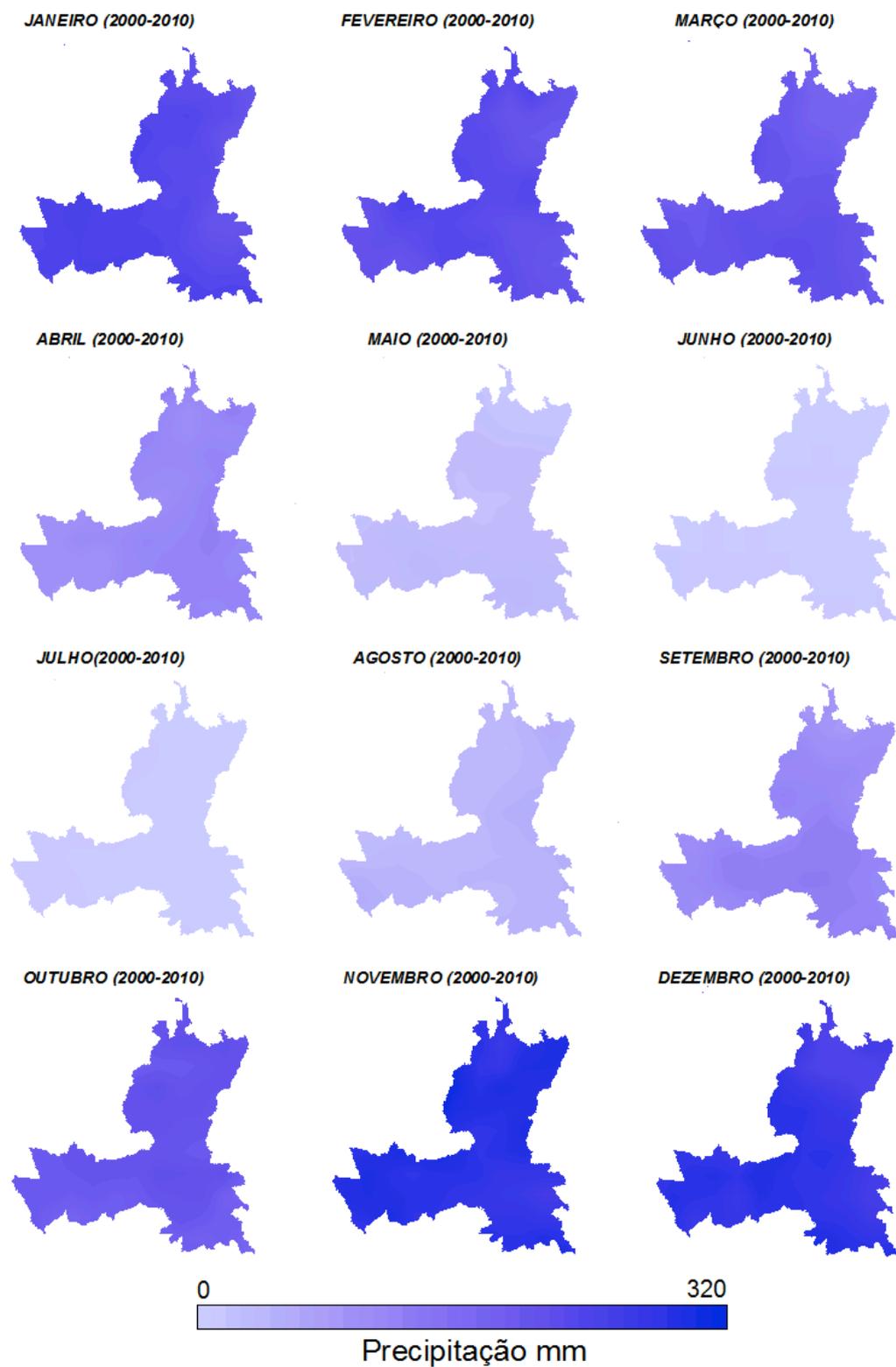


Figura 13 - Distribuição geográfica da precipitação média anual mensal entre 2000 e 2010 no Centro Goiano.

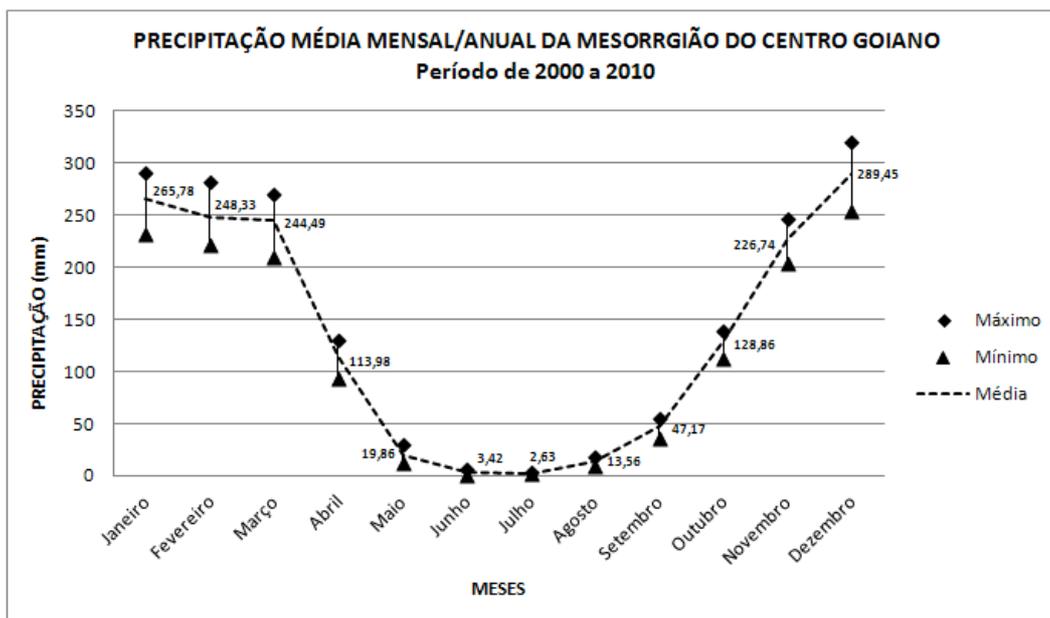


Figura 14 - Comportamento mensal e anual da precipitação no Centro Goiano, entre 2000 e 2010.

Conforme a Figura 14, a região do Centro Goiano tem uma média anual de precipitação de 1.605 mm, com estações climáticas bem definidas; os meses de janeiro até abril são caracterizados como período de cheia, e de maio até meados de outubro como um período de seca. Nos meses de janeiro a abril, o nível de precipitação é de aproximadamente 250 mm. De acordo com CARMAGO et al. (1974), as culturas de verão (por exemplo, cultivos de milho e soja) se adaptam melhor em regiões de clima tropical, subtropical e temperado, com temperatura média nos meses de verão variando entre 21 e 27°C. O milho pode ser plantado em locais onde a precipitação anual varia de 250 a 5000 mm, não exigindo muita umidade; isso garante maior resistência a pequenas deficiências hídricas (CARMARGO et al., 1974). A soja tem características similares a do milho, em relação à resistência de fatores climáticos; entretanto, se houver umidade mais elevada e/ou estiagens, a soja é mais resistente que o milho (FERREIRA, 2006). Neste sentido, a região do Centro Goiano tem boas condições de plantio para a soja e o milho.

3.3-Materiais e Métodos

3.3.1 - Base de dados

Neste estudo foram utilizadas imagens EVI (Produto MOD13Q1), com suas respectivas bandas com 250 m de resolução espacial, adquiridas gratuitamente na NASA EOSDIS (<http://reverb.echo.nasa.gov/>). Todas as imagens MODIS são adquiridas originalmente no formato HDF e na projeção Sinusoidal. Assim, foi utilizado o *software* gratuito MODIS Reprojection Tools (MRT) para convertê-las para o formato Geotiff e projeção Geográfica (Datum WGS 84).

A resolução de 250 m é apta para o mapeamento de grandes áreas agrícolas, com um período de revista de 16 dias, suficiente para as análises fenológicas da vegetação. De acordo com MARH (2011), as imagens MODIS-TERRA possuem menos interferência de nuvens que as imagens MODIS-AQUA, devido ao horário da passagem do satélite, às 10h 30min.

3.3.2 - Levantamento de dados *in loco*

Foram realizadas duas campanhas para levantamento de dados *in loco*; a primeira campanha ocorreu em 2013, entre os dias 06 e 07 de março, nos municípios de Itaberaí e Bela Vista de Goiás; a segunda campanha ocorreu em 2014, entre os dias 15 e 19 de janeiro, nos municípios de Itaberaí, Bela Vista de Goiás, Uruana e Jaraguá, totalizando 90 pontos coletados nas duas campanhas.

Os equipamentos utilizados foram um receptor GPS convencional, uma câmera fotográfica digital, além de um VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado (Sensefly, modelo Swinglet CAM, equipado com uma câmera digital RGB, com 12 Mb pixels) empregado para um sobrevôo de reconhecimento na primeira campanha de campo (áreas de soja, milho e cana). A Figura 15 ilustra a área imageada pelo VANT uma área de pivô (com milho) no município de Itaberaí - GO.

O objetivo deste levantamento *in loco* foi o de identificar com coordenadas geográficas as amostras com culturas agrícolas, visando extrair informações sobre sua resposta espectral-temporal para o mapeamento. As Figuras 16 e 17 mostram as áreas das plantações de cana e soja nos municípios de Itaberaí e Bela Vista de Goiás.

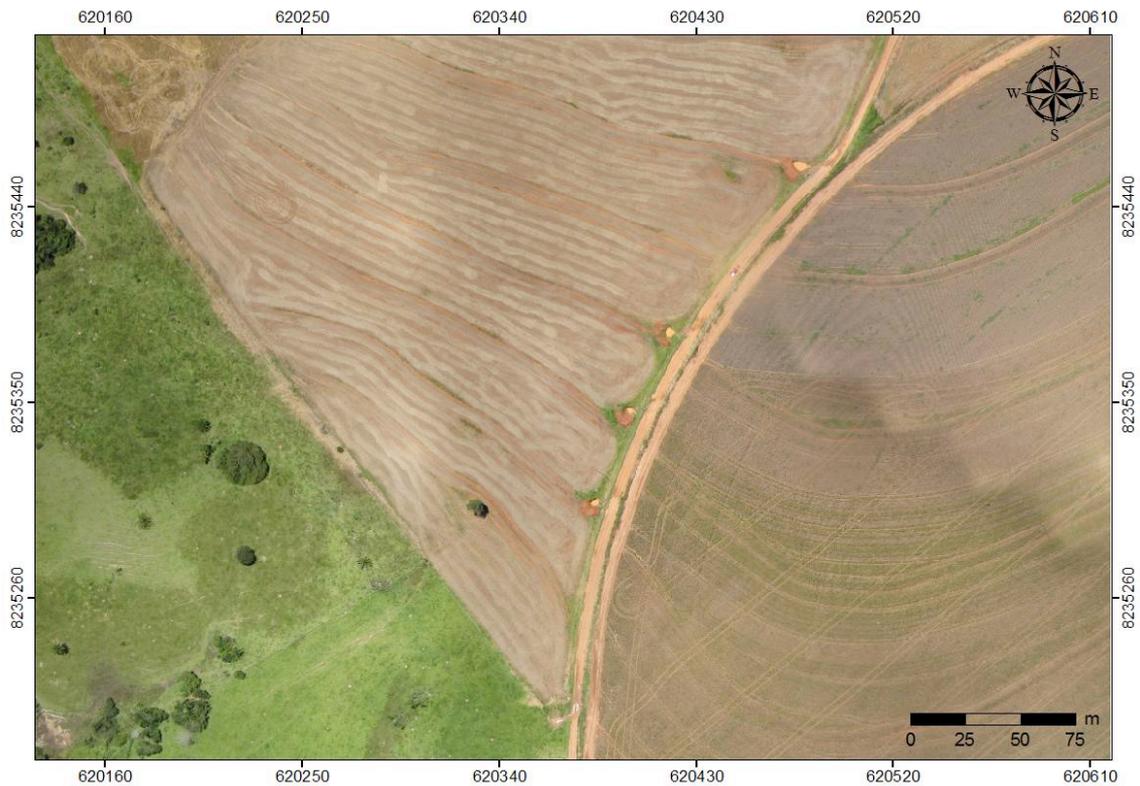


Figura 15 – Mosaico aerofotogramétrico obtido com o VANT na área de pivô em Itaberaí - GO (Primeira Campanha de campo, em março de 2013).



Figura 16 – Ponto de campo que representa a plantação de cana-de-açúcar no município de Itaberaí - GO (Primeira Campanha de campo, em março de 2013).

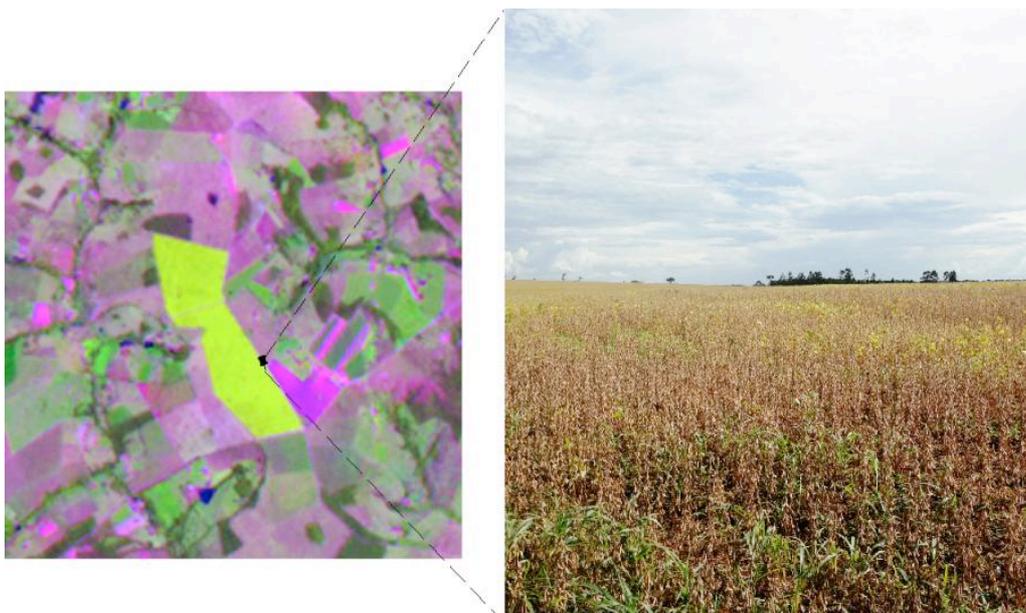


Figura 17 – Ponto de campo que representa a plantação de soja no município de Bela Vista de Goiás - GO (Primeira campanha de campo, em março de 2013).

3.3.3 - Tratamento das imagens do produto MOD13Q1

A Figura 18 traz um fluxograma com as etapas de processamento das imagens EVI, desde a correção de ruídos até a classificação.

O *pixel reliability* é uma imagem inserida no produto MOD13Q1 a partir da coleção 5 do MODIS, informando em resumo os pixels que são de confiança, marginais (utilizados com restrições), e contaminados por neve e nuvem (NASA, 2012). A Tabela 8 contém mais detalhes sobre os valores e a classificação dos pixels da imagem *pixel reliability*.

Tabela 8 - Informações sobre a imagem *pixel reliability*.

