



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



**DETALHAMENTO DE ÁREAS DE SAVANA ARBORIZADA NO BIOMA CERRADO
A PARTIR DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS EVI PARA O PERÍODO
DE 2004 A 2008**

MARLON NEMAYER CELESTINO DE PONTES

Goiânia
2010

MARLON NEMAYER CELESTINO DE PONTES

**DETALHAMENTO DE ÁREAS DE SAVANA ARBORIZADA NO BIOMA CERRADO
A PARTIR DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS EVI PARA O PERÍODO
DE 2004 A 2008**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

P814d Pontes, Marlon Nemayer Celestino de.
Detalhamento de áreas de savana arborizada no bioma Cerrado a partir da análise de séries temporais MODIS EVI para o período de 2004 a 2008 [manuscrito] / Marlon Nemayer Celestino de Pontes - 2010.
xv, 58 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.

1. Bioma Cerrado 2. PROBIO 3. Savana Arborizada 4.
Detalhamento fitofisionômico 5. MODIS EVI. 6. Contraste sazonal. I. Título.

CDU: 910.27:574.4(251.3)

MARLON NEMAYER CELESTINO DE PONTES

**DETALHAMENTO DE ÁREAS DE SAVANA ARBORIZADA NO BIOMA CERRADO
A PARTIR DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS EVI PARA O PERÍODO
DE 2004 A 2008**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Goiás, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia
2010

MARLON NEMAYER CELESTINO DE PONTES

**DETALHAMENTO DE ÁREAS DE SAVANA ARBORIZADA NO BIOMA CERRADO
A PARTIR DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS EVI PARA O PERÍODO
DE 2004 A 2008**

Dissertação defendida ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre, aprovada em 12 de março de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr. - UFG
Presidente da banca - Orientador

Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira - UFG
Membro interno

Prof. Dr. Edson Eyji Sano - Embrapa Cerrados
Membro externo

*Dedico este trabalho a todos aqueles
que contribuíram para sua realização.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo privilégio de conviver com pessoas tão especiais, de características nobres, pela oportunidade de compartilhar conhecimentos, experiências e convivências.

Especialmente ao professor orientador Laerte Guimarães Ferreira Júnior, pela sua dedicação, disposição, paciência, atenção e amizade. Por sua contribuição, incansável empenho e incentivo para a realização e conclusão deste trabalho.

Agradeço aos professores Ivanilton de Oliveira e Nilson Ferreira, pela valorosa contribuição durante o exame de qualificação, imprescindíveis para a evolução e finalização desta pesquisa.

Aos professores Edson Sano e Paulo Sobreira, por terem aceito o convite de participação da banca examinadora e pelas críticas e sugestões construtivas.

Ao meu amigo Genival Fernandes, pela sua amizade, seu constante apoio, incentivo e companheirismo.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, por proporcionar um enorme aprendizado, amadurecimento e crescimento pessoal. E toda a sua equipe, (Carlos, Elaine, Fanuel, Fernando, Gabriela, Galileu, Gitair, Iza, Ivonaldo, Joana, Janete, Leandro, Leandro Marçal, Levindo, Lícius, Luiz Eduardo, Manuel, Murilo, Nicali, Nilson Amaral, Pedro e Noely) pelo apoio, amizade, incentivo e esclarecimentos.

A professora Mercedes Bustamante, juntamente com sua equipe do Laboratório de Ecologia da UnB, em especial a doutoranda Sabrina Miranda, pelo apoio, esclarecimentos e pela oportunidade de acompanhar o trabalho de campo, realizado no Jardim Botânico e na Reserva do IBGE, no DF.

Aos colegas, professores e funcionários do programa de pesquisa de pós-graduação em geografia, pelo apoio e ensinamentos, muito importantes para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos - FINATEC, pelo suporte, concedido através da bolsa de mestrado.

*“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original”.*

(Albert Einstein)

RESUMO

Mapeamentos de cobertura e uso da terra são de fundamental importância para a efetiva gestão territorial, monitoramento ambiental e para o correto entendimento quanto à estrutura e funcionamento dos ecossistemas. No caso do bioma Cerrado, importante avanço neste sentido foi o mapeamento realizado no âmbito da iniciativa PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira do Ministério do Meio Ambiente), o qual, com base em imagens de alta resolução espacial (Landsat TM) obtidas em 2001/2002, mapeou a totalidade do bioma à escala de 1:250.000, segundo 30 classes naturais e 5 classes antrópicas. Ainda que este mapeamento tenha possibilitado conhecer com elevada exatidão a extensão e distribuição das principais fitofisionomias nativas e antrópicas, a sua atualização e detalhamento se fazem cada vez mais necessários. Em particular, chama atenção a classe Savana Arborizada, a qual, segundo o mapa PROBIO, ocupa uma área de aproximadamente 415.642,58 km² (33,72% de toda a vegetação remanescente no bioma) e que apresenta acentuada variabilidade em termos de cobertura arbórea (de 20 a 70%). Assumindo que as variações fitofisionômicas no âmbito desta classe resultam em diferentes padrões sazonais, neste trabalho avaliamos o potencial das imagens MODIS EVI, realçadas no domínio temporal, para a classe Savana Arborizada. Através do contraste sazonal das imagens EVI, de maio e setembro, foi possível diferenciar três sub-classes, cujos padrões de distribuição espacial correspondem aos principais domínios sazonais. Por outro lado, e com base no conceito de produtividade primária, foi possível diferenciar cinco domínios, em que os maiores valores de produtividade estiveram associados às tipologias mais densas, próximos a ecótonos. Os resultados deste trabalho sugerem o uso de imagens de resolução espacial moderada (hectométrica) e alta resolução temporal, para o detalhamento das várias fitofisionomias do bioma Cerrado. Contudo, validações em campo, com vistas a melhor se caracterizar o significado biofísico das fitofisionomias intraclasse identificadas, bem como melhor entendimento dos padrões inter-anuais se fazem necessários. Eventualmente, a variabilidade inter-anual observada pode vir a ser normalizada através dos valores de precipitação acumulados anualmente.

