



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia



PABLO SANTANA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO BIOFÍSICO AMBIENTAL
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO A PARTIR DE
DADOS REMOTAMENTE SENSORIADOS**

GOIÂNIA

2014

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem resarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Pablo Santana Santos		
E-mail:	pablo.srgeo@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Vínculo empregatício do autor		Universidade Federal do Oeste da Bahia	
Agência de fomento:		Não houve	Sigla: UFOB
País:	Brasil	UF:	BA CNPJ: 18.641.263/0001-45
Título:	Caracterização e mapeamento biofísico ambiental da bacia hidrográfica do rio Vermelho a partir de dados remotamente sensoriados.		
Palavras-chave:	Sensoriamento Remoto, Pastagem, Análise Biofísica		
Título em outra língua:	Characterization and mapping biophysical environment of the rio Vermelho watershed from remotely sensed data.		
Palavras-chave em outra língua:	Remote Sensing, Pasture, Biophysical Analysis		
Área de concentração:	Geografia		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	15/05/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Geografia /IESA		
Orientador (a):	Dr. Laerte Guimarães Ferreira		
E-mail:	laerte@ufg.br		
Co-orientador (a): *			
E-mail:			

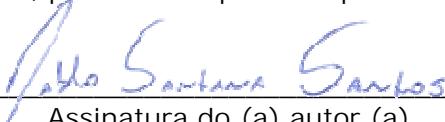
*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 02 / 07 / 2014

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

PABLO SANTANA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO BIOFÍSICO AMBIENTAL
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO A PARTIR DE
DADOS REMOTAMENTE SENSORIADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira

GOIÂNIA

2014

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

	Santos, Pablo Santana.
S237c	Caracterização e mapeamento biofísico ambiental da bacia hidrográfica do rio Vermelho a partir de dados remotamente sensoriados [manuscrito]: / Pablo Santana Santos. - 2014. 157 f. : figs, tabs.
Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira.	
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2014.	
Bibliografia.	
1.Cerrado – Pastagens 2. Bacia hidrográfica -Vermelho, Rio – Goiás (Estado) 3. Pastagens – Monitoramento sensor 4. Sensoriamento remoto I. Título.	
CDU – 910.27:633.2.033(817.3)	



ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE

Pablo Santana Santos

Aos quinze do mês de maio do ano de dois mil e quatorze (2014), a partir das 16h e 00min, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Tese de Doutorado de Pablo Santana Santos, intitulada "CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO BIOFÍSICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO A PARTIR DE DADOS REMOTAMENTE SENSORIADOS". A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria n.º 038/2014 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr. (Presidente), Profa. Dra. Celene Cunha Monteiro Antunes Barreira (membro titular), Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira (membro titular), Prof. Dr. Pedro Alves Vieira (membro titular externo) e Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito (membro titular externo). Os examinadores arguiram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 19:30 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo a candidato obtido os seguintes resultados:

Prof. Dr. Laerte Guiamrães Ferreira Jr. (Presidente) – Ass. Laerte
Aprovado(a) Reprovado(a)

Profa. Dra. Celene Cunha Monteiro Antunes Barreira – Ass. Celene
Aprovado(a) Reprovado(a)

Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira – Ass. Ivanilton
Aprovado(a) Reprovado(a)

Prof. Dr. Pedro Alves Vieira – Ass. Pedro
Aprovado(a) Reprovado(a)

Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito – Ass. Jorge
Aprovado(a) Reprovado(a)

Resultado final: Aprovado(a) Reprovado(a)

Houve alteração no Título? Sim Não

Em caso afirmativo, especifique o novo título: _____

Outras observações: _____

Reaberta a Sessão Pública, o(a) Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Secretaria..... Diane Cristina Pereira Dionizio

Diane Cristina Pereira Dionizio
Assistente Administrativo IESA/UFG
SIAPE: 2072165

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Eduardo e Vilma, sempre fundamentais na minha vida, que me ensinaram grandes virtudes, a exemplo da honestidade e companheirismo.

À minha esposa Eng^a. Crisliane Santos, companheira em todas as etapas do desenvolvimento do trabalho, que soube compreender as minhas ausências, e me deu apoio para enfrentar os obstáculos. Uma pessoa muito especial em minha vida.

Ao orientador Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira, que com sua vasta experiência sobre a pesquisa científica, sempre presente em todas as etapas do desenvolvimento do trabalho de tese, contribuiu com ensinamentos fundamentais para o meu processo de formação. Além do grande respeito, a você, a minha gratidão!

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, por contribuir de forma significativa com a minha formação acadêmica/profissional.

Às professoras Dra. Celene Barreira e Dra. Cláudia Lima, pelas contribuições em um dos momentos mais importantes da consolidação deste projeto, a etapa de qualificação da pesquisa.

Ao Prof. Pedro Vieira, referência de conhecimento na área de estudo, sempre disposto a auxiliar nas atividades de campo, além das dicas fundamentais.

A todos os pecuaristas que permitiram, em suas propriedades, a coleta de material vegetal (biomassa). Sou grato a todos vocês, e espero que este estudo tenha contribuído para o entendimento das características biofísicas locais.

Aos colegas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG): Adriano, Arielle, Msc. Antônio, Profa. Dra. Elaine, Msc. Fernando, Prof. Dr. Genival, Msc. Janete, Prof. Dr. Manuel, Roberto e Msc. Sílvio, Msc. Sylvia, pelo acolhimento, de fundamental importância à minha ambientação, pelo apoio e auxílio na produção de informações essenciais utilizadas nesta pesquisa.

Ao Prof. Gustavo Manzon pela cooperação científica, como o empréstimo do espetroradiômetro, importante na caracterização radiométrica das pastagens.

Aos discentes Ítalo Lenzi e Denys Melo, pelo apoio nas atividades de campo.

... jamais poderia deixar de lembrar de Deus, a razão e sustentação de toda a minha vida,
sempre traçando novos caminhos e horizontes para minha longa caminhada.

“Happiness does not depend on what we lack, but good use of what we do with what we have”

Thomas Hardy

RESUMO

A expansão da atividade agropecuária no Cerrado brasileiro representa hoje mais da metade da área total deste bioma, onde a conversão das áreas naturais em pastagens cultivadas foi a principal dinâmica imposta pelo setor produtivo ao longo de um processo histórico de ocupação relativamente recente. Tais transformações tendem a resultar em padrões espaciais distintos quanto ao comportamento biofísico das principais formações vegetais existentes, os quais podem ser identificados e discriminados através dos vários produtos de sensoriamento remoto disponíveis. O presente trabalho, ao utilizar a bacia hidrográfica do rio Vermelho como unidade experimental do bioma Cerrado, teve como objetivo principal realizar uma análise detalhada das respostas biofísicas frente aos processos históricos que condicionaram as transformações na paisagem, considerando o período entre 2001 a 2011, e uma ampla base de dados satelitária, obtida a partir dos produtos MODIS (índice de vegetação, evapotranspiração, produtividade primária) e TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission/precipitação*). Os nossos resultados evidenciam que fatores climáticos, a exemplo da sazonalidade, tem uma influência direta na biomassa das principais formações vegetais, principalmente àquelas que apresentam sistemas radiculares superficiais, com reduções nos valores radiométricos de até 50% durante o período da seca. De forma significativa, as áreas de vegetação natural, comparadas às áreas de pastagens cultivadas, apresentaram comportamentos distintos do ponto de vista biofísico ($p < 0,05$). Em fato, dois macroambientes puderam ser definidos para a área de estudo, onde predominam a ocupação antrópica (“Região 1”) e a vegetação natural remanescente (Região 2), respectivamente. A distribuição das pastagens cultivadas e naturais está associada a fatores edafoclimáticos locais, como características de solo (profundidade/pedregosidade) e disponibilidade hídrica, os quais explicam a ocorrência da maioria das espécies forrageiras. Com base nos dados de biomassa coletados em campo, é possível afirmar: 1) as pastagens cultivadas encontradas na “Região 1” são ligeiramente mais produtivas do que as encontradas na “Região 2”, tanto no período seco quanto chuvoso, e 2) há uma correspondência entre a biomassa verde encontrada no período seco para as duas categorias de pastagens, ao contrário do observado no período chuvoso. Entretanto, e tendo por base as imagens biofísicas sazonais de resolução espacial moderada (MODIS), não é possível separar entre pastagens nativas e cultivadas. Por sua vez, esta separação se mostra possível através da classificação supervisionada (*Support Vector Machine*) de imagens de resolução espacial média (Landsat). Com base em imagens *RapidEye/BlackBridge*, com resolução espacial de 5m, foi produzido um mapa de cobertura e uso da terra à escala de 1:50.000, no qual foi possível separar as áreas de pastagens quanto à sua tipologia, bem como individualizá-las em outras formas de uso e fito-fisionomias remanescentes (Acurácia Total ~ 90% e Kappa = 0,83).