Valor do pixel	Resumo do QA	Descrição
-1	Sem dado	Não processado
0	Dado bom	Uso com confiança
1	Dado marginal	Utilizável, porém com consulta outro QA
2	Neve/Gelo	Alvo aberto de neve/gelo
3	Nuvem	Alvo coberto de nuvem

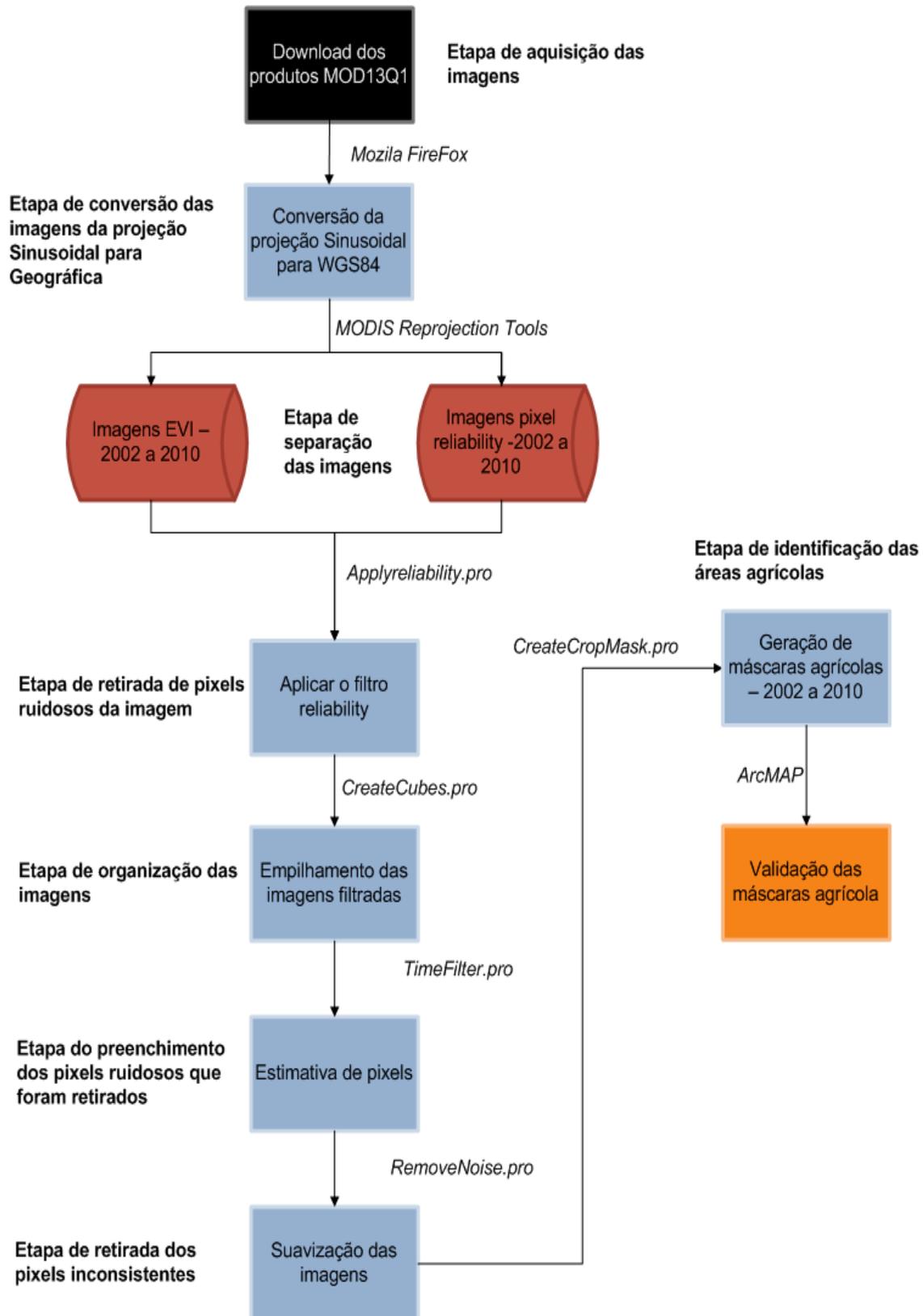


Figura 18 - Fluxograma do processamento das imagens EVI e *pixel reliability*.

Inicialmente, foi criado um algoritmo no software IDL (Interactive Data Language) chamado *ApplyPixelReliability.pro* com o intuito de retirar pixels “ruins” nas imagens EVI, de acordo com o valor de pixel da banda *pixel reliability*.

Os pixels da imagem EVI correspondentes ao valor 0 e 1 na banda *pixel reliability* receberam peso de valor 1, enquanto os pixels da imagem EVI correspondentes aos valores 2 e 3 receberam peso de valor 0, conforme a Figura 19.

Os pixels com valores 0 e 1 indicados pela banda *pixel reliability* tiveram peso 1 por indicarem baixa interferência atmosférica em todo o período de máximo EVI (dezembro/janeiro).

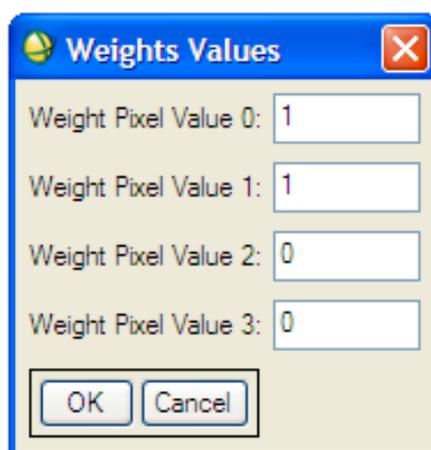


Figura 19 - Pesos atribuídos aos valores de pixel da banda *pixel reliability*.

Para empilhar as imagens EVI filtradas (a partir das bandas *pixel reliability*), foi desenvolvido um algoritmo em IDL chamado *CreateCube.pro* (APÊNDICE A), com o objetivo de empilhar todas as imagens de forma automática, organizando-as de acordo com o ano e mês da imagem. A seleção das imagens teve como critério destacar as áreas agrícolas, e para isso utilizou-se datas que definem o início e o término do calendário agrícola em Goiás.

Com isso, o empilhamento das imagens iniciou em 12 de agosto, data que antecede o período do plantio de soja e milho, e terminou em 27 de julho, período que marca o fim do ano agrícola. As Figuras 20 e 21 mostram o procedimento do empilhamento e sua organização.

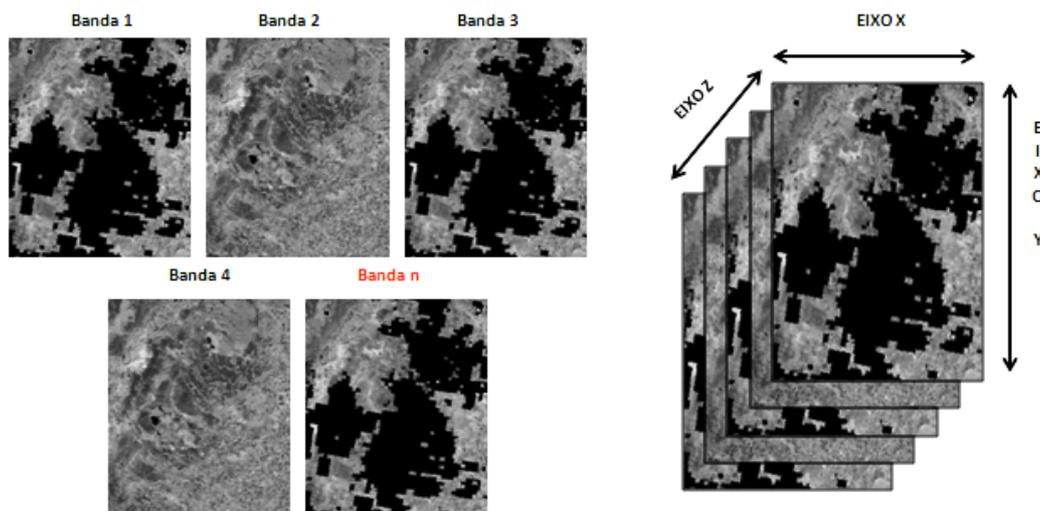


Figura 20 - Procedimento de empilhamento das imagens EVI filtradas (sem nuvens), onde cada banda representa uma data.

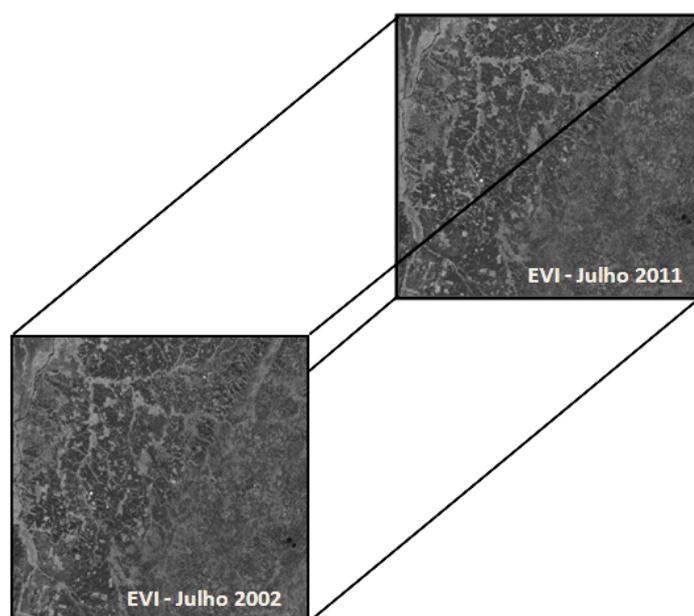


Figura 21 - Exemplo de organização das imagens, com base nas datas das cenas disponíveis no banco de dados.

Após o empilhamento das imagens EVI filtradas, utilizou-se o algoritmo *TimeFilter.pro*, que serve para estimar os valores dos pixels descartados na filtragem e dados não válidos (i.e., com valores 0 e -3000) através de uma interpolação linear temporal, usando valores de pixels “bons” nas imagens anterior e posterior ao pixel descartado (com valor nulo).

A interpolação linear temporal é feita a partir de uma média aritmética entre as imagens anterior e posterior. Se a imagem posterior tiver um valor de pixel igual a 0, o algoritmo vai para imagem seguinte até encontrar um valor de pixel válido, diferente de 0 (zero). Quando o algoritmo encontra o valor diferente de 0, este soma o valor do pixel válido da imagem anterior com o valor do pixel válido da imagem posterior (diferente de 0), dividindo este resultado pelo total de imagens percorridas. Após a divisão, o algoritmo pega o valor da imagem anterior e soma como o resultado desta divisão para todos os pixels com valor igual a 0.

Durante o processamento, evitou-se usar filtragem com máscara, devido à inserção de valores que não sejam culturas agrícolas, pois nos pixels vizinhos podem conter outros tipos de objetos, conforme a ilustração na Figura 22.

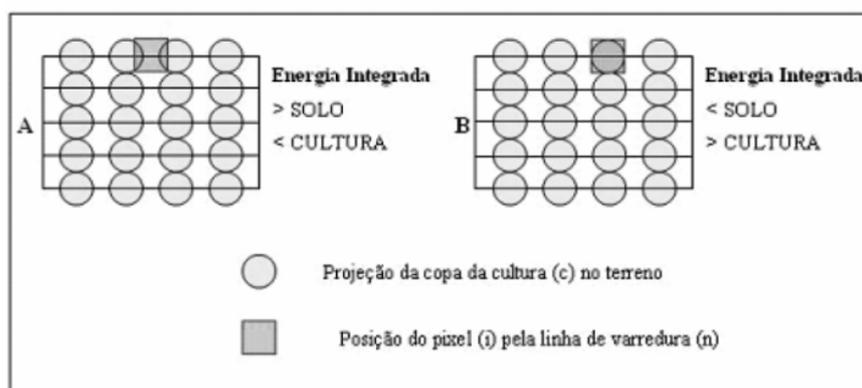


Figura 22 - Projeção do sensor no terreno (IFOV – Instantaneous Field Of View).

Visando eliminar ruídos nas imagens EVI, conforme ilustrados na Figura 23 houve a necessidade de suavização de tais imagens. Para a suavização das imagens em series temporais, foi utilizado o algoritmo *RemoveNoise.pro* (APÊNDICE B) onde os valores considerados ruídos (inconsistentes) (WARDLOW et al. 2006) são substituídos por 10% do menor valor da vizinhança, fazendo com que a série tenha originalidade dos dados, conforme a Figura 24.

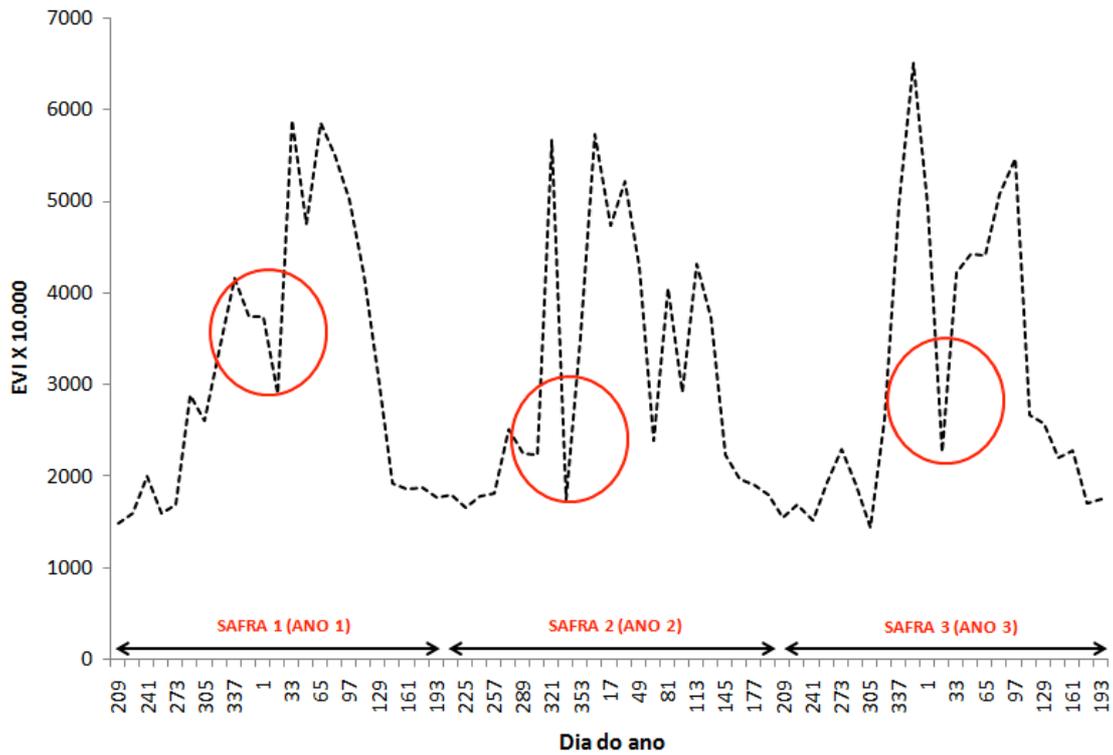


Figura 23 - Perfil de séries temporais de EVI com ruídos.

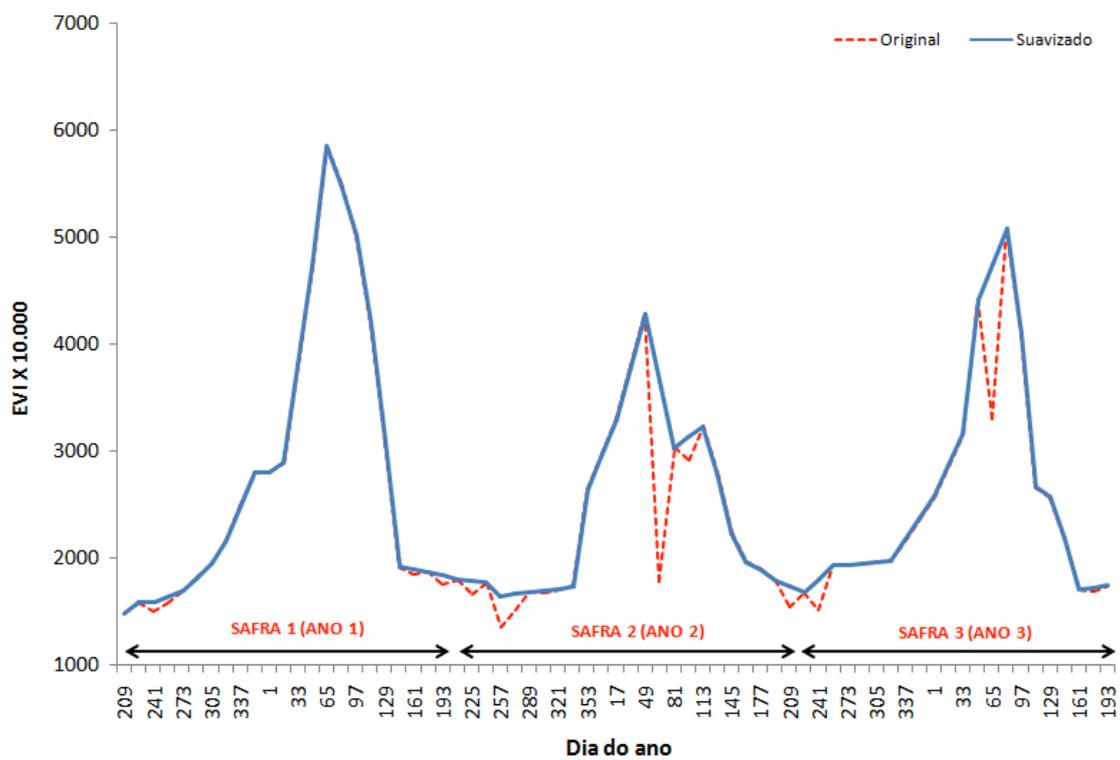


Figura 24 – Perfil pré-processado (linha vermelha tracejada) e pós-processado (linha azul) pelo algoritmo *RemoveNoise.pro*.