Palavras-chave: bioma Cerrado, PROBIO, Savana Arborizada, detalhamento fisionômico, MODIS EVI, contraste sazonal.

ABSTRACT

Land cover and land use maps are essentials for the effective territorial governance, environmental monitoring, and proper understanding of the structure and functioning of the ecosystems. In relation to the Cerrado biome, an important step in this direction was obtained with the PROBIO mapping (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira do Ministério do Meio Ambiente), which, based on the interpretation of high spatial resolution imagery (Landsat TM), acquired in 2001 and 2002, mapped the entire biome at the scale of 1:250.000, according to the 30 natural and 5 anthropic classes. Although this mapping allowed to know, at high accuracy and precision, the extension and distribution of the major land cover types, its updating and further detailing are necessary. A particular example of such need is the Arboreous Savanna class, which, according to the PROBIO map, occupies an area of about 415.642,58 km² (33,72% of all Cerrado remnant vegetation) and presents an marked variability, 20 to 70% in its arborescent layer. Assuming that the phytophysiognomic variations within this class yield distinct seasonal patterns, in this study we evaluated the potential of the MODIS EVI (enhanced vegetation index) imagery, enhanced in the temporal domain, to further discriminate among this class sub-types. Based on seasonal contrast images of May and September, it was possible to identify three sub-classes, whose spatial distribution patterns corresponded to the major seasonal domains. On the other hand, and based on the primary productivity concept, it was possible to distinguish five domains, in which (large productivity values were associated to the occurrence of denser typologies, close to ecotones). Our results suggest the use of MODIS or similar images (as the ones to be provided soon to be launched VIIRS sensor onboard the NPP and NPOESS series) for improved differentiation of the Cerrado physiognomies. However, field validation is necessary in order to better understand the biophysical meaning of the intraclass physiognomies identified, as well as a better understanding of the inter-annual patterns are necessary.

Keywords: Cerrado biome, PROBIO, Arboreous Savanna, phytophysiognomic detailing, MODIS EVI, seasonal contrast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bioma Cerrado - mapa de cobertura e uso da terra	20
Figura 2	Fitofisionomias do bioma Cerrado	21
Figura 3	Exemplos de vegetação do tipo Cerrado Denso, na Reserva Ecológica do IBGE-DF (a) e (b)	21
Figura 4	Exemplos de vegetação do tipo Cerrado Típico, no Jardim Botânico-DF (a) e (b)	22
Figura 5	Localização dos remanescentes de vegetação no bioma Cerrado, com destaque para a classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria).....	26
Figura 6	Localização e identificação dos 172 recortes do mapa de cobertura e uso da terra para o Cerrado.....	27
Figura 7	Localização dos <i>tiles</i> MODIS para o bioma Cerrado.....	28
Figura 8	Fluxograma referente às etapas do processamento de dados	29
Figura 9	Proporção de <i>pixels</i> MODIS EVI de boa qualidade, conforme cada um dos 23 <i>composites</i> para o período 2004-2008, em relação à área total do bioma Cerrado (em destaque, os <i>composites</i> /dia_do_ano 129 e 257, respectivamente)	30
Figura 10	Imagens “ <i>pixel reliability</i> ” (DOY 129 e 257) com % de disponibilidade de <i>pixels</i> de boa qualidade (“0”) para o Cerrado	31
Figura 11	Imagens “ <i>pixel reliability</i> ” com % de disponibilidade efetiva de <i>pixels</i> de boa qualidade (“0”) para o Cerrado (acima) e para a classe Savana Arborizada (Saf/Sas) (abaixo)	31
Figura 12	Mapa mostrando a distribuição das 415 amostras coletadas em 202 células com dimensão de 1º por 1º grau de abrangência da classe fitofisionômica Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria), para a geração dos gráficos EVI e CS, período 2004-2008, cenas DOY 129 (maio) e 257 (setembro).....	34
Figura 13	Gráficos da distribuição do EVI Saf/Sas para o período 2004-2008, cenas 129 (maio) e 257 (setembro).....	36
Figura 14	Gráficos referentes à distribuição das 415 amostras das imagens índice de vegetação realçado (MODIS EVI), representados latitudinalmente, para o período 2004-2008, cenas DOY 129 (maio) e 257 (setembro).....	39
Figura 15	Comparação, entre anos sucessivos, do comportamento sazonal da classe Saf/Sas, conforme as 415 amostras coletadas.....	41
Figura 16	Correlação entre a variação no contraste sazonal e o valor altimétrico das 415 amostras (dados SRTM) para os quatro anos analisados (2004 a 2008).....	44

Figura 17	Correlação entre a variação no contraste sazonal e a localização das 415 amostras (latitude) para os quatro anos analisados (2004 a 2008)	46
Figura 18	Imagens contraste sazonal classificadas para o período 2004-2008	49
Figura 19	Imagem resultado da intersecção entre as imagens classificadas (contraste sazonal) para o período 2004-2008	49
Figura 20	Imagem resultado da intersecção entre as imagens classificadas (contraste sazonal) para o período 2004-2008, sobreposta à classe Saf/Sas	50
Figura 21	Imagem produtividade 2008, resultado do somatório de 23 imagens MODIS EVI, recortadas e classificadas (classes de 1 a 5) para a fitofisionomia Savana Arborizada (Saf/Sas). A legenda mostra o percentual (%) em relação à área total, para cada classe	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Legenda com as classes de cobertura vegetal natural e antrópica do mapeamento realizado pelo PROBIO	19
Tabela 2	Disponibilidade de dados para cada imagem contraste sazonal e intersecção (2004-2008) em relação à fitofisionomia Savana Arborizada (Saf/Sas)	47
Tabela 3	Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada imagem contraste sazonal, classes 1, 2 e 3 (2004-2008) em relação à fitofisionomia Savana Arborizada (Saf/Sas)	47
Tabela 4	Valores de área (km ²), mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação para a imagem produtividade (2008), classes de 1 a 5, em relação à fitofisionomia Savana Arborizada (Saf/Sas)	51