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Pastagem, Análise Biofísica.

ABSTRACT

The agricultural expansion in the Brazilian Cerrado represents nowadays more than half of the total biome area, where conversion of the natural vegetation to pasturelands is the main dynamics imposed by the productive sector along the relatively recent historical occupation process. Such transformations tend to create distinct spatial patterns regarding the biophysical behavior of the main existent vegetation formations, which can be identified and discriminated through a variety of available remote sensing products. This study, focused on the rio Vermelho watershed, a representative unit of the Cerrado biome, and considering a variety of satellite data for the 2001 – 2011 period, pursued a detailed analysis of the biophysical responses in face of the historical processes that determined and shaped the landscape transformations. Specifically, the following datasets were utilized: MODIS (vegetation index, evapotranspiration and primary productivity) and TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) precipitation. Our results indicated that climatic factors, such as seasonality, have a direct influence on biomass levels of key vegetation formations, particularly those with shallow root systems, for which reductions in radiometric values, as high as 50%, could be observed during the dry season. In fact, natural vegetation areas, comparatively to areas dominated by cultivated pastures, show very distinct and significant biophysical behavior ($p < 0.05$). Likewise, two major landscapes could be identified, i.e. “Region 1” and “Region 2”, where converted and remnant vegetation areas predominate, respectively. The distribution of natural and cultivated pastures seems to be related to local edafoclimatic factors, such as soil (depth/lithic content) and water availability, which explain the occurrence of most grass species. Based on field biomass, it is possible to say: 1) cultivated pastures found in “Region 1” are slightly more productive comparatively to those from “Region 2” (for both dry- and wet-seasons) and 2) there is a correspondence between “natural” and “cultivated” green biomass during the dry season, as opposed to the wet season. However, and based on the seasonal moderate spatial resolution MODIS images, it is not possible to separate between natural and cultivated pastures. In fact, such separation can be accomplished via the supervised classification (Support Vector Machine) of medium spatial resolution imagery (Landsat). Based on high spatial resolution (5m) RapidEye/BlackBridge images, it was produced a land cover / land use map for the entire basin at the 1:50.000 scale, in which it was possible to discriminate the major converted and natural physiognomies, and distinct grass species, in particular (Overall Accuracy ~ 90% and Kappa = 0.83).

Key-words: Remote Sensing, Pasture, Biophysical Analysis.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 01 - INTRODUÇÃO.....	22
1.1 Hipóteses	25
1.2 Objetivos.....	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos.....	26
2. CAPÍTULO 02 - REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1 A ocupação histórica do bioma Cerrado	34
2.2 Principais reflexos da modernização agrícola sobre a paisagem	36
2.3 Importância do sensoriamento remoto na caracterização da paisagem	39
2.3.1 Sensoriamento remoto da vegetação	39
2.3.2 Caracterização biofísica das pastagens	40
2.3.3 Contribuição das técnicas de classificação de imagens	44
3. CAPÍTULO 03 - ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	45
3.1 Características da área de estudo	45
3.2 Materiais e métodos.....	46
3.3 Campanhas de campo	54
4. CAPÍTULO 04 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra	56
4.1.1 Características gerais sobre a paisagem.....	56
4.1.2 Avaliação biofísica associada ao uso da terra	62
4.1.3 Abordagem estatística	73

4.2 Caracterização biofísica das áreas de pastagens cultivadas e naturais	76
4.2.1 Características gerais sobre as pastagens.....	76
4.2.2 Expansão histórica das pastagens cultivadas sobre as naturais	77
4.2.3 A influência da seca na economia local.....	79
4.2.4. Caracterização biofísica das pastagens cultivadas e naturais	81
4.2.4.1 Modelo de ocorrência das principais espécies.....	81
4.2.4.2 Padrões encontrados nas imagens orbitais do <i>RapidEye/BlackBridge</i>	83
4.2.4.3 Distribuição do painel amostral.....	86
4.2.4.4 Relação sazonal da matéria seca a partir de coleta de campo	88
4.2.4.5 Abordagem espectral complementar	95
4.2.4.6 Influência sazonal no comportamento das pastagens, baseado em dados orbitais	98
4.2.4.7 Comparação biofísica orbital entre as pastagens cultivadas e naturais	102
4.3 Avaliação de classificadores supervisionados na identificação da cobertura e uso da terra em imagens multiespectrais	105
4.3.1 Visão geral das principais coberturas e usos da terra	105
4.3.2 Avaliação preliminar das características radiométricas.....	106
4.3.3 Potencial dos classificadores supervisionados (MAXVER e SVM) na diferenciação das principais formas de cobertura e uso da terra	107
4.3.4 Elaboração de um mapa de cobertura e uso da terra (2011) em escala semi-detalhe.....	113
4.3.4.1 Resultados do mapeamento da cobertura e uso da terra	120
4.3.4.2 Acurácia do mapeamento (índices de concordância)	123
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	126

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
APÊNDICE A – Figura 08, em escala maior	149
APÊNDICE B – Figura 11, em escala maior	150
APÊNDICE C – Figura 12, em escala maior	151
APÊNDICE D – Figura 14, em escala maior	152
APÊNDICE E – Figura 16, em escala maior	153
APÊNDICE F – Figura 20, em escala maior.....	154
APÊNDICE G – Figura 22, em escala maior	155
APÊNDICE H – Figura 25, em escala maior	156
APÊNDICE I – Figura 55, em escala maior.....	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da área de estudo, em relação ao estado de Goiás e ao bioma Cerrado.....	45
Figura 02 – Organograma da relação entre a cobertura e uso da terra e as variáveis biofísicas analisadas.....	46
Figura 03 – Exemplo hipotético de perfil esquemático (transecto), relacionando informações sobre a cobertura e uso da terra, solos e morfometria do relevo.....	47
Figura 04 – Painel amostral das 20 (vinte) áreas de pastagens (cultivadas e naturais) pré-selecionadas para a coleta da bimassa, transformada em matéria seca a partir de procedimentos laboratoriais, e que também foram utilizadas para a aquisição de curvas espectrais.....	51
Figura 05 – Exemplos dos métodos de obtenção das assinaturas espectrais das pastagens (<i>Field of View e Plant Probe</i>), utilizando o espectroradiômetro <i>Fieldspec-3</i>	51
Figura 06 – Agrupamento estatístico dos níveis digitais identificados pelo classificador supervisionado SVM, com 22 (vinte e duas) parametrizações estatísticas divididas em três grupos de análise: Espectral (4), Textural (4) e Forma (14).....	53
Figura 07 – Diferentes datas de passagens do satélite <i>RapidEye/BlackBridge</i> (2011), onde a maioria dos registros correspondem a intervalos compreendidos na estação seca.....	53
Figura 08 – Distribuição da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, para os períodos de 1987, 2002 e 2008.....	56
Figura 09 – Principais usos da terra encontrados na BHRV: a) vegetação natural típica do Cerrado, b) pastagens cultivadas, c) plantio de milho, d) pivô central para a produção de gramas ornamentais, e) pivô central com sorgo, f) área com pastagens cultivadas para a produção de sementes, g) pastagem natural próximo a Serra da Mesa, h) reflorestamento com a espécie <i>Eucalipto sp.</i>	57

Figura 10 – Relação entre o aumento das pastagens e a redução da vegetação natural entre o intervalo de 1987 a 2002, na porção oeste da bacia.....	59
Figura 11 – Distribuição espacial da cobertura e uso da terra (2008), onde as pastagens e a vegetação natural (arbórea/arbustiva) são as principais representações em ordem de importância, sobre solos variados e hipsometria com amplitude de 819 metros.....	60
Figura 12 – Organização espacial dos produtores rurais, escalonados pelo tamanho das propriedades, em função das características físicas da bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	61
Figura 13 – Perfis esquemáticos relacionando solos, relevo e cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho. É possível identificar que na “Região 1” as áreas de pastagens são mais expressivas, excluindo-se apenas as áreas impróprias para a atividade pastoril (Gleissolo).....	62
Figura 14 – Distribuição espacial de estimativas mensais de precipitação, entre 2001 a 2011, na bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	63
Figura 15 – Distribuição das médias sazonais (2001 a 2011) referentes aos períodos seco e chuvoso para a bacia hidrográfica do rio Vermelho, onde é possível identificar duas estações completamente distintas.....	64
Figura 16 – Valores médios da evapotranspiração mensal (2001 a 2011), onde pode-se observar que os meses de agosto apresentam menores índices e com distribuição mais homogênea ao logo da BHRV. Na “Região 2”, os valores de evapotranspiração tendem a ser mais acentuados.....	65
Figura 17 – Redução média da evapotranspiração nos dois períodos sazonais (seco e chuvoso), com queda de 95% para os valores de precipitação, e 61% nos valores de evapotranspiração.....	65
Figura 18 – Taxas de redução da evapotranspiração entre o período seco e chuvoso, onde pode-se observar que as maiores reduções se concentraram na “Região 2”.....	66
Figura 19 – Influencia da morfologia radicular (no detalhe, área de vegetação arbórea/arbustiva) nas estimativas de evapotranspiração durante o período seco.....	67