3.3.4 – Mapeamento de áreas agrícolas

Esta etapa metodológica consiste no mapeamento das áreas agrícolas na mesorregião do Centro Goiano, com o objetivo de verificar a dinâmica dessas áreas entre 2002 e 2010. O mapeamento utiliza o desvio padrão do pixel ao longo do tempo e métricas fenológicas, como amplitude esquerda, valor de EVI Máximo e valor de EVI Mínimo. A Figura 25 traz o fluxograma com as etapas do mapeamento das áreas agrícolas.

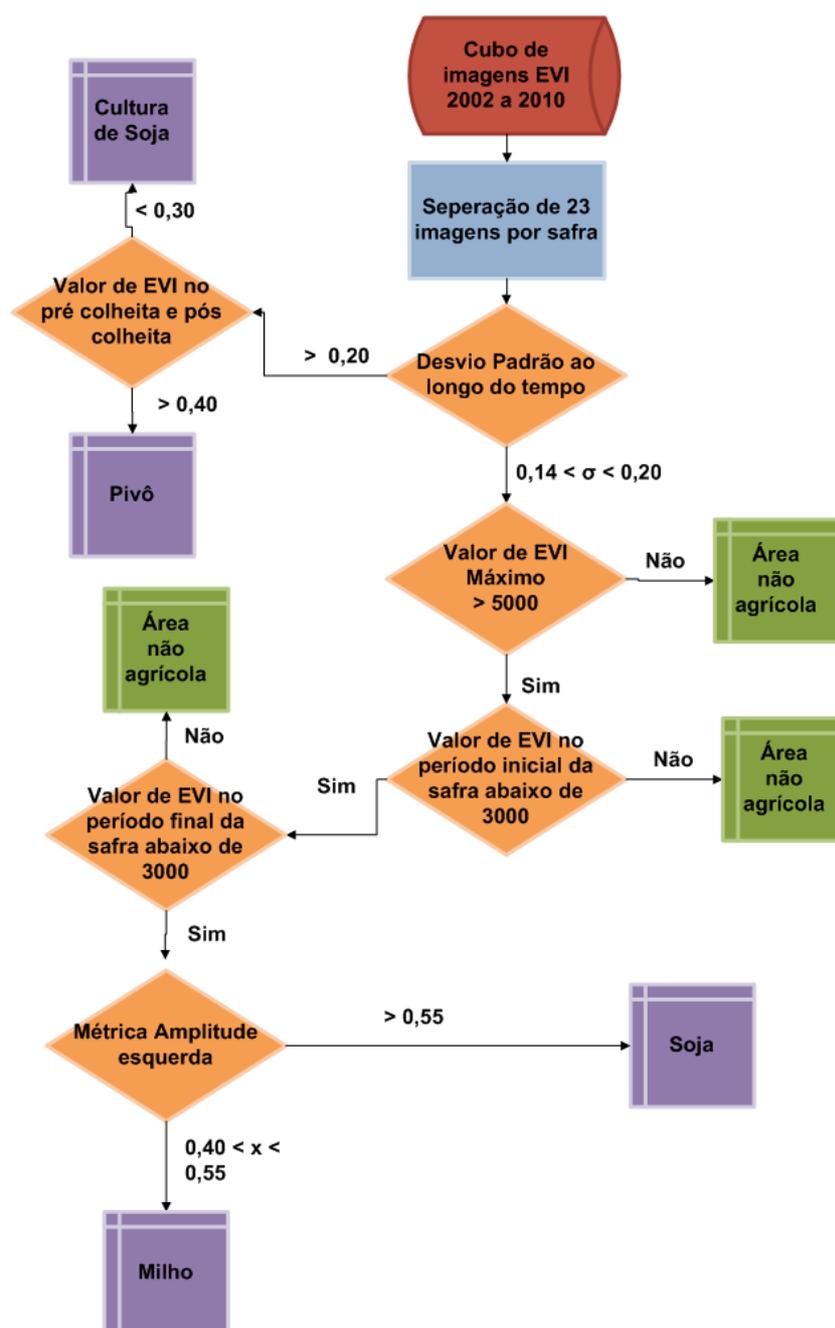


Figura 25 - Procedimentos para o mapeamento das áreas agrícolas.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(g)

O mapeamento das áreas agrícolas inicia-se com a divisão do empilhamento de 207 imagens em 9 cubos, sendo 23 em cada cubo, representando o ano analisado. Após a separação de imagens, é calculado o desvio padrão de cada pixel dos cubos separados.

O pixel com valor de desvio padrão acima de 0,20 é considerado como área cultivada por soja, pois conforme os dados coletados em campo, a média do desvio padrão da soja foi acima de 0,20. Se o pixel apresenta valor de desvio padrão entre 0,14 e 0,20, este é selecionado para outras análises, como verificação dos valores de EVI no período inicial e final da safra, valor máximo de EVI na série temporal e análise do período do florescimento pleno. Abaixo, uma melhor descrição destas regras de mapeamento.

- **Período inicial e final da safra:** Se o valor de EVI no período inicial e final for menor ou igual a 0,3, o pixel tende a ser uma área agrícola, pois em áreas ocupadas por floresta e algumas pastagens/cerrado, o período inicial e final possuem um valor de EVI acima de 0,3;
- **Valor Máximo da assinatura espectro temporal:** Se o valor máximo do pixel na série temporal for acima de 0,5, há a possibilidade do pixel ser uma área agrícola, pois o valor máximo médio das pastagens é menor ou igual a 0,5;

A Figura 26 mostra os parâmetros de entrada no mapeamento de áreas agrícolas.

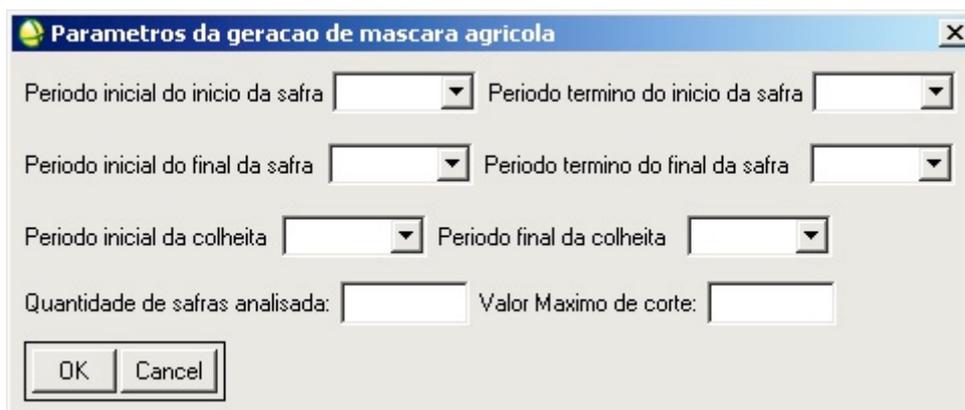


Figura 26 - Parâmetros da geração de máscara agrícola: (a) e (b) intervalo do período inicial da safra, (c) e (d) intervalo final da safra, (e) e (f) intervalo do período de EVI Máximo, (g) quantidade de safras e (h) o valor máximo de EVI para agricultura.

Depois de concluídas estas etapas (já descritas), o algoritmo busca o valor máximo corrigido de EVI, que consiste na média do máximo valor de EVI com o maior

valor de EVI dos pixels vizinhos. Tal procedimento é feito para simular os estágios do florescimento pleno, enchimento de grãos (no caso da soja) e o período do pendramento e florescimento/polinização para o milho mantendo assim um valor alto de EVI máximo. Para classificar as áreas de soja e milho, utilizou-se a amplitude esquerda, que é a subtração do valor máximo corrigido de EVI, com o valor de EVI que marca o início da atividade fotossintética da cultura (germinação). Para encontrar o valor de EVI caracterizado como germinação, foi desenvolvido um algoritmo que verifica um crescimento dos valores de EVI sobre 3 observações ao longo do tempo, sendo que uma dessas o valor de EVI tem um crescimento de 4000 (o equivalente a 0,4 numa escala de 0 a 1).

Após encontrar o valor de EVI caracterizado como germinação, é feita a subtração deste com o valor de EVI máximo ao longo do tempo; com isso, é definida a amplitude esquerda. Se o valor da amplitude esquerda for acima de 0,55, o pixel é classificado como soja, se o valor da amplitude for entre 0,40 e 0,55, o pixel é classificado como milho.

Para mapear áreas de agricultura irrigada (pivôs), verificaram-se os valores de EVI no início e final da safra. Se o valor de EVI for acima de 0,4 e o desvio padrão igual ou maior que 0,20, o pixel é considerado agricultura irrigada, pois áreas de agricultura irrigada possuem alta variação de valores de EVI, bem como altos valores de EVI no período da seca, no caso, no Estado de Goiás.

No mapeamento de áreas agrícolas, não houve preocupação de mapear a cultura do milho safrinha, pois o esse é pouco plantado na mesorregião do Centro Goiano. O cultivo de safrinha é predominante na mesorregião do sul Goiano, na maioria das vezes ocorrendo nos municípios de Rio Verde, Jataí, Mineiros, Serranópolis, Montividiu e Portelândia. Estes municípios possuem uma altitude média acima de 700 metros, com melhores condições para plantação da safrinha, em exclusividade o milho.

3.3.5 – Análises dos resultados

Após todos os processamentos das informações, foram analisados os tratamentos de ruídos das imagens, incluindo a aplicação da banda *pixel reliability*, a reconstituição das imagens após aplicação da banda *pixel reliability* (a partir da interpolação linear temporal) e as suavizações feitas nas imagens EVI após aplicação da interpolação linear temporal.

Com o tratamento das imagens EVI, foram extraídas e analisadas as curvas espectros-temporais das culturas estudadas nesta pesquisa (Soja e Milho), pastagens e vegetação nativa, com o intuito de caracterizar a sua fenologia, dando suporte na classificação das áreas agrícolas. Por fim, foi averiguada a qualidade do mapeamento por meio da exatidão global, com o suporte de imagens captadas pelos satélites SPOT e ALOS, com resolução espacial de 6 metros e 10 metros, respectivamente, além de pontos coletados em campo.

CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Resultados dos tratamentos das imagens EVI/MODIS

Os resultados da aplicação da banda *pixel reliability* e a interpolação linear temporal são mostrados na Figura 27, contendo um exemplo da imagem filtrada das nuvens (Figura 27 - a), seguida pela imagem filtrada pelo interpolador linear temporal (Figura 27- b). Já a Figura 28 mostra o perfil temporal do EVI filtrado pela banda *pixel reliability* e interpolada temporalmente.

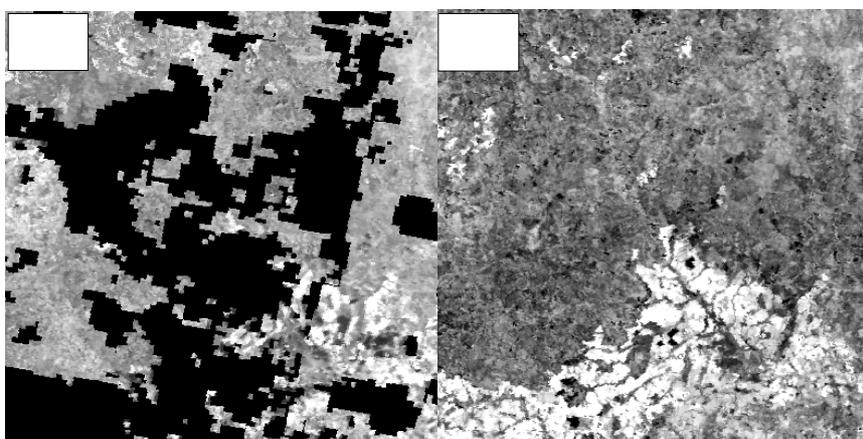


Figura 13 - (a) Imagem EVI com aplicação da imagem *pixel reliability* e (b) imagem EVI interpolada ao longo do tempo.

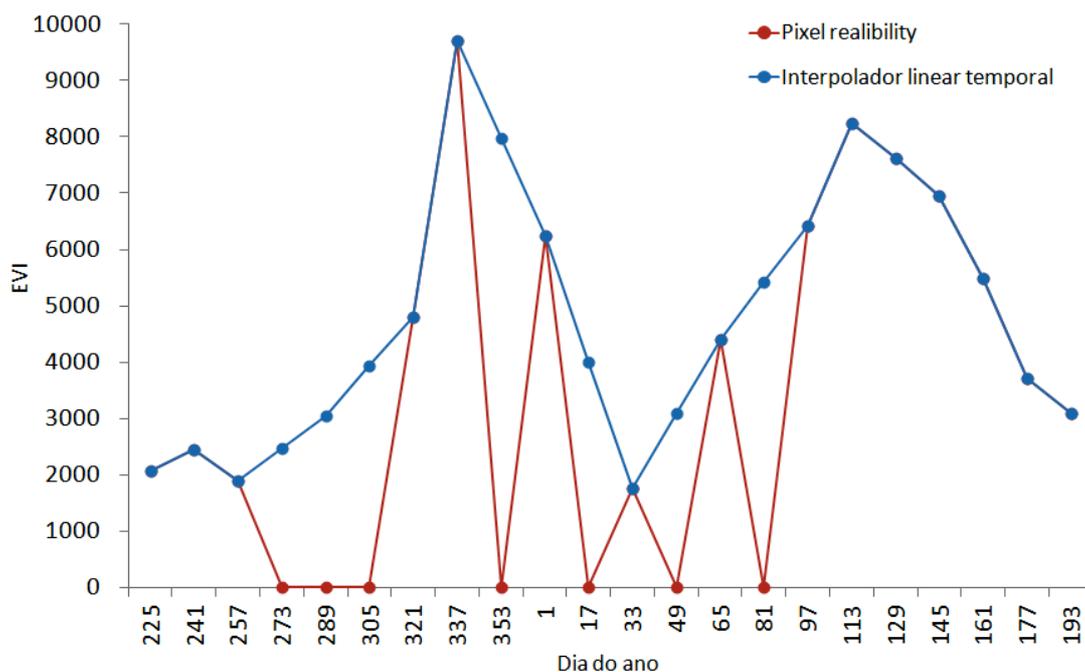


Figura 28 - Perfil temporal da imagem EVI pela banda *pixel reliability* e do interpolador linear temporal.

A utilização da banda *pixel reliability* com o valor de pixel 0 e 1 ocasionou muitos buracos na imagem EVI, pois o mês da aquisição da imagem apresentado na Figura 27(a) foi da composição do dia 19 de dezembro, marcado pelo período de chuvas no Estado de Goiás. Na Figura 27(b) pode-se observar uma boa reconstituição dos pixels que estavam ausentes; além disso, há uma homogeneidade dos pixels estimados pelo interpolador com os pixels mantidos após a filtragem das imagens EVI.

O resultado da interpolação linear temporal pode ser visto na Figura 28, por meio do perfil espectro-temporal. Os dias (calendário Juliano) 273, 289, 305, 353, 17, 49 e 81 estão com valores nulos, pois os pixels sofreram interferência atmosférica decorrente da presença de nuvens; este problema é solucionado com a interpolação linear temporal, obtendo-se uma curva “pré-suavizada”, a ser utilizada no estudo da fenologia e extração de métricas fenológicas. A Figura 29 mostra o perfil suavizado pelo algoritmo *RemoveNoise.pro* de um pixel que passou pela interpolação linear temporal, onde cada pixel tem o valor da banda *pixel reliability*.