LISTA DE ABREVIATURAS

CS – contraste sazonal

IS – imagem sazonal

PR – pixel reliability

Prod. – produtividade

Saf – savana arborizada sem floresta de galeria

Sas – savana arborizada com floresta de galeria

LISTA DE SIGLAS

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DOY – Day of the Year

EVI – Enhanced Vegetation Index

FTP – File Transfer Protocol

GEF – Global Environment Facility

HDF – Hierarchical Data Format

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAPIG – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MODIS – Moderate Resolution Imaging Espectroradiometer

MRT – Modis Reprojection Tool

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

SIAD – Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

WIST – Warehouse Inventory Search Tool

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 PROBIO.....	17
2.2 CERRADO SENTIDO RESTRITO.....	20
2.2.1 Cerrado Denso	21
2.2.2 Cerrado Típico	22
2.3 MODIS.....	22
2.3.1 MOD13Q1	23
2.3.2 EVI (<i>Enhanced Vegetation Index</i>)	23
2.3.3 Uso do MODIS para Detecção de Mudança (SIAD)	24
2.3.4 Uso do MODIS em Mapas de Cobertura e Uso da Terra	24
3 DESENHO EXPERIMENTAL	25
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2 DADOS CARTOGRÁFICOS.....	26
3.3 IMAGENS MODIS.....	27
3.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICES	57

MEMORIAL ACADÊMICO

Ingressei em 2004 no curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás, através do processo seletivo (vestibular). Durante o período de 06/2005 a 12/2007, fui bolsista do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG. Neste intervalo, participei de vários eventos, congressos, atividades e cursos de extensão, voltados para o conhecimento, capacitação, domínio e aprimoramento de técnicas relacionadas ao geoprocessamento e sensoriamento remoto. Todas as atividades desenvolvidas foram acompanhadas e orientadas pelo Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr., coordenador do LAPIG.

No final de 2007, concluí o curso de graduação, modalidade bacharelado, com habilitação em análise ambiental, defendendo o trabalho de monografia intitulado: “Análise da Paisagem Agrícola no Estado de Goiás a partir de Dados Censitários e Temáticos”, desenvolvido com o apoio do LAPIG e orientado pelo Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Em 2008, iniciei o curso de mestrado em Geografia. Ao longo de dois anos, cursei as duas disciplinas obrigatórias bem como as eletivas, totalizando a carga horária exigida pelo programa. Participei de eventos, congressos, ministrei e participei de mini-cursos e também apresentei trabalho em simpósio nacional. Elaborei ainda dois artigos e tenho participação como co-autor em vários artigos publicados em revistas e periódicos científicos.

1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado compreende uma área de 2.039.387 km² e abrange 10 estados e o Distrito Federal (IBGE, 2004). Representa a segunda maior formação vegetal brasileira e está situado entre 3° e 24° de latitude sul e entre 42° a 60° de longitude oeste (Silva et al., 2008). Sua maior parte está localizada no Planalto Central Brasileiro (Lima et al., 2008), ocupando aproximadamente 25 % do território nacional. É considerado um dos *hotspots* de biodiversidade no mundo, devido à variabilidade de espécies endêmicas da fauna e da flora (Mittermeyer et al., 1999).

Sua distribuição, que compreende as nascentes e parte considerável das três maiores bacias da América do Sul (Paraguai – Paraná, Araguaia-Tocantins e São Francisco), é determinada principalmente por variações topográficas regionais e formas de relevo, por limitações hídricas e edáficas (Motta et al., 2002) e pela sazonalidade pluviométrica, em que mais de 80% da precipitação anual se concentra entre outubro e abril (Castro et al., 1994).

A presença de características naturais favoráveis, aliadas aos investimentos públicos em infra-estrutura, propiciaram um ambiente ideal para a intensa ocupação agropastoril que o transformou na principal fronteira de expansão agrícola brasileira (Klink e Machado, 2005; Miziara e Ferreira, 2008).

Estimativas quanto à sua ocupação/conversão variam de 39% (Mantovani e Pereira, 1998; Mittermeyer et al., 1999; Sano et al., 2008), 47% (Eva et al., 2004) a 55% (Machado et al., 2004). Independente das diferenças observadas quanto às áreas antropizadas, as quais ocorrem em função de distintas metodologias e dados utilizados, o fato é que o Cerrado hoje se tornou o bioma brasileiro mais ameaçado, principalmente quando se considera o curto espaço de tempo decorrido no processo de ocupação e transformação da paisagem (aproximadamente 40 anos), bem como o processo de desmatamento que ainda continua bastante intenso, da ordem de 0,6% ao ano (Ferreira et al., 2007).

Tendo em vista o cenário atual de ocupação e uso do bioma Cerrado, bem como a sua importância quanto aos processos ecossistêmicos em escala global, um importante avanço no conhecimento da sua cobertura vegetal foi o mapeamento realizado no âmbito do PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira do Ministério do Meio Ambiente), o qual teve por base a interpretação de 121 imagens Landsat *ETM*⁺, obtidas em 2002, à escala de

1:250.000 e trabalhos de campo (Sano et al., 2007). Esse mapeamento representa o estado-da-arte e o levantamento mais atualizado e detalhado que temos da cobertura vegetal do Cerrado.

Entretanto, algumas considerações precisam ser feitas em relação ao mapa do PROBIO. A primeira está relacionada à data do mapeamento, 2002. O mesmo precisa ser atualizado. A segunda está relacionada à legenda, proposta pelo Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira do IBGE (Veloso et al., 1991). A sua adoção se justifica positivamente pelo fato de ser extrapolável para os demais biomas brasileiros, permitindo uma padronização de classes fisionômicas. Por outro lado, apresenta incompatibilidade com legendas mais recentes, como a proposta por Ribeiro e Walter (1998), a qual busca criar uma associação mais explícita com características estruturais/biofísicas. Este é o caso, por exemplo, da classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria), que representa cerca de 33,72% da vegetação remanescente do bioma Cerrado e que corresponde ao tipo fitofisionômico denominado Cerrado Sentido Restrito e, em especial, aos subtipos Cerrado Denso e Cerrado Típico.