Figura 20 – Distribuição espacial dos valores de <i>Blue Water</i> na bacia, onde é possível observar que os meses de dezembro e janeiro apresentam maior disponibilidade hídrica.....	68
Figura 21 – Perfil esquemático com a eficiência das diferentes fito-fisionomias presentes na bacia hidrográfica do rio Vermelho, quanto à capacidade de aproveitamento da água armazenada no solo.....	69
Figura 22 – Distribuição espacial dos valores EVI (médias mensais) para a bacia hidrográfica do rio Vermelho, entre o período de 2001 a 2011.....	70
Figura 23 – Relação entre as médias mensais EVI e água disponível (<i>blue water</i>) na bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	70
Figura 24 – Relação entre os valores de EVI e as principais formas de cobertura e uso da terra encontradas na bacia hidrografia do rio Vermelho.....	71
Figura 25 – Distribuição espacial (e inter-anual) dos valores de Produtividade Primária Líquida (PPL) para a bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	72
Figura 26 – Influencia da precipitação (estimativas anuais) sobre a Produtividade Primária Líquida média (PPL) na bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	73
Figura 27 – Resultados do teste de homogeneidade para as variáveis biofísicas consideradas neste estudo, com distribuição mensal acumulada (2001 a 2011).....	73
Figura 28 – Diagrama de dominância para as variáveis biofísicas (2001 a 2011) em relação aos dois grandes domínios (i.e. “Região 1” e “Região 2”) presentes na bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	75
Figura 29 – Pastagens cultivadas, representadas por espécies exóticas, i.e. <i>Brachiaria brizantha</i> (a), <i>Brachiaria humidicola</i> (b), <i>Andropogon gayanus</i> (c), e pastagens naturais composta por um conjunto de espécies, encontradas principalmente em regiões serranas, i. e. da Serra da Mesa (d), áreas de difícil acesso.....	76
Figura 30 – Área de pastagem cultivada no município de Britânia, utilizada para a produção comercial de sementes da espécie <i>Brachiaria humidicola</i>	77

Figura 31 – Relação histórica entre ocupação das pastagens cultivadas e naturais, com base nos valores de área (ha) estimados pelos censos agropecuários de 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006.....	78
Figura 32 - Relação entre o efetivo bovino (2006) e as área de pastagens (2006) presentes em cada município que faz interseção com a BHRV, onde é visível que a produção municipal está associada a quantidade de área disponível para o pastejo, com pequenas variações nos índices de lotação bovina.....	79
Figura 33 – Exemplos de diferentes pastagens no período seco, com evidência de estresse hídrico severo, onde os pastos não apresentam condições para a alimentação animal	80
Figura 34 – Modelo de distribuição das principais espécies de pastagens, onde as ocorrências estão associadas à fatores edafoclimáticos locais.....	82
Figura 35 – Relação entre a distribuição das pastagens naturais e cultivadas nos municípios que fazem interseção com a BHRV.....	83
Figura 36 – Padrões de pastagens representados pelas imagens do satélite <i>RapidEye/BlackBridge</i> associados a fotografias obtidas nas campanhas de campo, onde é percebido a diferença encontrada entre as principais espécies exóticas <i>Brachiaria brizantha</i> e <i>Brachiaria humidicola</i>	85
Figura 37 – Distribuição das 20 (vinte) amostras de pastagens cultivadas e naturais nas duas regiões da BHRV (“Região 1” e “Região 2”). O painel amostral está dividido em 16 (dezesseis) amostras de pastagens cultivadas, e 04 de pastagens naturais.....	87
Figura 38 – Influência sazonal (período seco e chuvoso) no percentual de biomassa verde e seca das pastagens cultivadas e naturais na BHRV. É importante salientar que a estimativa do percentual nas áreas de pastagens é uma medida relativa, e diz respeito à proporcionalidade.....	90
Figura 39 – Equivalência entre a matéria seca (biomassa verde) das áreas de pastagens cultivadas e naturais no período seco. Já no período chuvoso, os valores encontrados de biomassa verde são bem superiores nas amostras de pastagens cultivadas, o que pode auxiliar na diferenciação destes dois grupos de forrageiras.....	91

Figura 40 - Teste de normalidade pelo método <i>Shapiro-Wilk</i> , que atesta comportamento de normalidade para as duas distribuições sazonais: período seco e chuvoso, admitindo assim, regras paramétricas comparativas entre as pastagens cultivadas e naturais.....	92
Figura 41 – Registros fotográficos que exemplificam a equivalência entre a biomassa verde no período seco nas pastagens cultivadas e naturais, enquanto no período chuvoso, é evidente a distinção entre a quantidade de biomassa verde nas áreas de pastagens cultivadas e naturais da BHRV.....	94
Figura 42 – Comparação entre as pastagens cultivadas nas regiões da BHRV (“Região 1” e “Região 2”). Percebe-se que as pastagens cultivadas da “Região 1” são mais produtivas que as pastagens encontradas na Região 2. Esta diferença na produtividade ocorre nos dois períodos sazonais.....	94
Figura 43 – Comparaçāo, por meio de registros fotográficos panorâmicos, da produtividade nas áreas de pastagens cultivadas encontradas nas regiões da BHRV, em ambos períodos sazonais: seco e chuvoso. Visivelmente as pastagens cultivadas amostradas na “Região 1” são mais produtivas.....	95
Figura 44 – Comportamento espectral das pastagens cultivadas e naturais, obtidas com o FOV (1°), a 1 (um) metro de altura do solo. Em linhas gerais, as curvas apresentaram padrão típico de material vegetal em senescência (seco).....	96
Figura 45 – Caracterização espectral das pastagens pelo método <i>Plant Probe</i> . As pastagens naturais apresentam maior percentual de conteúdo de água na folha, e a <i>Brachiaria brizantha</i> apresentou maiores níveis de estresse hídrico.....	98
Figura 46 – Médias sazonais entre o período 2001 a 2011 das variáveis biofísicas: Índice de Vegetação (EVI), Precipitação (P), Evapotranspiração (ET) e <i>Blue Water</i> (BW), das 20 (vinte) amostras de pastagens selecionadas na BHRV, estimadas a partir de produtos orbitais.....	99
Figura 47 – Regressão linear do comportamento das variáveis biofísicas orbitais analisadas nas áreas de pastagens.....	101
Figura 48 – Influencia da vegetação arbórea/arbustiva na estimativa do vigor vegetativo nas áreas de pastagens.....	104

Figura 49 – Mapeamento da cobertura e uso da terra para o ano de 2008, com base em imagens do satélite TM/Landsat-5, realizado por Vieira (2013), onde as pastagens e a vegetação natural são as duas formações predominantes na BHRV, em ordem decrescente.....	105
Figura 50 – Avaliação radiométrica das seis bandas espectrais utilizadas, onde não foram encontrados características de saturação, já que há uma distribuição discreta observada no eixo y.....	107
Figura 51 – Análise gráfica das diferenças/similaridades das classes de cobertura e uso da terra (vegetação arbórea/arbustiva, pastagens cultivadas e naturais), nos dois períodos sazonais, a partir das médias obtidas pelas 07 (sete) amostras, extraídas de cada classe.....	109
Figura 52 – Diagrama de dominância, como base no “Teste t” onde é possível afirmar que há uma distinção estatística, em ambos períodos sazonais, entre a vegetação arbórea/arbustiva e as pastagens cultivadas e naturais. Por outro lado, existe uma similaridade comprovada entre as pastagens cultivadas e naturais.....	110
Figura 53 – Seleção de duas amostras de pastagens naturais, a partir da identificação em campo. As imagens de satélite que exemplificam as duas amostras de pastagens naturais, em períodos sazonais distintos, representadas na composição colorida 5R 4G 3B.....	111
Figura 54 – Ambos os classificadores supervisionados apresentaram problemas na separação das áreas de pastagens cultivadas e naturais, entretanto, em função da incorporação de outras variáveis, o SVM apresentou resultados animadores.....	112
Figura 55 – Mapa de cobertura e uso da terra da BHRV, na escala de 1:50.000. As classes Pastagem Cultivada 1 e Vegetação Arbórea/Arbustiva são as principais formas de cobertura e uso da terra.....	113
Figura 56 – Exemplo das principais formas de ocorrência da categoria de paisagem “Vegetação Arbórea/Arbustiva” na BHRV, localizadas nas proximidades da Serra da Mesa, e ao longo dos rios sob forma de mata ciliar.....	114
Figura 57 – As três principais espécies encontradas de pastagens cultivadas, em ordem de extensão: <i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Brachiaria humidicola</i> e <i>Andropogon gayanus</i> ...	115