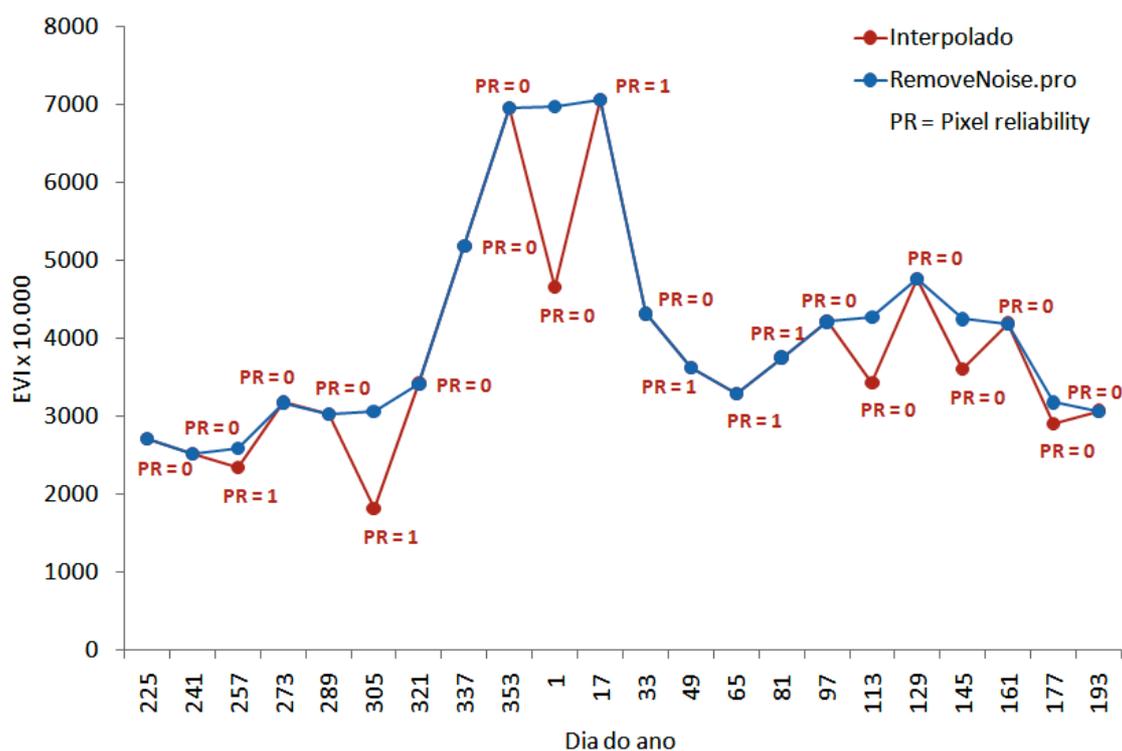


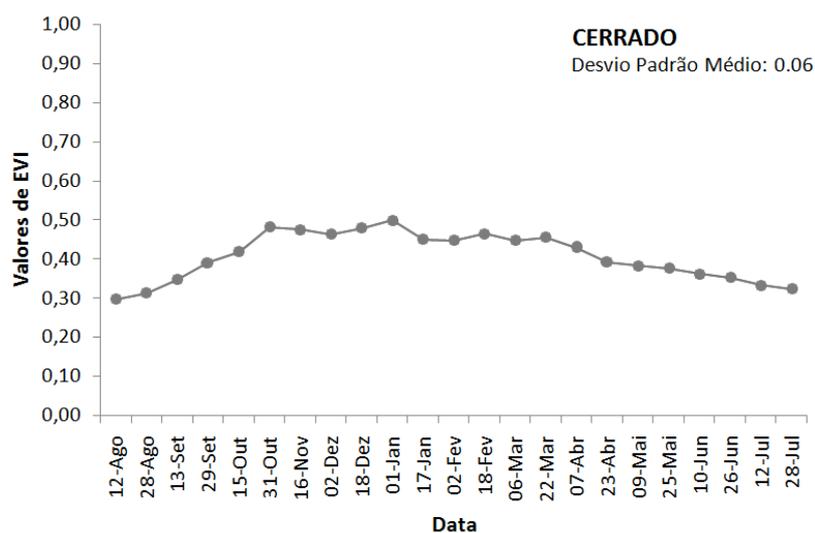
Figura 29 – Perfil da atuação do algoritmo *RemoveNoise.pro*.

Ainda com base nesta Figura (29), nota-se a necessidade para suavizar as imagens EVI, conforme utilização do valor 1 da banda *pixel reliability*, considerado um valor marginal (regular); mas observou-se que os valores considerados de confiança (0) se devem aos ruídos nos dias 1, 113 e 145. Pode-se observar que, entre os dias 33 e 97,

os valores se mantêm, fazendo com que prevaleça a originalidade da informação, pois o modelo original proposto do WARDLOW et al (2006), ao chegar no dia 65, seria substituído pelo menor valor entre o dia 49 e 81. O modelo presente neste trabalho fez com que apenas os ruídos abruptos (grande diferença de valores entre o valor observado e sua vizinhança) fossem corrigidos, evitando-se distorções (muitas informações estimadas) e omissão de características fenológicas no mapeamento agrícola, como por exemplo, o período do crescimento do vigor vegetal (germinação). Os ruídos também causam variação do desvio padrão no pixel ao longo do tempo, pois o desvio padrão analisa a variabilidade de um conjunto de valores à volta da média. Assim, além de melhorar a identificação de métricas fenológicas, a suavização melhora o desempenho e mostra com mais harmonia a variabilidade da resposta-espectro temporal do alvo, não ocorrendo erro de inclusão.

4.1 – Assinaturas espectro-temporal

Após os processamentos de remoção dos ruídos das imagens EVI – MODIS foram geradas assinaturas espectro-temporais das classes de uso da terra, como *Cerrado(Campo Sujo)*, *Pastagem*, *Floresta* e *Áreas agrícolas* (representada pela cultura da soja), conforme ilustrada na Figura 30.



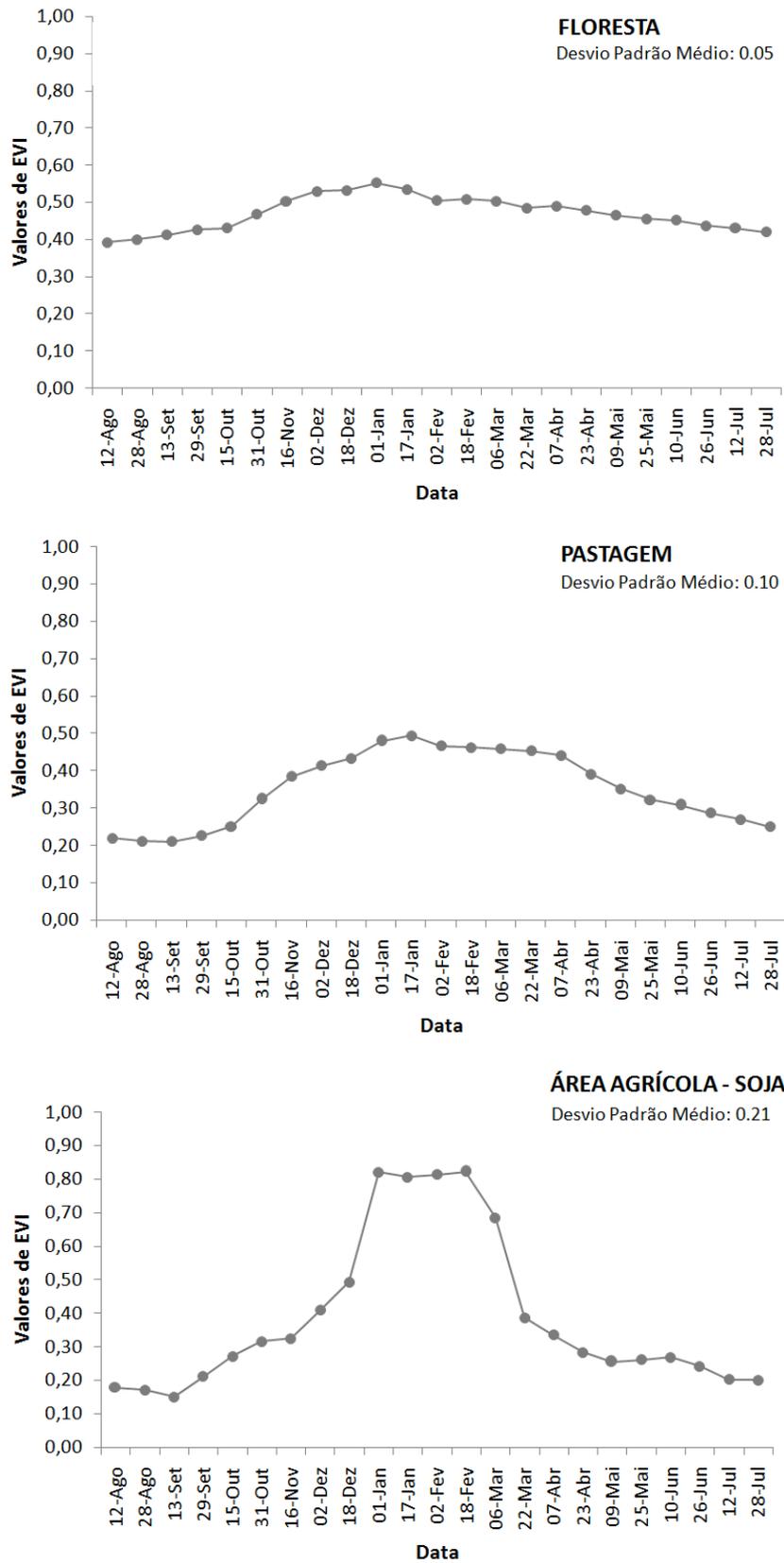


Figura 30 - Assinaturas espectro-temporais das classes de uso da terra. 30(a) Cerrado, 30(b) Pastagem, 30(c) Floresta e 30(d) Área agrícola (Soja).

Entender as assinaturas espectros-temporais das classes de uso e cobertura da terra tem um papel importante, assim como as assinaturas espectrais, pois as análises temporais têm o mesmo princípio da assinatura espectral, que é o de se verificar quais regiões ao longo do tempo se diferenciam melhor a agricultura das outras classes de uso da terra.

Ao analisar as respostas espectro-temporal, verificou-se que todas as classes têm o ápice de EVI entre os meses de dezembro e janeiro, marcados com períodos chuvosos, e onde os alvos apresentam maior capacidade fotossintética. Outra análise feita foi para o comportamento desses objetos ao longo do tempo, com ajuda do desvio padrão para diferenciação das classes de uso da terra. Nota-se que os alvos classificados como *Florestas* obtiveram um desvio padrão médio de 0,05, pois não há muita variação natural desta classe ao longo do tempo, tornando-se “padrão”. Seus altos valores de EVI de 0,4 a 0,6 são devido à densidade da área de cobertura vegetal e o seu verdor (qualidade de verde).

As classes *Cerrado (Campo Sujo)* e *Pastagem* possuem uma tendência de resposta espectro-temporal semelhantes, mas com desvio padrão médio diferente, de 0,05 e 0,10. Isso ocorre devido à maior interferência da resposta do solo nas pastagens em época de seca (maio a setembro), com menor cobertura vegetal que o *Cerrado* e, conseqüentemente, com valores de EVI também menores, variando entre 0,2 e 0,25, enquanto o *Cerrado* permanece com EVI acima de 0,3.

Analisando a classe *Área agrícola*, verificou-se que sua resposta espectro-temporal é bem diferente das outras classes. A primeira observação é o seu valor máximo de EVI, próximo de 0,8 para a cultura de soja, enquanto para as outras classes a variação foi de 0,5 a 0,6.

Outra análise feita foi a observação dos baixos valores de EVI de agosto ao final de setembro, e de maio a julho, meses considerados do pré-plantio e pós-colheita das culturas. Nota-se que o valor de EVI foi abaixo de 0,2, enquanto as outras classes foram acima de 0,2 de EVI. A partir de mês de outubro, há um crescimento dos valores de EVI caracterizado como o período de germinação (período inicial do crescimento vegetal) até o mês janeiro, período do pico vegetal, e depois da segunda quinzena de janeiro, quando os valores vão decrescendo, pelo motivo da colheita da cultura. Algumas áreas possuem culturas com o pico no final de dezembro, já que culturas precoces e no mesmo lugar serão feitas na safrinha, em Goiás, plantado milho.

4.2 – Métricas fenológicas e geração das máscaras agrícolas

4.2.1 – Métricas fenológicas

As Figuras 31 e 32 informam as métricas fenológicas empregadas no mapeamento das culturas na área de estudo, sendo elas Composição Máximo e Mínimo (EVI Máximo e EVI Mínimo) e etapa da germinação (Amplitude esquerda).

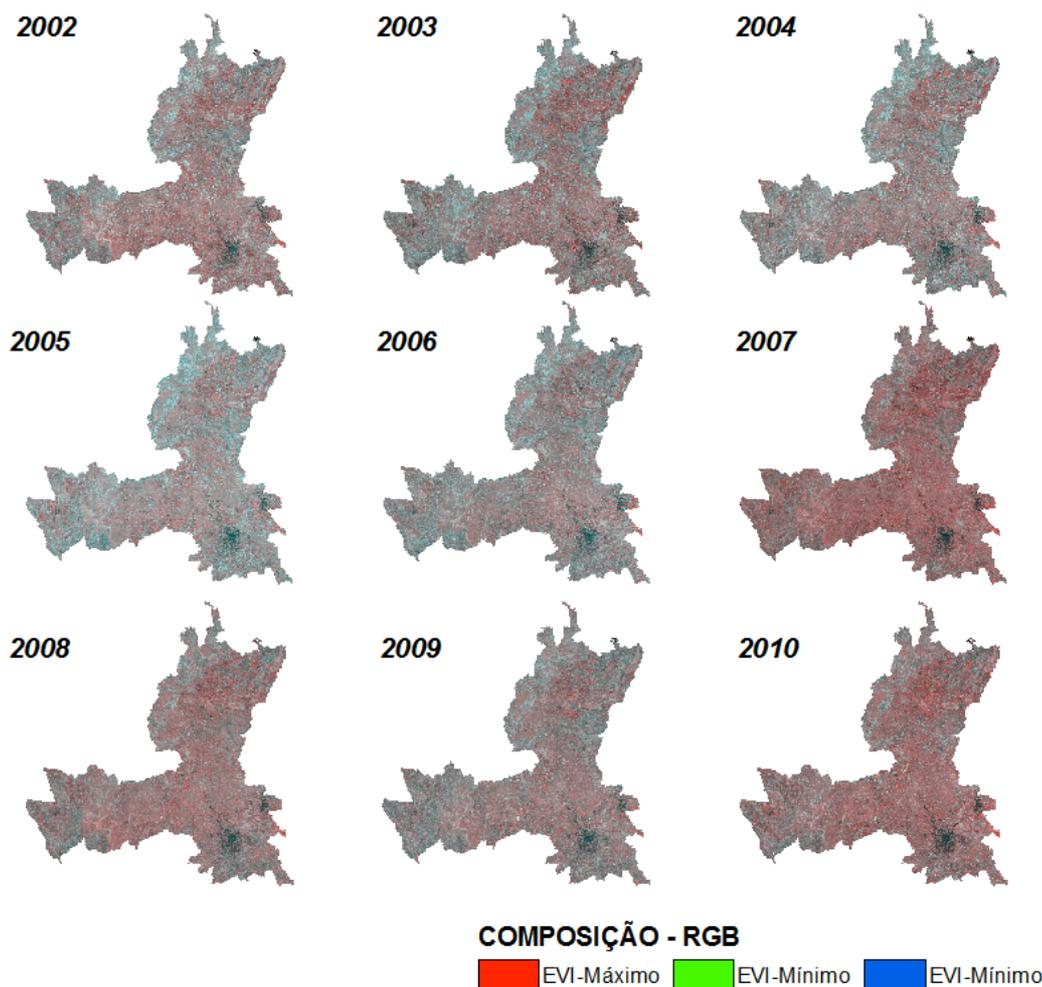


Figura 31 - Composições Máximas e Mínimas de EVI entre os anos de 2002 e 2010, onde a cor vermelho representa área agrícola

A composição RGB das imagens de EVI máximo e mínimo serve como apoio na identificação de áreas agrícolas. Neste método, a imagem de EVI máximo é inserida no canal do vermelho na composição colorida e a imagem mínima é inserida no canal do verde e vermelho. As regiões da composição com tonalidade avermelhada representam diferença de grandes amplitudes, enquanto as regiões que tendem para o ciano possuem baixas diferenças de amplitude.

Por meio da Figura 31 pode-se perceber que houve mudanças na paisagem da região, pois a imagem de 2002 possui mais áreas em tonalidade do ciano do que áreas com tons de vermelho, quando comparando com a imagem do ano de 2010. Nota-sena porção mais oeste do Centro Goiano, em 2002, áreas com cores em ciano devido à baixa amplitude entre os valores máximos, podendo ser regiões caracterizadas por matas e fitofisionomias do bioma cerrado. Já na mesma porção em 2010, as áreas vão tendenciando mais para o vermelho, por causa da alta amplitude entre os valores máximos e mínimos de EVI ao longo do ano. Essas áreas vão se convergindo para agricultura ou pastagem.