Há também considerações envolvendo a escala. Ainda que esta tenha avançado muito em relação ao mapa de vegetação realizado no âmbito do projeto Radambrasil, passando de 1:1.000.000 para 1:250.000 (PROBIO), um maior nível de detalhe se faz necessário. Esta necessidade é particularmente importante no caso da classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria), cuja cobertura arbórea varia de 20 a 70% (Ribeiro e Walter, 1998).

Especificamente, este estudo, com base na análise e realce no domínio temporal de imagens índices de vegetação MODIS EVI (*Enhanced Vegetation Index*), busca avaliar o potencial das imagens de resolução espacial moderada para diferenciar as várias sub-classes da fitofisionomia Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROBIO

O PROBIO consistiu no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, o qual envolveu a formação de uma parceria entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF) do Banco Mundial. Este projeto foi lançado em 2004, tendo como objetivo, mapear a cobertura vegetal do Brasil, para os seis biomas brasileiros (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal), num nível de detalhe compatível com a escala de 1:250.000 (Relatório Final PROBIO, 2007).

O Bioma Cerrado, em particular, foi mapeado através da aquisição de um conjunto com 121 cenas do satélite Landsat ETM+ da estação seca de 2002 (meses de julho a novembro), georreferenciadas para o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e referencial geodésico SAD69. As imagens foram mosaicadas e recortadas segundo a articulação das folhas cartográficas do IBGE na escala de 1:250.000 (Sano et al., 2008).

Para o mapeamento da cobertura vegetal natural, utilizou-se a legenda proposta pelo Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira do IBGE (Veloso et al., 1991), até ao nível de subformação. Em termos de cobertura vegetal antrópica, as seguintes classes foram mapeadas: cultura agrícola, pastagens cultivadas, reflorestamento, áreas urbanas e áreas degradadas por mineração. A tabela 1 mostra as classes de cobertura natural e antrópica mapeadas pelo PROBIO.

Tabela 1. Legenda com as classes de cobertura vegetal natural e antrópica do mapeamento realizado pelo PROBIO.

Tipo	Símbolo	Classe	%	%
Cobertura Vegetal Natural	Aa	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0,01%	60,47%
	As	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0,34%	
	Da	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,10%	
	Ds	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,02%	
	Mm	Floresta Ombrófila Mista Montana	0,01%	
	Cb	Floresta Estacional Decidual Terras baixas	0,01%	
	Cm	Floresta Estacional Decidual Montana	0,22%	
	Cs	Floresta Estacional Decidual Submontana	1,18%	
	Fa	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	3,05%	
	Fb	Floresta Estacional Semidecidual Terras Baixas	0,02%	
	Fm	Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,17%	
	Fs	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	4,20%	
	Saf	Savana Arborizada com Floresta de Galeria	11,23%	
	Sas	Savana Arborizada sem Floresta de Galeria	9,16%	
	Sd	Savana Florestada	6,30%	
	Spf	Savana Parque com Floresta de Galeria	11,22%	
	Sps	Savana Parque sem Floresta de Galeria	4,58%	
	Sgf	Savana Gramíneo-lenhosa com Floresta de Galeria	2,55%	
	Sgs	Savana Gramíneo-lenhosa sem Floresta de Galeria	1,16%	
	Pa	Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre	0,09%	
	Pf	Formações Pioneiras com Influência Flúviomarinha	0,01%	
	Pm	Formações Pioneiras com Influência Marinha (restinga)	0,55%	
	Taf	Savana Estépica Arborizada com Floresta de Galeria	0,10%	
	Tas	Savana Estépica Arborizada sem Floresta de Galeria	0,53%	
	Td	Savana Estépica Florestada	0,03%	
	Tpf	Savana Estépica Parque com Floresta de Galeria	0,01%	
	Tps	Savana Estépica Parque sem Floresta de Galeria	0,09%	
	Tgs	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa, sem Floresta de Galeria	0,08%	
	r	Refúgios Vegetacionais	0,04%	
	Vs	Vegetação Secundária	3,40%	
Antrópica	Ac	Cultura Agrícola	10,53%	38,93%
	Ap	Pastagem Cultivada	26,42%	
	Im	Área Degradada por Mineração	0,003%	
	Iu	Área com Influência Urbana	0,44%	
	R	Reflorestamento	1,54%	
Massa de Água	Água	Água	0,60%	0,60%
TOTAL			100,00%	100,00%

Fonte: Adaptado de PROBIO (2007).

O mapeamento de 172 recortes mostrou que 61% do bioma possuem cobertura vegetal natural (áreas com cobertura vegetal original, com ou sem atividade antrópica). Esse número pode chegar a mais de 90% na porção norte do bioma (estado do Piauí) ou a menos de 15% no sul do bioma (estado de São Paulo). Índices Kappa e de exatidão global indicaram precisão de mapeamento de 92 e 97%, respectivamente, quando a legenda é analisada em termos de cobertura natural, cobertura antrópica e massas de água (Sano et al., 2009). Dentre as classes

arbustiva (5% a 70%), ou conforme o ambiente em que se encontra (Felfili e Silva Júnior, 2005; Ribeiro e Walter, 2008).



Figura 2. Fitofisionomias do bioma Cerrado.
Fonte: Adaptado de Ribeiro e Walter (2008).

A seguir, será descrito com mais detalhes os subtipos Denso e Típico, que correspondem às classes Saf/Sas utilizadas pela legenda do PROBIO.

2.2.1 Cerrado Denso

O Cerrado Denso apresenta cobertura predominantemente arbórea variando de 50% a 70%, com altura média de 5m a 8m (figura 3). Representa a forma mais densa e alta de Cerrado sentido restrito. Os estratos arbustivo e herbáceo são menos adensados, provavelmente em decorrência do sombreamento resultante da maior cobertura das árvores (Ribeiro e Walter, 2008).



Figura 3. Exemplos de vegetação do tipo Cerrado Denso, na Reserva Ecológica do IBGE-DF (a) e (b).