Figura 58 – Área de Pastagem Natural, localizada próximo a Serra da Mesa, em região de difícil acesso. Estas áreas apresentam similaridade com a formação de “pasto sujo”, pois como não são manejadas, há um processo de regeneração natural em estágio médio a avançado.....	116
Figura 59 – Alguns cultivos encontrados na BHRV (Sorgo e Algodão) em sistema de irrigação por Pivô Central.....	117
Figura 60 – Agricultura de Sequeiro, onde o solo permanece em pousio durante todo o período seco, já que a precipitação é muito baixa ou nula. No período chuvoso, estas áreas recebem cultivos de ciclo curto, i. e. Soja e Milho.....	117
Figura 61 – Pequenas áreas de Reflorestamento povoadas pela espécie <i>Eucalipto sp.</i> , encontradas principalmente na região oeste da bacia.....	118
Figura 62 – Cicatrizes deixadas após ocorrer a queima para renovação das pastagens, com padrão escuro inconfundível na imagem de satélite.....	119
Figura 63 – Área Urbana, representada pelos núcleos urbanos consolidados, sedes dos municípios que fazem interseção com a BHRV. Em destaque a cidade histórica de Goiás, representando o maior núcleo urbano populacional, embrião do estado de Goiás.....	119
Figura 64 – Formação de Bancos de Areia ao longo dos meandros e foz dos rios Vermelho e Araguaia. Material transportado a partir de processos erosivos que ocorrem na bacia.....	120
Figura 65 – Lago do Tigre, ponto turístico localizado na cidade de Britânia, onde o acesso é por meio de balsa, fazendo a conexão entre a cidade de Britânia e algumas propriedades rurais que estão no entorno da GO-324, ainda sem pavimentação.....	120
Figura 66 – Menor conectividade dos fragmentos florestais na “Região 1”, em função da implantação de extensas áreas de pastagens cultivadas. Por outro lado, os fragmentos apesar de apresentarem uma menor população na “Região 2”, estes são mais expressivos em termos de área, o que pode apresentar uma melhor ambientação para algumas espécies da macrofaua.....	123

Figura 67 – Distribuição dos 120 (cento e vinte) pontos de controle utilizados para a avaliação do mapeamento da cobertura e uso da terra, a partir das Estatísticas Totais e Índice Kappa..... 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características espectrais do satélite <i>RapidEye/BlackBridge</i> , comparativamente aos intervalos espectrais do TM/Landsat-5.....	54
Tabela 02 – Datas e objetivos das (07) sete campanhas de campo realizadas durante o desenvolvimento da pesquisa, para atender diversos objetivos.....	54
Tabela 03 – Resumo do Teste-F (2001 a 2011) para vegetação arbórea/arbustiva e herbácea.....	74
Tabela 04 – Valores-p para o Teste-t (2001 a 2011).....	74
Tabela 05 – Características gerais das propriedade utilizadas no painel amostral para a avaliação biofísica das pastagens na BHRV, a partir da coleta de biomassa em campo.....	88
Tabela 06 – Valores sazonais de matéria seca, coletados para as 20 (vinte) amostras de pastagens.....	89
Tabela 07 – Teste de Equivalência (TOST) que comprova a igualdade entre a biomassa verde (g/m^2) das pastagens cultivadas e naturais para o período seco, e a diferença entre a biomassa verde nestes dois grandes grupos de pastagens, na estação chuvosa.....	93
Tabela 08 – Comparação sazonal entre o comportamento biofísico das pastagens cultivadas e naturais, a partir de produtos biofísicos orbitais (média 2001 a 2011). Percebe-se que os dados biofísicos orbitais utilizados não conseguem encontradas diferenças significativas no comportamento das pastagens.....	103
Tabela 09 – Distribuição dos valores digitais selecionados para as (06) seis bandas espectrais do TM/Lantsat-5, num total de 21 (vinte e uma) amostras, divididas em 07 (sete) amostras por classe de cobertura e uso da terra abordada.	108
Tabela 10 – Resultado quantitativo, referente as 12 (doze) classes de cobertura e uso da terra. As áreas de pastagens representam a principal forma de uso (67,6%), expressas pelas categorias: Pastagem Cultivada 1, 2, 3, além da Pastagem Natural.....	121

Tabela 11 – Resultado dos índices de Concordância Total e Kappa, que utilizaram a comparação entre os dados coletados de campo com os resultados da classificação automática da cobertura e uso da terra.....	124
---	-----

1. CAPÍTULO 01 - INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado como um dos países de maior biodiversidade no mundo, com aproximadamente 10% de toda a biota terrestre (MITTERMEIER et al. 1997). O Cerrado brasileiro é a maior região neotropical das savanas existentes no mundo, cobrindo cerca de 45% de América do Sul (CASTRO et al., 1994). Entre os biomas brasileiros, este tem sofrido uma forte pressão de conversão do uso da terra (NEPSTAD et al., 1997), impulsionada principalmente pela produção agrícola e agropecuária.

Associado a esta forte pressão, destacam-se dois principais impactos: ambientais e socioeconômicos (BALSAN, 2006). No aspecto ambiental, a conversão do uso da terra representa uma consequência mais aparente (JEPSON et al., 2010), de modo que o bioma apresenta-se como a ecorregião brasileira com as maiores taxas de alterações de seus ambientes naturais (MARTINS-JÚNIOR e CHAVES, 2008), ou seja, mais da metade da vegetação original foi convertida em pastagens, culturas anuais e outras formas de uso da terra (KLINK e MACHADO, 2005; SANO et al., 2008). Por outro lado, e tendo por base a análise integrada de dados de diferentes naturezas, constatam-se transformações estruturais que ocorreram nos espaços agrários (BALSAN, 2006), a exemplo da organização espacial das propriedades rurais, as quais foram influenciadas por condições edafoclimáticas, privilegiando áreas com boas características físicas de solo, relevo (REZENDE, 2002), e índices pluviométricos favoráveis ao desenvolvimento das principais *commodities* implantadas pelo setor produtivo (VILELA et al., 2011).

Diante dos distintos (re)arranjos espaciais provenientes das transformações na cobertura e uso da terra, o sensoriamento remoto se mostra como uma ferramenta promissora que permite a coleta de dados quantitativos sobre a dinâmica da paisagem (KAWAMURA et al., 2008), de modo que as imagens/produtos multitemporais tem sido uma alternativa rápida e viável, senão única, para a compreensão de processos que ocorreram nesses ambientes (JEPSON, 2005; PAUL et al., 1981).

Entretanto, para uma boa compreensão da utilidade desta ferramenta, deve-se levar em consideração a precisão e o significado físico de cada estimativa (NUMATA et al., 2007). A grande variabilidade de ambientes tem sido um fator preponderante que dificulta a caracterização dos ambientes do bioma Cerrado pelo sensoriamento remoto multiespectral, o que pode resultar em análises da paisagem com representações

simplificadas (VAGEN, 2006), e assim, contribuir para o aumento significativo das incertezas.

Apesar das dificuldades enfrentadas, diversos índices espectrais, baseado na interação da energia eletromagnética com a superfície terrestre (JESEN, 2009), são utilizados para o entendimento das características funcionais/estruturais da vegetação (JACKSON e HUETE, 1991; HILL & DONALD, 1997), além de inferirem a contribuição/comportamento dos solos nesta resposta espectral (HUETE et al., 1985). Tais estimativas, a partir da análise de variáveis biofísicas, são utilizadas para entender as trocas existentes entre os subsistemas solo, planta e atmosfera (BRAUD et al., 1995; OLIOSO et al., 1999).

Em função da grande variabilidade de ambientes existentes no Cerrado, tanto antrópicos quanto naturais, é consenso da comunidade científica que existem dificuldades para a caracterização ampla das principais representações da cobertura e uso da terra, frente às limitações encontradas no sensoriamento remoto multiespectral. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo, combinar métodos diferenciados, a partir de produtos do sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens e coletas de campo, para a caracterização biofísica das principais formas de ocupação na Bacia Hidrográficas do Rio Vermelho (BHRV), com ênfase nas pastagens cultivadas e naturais, principais formas de uso da terra na bacia. A área escolhida está localizada na região centro-oeste do estado de Goiás, microrregião do Rio Vermelho, considerada uma unidade interessante para o desenvolvimento de pesquisas sobre a caracterização biofísica das áreas de pastagens, já que estas representam mais que 55% do uso da terra (VIEIRA, 2013), com uma organização fundiária fragmentada em função da influencia de fatores edafoclimáticos, além de apresentar uma grande diversidade de ambientes. Em função de tais características, a BHRV é aqui denominada de unidade experimental do bioma Cerrado, e foi escolhida como unidade geográfica de estudo.