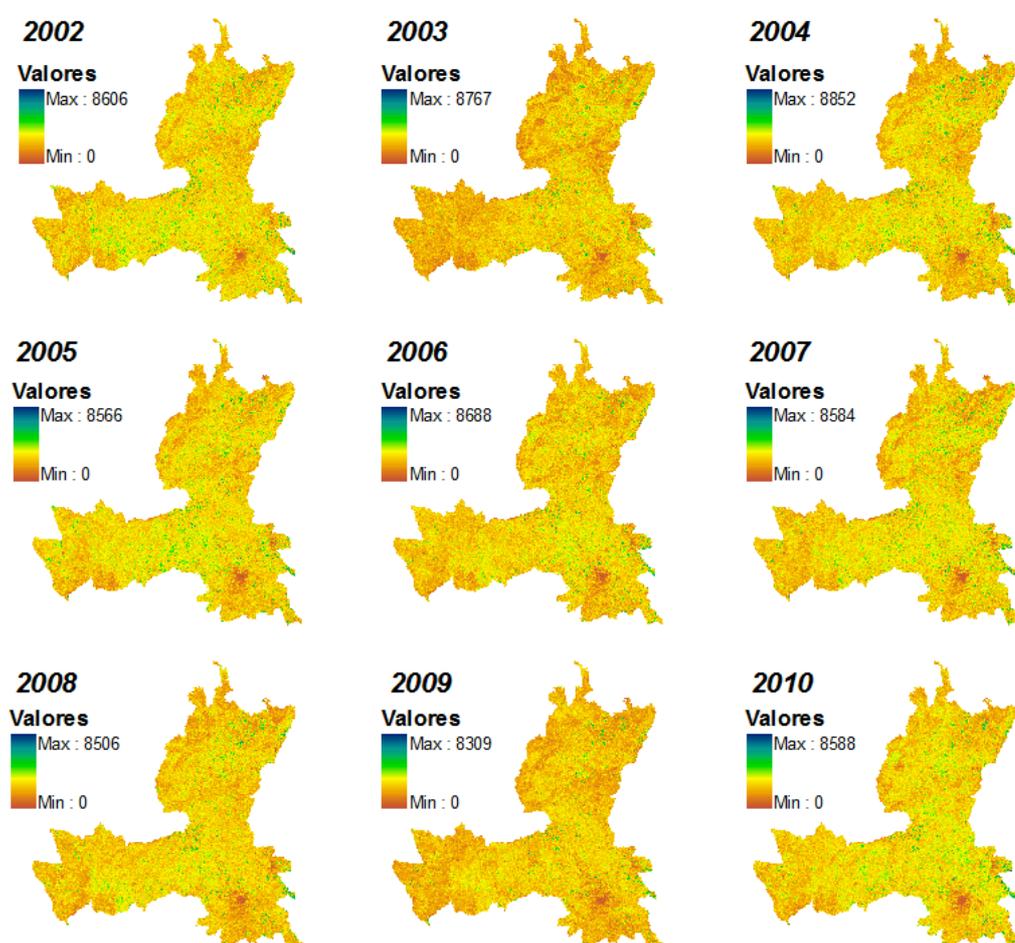


Figura 32 - Métrica de amplitude esquerda entre os anos de 2002 e 2010, onde a cor verde representa áreas agrícolas

Na Figura 32 aborda-se a amplitude esquerda, a qual, como já mencionado na metodologia, representa a diferença entre o início do crescimento vegetativo, com o valor do EVI máximo corrigido ao longo do tempo. É possível perceber que essa

métrica realça bem as áreas com grandes amplitudes, por exemplo, áreas agrícolas (que estão em verde), e áreas caracterizadas por regiões de pastagens (em amarelo).

As Figuras 33 e 34 informam a frequência da posição dos pontos coletados em campo na ocorrência de valores de EVI Máximo e Mínimo.

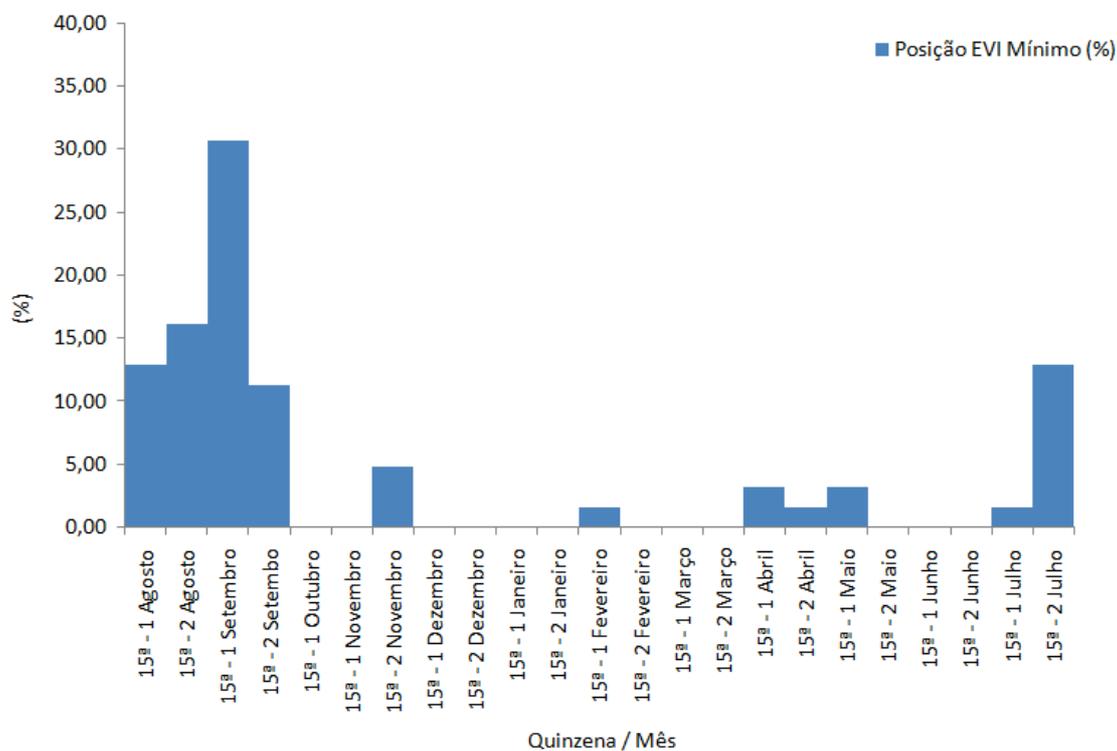


Figura 33 - Posição de ocorrência dos pontos *in loco* no valor de EVI Mínimo.

De acordo com as informações contidas na Figura 33, observa-se que a frequência de EVI Mínimo está entre a primeira quinzena de agosto e a primeira quinzena de novembro, devido à preparação do solo que antecede o período de cultivo do milho e da soja. No Estado de Goiás, o período de plantio da soja e do milho, de acordo com LSPA (2012), ocorre entre os meses de setembro a dezembro do ano da safra.

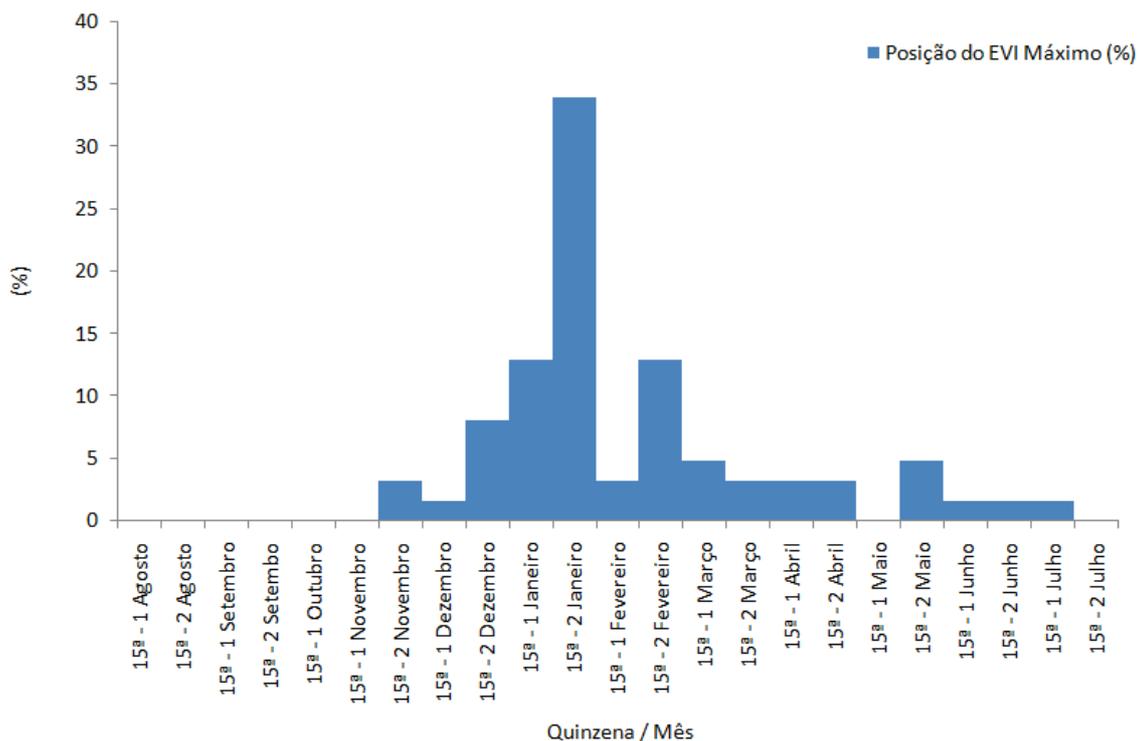


Figura 34 - Posição de ocorrência dos pontos *in loco* no valor de EVI Máximo.

Na Figura 34, a maior frequência de EVI Máximo é entre a segunda quinzena de dezembro e a primeira quinzena de março (acima de 75% de toda a ocorrência), devido ao período de colheita, que vai de janeiro a abril do ano safra (LSPA, 2012). Outra informação relevante é a de que há ocorrência de EVI Máximo (Figura 34) e EVI Mínimo (Figura 33) em todas as quinzenas com pouca frequência; isso é ocasionado pela agricultura irrigada (pivôs), que garante plantio e colheita o ano todo.

4.3 – Geração e avaliação estatística das máscaras agrícolas de soja e milho

A Figura 35 mostra uma área cultivada com soja no município de Bela Vista de Goiás, gerada a partir do algoritmo desenvolvido nesta pesquisa, com base nos dados EVI do sensor MODIS, na safra 2009/2010, utilizando métodos estatísticos e métricas fenológicas da vegetação.



Figura 145 - Exemplo de área agrícola (polígono vermelho) identificado para a safra 2009/2010, sobre imagem do LANDSAT 5 de agosto de 2009 (a esquerda) e janeiro de 2010 (a direita).

Por meio da imagem do LANDSAT 5, nota-se que a área de soja (Figura 35) foi bem identificada pelo método utilizado neste trabalho. Áreas que eram soja e não foram delimitadas pelo método se devem à mistura espectral no pixel e à resolução espacial do MODIS; tal fato altera a resposta do pixel ao longo do tempo, acarretando num valor de desvio padrão e métrica fenológica diferentes daqueles atribuídos a soja e ao milho.

As Figuras 36 e 37 mostram áreas mapeadas por soja, a partir do método proposto nesta pesquisa, próxima às áreas mapeadas com cana pelo projeto CANASAT, ambos em 2010/2011.

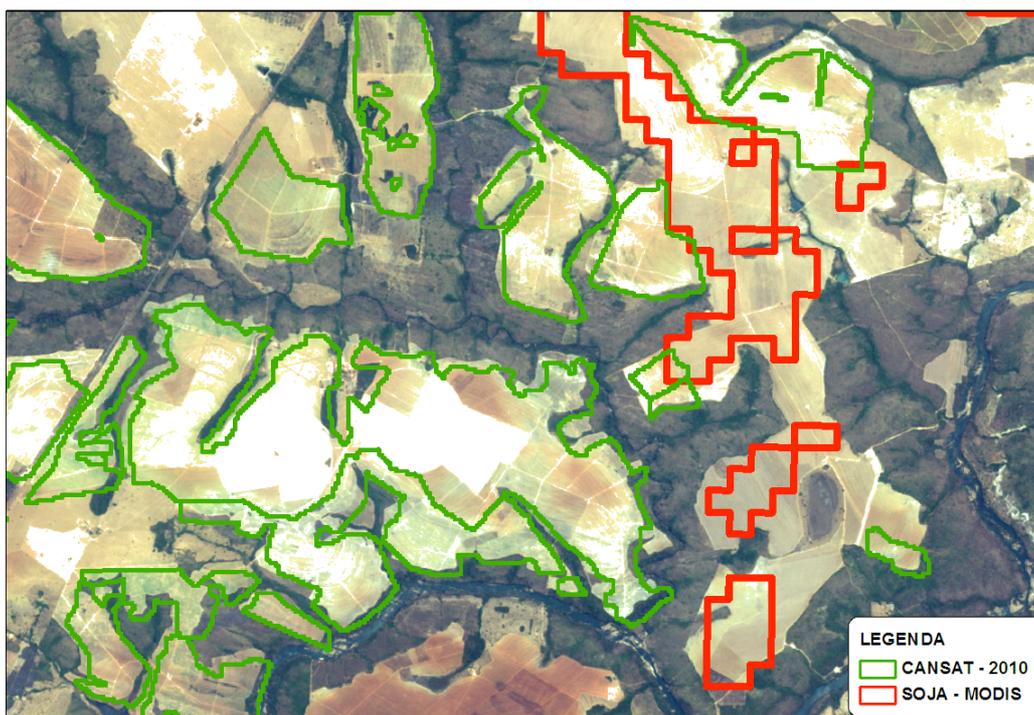


Figura 156 - Exemplos de máscaras de soja (vermelho) da safra 2010/2011 próxima aos plantios de cana (verde) mapeados pelo projeto CANASAT, também em 2010/2011.

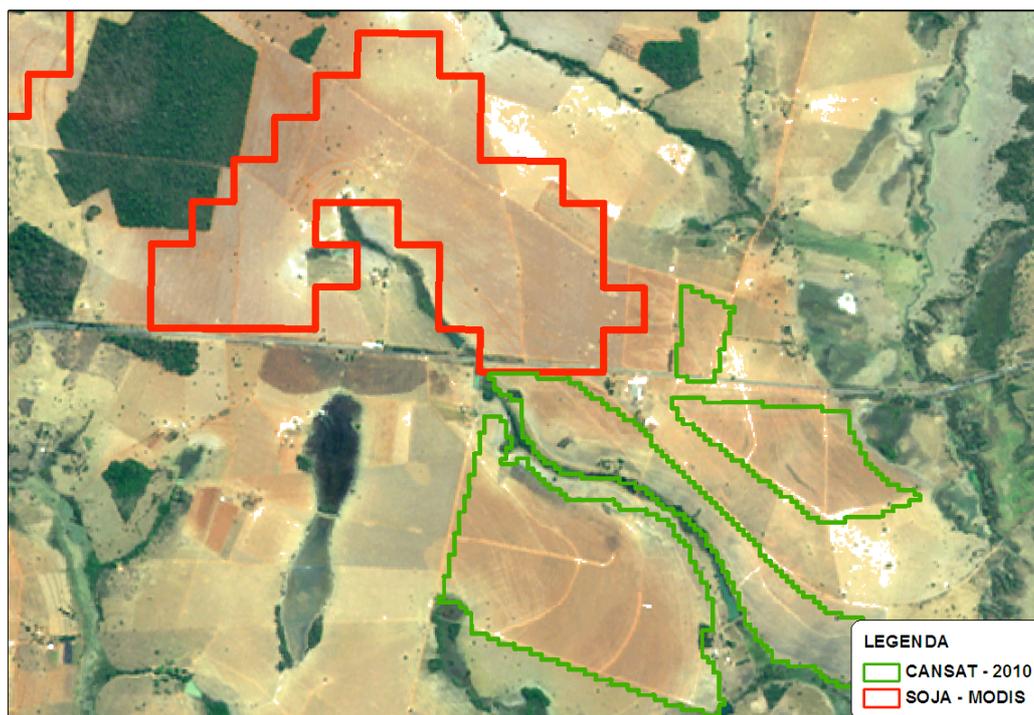


Figura 37 - Exemplos de máscaras de soja (vermelho) da safra 2010/2011 próxima aos plantios de cana (verde) mapeados pelo projeto CANASAT, também em 2010/2011.

Verificou-se que o mapeamento da cana pelo projeto CANASAT (INPE), feito pelo método de inspeção visual (LANDSAT 5 e 8), não sobrepôs às áreas de soja

mapeadas automaticamente pelo o método proposto neste trabalho. Levando-se em consideração as diferentes resoluções espaciais, o MODIS possui um pixel de aproximadamente 64 vezes maior que ao do LANDSAT, com o qual se obteve uma boa precisão visual de mapeamento.

As Figuras 38, 39, 40, 41, 42, 43 ilustram uma análise comparativa entre as áreas de plantio indicadas pelo IBGE com os dados obtidos nesta pesquisa (providos pelo sensor MODIS), por meio de análises de correlação (R^2) para as áreas plantadas de soja e milho (primeira safra) na área de estudo no Centro Goiano. As Tabelas 9 e 10 informam os dados estatísticos de concordância, erro médio quadrático e os coeficientes de correlação e determinação dos dados obtidos nesta pesquisa com os dados oficiais (IBGE).