2.2.2 Cerrado Típico

O Cerrado Típico apresenta cobertura arbórea com variação de 20% a 50%, e altura média de 3m a 6m (figura 4). Trata-se de uma forma comum e intermediária entre o Cerrado Denso e o Cerrado Ralo (Ribeiro e Walter, 2008).



(a)

(b)

Figura 4. Exemplos de vegetação do tipo Cerrado Típico, no Jardim Botânico-DF (a) e (b).

2.3 MODIS

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal instrumento sensor a bordo das plataformas *Terra* e *Aqua* (Justice et al., 2002). A plataforma *Terra* foi lançada em 18 de dezembro de 1999, com órbita quase polar e heliosincrona, inclinação de $98,2^\circ$, altura de 705 km e passagem pelo nodo descendente às 10h30min. Esta plataforma possui a bordo os seguintes sensores: MODIS, CERES e MISR da NASA, ASTER do Japão e MOPITT do Canadá. Entre os seus principais estudos podemos destacar: estudos de nuvens, aerossóis, balanço de radiação e ciclo de carbono.

A plataforma *Aqua* foi lançada no dia 4 de maio de 2002, com órbita quase polar, inclinação de 98° , heliosincrona, altura de 705 km e passagem pelo nodo ascendente às 13h30min. É composta de seis instrumentos: o ARIS, a AMSU-A, o HSB, o AMSR-E, o MODIS e o CERES. Tem por objetivo a coleta de informações sobre o ciclo de água na Terra (evaporação dos oceanos, vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade, gelo no mar, fluxos de energia radiativa, aerossóis, etc.) (Soares et al., 2007).

O sensor MODIS foi projetado para fornecer uma série de observações nas regiões do visível e do infra-vermelho do espectro eletromagnético, cobrindo a Terra a cada 2 dias. Possui resolução radiométrica de 12 bits, e é composto por 36 bandas espectrais, sendo 2 bandas adquiridas na resolução de 250 m, 5 bandas na resolução de 500 m e as demais na resolução de 1 km.

A distribuição das 36 bandas espectrais, ao longo do espectro eletromagnético, em função de comprimentos de ondas diferenciados, permitiram o desenvolvimento de 44 produtos, utilizados por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento (Soares et al., 2007). Os produtos MODIS são disponibilizados de forma gratuita. Para adquirir as cenas MODIS é necessário acessar o site do *Earth Observing System Data Gateway* (portal de dados do Sistema de Observação da Terra), através do endereço: <<https://wist.echo.nasa.gov/api/>>, selecionar e posteriormente baixar as cenas solicitadas, através de link FTP (*File Transfer Protocol*).

2.3.1 MOD13Q1

O produto MOD13Q1 corresponde aos índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Estão disponibilizados nas resoluções de 1 km, 500 m e 250 m, cobrindo uma área de 1200 x 1200 km. As imagens possuem resolução temporal de 16 dias (de acordo com a data Juliano), somando 23 cenas para cada ano.

2.3.2 EVI (*Enhanced Vegetation Index*)

O EVI, ou índice de vegetação melhorado/realçado, corresponde a um dos produtos padrões do sensor MODIS das plataformas Terra e Aqua. Esse índice otimiza o sinal de resposta da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, por meio da redução dos efeitos atmosféricos e de contaminação provocado pelo solo (Huete et al., 2002; Ferreira et al., 2003).

O EVI é definido pela Eq. (1):

$$EVI = G \left(\frac{NIR - R}{L + NIR + C_1 \cdot K \cdot (1 - R)} \right)$$

Onde R (*Red*), NIR (*Near Infrared*) e B (*Blue*), correspondem às bandas do vermelho, infravermelho próximo e azul; $G=2,5$ é um fator de ganho; $L=1$, $C1=6$ e $C2=7,5$ são parâmetros de ajuste utilizados para minimizar os efeitos dos aerossóis (Justice et al., 1998).

2.3.3 Uso do MODIS para Detecção de Mudança (SIAD)

O SIAD (Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos) foi concebido inicialmente para o monitoramento da região da Amazônia Legal. Posteriormente foi adaptado para Goiás (SIAD-GOIÁS) e, mais recentemente, vem sendo utilizado para monitoramento de desmatamentos no bioma Cerrado (SIAD-CERRADO). Tem, por objetivo, o monitoramento sistemático da cobertura vegetal a partir de imagens do sensor orbital MODIS (produto MOD13Q1), bases cartográficas, temáticas e dados censitários (Ferreira et al., 2007; 2008).

Este sistema possibilita, entre as aplicações: a detecção de desmatamentos, através de alertas mensais; a análise das origens e dos impactos dos desmatamentos (ex. associação ou não às áreas queimadas, distância dos desmatamentos em relação às de obras de infra-estrutura, assentamentos, unidades de conservação, terras indígenas, atividades produtivas, etc.); a prospecção de desmatamentos futuros (i.e. áreas de tendências) e a identificação de áreas prioritárias quanto à fiscalização e controle. Os dados de alertas de desmatamento do SIAD são divulgados ano a ano e são disponibilizados pela página do Lapig: <http://www.lapig.iesa.ufg.br/i3geo>.

2.3.4 Uso do MODIS em Mapas de Cobertura e Uso da Terra

Em razão da disponibilidade (alta frequência temporal, 2 dias), da qualidade radiométrica e geométrica e do fácil acesso e obtenção, as imagens MODIS, em particular o produto MOD13 (índices de vegetação NDVI e EVI), tem efetiva e sistematicamente auxiliado no monitoramento de todo o bioma Cerrado, provendo mapas de cobertura e uso do solo. Como exemplo, pode-se citar o mapa de uso da terra e remanescentes do Cerrado, realizado em 2004, pela Conservação Internacional, utilizando imagens do sensor Terra/MODIS (resolução espacial de 250

metros) (Machado et al., 2004). Nesse estudo, os autores estimaram que cerca de 55% do Cerrado tinham sido desmatados até o ano de 2002.

Também com base no produto MOD13, a análise de alvos como a vegetação natural, pastagem e agricultura passaram a ser realizadas numa escala multitemporal, melhorando o entendimento do bioma Cerrado no que diz respeito à sua estrutura, funcionamento e papel ecológico (Ratana et al., 2005; Ferreira et al., 2006).