A tese está estruturada em formato monográfico, dividido em 04 (quatro) capítulos: Capítulo 01- Introdução; Capítulo 02- Revisão de Literatura; Capítulo 03- Aspectos Metodológicos; Capítulo 04- Resultados e Discussão (Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra, Caracterização biofísica das áreas de pastagens cultivadas e naturais, e Avaliação de classificadores supervisionados na identificação da cobertura e uso da terra em imagens

multiespectrais), além das Considerações Finais, Referências Bibliográficas e Apêndices. A estruturação e organização do projeto tiveram por referência os seguintes questionamentos:

- a) Existe uma relação espacial entre a paisagem (i.e. uso e cobertura, organização fundiária) e os fatores edafoclimáticos locais (estruturação geomorfológica, relevo e clima)?
- b) A configuração da paisagem, proveniente do processo histórico de ocupação, condicionou um padrão espacial nas estimativas biofísicas locais?
- c) Há diferença significativa de biomassa nas áreas com pastagens cultivadas e naturais? Esta diferença é mais expressiva em qual estação sazonal, período seco ou chuvoso?
- d) É possível por meio do sensoriamento remoto, através de variáveis biofísicas, caracterizar as áreas com pastagens cultivadas e naturais?
- e) Com a inserção de classificadores supervisionados multiparâmetros (ex. SVM), é possível ter uma distribuição estatística diferenciada nos agrupamentos digitais para áreas de pastagens cultivadas e naturais, a partir de abordagens multitemporais?

1.1 Hipóteses

Baseado nas perguntas que motivaram o desenvolvimento do estudo, a pesquisa se fundamenta na afirmação das seguintes hipóteses a serem testadas:

- ✓ Fatores edafoclimáticos locais (estruturação geomorfológica, relevo e clima) apresentam uma relação espacial significativa com a paisagem local;
- ✓ A configuração da paisagem, proveniente do processo histórico de ocupação, condicionou um padrão espacial nas estimativas biofísicas locais, com a formação de regiões;
- ✓ Existe diferença significativa de biomassa nas áreas com pastagens cultivadas e naturais, principalmente no período chuvoso, onde a expressão do vigor vegetativo das espécies exóticas é mais representativo do que a encontrada para as espécies naturais;
- ✓ É possível por meio do sensoriamento remoto, com variáveis biofísicas (2001 a 2011), caracterizar as áreas com pastagens cultivadas e naturais;
- ✓ O uso de classificadores supervisionados multiparâmetros (ex. SVM), comparativamente aos classificadores supervisionados tradicionais (ex. MAXVER), resulta em uma melhor distribuição estatística nos agrupamentos digitais que representam áreas de pastagens cultivadas e naturais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo central a caracterização, ampla e descritiva, dos aspectos biofísicos associados à cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, estado de Goiás, por meios de imagens/produtos orbitais, complementados com levantamentos de campo.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar a cobertura e uso da terra, no contexto do processo histórico de ocupação;
- ✓ Avaliar como as características edáficas locais (Relevo e Solo) influenciaram na organização espacial das propriedades rurais;
- ✓ Observar o comportamento das variáveis biofísicas (Precipitação, Evapotranspiração, Blue Water, Índice de Vegetação EVI, Produtividade Primária) associadas às características intrínsecas à cobertura e uso da terra;
- ✓ Caracterizar o comportamento biofísico sazonal das áreas de pastagens cultivadas e naturais;
- ✓ Comparar a diferença de biomassa existente nas áreas de pastagens cultivadas e naturais em dois períodos: seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril);
- ✓ Testar o potencial dos classificadores tradicionais (MAXVER) e multiparâmetros (SVM) quanto à diferenciação estatística dos agrupamentos digitais das áreas com pastagens cultivadas e naturais.

2. CAPÍTULO 02 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ocupação histórica do bioma Cerrado

A ocupação do bioma Cerrado foi marcada por acontecimentos históricos em diferentes períodos, em consonância ao conceito de periodização do espaço geográfico introduzido por Santos e Silveira (2001). Esta periodização teve inicio no século XVII com a chegada dos colonizadores portugueses em regiões interioranas (SANTOS et al., 2010; PEDROSO e SILVA, 2005), no século XVIII, com a intensificação da exploração do ouro (DIAS, 2008), em meados do século XIX com a introdução da cana-de-açúcar (ARAÚJO e FERNANDES, 2012), e somente na década de 1940 passou a ocupar densamente as regiões centrais do bioma (KLINK e MOREIRA, 2002).

Com a construção da cidade de Goiânia a partir de 1930 (CHAUL, 2009), e da capital federal, Brasília, na década de 1950, o centro-oeste passa a ser a região brasileira com as taxas mais elevadas de crescimento populacional (CAMARANO e BELTRÃO, 2000), ocupação que se intensifica ainda mais a partir de 1960, com o surgimento das rodovias ligando a capital federal às principais cidades do país (GUIMARÃES e LEME, 2001; CASTRO et al., 2003).

A partir da intensificação do processo de povoamento do Cerrado, as atenções foram voltadas à alternativas que viabilizem o desenvolvimento da produção agrícola em larga escala, tendo em vista que alguns paradigmas foram “quebrados” ao longo do tempo, os quais nominavam o Cerrado como uma região hostil, espaço opaco e vazio (CHAVEIRO e BARREIRA, 2010), sem potencial para exploração da atividade agrícola comercial, principalmente pela predominância de solos ácidos, e que na época, eram tidos como economicamente inviáveis. Com a quebra destes paradigmas, inicia-se um fenômeno conhecido como “modernização agrícola”, ou seja, desperta-se sobre a viabilidade de exploração de extensas áreas para a produção agropecuária (PIRES, 2007).

O Estado tem um papel fundamental no processo de modernização agrícola, iniciado em 1965 com a “Revolução Verde”. Um dos modelos utilizados pela “Revolução Verde” foi a implantação de um pacote tecnológico voltado à produção agrícola comercial, tendo em vista que o Estado foi o grande responsável por disseminar o uso das novas tecnologias, apoiadas em experiências já obtidas por centros internacionais de pesquisa.

Como consequência deste processo, surge na década de 70, a criação das empresas estatais com o objetivo de fomentar pesquisas agrícolas, i. e. da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no âmbito federal, e a Empresa de Assistência Técnica e Expansão Rural (EMATER), na esfera estadual (FRANCO, 2001).

O processo de modernização agrícola nas regiões do Cerrado, área extensa que ocupa dois milhões de km² do território brasileiro (FERREIRA, 2005), foi impulsionado também pela existência de subsídios públicos financeiros, sobre a ótica do acesso a crédito com juros baixos, para o emprego de infraestrutura agrícola. Além da percepção governamental para a utilização agrícola das regiões do Cerrado, também houve interesse de grupos econômicos do setor privado, que vislumbravam nestes ambientes, anteriormente chamados de inóspitos, uma oportunidade para desafogar a ocupação em outras fronteiras agrícolas brasileiras já existentes, i. e. no sul/sudeste do país, sobre a ótica da “diversificação”. É importante ressaltar, que além dos interesses públicos e de grupos do setor privado interno, havia na época, ainda que caráter incipiente, o interesse de grupos estrangeiros na exploração comercial deste bioma (SANTOS, 2007).

A partir da década de 1970, três programas de governo, baseados no desenvolvimento de iniciativas tecnológicas foram de fundamental importância para a ocupação do Cerrado brasileiro (SILVA, 2001): o Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba – PADAP (SANTOS et al., 2012); o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados – POLOCENTRO (SANTOS, 2007; SALIM, 1986), de maneira que o centro-oeste era destaque por ser um produtor de alimentos, além de uma região estratégica para o abastecimento nacional; e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro do Desenvolvimento dos Cerrados – PRODECER (PIRES, 1996), o qual representou o maior investimento público associado ao capital privado (INOCÊNCIO, 2010), considerado à época um marco da cooperação entre Brasil e Japão (RODRIGUES et al., 2009), sendo que nos cinco primeiros anos de existência já tinham implantados 2,4 milhões de hectares de áreas produtivas, sendo 35,4% no estado do Mato Grosso, 32,3% em Goiás e Tocantins, e 17,6% no estado de Minas Gerais (BORGES, 2013).