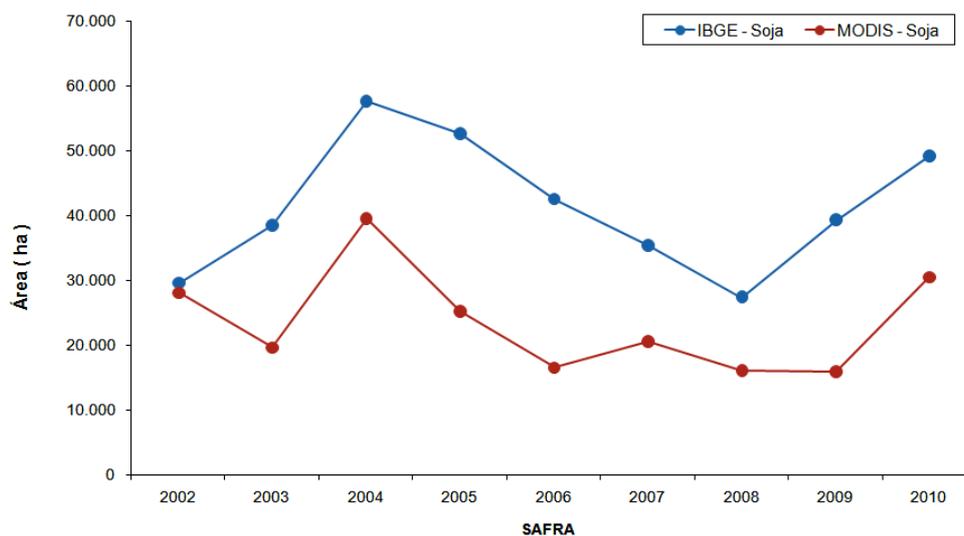


Figura 38 - Comparativo de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE..

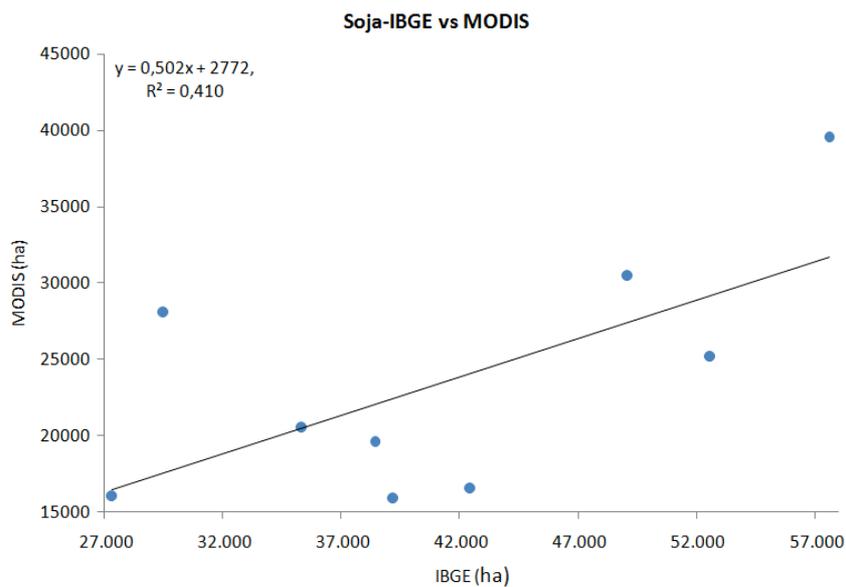


Figura 39 – Coeficiente de determinação de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE..

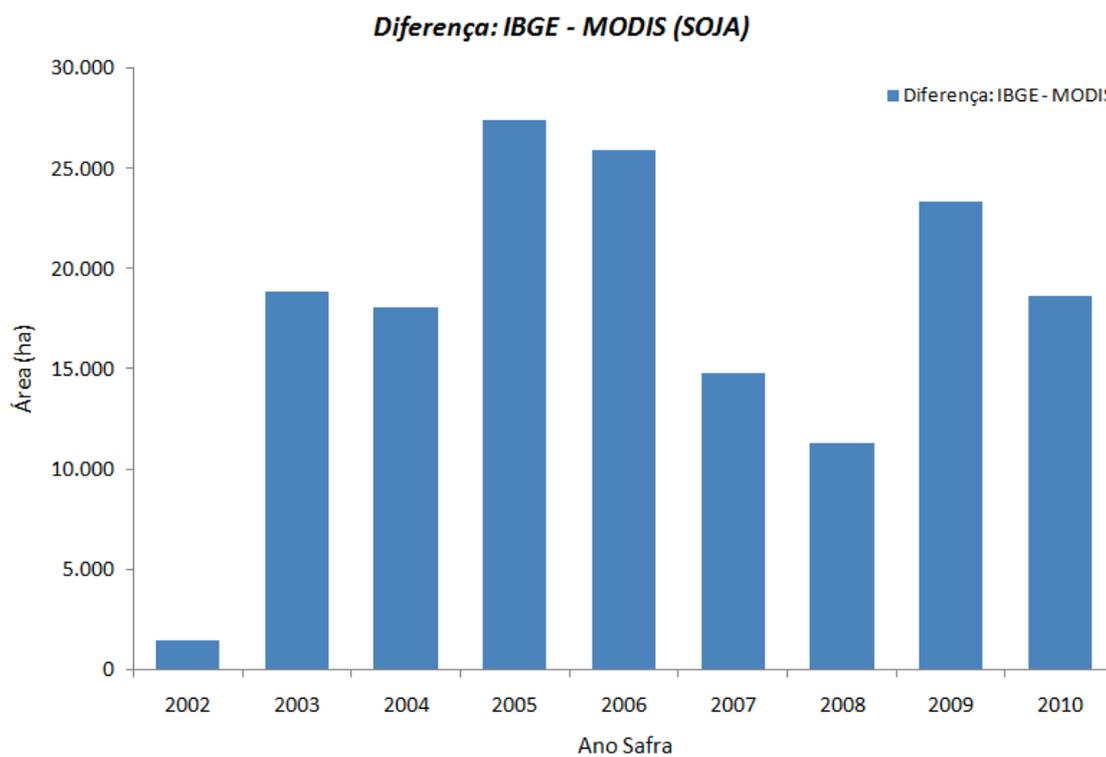


Figura 40 - Diferença de áreas plantadas com soja obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE

Tabela 9 – Análise de erros no mapeamento da cultura da soja pelo método desta pesquisa, em comparação com dados do IBGE.

Análises de erros - SOJA	
<i>Erro-Médio</i>	17758,40
<i>Erro-Médio Quadrático - RMSE</i>	53275,20
<i>Coef. Concordancia Willmott - d</i>	0,33
<i>Coeficiente de determinação - R²</i>	0,41
<i>Coeficiente de correlação - r</i>	0,64

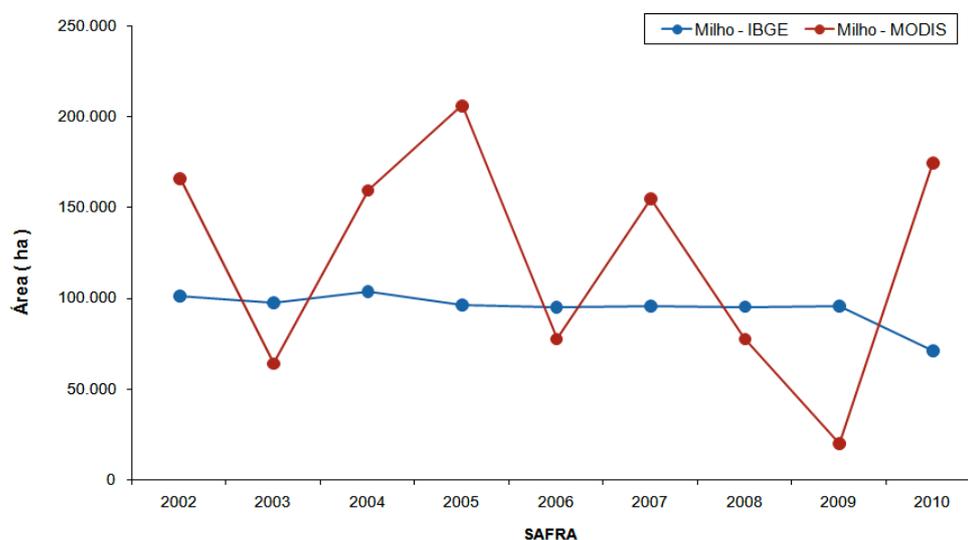


Figura 41 - Comparativo de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE..

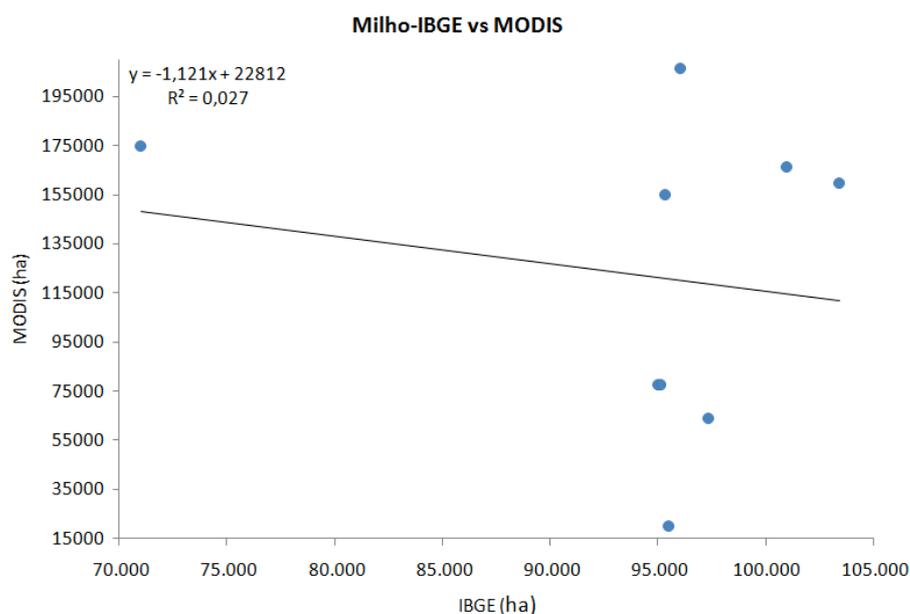


Figura 42 – Coeficiente de determinação de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) com dados do IBGE.

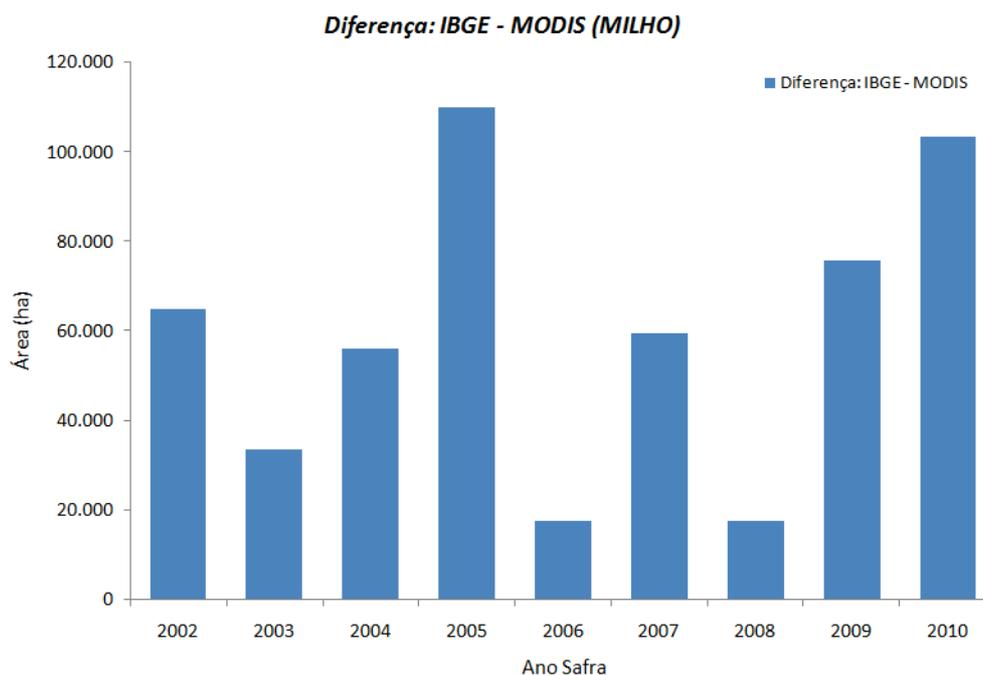


Figura 43 – Diferença de áreas plantadas com milho obtidas pelo método desta pesquisa (com MODIS) e dados do IBGE

Tabela 10 – Análise de erros no mapeamento da cultura do milho pelo método desta pesquisa, em comparação com dados do IBGE.

Analises de erros - MILHO	
<i>Erro-Médio</i>	-27730,43
<i>Erro-Médio Quadrático - RMSE</i>	83191,28
<i>Coef. Concordancia Willmott - d</i>	-0,03
<i>Coeficiente de determinação - R²</i>	0,03
<i>Coeficiente de correlação - r</i>	-0,16

Um dos fatores limitantes encontrados no mapeamento com o sensor MODIS é a sua resolução espacial. Por seu pixel ser maior do que algumas áreas agrícolas da mesorregião do Centro Goiano, muitas áreas são omitidas, principalmente na cultura do milho. O milho primeiro safra na área de estudo é plantando na maioria das vezes propriedades pequenas propriedades sendo que na segunda safra (safrinha) não ocorre na região de estudo.

Pelo mapeamento, percebe-se que as plantações de soja mantiveram uma tendência com a área estimada pelo IBGE, com uma diferença média de 17.758 (ha) no período em estudo. A título de comparação, no trabalho de SILVA et al. (2009), empregando o uso de dados semelhante a esta pesquisa apenas no ano de 2009, foi

encontrada uma diferença média de 11.375 (ha) para os dados do IBGE, nos municípios de Silvânia, Luziânia, Cristalina e Brasília, sendo que os primeiros são municípios de grandes propriedades agrícolas. Vale destacar que, a mesorregião do Centro Goiano possui, em geral, pequenas propriedades agrícolas, o que contribui para a maior diferença apresentada na Figura 40.

De acordo como as análises das estatísticas de erros, as áreas mapeadas de soja pelo MODIS tiveram um grau de correlação (Coeficiente de Correlação de Person) moderada, de 0,64, um coeficiente de determinação (r-quadrado) de 0,41, e um coeficiente de concordância (Willmott) de 0,33.

Quanto às áreas mapeadas com cultura de milho, verificou-se uma oscilação expressiva em relação às áreas mapeadas pelo IBGE (Figura 41). Isto se deve ao fato da presença de pastagens com altas amplitudes (máximo EVI), coincidentes com a cultura do milho.

Verificando as estatísticas de mapeamento das áreas mapeadas pelo MODIS com a área estimada pelo IBGE, os coeficientes foram ruins sendo que o coeficiente correlação foi de -0,16 e de concordância (Willmott) foi de -0,03. Comprovando que o mapeamento o método proposto não teve um padrão correlação e seguindo uma tendência com as áreas do IBGE.

Em relação às análises da precisão do mapeamento, através da Exatidão Global, a soja mapeada pelo MODIS teve um valor de 78% de exatidão (50 pontos de amostrai), enquanto o milho teve um valor abaixo 45% (50 pontos amostrais). Especificamente quanto ao milho, como já comentado, esta exatidão global foi reduzida devido à confusão com áreas de pastagens, uma classe de uso predominante sobre o milho na mesorregião do Centro Goiano.

4.4 - Aplicação do Método para o Estado de Goiás

No intuito de verificar a qualidade do método em escala menores (grandes áreas) foi selecionado todo o Estado de Goiás sendo apenas mapeado áreas de soja, pois o resultado da soja foi melhor que o cultivo do milho. Na Tabela 11 mostra a estatística de comparação das áreas mapeadas pelo método desenvolvido nesta pesquisa com os dados oficiais.

Tabela 11 – Comparativo do mapeamento feito pelo sensor MODIS com os dados do IBGE.

ÁREA PLANTADA			
SOJA	2010	2011	2012
IBGE	2.445.600	2.560.508	2.669.894
MODIS	2.233.730	2.010.100	1.701.469
ESTATÍSTICA			
MÉDIA	2.339.665	2.285.304	2.185.682
DESVIO PADRÃO	105.935	275.204	484.213
CV	0,05	0,12	0,22

*CV = coeficiente de variação
Área plantada em hectare

Nota-se que o coeficiente de variação entre as áreas chega até 22 %, sendo que 78% do mapeamento coincide com a área estimada pelo IBGE. Isto mostra que quando maior a área, o erro das pequenas áreas diluem no total da área mapeada. A Figura 44 mostra as áreas mapeadas de soja no Estado de Goiás na safra 2010.