3 DESENHO EXPERIMENTAL

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Considerou-se, neste trabalho, toda a área de ocorrência da classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria), com base no mapeamento realizado pelo PROBIO (figura 5). Esta fitofisionomia, distribuída ao longo do bioma Cerrado, compreende os seguintes limites: entre 3°10'22" e 24° 27'2" de latitude sul e de 42° 9'53" a 60° 6'27" de longitude oeste.

De acordo com o PROBIO, (2007), a classe Savana Arborizada com floresta de galeria (Saf), representa 23.026.376 hectares ou 18,58% dos 60,50% que ainda restam da cobertura vegetação natural do Cerrado, enquanto a outra classe, a Savana Arborizada sem floresta de galeria (Sas), representa 18.770.848 hectares, ou 15,14% dos 60,50%. Portanto, as duas classes juntas somam 33,72%, ou seja, mais da metade de toda a vegetação remanescente do Cerrado.

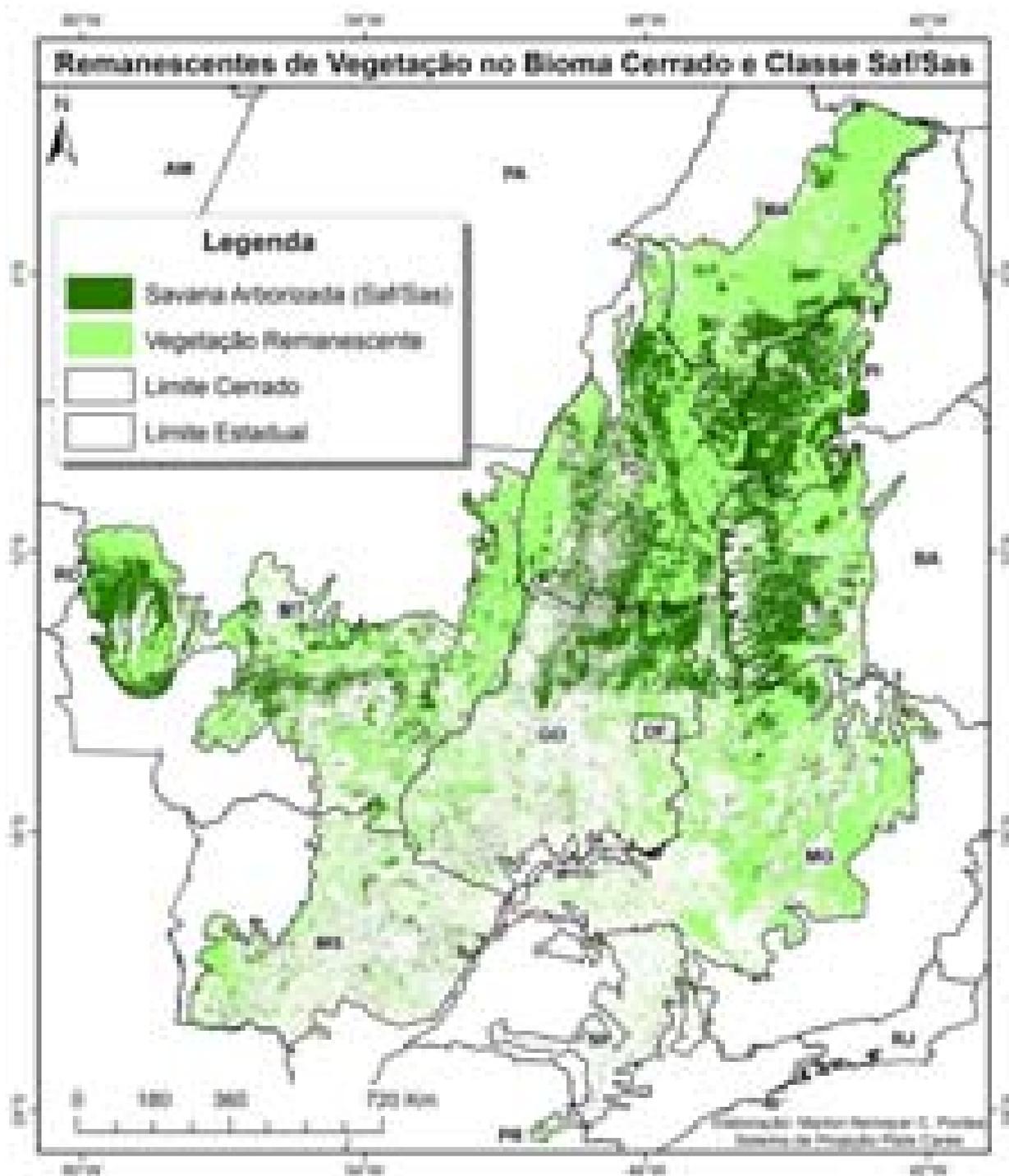


Figura 5. Localização dos remanescentes de vegetação no bioma Cerrado, com destaque para a classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria).
Fonte: PROBIO (2007).

3.2 DADOS CARTOGRÁFICOS

Nesta etapa, procedeu-se a compilação de toda a base de dados cartográfica necessária à realização da pesquisa. Em relação aos dados PROBIO, estes são organizados em 172 recortes (figura 6), correspondentes às quadriculas do IBGE, na

escala de 1:250.000, georreferenciadas para o sistema de coordenadas geográficas e referencial geodésico SAD69. O conjunto com os 172 recortes foram mosaicaados, no programa ArcGis 9.3, originando o mapa completo para o Cerrado.

Em seguida, as duas subclasses de interesse, Savana Arborizada com floresta de galeria (Saf) e Savana Arborizada sem floresta de galeria (Sas), foram agrupadas, compondo uma única classe, e depois exportadas para um novo arquivo vetorial (formato *shapefile*).

Utilizou-se também, os dados vetoriais referentes ao limite da América do Sul, divisão estadual do Brasil, limite do Cerrado e tiles MODIS. A combinação destes dados serviram de base para a confecção de todos os mapas usados neste trabalho.