As regiões do Cerrado começaram, a partir de tais iniciativas, serem exploradas de forma intensa, de modo que a baixa valorização das terras somada às características favoráveis de relevo e solo foram fatores preponderantes que facilitaram a sua ocupação (BITTAR, 2011). Os programas governamentais, associados a fatores intrínsecos ao

bioma, se configuraram como importantes iniciativas para o Cerrado ostentar os títulos de umas das principais fronteiras agrícolas do país (SMITH, 1998; PIRES, 2007), e uma das últimas existentes na América do Sul (LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 1995).

Os dois principais sistemas implantados, como consequência do processo de modernização, incentivados principalmente por ações políticas, segundo Shiki et al. (1997), foram o sistema da bovinocultura extensiva, voltada à criação de gado de corte, e o sistema intensivo com o plantio de commodities agrícolas de ciclos curtos, para exportação (Soja e Milho). Historicamente, o primeiro sistema antecede a implantação dos cultivos cíclicos, e tinha como base alimentar para a bovinocultura as espécies de pastagens naturais, que só depois de 1960, foram substituídas por espécies exóticas do gênero *Brachiaria*, disseminadas amplamente em todo bioma, principalmente pelo aumento da capacidade de suporte, permitindo assim, um acréscimo significativo na produção de carne, e leite (MAZZETTO, 2006).

As diversas fases de modernização da agricultura brasileira nas regiões do Cerrado, impulsionadas principalmente por fatores políticos, ocasionaram inúmeros impactos no bioma, tanto positivos quanto negativos. Entretanto, é consenso da comunidade científica que o principal e mais visível impacto do processo de modernização agrícola sobre a paisagem, foi a substituição de ecossistemas naturais, ainda pouco conhecidos e estudados, por extensas áreas produtivas (GANEM et al., 2013; PEREIRA e GAMA, 2010; ROCHA et al., 2012; WARD et al., 1992).

2.2 Principais reflexos da modernização agrícola sobre a paisagem

Atualmente, o bioma Cerrado tem sido um celeiro científico, principalmente em função do grande número de pesquisas já desenvolvidas. As pesquisas se fundamentam na riqueza de sua biodiversidade (SCARIOT e SEVILHA, 2005), nos fatores fisiográficos (BATISTA e COUTO, 1992), e nos impactos gerados pela modificação de sua paisagem (FERREIRA et al., 2011). Tais impactos têm reflexos diretos nas questões ambientais locais, com consequências globais (CASTILHO e CHAVEIRO, 2010).

Os principais impactos diretos e mais evidentes no processo de ocupação é a substituição gradativa da vegetação natural, representada por uma paisagem diversificada (formações herbáceas, arbórea/arbustivas e florestais), por pastagens e grandes lavouras (SANTOS et al., 2010). Os resultados dos monitoramentos da

cobertura e uso da terra no bioma Cerrado mostram que mais de 50% da sua cobertura natural já foi convertida em áreas produtivas (KLINK e MACHADO, 2005; SANO et al., 2008), e menos de 5% do seu território está protegido sobre forma de unidades de conservação (FERREIRA et al., 2008).

O estado de Goiás, localizado na área nuclear do bioma Cerrado, é a unidade da federação com maior inserção nos limites fisiográficos deste bioma. Nas últimas décadas, passou por um intenso processo de ocupação, em função da expansão agropecuária, a qual resultou na conversão de aproximadamente 63% de sua vegetação natural em áreas produtivas (SILVA, 2001), de maneira que as pastagens representam a principal forma de ocupação e uso da terra (SANO et al., 2008). Comparado aos valores de crescimento da produção agrícola, anteriores ao ano de 2000, percebe-se que a expansão recente se dá basicamente sobre a lógica da abertura de novas áreas produtivas, onde a conversão dos ambientes naturais foi mais acentuada entre os anos de 2001 a 2003, tendo em vista que neste período a produção agrícola na região centro-oeste aumentou de forma geométrica, com registros de crescimento da ordem de 66,1% (BRANDÃO et al., 2005).

A produção agropecuária, particularmente a de gado de corte, passou rapidamente a utilizar o manejo de recursos forrageiros do cerrado arbóreo e herbáceo como fonte de alimento para o gado, o que consequentemente resultou na expansão desta atividade no bioma, em função das facilidades de implantação, sobretudo de ambiência (BROSSARD et al., 2005). A introdução da atividade agropecuária, em larga escala, é baseada na inserção de espécies exóticas africanas, do gênero *Bhachiaria*, associada a um pacote tecnológico de elevado consumo energético, i.e. necessidade de fertilizantes/defensivos, além da baixa utilização de mão de obra no campo. Os sistemas de integração lavoura-pecuária (SLIP) foi considerado na época, uma das grandes alternativas para o manejo sustentável dos agroecossistemas (SOARES, et al., 2007).

A implantação dessas áreas produtivas sobre a vegetação natural não ocorreu de forma aleatória, ou seja, comumente há padrões bem definidos de organização espacial, o que de certo modo resultaram na formação de diferentes padrões e funcionalidades da paisagem, conferindo assim, a estes ambientes características distintas sobre vários aspectos. Os registros sobre a forma de ocupação desses ambientes, ocorreu em função de alguns fatores liderados pela imposição do capital (DUARTE, 2002), associados às

características edafoclimáticas locais, de modo que as grandes propriedades rurais, geralmente foram implantadas sobre relevo plano, com boas características físicas de solo, e condições favoráveis precipitação e disponibilidade hídrica. Este modelo de implantação, imposto pela atividade produtiva, condicionou a formação de padrões espaciais com configurações distintas, sobretudo dos aspectos biofísicos.

Cada vez mais, a comunidade científica busca entender sobre as relações existentes entre as formas de organização do espaço geográfico, que em muitas vezes, estão associadas a processos antrópicos de ocupação histórica, sejam eles físicos, ecológicos ou culturais, de maneira que as distintas formas de representação configuram os modelos de paisagens existentes da atualidade (SOARES-FILHO et al., 2007).

As mudanças ecológicas nas paisagens ao longo das décadas esclarecem uma parte crescente da mudança ambiental global. Medir as causas e as consequências dessas mudanças é um desafio constante (ELLIS et al., 2006), já que o monitoramento da distribuição da cobertura e uso da terra é uma iniciativa importante para estabelecer as ligações entre decisões políticas, ações regulatórias e atividades subsequentes de uso (LUNETTA et al., 2006). Neste sentido, o uso de tecnologias, i. e. imagens de sensoriamento remoto associadas às técnicas de processamento e análise, tem contribuído para realizar uma caracterização sistemática, relativamente rápida, em diversos biomas brasileiros, a partir do monitoramento da dinâmica das diferentes paisagens, que na maioria das vezes, está associado à abertura de novas áreas produtivas, por ações antrópicas.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto são de grande importância para a caracterização e planejamento do uso da terra (PAUL et al., 1981) em regiões com grandes extensões territoriais. Entretanto, estes necessitam ser analisados com o objetivo de extrair informações respeitando a sua capacidade de uso. Durante vários anos de pesquisas, foram desenvolvidos métodos para extração de informações em produtos oriundos do sensoriamento remoto (LUCAS et al., 2007), o que permite identificar e analisar os impactos resultantes da alteração da cobertura vegetal originária, frente aos registros históricos e as possibilidades de visão sinótica. Entretanto, para uma boa compreensão da utilidade desta ciência/ferramenta, deve-se levar em consideração a precisão e o significado físico em cada estimativa (NUMATA et al., 2007).

A grande variabilidade de ambientes do bioma Cerrado tem sido um fator preponderante que dificulta a caracterização e identificação da paisagem por meio do sensoriamento remoto multiespectral, o que pode resultar em análises com representações simplificadas (VAGEN, 2006), e assim, contribuir para o aumento significativo das incertezas inerentes aos processos.

2.3 Importância do sensoriamento remoto na caracterização da paisagem

2.3.1 Sensoriamento remoto da vegetação

O sensoriamento remoto da absorção por clorofila num dossel vegetal representa uma das variáveis biofísicas fundamentais para vários tipos de pesquisas biogeográficas. As características de absorção dos dosséis vegetais podem ser associadas a outros dados de sensoriamento remoto para identificar estresse, produtividade e outras variáveis híbridas da vegetação. Desta forma, muitos estudos de sensoriamento remoto estão focados no monitoramento da radiação fotossinteticamente ativa quando ela interage com as folhas individuais e/ou com o dossel vegetal. O uso de espectrômetros imageadores de alta resolução espectral é particularmente útil para medir as características de absorção e reflectância da radiação fotossinteticamente ativa (JENSEN, 2009).

O espectro de radiação incidente é dominado de feixe direto, sendo a principal função da energia solar no espectro, modificada pela absorção e espalhamento atmosférico de gases, vapor d'água e aerossóis. Existe um elevado grau de redundância em medições de alta resolução espectral de irradiância, em parte porque os dispositivos de medição comumente utilizados têm larguras de bandas do espectro mais amplo do que o intervalo espectral de amostragem, mas principalmente porque existe uma forte autocorrelação da irradiância em comprimentos de ondas específicos (MILTON e ROLLIN, 2006).