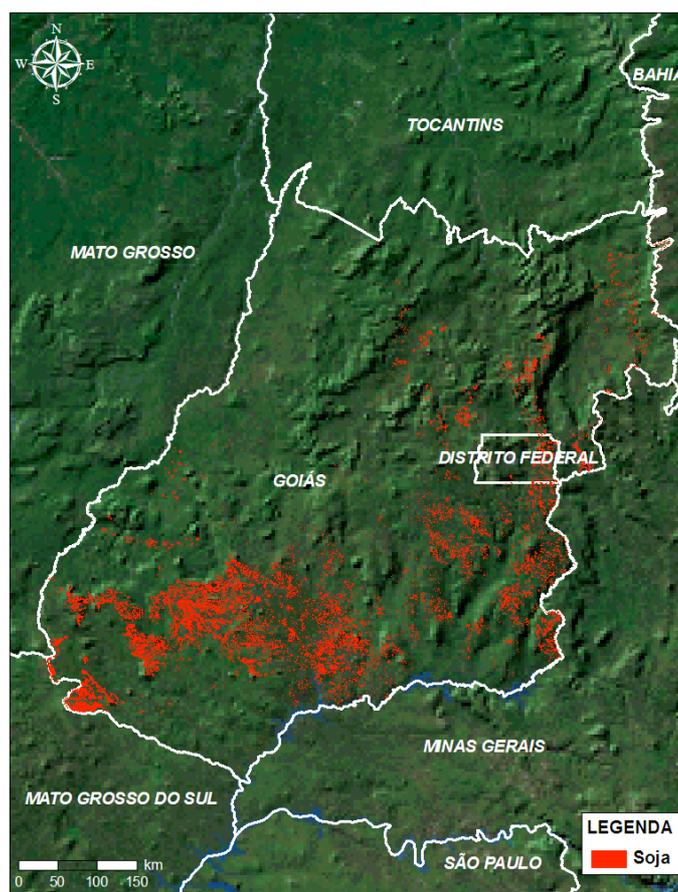


Figura 44 – Áreas de soja mapeadas na safra 2010

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de mapeamento automatizado discutido nesta pesquisa, empregando séries temporais de EVI do sensor MODIS, apresentou resultados bastante satisfatórios para áreas com grandes plantios, como observado no cultivo de soja na área de estudo, tanto em termos de desenvolvimento de uma rotina computacional, quanto do mapeamento em si. Recomenda-se essa técnica em regiões com áreas representativas com monoculturas de soja ou milho, como por exemplo, no sul goiano, ou em outros estados do Cerrado com esta tradição agrícola.

Em tese, o método desenvolvido nesta pesquisa pode ser aplicado em qualquer série temporal de imagens de satélite, mas sobretudo com dados do MODIS (250 metros de resolução espacial, em *compositings* gerados a cada 16 dias, com menor presença de nuvens). Se a imagem tiver uma maior resolução espacial, será possível extrair informações de áreas agrícolas menores que 6 hectares (referente à área de um pixel MODIS). No entanto, ainda se faz necessário um estudo complementar para se atribuir valores de pixels associados ao período do ciclo vegetativo de culturas agrícolas observadas com outros sensores orbitais.

De acordo com a pesquisa, o melhor cultivo para identificação por meio das imagens do sensor MODIS foi a soja, pois a áreas de plantação desta cultura são feitas em propriedades maiores em que o milho é plantado. A soja teve uma exatidão de global de 78 % em relação aos pontos coletados em campo (50 pontos amostrais) e um coeficiente de correlação de 0,64 comparado com dados oficiais, o IBGE. Além disso, o mapeamento da soja obtido por esta pesquisa manteve uma tendência (Figura 38) em relação aos obtidos em campo pelo órgão oficial responsável (IBGE).

Numa perspectiva de continuidade deste estudo, recomenda-se a utilização de sensores com médio-alta resolução espacial, como 30 metros (LANDSAT 8), 20 metros (CBERS 4) ou 5 metros (RapidEye). No entanto, ao se ganhar em resolução espacial, perde-se em resolução temporal; com isto, um dos problemas enfrentados por estes sensores é a sua periodicidade, em geral com uma revisita a cada 16 dias.. Durante o período de revisita do LANDSAT-8, por exemplo, é possível que a imagem venha com muitas nuvens, não sendo possível uma filtragem realizada com os dados do MODIS.

Atualmente, alguns projetos de observação orbital propõem uma compensação ao longo tempo para uma revisita do sensor. Um destes projetos, de origem Europeia (ESA), é o Sentinel, com o objetivo de, através de 5 plataformas orbitais, propiciar um

mapeamento do uso da terra mais dinâmico e preciso. O primeiro satélite da série (Sentinel-1, com sensor Radar) já se encontra em órbita terrestre desde 2013. O segundo desta série, o Sentinel-2, terá a bordo sensor multiespectral, com 13 bandas espectrais e uma revisita a cada 5 dias, com uma resolução espacial de 10 metros, suprimindo as demandas de mapeamento de cultivos de larga e pequena escala (ASCHBACHER et al., 2012; mais informações em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>).

Outro projeto que surge para dar continuidade ao Programa de pesquisa do MODIS é o Suomi NPP - VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), sob coordenação da NASA, com características semelhantes ao MODIS em termos de resolução espacial, radiométrica e temporal (mais informações em: <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html>).

Por fim, espera-se que esta pesquisa possa ser aplicada para outras áreas de Cerrado, incluindo outras culturas ou classes de uso do solo no mapeamento. Naturalmente, adaptações serão necessárias ao algoritmo aqui avaliado, a partir da inserção de novas bibliotecas espectro-temporais/respostas fenológicas de outros cultivos, cujas variações climáticas trazem mudanças também no calendário agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, Klaus de Oliveira; CASTRO, Selma Simões de. *Dinâmica De Uso Do Solo Da Expansão Sucroalcooleira Na Microrregião Meia Ponte, Estado De Goiás, Brasil*. Revista Brasileira de Cartografia, n. 62/4, 2011.

ADAMI, Marcos. *Estimativa De Áreas Agrícolas Por Meio De Técnicas De Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento E Amostragem*. 181f. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

ASCHBACHER, Josef; MILAGRO-PÉREZ, Maria Pilar. *The European Earth Monitoring (GMES) Programme: Status And Perspectives*. Remote Sensing of Environment, v. 120, p. 3-8, 2012.

BERTRAN, P. *Uma Introdução À História Econômica Do Centro-Oeste Do Brasil*. Brasília: CODEPLAN, Goiânia: UCG, 148p, 1988.

BROCKWELL, P.; DAVIS, R. *Time Series: Theory and Methods*. 2ª Edição. ed. Nova Iorque: Springer, 2006. 577 p.

BORGES, B. G. *A expansão da fronteira agrícola em Goiás*. In: História Revista: Revista do departamento de História. 1ºed. Goiânia: Editora UFG, 1996.

CAMARGO, A.P; PINTO, H.S; PEDRO JÚNIOR, M. J.;BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; ORTOLANI, A.A.*Aptidão Climática De Culturas Agrícolas*. In: VERDADE, F.C. (Coord.). Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, v.1, p.109, 1974.

CARRIJO, Ed Licys de Oliveira. *A Expansão Da Fronteira Agrícola No Estado De Goiás: Setor Sucroalcooleiro*. 99 f. Dissertação de mestrado – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2008.

CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; SILVA, Nilton Correa da; CARVALHO, Ana Paula Ferreira de; COUTO JÚNIOR, Antônio Felipe; SILVA, Cristiano Rosa; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. *Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising modis temporal signatures*. Revista Brasileira de Geofísica, v. 30, n. 2, 2012.

CASTRO, Selma Simões de; ABDALA, Klaus; SILVA, Adriana Aparecida; BÔRGES, Vonedirce Maria Santos. *A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo*. Boletim Goiano de Geografia, v.30, n.1, 2010.

CRISPIM, J.E. *Manejo Correto Da Cana É Essencial Para Alta Produtividade*. Rev. Campo & Negócios, Uberlândia-MG, Ano IV, n.37, p.16-18, março 2006.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira: cana-de-açúcar*. Brasília, 2010.

____. *Levantamentos de Safras*. Brasília, 2014. Disponível: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso: 10/09/2014.

COUTO JUNIOR, Antônio Felipe. *Séries temporais do senso MODIS utilizadas para a avaliação da cobertura da terra da ecorregião do Chapadão do São Francisco*. 2012. ix, 114 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. *Taxonomy End Evolution*. In.: HEINZ, D. J. (Ed) Sugarcane improvement through breeding. Amsterdam: Elsevier, p.7-84, 1987.

DINIZ, Bernardo Palhares Campolina. *O Grande Cerrado Do Brasil Central: Geopolítica E Economia*. f. 231, Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

EKLUNDHA, Lars; JÖNSSONB, Per. *TIMESAT 3.0 software manual*. Lund University, Sweden, 2012.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Circular Técnica, 22 – Fisiologia Do Milho*. Sete Lagos, Minas Gerais, p. 1-23, 2003.

FERNANDES, Arissane Dâmaso. *O Impacto Da Expansão Da Fronteira Agrícola Nas Culturas De Arroz, Feijão, Milho E Soja No Estado De Goiás*. 2007

FERREIRA, Danielle Barros. *Relações Entre A Variabilidade Da Precipitação E A Produtividade Agrícola De Soja E Milho Nas Regiões Sul E Sudeste Do Brasil*. F. 123, Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

FERREIRA, Lara Cristine Gomes; DEUS, João Batista de. *O Uso Do Território E As Redes Na Microrregião Ceres (GO): o caso das agroindústrias sucroalcooleiras*. 2010.

_____, Lara Cristine Gomes; DEUS, João Batista de. *Características Da Produção Sucroalcooleira Na Microrregião Ceres–Go: uma abordagem sobre as políticas, a safra e a obtenção de terras*. Ateliê Geográfico, v. 5, n. 1, 2011.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP. *Boletins Informativos Safra Mundial de Milho*. 2014 Disponível: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acessado em 10/09/2014.

HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

_____; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. Van. *A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS*. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.

_____; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, E. X.; FERREIRA, L. G. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1, p. 195-213, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE –. LSPA JANEIRO 2012 – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000007463802102012382109591784.pdf>>. Acesso em 10/10/2012.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto Do Ambiente: Uma Perspectiva Em Recursos Terrestres* (Tradução da segunda edição). São José dos Campos: Parêntese, 598 p, 2009.

JUSTICE, C. O; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. *An overview of MODIS Land data processing and product status*. Remote Sensing of Environment, v. 83, n. 1, p. 3-15, 2002.

KAUFMAN, Yoram J.; TANRÉ, Didier. *Strategy for direct and indirect methods for correcting the aerosol effect on remote sensing: from AVHRR to EOS-MODIS*. Remote Sensing of Environment, v. 55, n. 1, p. 65-79, 1996.

KUMMEROW, Christian et al. *The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 15, n. 3, p. 809-817, 1998.

LEPSCH, Igo F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual Para Levantamento Utilitário Do Meio Físico E Classificação De Terras No Sistema De Capacidade De Uso*. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, p.175, 1991

LEPSCH, Igo F. *Formação E Conservação Dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 178, 2007.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Agronegócio Brasileiro Em Números*. Brasília, 2010.

MARH, Daniel E. *Drivers of Land-Use Change in Mato Grosso: a ten-year MODIS analysis*. Tese (Doutorado), 58f, Center for Environmental Studies, Brown University, 2011.

MIZIARA, Fausto; FERREIRA, Nilson Clementino. *Expansão da Fronteira Agrícola e Evolução da Ocupação e Uso do Espaço no Estado de Goiás: Subsídios à Política Ambiental*. In: FERREIRA, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental-biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado*. Goiânia: Canone/CEGRAF-UFG, v. 1, p. 67-75, 2008.

_____; SOUZA, Cleonice Borges. *Políticas de Financiamento à Expansão do Setor Sucroalcooleiro em Goiás Versus Políticas Ambientais*. 2010.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. *MODIS Website*. Disponível em <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em: 12/10/2012.

NOVAES, A.S.S.; AMARAL FILHO, Z.P. do; VIEIRA, P.C; FRAGA, A.G.C. *Pedologia*. In: *Projeto RADAMBRASIL. Folha SE -22, Goiânia*. R.J., Levantamento de Recursos Naturais, volume 31, 1982.

NOVO, Evlyn M. L de Moraes. *Sensoriamento Remoto Princípios de Aplicações*. 2ª Edição. São José dos Campos: Edgard Blücher, p. 308, 1992.

OLIVEIRA, A.D.; COSTA J.M.N.; Leite, R.A.; SOARES P.C.; SOARES A.A. *Probabilidade De Chuvas E Estimativas De Épocas De Semeadura Para Cultivares De Arroz De Sequeiro, Em Diferentes Regiões Do Estado De Minas Gerais, Brasil*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 8, n. 2, p. 295 - 309, 2000.

PALMIERI, Francesc; LARACH, Jorge Olmos Iturri. *Pedologia e Geomorfologia*. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista Cunha da. (Org). *GEOMORFOLOGIA E MEIO AMBIENTE*. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.59 - 119, 2006.

PESSÔA, V. L. S. *Ação do Estado e as transformações agrárias no cerrado das zonas de Paracatu e Alto Paranaíba - MG. Rio Claro: IGCE/UNESP, 239p., 1988.*

RAMPIM, Leandro; FILHO, João Tavares; BEHLAU, Franklin; ROMANO, Daniele. . *Determinação da capacidade de uso do solo visando o manejo sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR= Determination of use of land aimed for sustainable management on medium size farm in Londrina-PR. Bioscience Journal, v. 28, n. 2, 2012.*

RIBEIRO, Noely Vicente; FERREIRA, Laerte Guimaraes. *Expansão Sucroalcooleira no Estado de Goiás: uma análise exploratória a partir de dados sócio-econômicos e cartográficos. Geografia, v. 35, n. 2, p. 331-344, 2010.*

ROSENDO, Jussara Santos; ROSA, Roberto. *Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal a partir do índice de vegetação NDVI. Universidade Federal de Uberlândia-UFU, Brasil, 2008.*

ROUSE, J.W; DEERING, D. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317, 1973.*

SILVA, R. A. B. da; SOUZA, A. L. F. de; CAMPOS, P. M.; BILICH, M. R; ROCHA, J. V. *Estimativa de área plantada de soja utilizando imagens MODIS, no estado de Goiás. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Natal, p. 483-489, 2009.*

SANTOS, Juliana Silveira dos. *Metodologia Para O Mapeamento Da Cultura Da Soja No Estado Do Rio Grande Do Sul Utilizando Imagens De Sensor De Moderada Resolução Espacial. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.*

TOLEDO, M. Cristina Motta de; OLIVEIRA, Sônia Maria Barros de; MELFI, Adolpho José. *Da rocha ao solo, intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, M. Cristina Motta de; TAIOLI, Fábio.(Org).*

Decifrando a Terra. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional Brasil, p.210 – 226; 2009.

VIEIRA, N. M. *Caracterização Da Cadeia Produtiva Da Soja Em Goiás*. Florianópolis. 2002. 124 p., Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

WARDLOW, Brian D.; KASTENS, Jude H.; EGBERT, Stephen L. *Using USDA Crop Progress data for the Evaluation of Greenup Onset date Calculated from MODIS 250-meter data*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 72, n. 11, p. 1225-1234, 2006.

6. APÊNDICES

APÊNDICE A

Scripts utilizados no empilhamento de imagens

;Script desenvolvido para empilhar e organizar imagens

;Desenvolvedor : Bernard Silva

;Data: 08/2013

proCreateCube,event

;Acesso a variasversoes do IDL

COMPILE_OPT IDL2

;RestoreEnvidatabases

ENVI,/restore_base_save_files

;Inserir o folder de imagens

Fimage = **dialog_pickfile**(/DIRECTORY,TITLE = "Selecione o local das imagens")

;Campo de saida da imagem cubo

Oimage = **ENVI_PICKFILE**(Title = "Digite o nome de saida do arquivo",filter =
"*.*)"

ListOption = ['.tif','.img','.jpg']

;Gui da quantidade de partes

Tiles = **widget_AUTO_BASE**(TITLE = "Create Cube Image")

OptionFormato = **WIDGET_PMENU**(Tiles,/AUTO_MANAGE,prompt = "Qual
formato deseja procurar na criacao do cubo:",\$

XSIZE = 15,uvalue = 'OptionFormato',List = ListOption)

result_tile = **AUTO_WID_MNG**(Tiles)

```

;Pesquisa das imagens MODIS
Mimage = file_search(Fimage+"\\*" + STRTRIM(string(result_tile.OptionFormato)))

;Numero de bandas
nb = n_elements(Mimage)

;Criando vetor dos nomes das bandas
array_name = strarr(nb)

OpenW,outunit,Oimage,/GET_LUN

;Inserindo os dados da imagem no relatorio do processamento(Caixa de dialogo)
str = ['Create Cube Image ','Output:' + Oimage]

envi_report_init, str, title='Create Cube images', base=base,/INTERRUPT

;Loop na Geracao de CuboImagens
for i = 0, nb - 1 do begin

; Comecando a contagem do relatorio
envi_report_stat, base, i, nb - 1
;Abrindo a imagem

ENVI_OPEN_FILE,Mimage[i],/no_realize, r_fid = fid

;Pesquisando a imagem
ENVI_FILE_QUERY,fid , dims = dims , fname = fname,ns = ns, nl = nl,$
sname = sname,INTERLEAVE = INTERLEAVE,DATA_TYPE = DATA_TYPE

Pos = 0
; Inserindo informacoes
Position = strpos(fname, ".")
nameband = strsplit(sname, ".",/EXTRACT)

```

```

array_name[i] += nameband[0]
proj = ENVI_GET_PROJECTION(FID = FID,PIXEL_SIZE = PIXEL_SIZE)
mapinfo = envi_get_map_info(FID = FID)

;Pesquisando a imagem
image = ENVI_GET_DATA(FID = FID,dims = dims,pos = pos)

WriteU,outunit,image

    ;Deletando imagem
    ENVI_FILE_MNG, id=FID,/REMOVE
endfor

;Termino da contagem
envi_report_init, base=base, /finish

Close,outunit
Free_LUN,outunit

;Gerarcabecalho no ENVI
ENVI_SETUP_HEAD, fname = Oimage,ns = ns, nl = nl ,nb = nb, offset=0,$
bname = array_name, DATA_TYPE = data_type, INTERLEAVE =
INTERLEAVE,/write,$
file_type = "ENVI Standard", pixel_size = PIXEL_SIZE, map_info = mapinfo
;Mensagem de confirmcao da criacao do CUBE image
msg = dialog_message("Created Cube image successfully!!",Information = 1)
end

```

APÊNDICE B

Scripts utilizados na suavização de imagens temporais EVI

; Filtro para retirar ruídos em uma serie temporal.