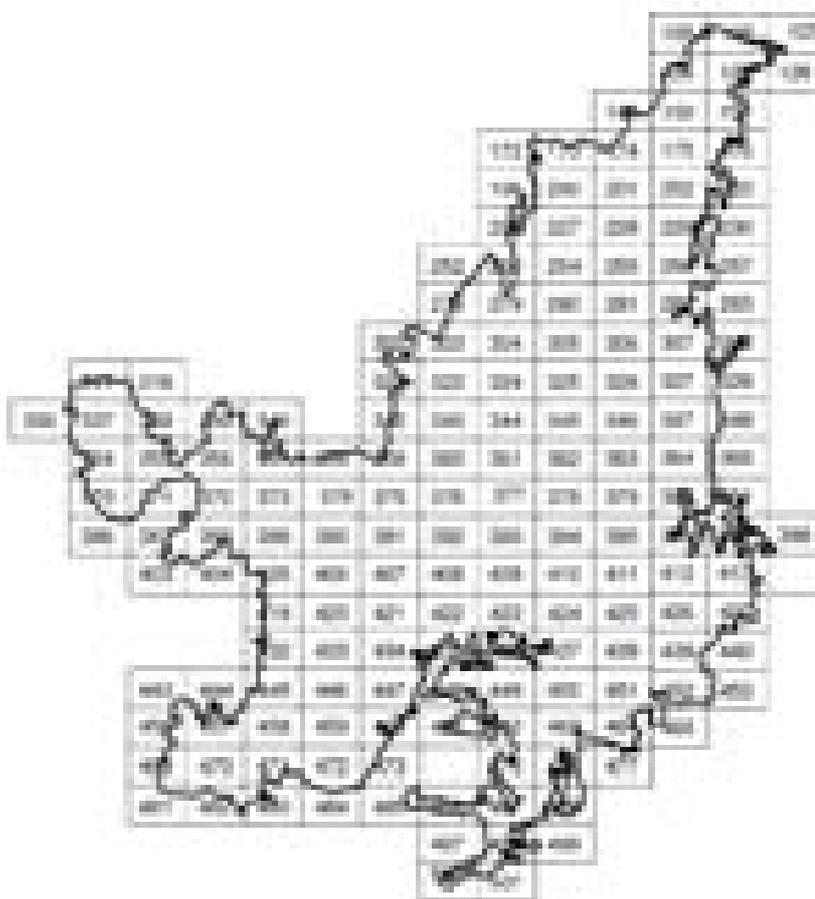


Figura 6. Localização e identificação dos 172 recortes do mapa de cobertura e uso da terra para o Cerrado. Fonte: PROBIO (2007).

3.3 IMAGENS MODIS

Procedeu-se à organização de uma base de imagens MOD13Q1 (Índice de Vegetação), coleção 5, referente ao período de 2004 a 2008. O processo consistiu em selecionar e fazer o *download* das cenas solicitadas através do link FTP,

disponíveis a partir do *Warehouse Inventory Search Tool* – WIST (ferramenta de busca de dados armazenados do *Earth Observation System*).

Cada cena MODIS abrange uma área de 1200 km x 1200 km, com o tamanho de *pixel* de 250 metros. As imagens são disponibilizadas a cada 16 dias, somando 23 cenas para cada ano, totalizando 115 cenas para os 5 anos (2004-2008). Para o Cerrado são necessárias 5 cenas (*tiles*) do sensor MODIS (H12V10, H12V11, H13V09, H13V10 e H13V11) conforme mostrado na figura 7.