Satélites de sensoriamento remoto são utilizados para monitorar as condições da superfície da terra em diferentes resoluções espaciais e temporais (GONTIA e TIWARI, 2010). A resposta da vegetação a partir da interação da energia eletromagnética em vários espectros é conhecida com assinatura espectral. Assim, as assinaturas espetrais da vegetação são influenciadas por diversos fatores, a exemplo do tipo de formação vegetal (BOELMAN et al., 2005), fatores intrínsecos ao solo (GAO et al., 2000), a formação hidrológica local (TODD e HOFFER, 1998), variação do ângulo de

iluminação (BÉGUÉS, 1993; SANDMEIER et al., 1998), e a topografia do terreno (KAWAMURA et al., 2008). Os algoritmos espectrais devem ser desenvolvidos em escalas para caracterizar e entender a influência desses fatores, sem comprometer a verdadeira resposta espectral da vegetação, e conseguir assim, correlacionar os seus espectros com as características biofísicas das diversas formações vegetais (BEERI et al., 2007).

Além dos fatores intrínsecos a tais características, existem outras fontes externas que também podem influenciar no comportamento espectral da vegetação, a exemplo das pastagens, que durante seu ciclo podem sofrer diversas interferências, tais como: corte, queima, geada, seca e pastoreio (SCHUT et al., 2002). Identificar e descrever as características da vegetação é uma parte essencial para medir e compreender os seus processos, além de discriminá-las tipologias vegetais, e assim entender as suas principais tendências (MUÑOZ-ROBLES et al., 2012).

2.3.2 Caracterização biofísica das pastagens

O acompanhamento do crescimento das áreas produtivas é normalmente investigado por repetidas técnicas destrutivas para avaliação da matéria seca, porém, este método é muito trabalhoso e consome bastante tempo. Durante os últimos anos de estimativa, a determinação da biomassa por meio de medições de reflectância espectral tem mostrado resultados promissores (BÉGUÉS, 1993; CHRISTENSEN e GOUDRIAAN, 1993; ITANO e TOMIMATSU, 2011). A avaliação da reflectância espectral, além de observar o crescimento de biomassa nas áreas produtivas (HILL et al., 1999), a exemplo das pastagens, também podem fornecer respostas sobre a qualidade nutricional dessas forrageiras (MUTANGA et al., 2003; SCHUT, et al., 2005; STARKS et al., 2006), e entender a influência das diversas formas de cobertura e uso da terra, já que a paisagem é um “grande mosaico”, com a existência de trocas constantes entre os variados ecossistemas (KUMAR e SILVA, 1997).

As avaliações na produtividade das pastagens durante seu crescimento podem ajudar na tomada decisões para avaliar a qualidade desses ecossistemas de forma ampla (ZHAO et al., 2007). Neste sentido, o sensoriamento remoto pode fornecer um rápido e barato meio de estimar a biomassa das forrageiras e suas variáveis indicadoras de qualidade, a exemplo do trabalho realizado por Schut e Ketelaars (2003), que diagnosticou deficiência nutricional em pastagens a partir da estimativa do teor de nitrogênio. Os

dados obtidos por Zhao et al. (2007), numa avaliação do crescimento de áreas de pastagens perenes em campo experimental do Laboratório de Pesquisa (Grazinglands USDA-ARS), em Oklahoma (EUA), num período de um ano (2002 a 2003), utilizando um espectrorradiômetro (350-2.500nm, amplitude 10nm), demonstram que a resposta da biomassa das pastagens está correlacionada principalmente com a faixa espectral de 1.145nm a 1.205nm, pelos altos valores de reflectância. O teor de proteína bruta está correlacionado linearmente com as faixas espectrais que vão de 605nm a 1.695nm e 875nm a 735nm.

É muito comum nas análises a comparação de dados remotamente sensoriados de diferentes grandezas e/ou naturezas. Hill et al. (2004) a exemplo, utilizaram dados do sensor AVHRR associados às informações climáticas, conseguindo assim, estimar a taxa regional de crescimentos em áreas de pastagens de cinco fazendas na zona rural do oeste da Austrália, durante um período de três anos (1995 a 1998), a uma resolução temporal de dois meses. Já Mutunga e Skidmore (2004) seguiram em mesma perspectiva, integraram imagens orbitais (bandas do vermelho) com curvas espectrais (fator de absorção) obtidas por espetroradiômetro em campo. A partir de uma análise baseada em critérios de árvores de decisão, foi possível estimar a qualidade das pastagens no sul da África, pela relação da concentração de nitrogênio presente nas forrageiras.

Ao tempo que Schuergera et al. (2003), numa abordagem bem similar, estimaram a qualidade das pastagens, ao avaliar o estresse sofrido por estas formações vegetais, a partir da estimativa dos níveis de clorofila presentes nos dosséis das gramíneas, cultivadas em areia de sílica e irrigadas diariamente com níveis diferenciados de zinco (Zn). No que tange aos aspectos do diagnóstico pelo sensoriamento remoto, a partir de análises hiperespectrais induzidas por laser de fluorescência de espectroscopia (LIFS) e fluorescência imaging (LIFI), foi constatado que tanto o NDVI (760nm - 695nm/ 760nm + 695nm) quanto o RVI (750nm/ 700nm) foram eficazes em estimar as concentrações de clorofila em dosséis das forrageiras, o que resultou na associação por meio de inferência dos diversos níveis de estresse presente nestes vegetais. Já Hill et al. (2005), integraram dados de diferentes naturezas no que diz respeito à fonte de energia, pela junção de dados do sensoriamento remoto ótico com dados do sensoriamento remoto por radar. O trabalho foi baseado em imagens do satélite Landsat e Radar (AirSAR, Bandas C, L e P - Polarimétrico). A premissa foi o

ganho de características, associando ao brilho conferido pelos dados óticos com as informações estruturais fornecidas pelas imagens de radar, para identificar áreas de pastagens na região agrícola da Austrália, diferenciando-as de outras áreas produtivas, bem como de formações naturais existentes.

Vários índices espectrais de vegetação, gerados a partir da combinação de diferentes bandas, são amplamente utilizados em estimativas de características funcionais e estruturais da vegetação (JACKSON e HUETE, 1991), a exemplo de estimativas biofísicas, produtividade acima do solo da área foliar, e absorção da radiação fotossinteticamente ativa. Neste sentido, as informações temporais e espaciais de alteração desses ambientes têm sido utilizadas para estimar características das pastagens naturais e cultivadas. Entretanto, a compreensão da utilidade do sensoriamento remoto para inferências sobre as pastagens devem levar em consideração a precisão e o significado físico desses índices (NUMATA et al., 2007).

Modelos deterministas são cada vez mais utilizados para avaliar biomassa vegetal a partir de dados oriundos do sensoriamento remoto (BÉGUÉS, 1993). A formulação desses modelos muitas vezes baseia-se em dados de imagens, para uma área de interesse específica, sendo o resultado do modelo extrapolado para regiões mais abrangentes. Apesar da extração ser permitida pelas características sinóticas do sensoriamento remoto, é necessário observar a variabilidade que pode ocorrer dentro dessas forrageiras, de região para região (BEERI et al., 2007).

O uso de índices de vegetação tem sido uma realidade constante nas estimativas das características da vegetação. Hill e Donald (1997) conseguiram identificar áreas de pastagens naturais e cultivadas na Austrália a partir do índice de vegetação NDVI, com base em imagens dos Satélites NOAA (AVHRR) e Landsat (TM), sobre o aspecto sazonal (estação seca e chuvosa). Foi observado que as pastagens cultivadas apresentam uma maior variação de biomassa nas estações analisadas, sofrendo maior influência da sazonalidade quando comparado às pastagens naturais, esta última mais rústica e facilmente adaptável a níveis diferenciados de precipitação.

Na integração de assinaturas espectrais com imagens multiespectrais para a análise de índices de vegetação, o trabalho realizado por Numata et al. (2007), na Amazônia brasileira, constatou que na estação seca, numa análise amostral contínua de 16 (dezesseis) transectos. Os índices baseados na influência da clorofila vegetal NDVI e

SAVI tiveram correlações mais baixa ($r^2 = 0,05-0,13$) com a biomassa das áreas de pastagens, quando comparado a amplitude dos valores dos índices baseados na banda do SWIR, a exemplo do NDII5 e NDII7 ($r^2 = 0,33-0,38$). Apesar desta relação íntima entre os índices de vegetação e a estimativa de biomassa, na estação seca, os índices que utilizaram a banda do SWIR conseguiram estimar com mais eficiência o teor de água à altura do dossel.