;Autor: Bernard Silva

;Criado em 09/2013

Pro RemoveNoise,event

;Acesso a varias versões do IDL

COMPILE_OPT IDL2

envi, /restore_base_save_files

envi_batch_init

;Selecionado o arquivo para filtragem

envi_select, title = "Choose image for filtering", FID = FID

if (FID eq -1) **then begin**

msg = "Please insert image"

envi_error,msg,/Warning

return

endif

;Saida do arquivo de imagem

outputfile = **ENVI_PICKFILE**(Title = "Choose output image", Filter="*.*)")

if (outputfileeq "")**thenbegin**

msg = "Please enter the filename"

envi_error,msg,/Warning

return

endif

```

;Abrindo no ambiente ENVI
ENVI_FILE_QUERY, FID, dims = dims, ns = ns, nl = nl, nb = nb,$
fname = fname, bname = bname, interleave = interleave,$
data_type = data_type

;Posicionamento
pos = indgen(nb)

if interleave eq 2 then begin
  ; Criandoparticoes - Tiles
  tile_id = envi_init_tile(fid, pos, num_tiles=num_tiles, $
    interleave = interleave , xs=dims[1], xe=dims[2], $
    ys=dims[3], ye=dims[4])

endif

if interleave eq 0 thenbegin
  ; Criando particoes - Tiles
  tile_id = envi_init_tile(fid, pos, num_tiles=num_tiles, $
    interleave=(interleave>2) , xs=dims[1], xe=dims[2], $
    ys=dims[3], ye=dims[4])
endif

;Criando o arquivo de imagem
OpenW, outCl, outputfile,/get_lun

;Inserindo os dados da imagem no relatorio do processamento(Caixa de dialogo)
str = ['Smooth in Processing:', "Input: "+fname,'Output: '+outputfile]

```

```

envi_report_init, str, title='Smoothing TimeSeriesImage - Flat Filter adapted',
base=base
envi_report_inc, base, num_tiles-1

for i = 0L, num_tiles - 1 do begin

    ;Inicio da contagem
envi_report_stat, base, i, num_tiles-1

    ;Escolha do Tile
data = envi_get_tile(tile_id,i)
    ;data2 = envi_get_tile(tile_id2,i)
SizeTile = size(data)
NumColunas = SizeTile[1]
NumLinhas = SizeTile[2]

for j = 0L, NumLinhas - 1 do begin
for k = 0L, NumColunas - 1 do begin
    ;Inicio da suavizacao
Case k of
0: begin
        Value = data[k,j]

end
NumColunas - 1: begin
        Value = data[k,j]

end

else: begin
;Selecionando os valores para analise
ValueBefore = data[k-1,j]
ValueAfter = data[k+1,j]
ValueAtual = data[k,j]

```

```

difVAtVB = abs(ValueBefore - ValueAtual)
difVatVa = abs(ValueAtual - ValueAfter)
difVAVB = abs(ValueBefore - ValueAtual)
if (ValueAtual gt ValueBefore and ValueAtual gt ValueAfter) then begin
if (k ge 3 and k le NumColunas - 4) then begin
if difVAtVB gt 500 and difVatVa gt 500 thenbegin
if ValueBefore lt 3500 and ValueAfter lt 3500 thenbegin
MinValuemin = min([ValueBefore,ValueAfter])
thershold = difVAVB * 0.1
    data[k,j] = MinValuemin + thershold
endif
endif
endif
endif
if (ValueAtual ltValueBefore and ValueAtual lt ValueAfter) thenbegin
if difVAtVB le 300 and difVatVa le 300 then begin
    Value = data[k,j]
endif
if difVAtVB gt 300 and difVatVa gt 300 thenbegin
difVAVB = abs(ValueBefore - ValueAfter)
MinValuemin = min([ValueBefore,ValueAfter])
thershold = difVAVB * 0.1
    data[k,j] = MinValuemin + thershold
endif
endif
end
endcase

endfor
endfor

WriteU,outCl,data

```

endfor

;Termino da contagem

envi_report_init, base=base, /finish

Close,outCl

Free_Lun,outCl

;Encerrandoparticoes

envi_tile_done, tile_id

;Informacoesespaciais da imagem

proj = **ENVI_GET_PROJECTION**(FID = FID,PIXEL_SIZE = PIXEL_SIZE)

mapinfo = **envi_get_map_info**(FID = FID)

;Criando Cabecalho da imagem

ENVI_SETUP_HEAD, fname = outputfile, ns = ns, nl = nl, nb = nb , offset=0,\$

bname = bname, DATA_TYPE = data_type, INTERLEAVE = 2, /write, file_type =

"ENVI Standard", pixel_size = PIXEL_SIZE, map_info = mapinfo

;Mensagem de confirmacao da criacao do CUBE image

msg = **dialog_message**("Flat Filter adapted executed with successfully!!",Information =

1)

end

APENDICE C

Tutorial de instalação e utilização do script de empilhamento de imagem no software ENVI

Requisitos básicos: ENVI e IDL virtual machine instalados.



Figura 1 – Aplicativos instalados do ENVI.

Objetivo: Este tutorial tem o objetivo de demonstrar a instalação e o uso da ferramenta **Agriculture Tools**, o módulo **PreProcessing**, onde este tem a finalidade de empilhar as imagens automaticamente e suavizar a serie temporal de imagens utilizando o Flat Filter (Wardlod et al. 2006).

Instalação da ferramenta no ENVI 4.7 e uso

1ª Passo –Copie o arquivo AgricultureTools. sav para pasta onde o ENVI foi instalado. Encontre no computador seguinte caminho: **C:\Arquivos de programas\ITT\IDL71\products\envi47\save_add**, senão localizar, procure a pasta “ITT” dentro do computador na opção de busca.

2ªPasso: Empilhamento das imagens – Abra o ENVI e clique no menu Agriculture Tools\PreProcessing\Create Cube Images.



Figura 2 – Ferramenta Agriculture Tools.

3ª Passo – Selecione a pasta que contém as imagens que serão empilhadas.

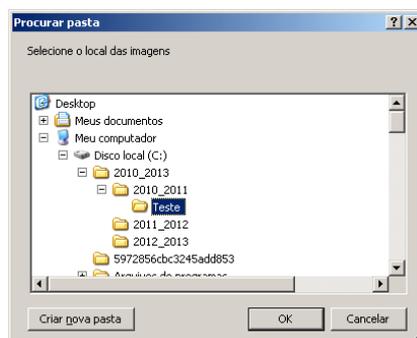


Figura 3 – Seleção do local das imagens que serão empilhadas.

4ª Passo: Defina o nome do arquivo de saída da imagem empilhada. Não precisa colocar a extensão do arquivo.

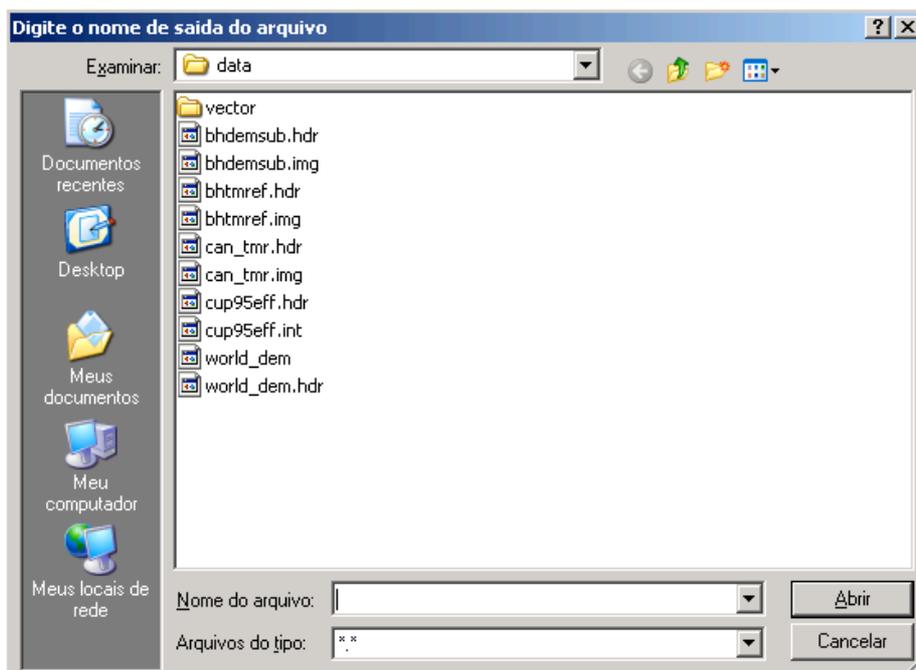


Figura 4 – Definição do arquivo de saída.

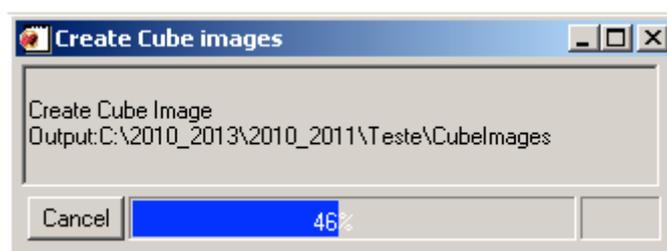


Figura 5 – Definição do arquivo de saída.

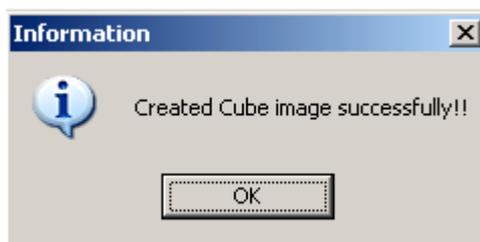


Figura 6 – Confirmação da criação da imagem.

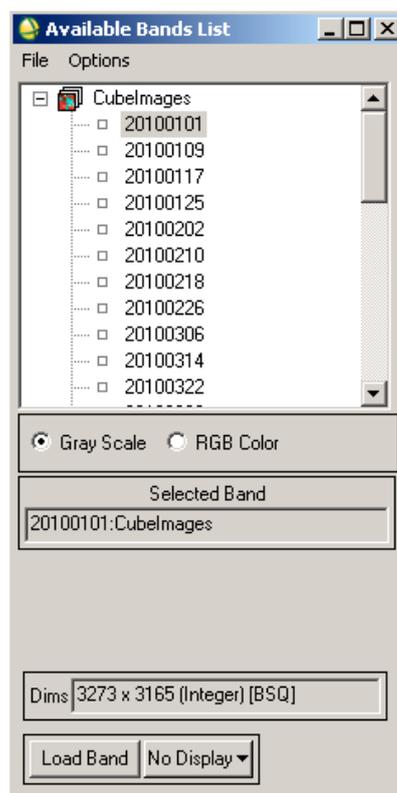


Figura 7 – Imagem empilhada organizada por data.

5ª Passo: Suavização das imagens – Abra o ENVI e clique no menu Agriculture Tools\PreProcessing\Smoothing TIMESERIES.

6ª Passo: Selecione a imagem para suavização

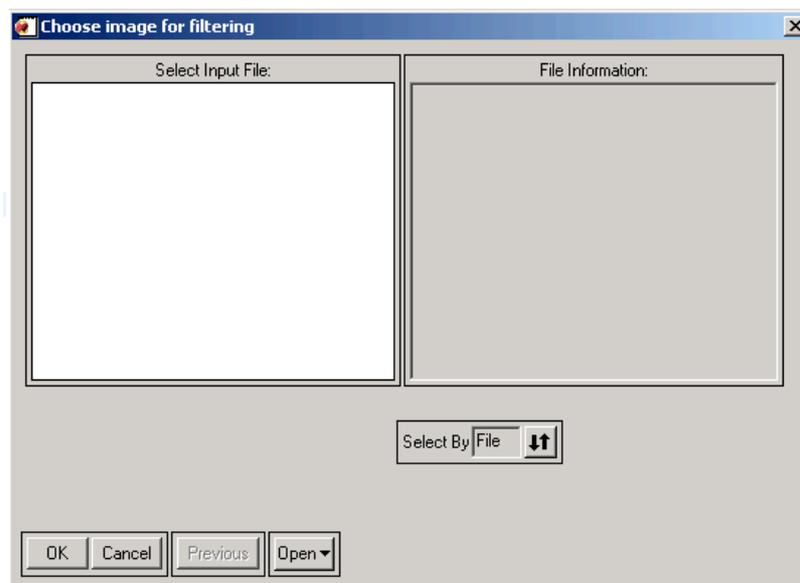


Figura 8 – Janela para seleção da imagem no processo de suavização

7ª Passo: Defina o nome do arquivo de saída da imagem suavizada. Não precisa colocar a extensão do arquivo.

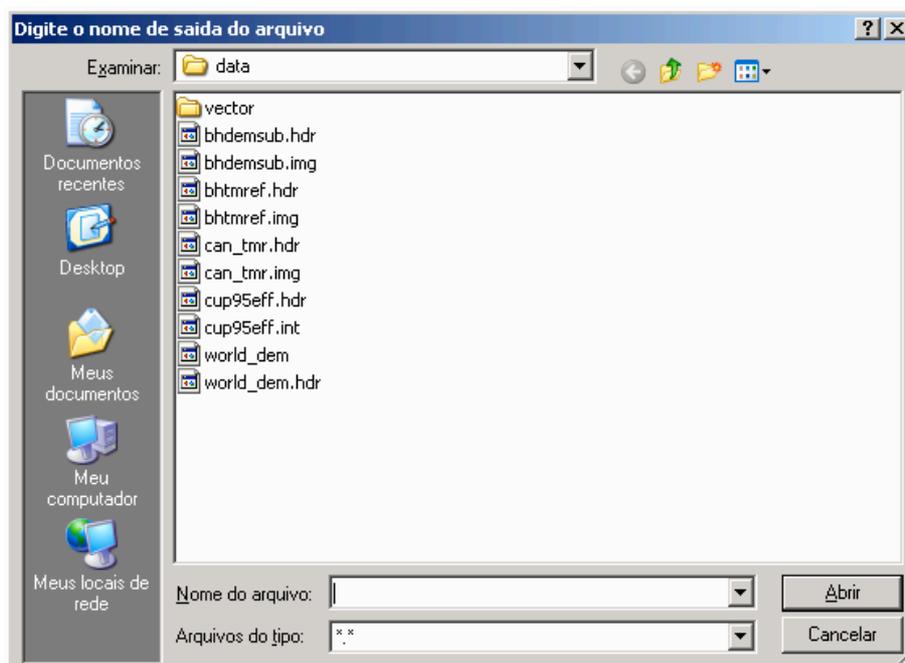


Figura 9 – Janela para salvar a imagem suavizada.

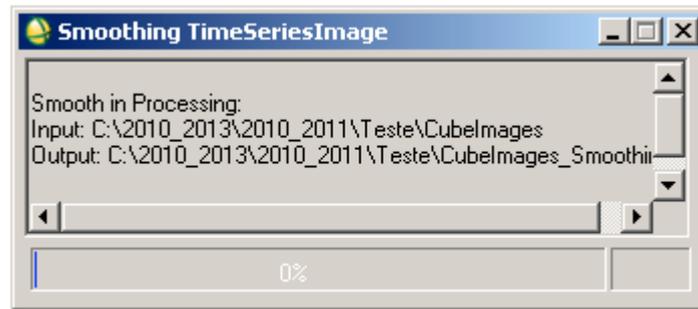


Figura 10 – Processo do andamento da suavização da imagem.