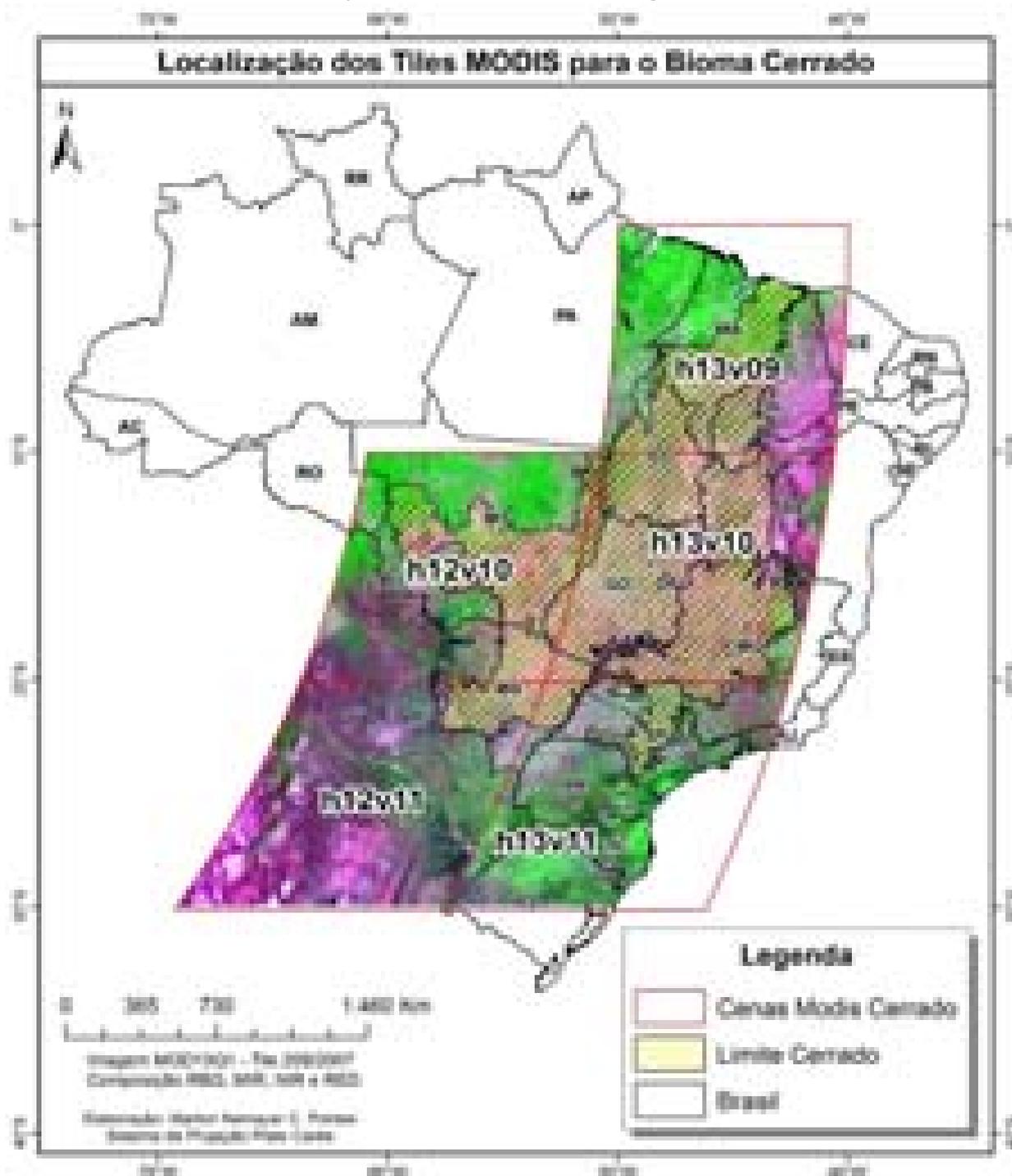


Figura 7. Localização dos *tiles* MODIS para o bioma Cerrado.

3.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Esta etapa consistiu no processamento das imagens MODIS (figura 8), incluindo as etapas de reprojeção, mosaicagem e filtragem (com base nos metadados que acompanham o produto MOD13Q1) (Ferreira et al., 2007).

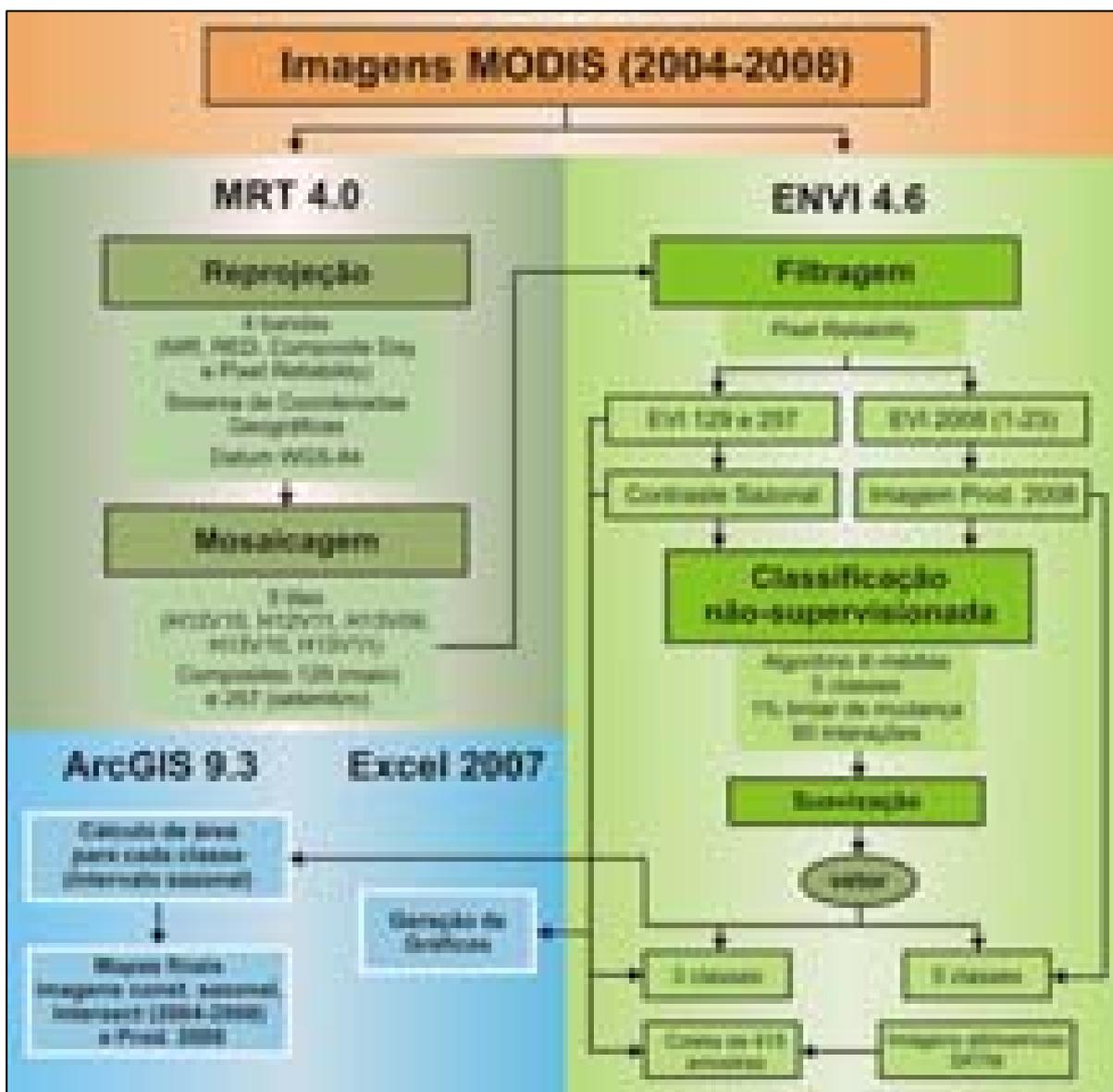


Figura 8. Fluxograma referente às etapas do processamento de dados.

Para reprojetar e mosaicar as imagens MODIS, foi utilizado o software MRT 4.0 (*MODIS Reprojection Tool*), disponibilizado através do site do *Earth Observing System Data Gateway* (portal de dados do Sistema de Observação da Terra).

As cenas MODIS são disponibilizadas no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e possuem o sistema de projeção Sinusoidal. Para representar melhor o