A utilização de imagens hiperespectrais tem recebido uma atenção considerável em função das mais variadas aplicações em setores comerciais e militares. Estas imagens são compostas por um grande número de bandas espectrais, e têm o potencial para produzir um volume considerável de informação acerca do objeto em análise (KUMAR et al., 2010). Contudo, a moderada resolução espacial dos sensores orbitais hiperespectrais é muitas vezes uma desvantagem em relação aos sensores multiespectrais, o que justifica a utilização de técnicas para mitigar tal deficiência. A missão Hisui (*Suite Imager Hyperspectral*) é a próxima geração de radiômetros que tem o propósito de unir essas duas características, e que será adicionado futuramente ao satélite japonês ALOS-3, previsto para ser lançado em 2015. O sensor é composto por dois radiômetros: um hiperespectral com 30 m de resolução espacial e 186 canais espectrais com amplitude de 400-2500nm, e outro multiespectral com 5 m de resolução espacial e quatro canais espectrais (450-900nm). O trabalho realizado por Ykoya et al. (2011), numa área de pastagem em Hokkaido (Japão), utilizou os dois radiômetros, por meio de simulação de imagens sintéticas do Hisui, e comprovou que a fusão entre dados hiperespectrais e multiespectrais da missão Hisui, por meio da técnica *Coupled non-negative matrix factorization* (CNMF), que visa “desmisturar” (*unmixing*) os valores digitais alterados pelo processo de melhoramento espacial, contribuiu para a identificação acurada e classificação de diferentes espécies pastagens, por meio da análise de assinaturas espectrais características.

É consenso que as imagens hiperespectrais apresentam uma gama de aplicações em sensoriamento remoto (ALAKIAN, et al., 2009; ANDREW e USTIN, 2008; HAMADA et al., 2007; LINDEN e HOSTERT, 2009; NUMATA et al., 2008; ROBICHAUD et al., 2007), e não se restringem a caracterização de ambientes apenas avaliando o material vegetal presente. Estas imagens permitem a caracterização desses ambientes também considerando outros fatores relevantes, a exemplo de aplicações para a identificação de pastagens degradadas, a partir da observação de características inerentes ao solo. O

trabalho realizado por Wang et al. (2008) é um exemplo típico de avaliação da qualidade das pastagens, no norte da China, com base no índice que determina a degradação das pastagens (DSLI), composto por bandas espectrais do sensor hiperespectral HYPERION. Segundo os autores, o índice de degradação foi eficaz na identificação das pastagens degradadas, principalmente pela observação das seguintes características: teor de matéria orgânica, fósforo disponível, e declividade da área. Tal índice de degradação pode ser uma alternativa interessante para a estimativa de extensas áreas de pastagens degradadas, principalmente em países como a China, que segundo o autor, mais de dois milhões de hectares de pastagens são degradadas por ano.

A grande maioria dos estudos do sensoriamento remoto, aplicados à avaliação e diagnóstico das áreas de pastagens, baseia-se no espectro da radiação refletida, principalmente nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho-próximo. São poucos os trabalhos que utilizam a energia na região espectral do infravermelho-termal, a exemplo do trabalho realizado por Luz e Crowley (2010), que a partir da avaliação do espectro de energia emitida (termal), conseguiu identificar mais da metade das cinquenta formas de cobertura e uso da terra no estado da Virgínia, incluindo as áreas de pastagens, baseado na resposta espectral das diferentes tipologias da cobertura e uso da terra. Segundo Luz e Crowley (2007), há uma grande dificuldade em trabalhar com o espectro emitido nas diferentes abordagens sobre a paisagem, principalmente pela dependência da sutil emissividade presente nas folhas dos variados vegetais, que só podem ser identificados a partir de dados de sensores que estimem a grandeza radiância. Para trabalhar com as estimativas termais é necessário realizar uma eficaz compensação atmosférica, além de levar em consideração a presença de métodos para quantificar com precisão a relação entre temperatura e emissividade.

Bem verdade que o sensoriamento remoto é uma tecnologia promissora que permite a coleta de dados quantitativos sobre a paisagem (KAWAMURA et al., 2008). No entanto, as aplicações em nível do dossel têm encontrado algumas dificuldades tanto em faixas específicas do espectro (CURRAN et al. 2001), quanto pela variação do teor de água presente nas folhas (CLEVERS, 1999). Em ambientes alagados, a exemplo das áreas de pastagens inundadas e culturas de arroz, as alterações das respostas espectrais podem ser atribuídas a abundância de água no ambiente, somado ao teor de água presente nas folhas, o que afeta a absorção da energia principalmente nos comprimentos

de onda do visível, infravermelho-próximo e infravermelho-médio (BEGET BELLA, 2007; FOLEY et al., 2006).

2.3.3 Contribuição das técnicas de classificação de imagens

Os dados obtidos por sensoriamento remoto são de grande importância para a caracterização e planejamento do uso da terra (PAUL et al., 1981). Entretanto, estes necessitam ser analisados com o objetivo de extrair informações respeitando a sua capacidade de uso. Durante vários anos de pesquisas, foram desenvolvidos alguns métodos para extração de informações em produtos oriundos do sensoriamento remoto (LUCAS et al., 2007).

A classificação de imagens tem atraído a atenção da comunidade científica, pois os resultados são as bases para muitas aplicações ambientais e socioeconômicas a nível local e mundial. A classificação é um processo complexo, e pode sofrer interferências de diversos fatores, a exemplo das características das imagens, dos algoritmos de classificação, e das estatísticas amostrais oriundas dos treinamentos. A integração do sensoriamento remoto com o sistema de informação geográfica (SIG) surge como uma nova fronteira da pesquisa, entretanto, é necessário identificar e reduzir as incertezas na cadeia do processamento de imagens, no sentido de melhorar a precisão dos processos de classificação que são amplamente utilizados (LU e WENG, 2007).

A grande maioria dos classificadores automáticos utilizados no sensoriamento remoto se baseia em abordagens estatísticas que "medem" e formam "agrupamentos" dos níveis digitais distribuídos ao longo de toda a imagem, e são conhecidos como classificadores "pixel-a-pixel", por utilizarem comumente apenas o parâmetro espectral como unidade de análise local, sem considerar o aspecto vizinhança. A probabilidade máxima é calculada ponto a ponto, em cada um dos dados da imagem e seus pixels são associados em categorias de um determinado grau de probabilidade, de maneira que são submetidos a análise de similaridade (DOMAÇ e SÜZEN 2006; LIU, 2011; OLIVEIRA e FERREIRA, 2001).

Um exemplo típico de classificadores comuns do sensoriamento remoto, com enfoque pontual (“pixel-a-pixel”), é o algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER). O trabalho realizado por Miguel-Ayanz e Biging (1997) é um exemplo clássico do emprego deste classificador. Neste estudo, foi realizada uma análise comparativa entre o

potencial de extrair informações das imagens SPOT e Landsat, para o mapeamento da cobertura e uso do solo na Serra Central da Espanha, onde ambos os produtos orbitais supracitados foram submetidos ao classificador supervisionado MAXVER. A partir de uma análise estatística (Teste Z), observada pelos valores médios do índice de concordância Kappa, pôde-se concluir que as imagens Landsat apresentaram melhor desempenho para a distinção das classes analisadas, sobre a justificativa de melhoria da resolução espectral, quando comparado à resolução das imagens do satélite SPOT, somando-se as diferentes possibilidades de combinações entre as bandas espectrais. Dentre as classes avaliadas, as áreas de pastagens representam 5,49% da área total analisada, numa região com predominância de espécies voltadas ao reflorestamento.

A interpretação manual é considerada também uma técnica de classificação, por sinal, uma das mais antigas e utilizadas em fotografias aéreas de datas pretéritas. Segundo Vidal (1967), as fotografias áreas apresentam algumas vantagens na classificação da cobertura e uso da terra, principalmente pelos registros históricos, que permitem a possibilidade de estudos espaços-temporais da paisagem, já que estas representam uma rica e única fonte de registros antigos detalhados da superfície terrestre. A extração das informações ocorria quase sempre por meio de técnicas de interpretação visual, raras são as abordagens automáticas empregadas em fotografias aéreas. O trabalho realizado por Brooner e Simonett (1971) é uma exceção, pois analisa a possibilidade de classificadores automáticos em discriminar cultivos agrícolas sobre fotografias aéreas infravermelhas, da região nordeste do Kansas, estado americano localizado no centro-oeste do país. O método utilizado foi o classificador automático supervisionado apoiado em decisão Bayesiana. Os resultados mostram que, de 260 (duzentas e sessenta) áreas classificadas como pastagens, 166 (cento e sessenta e seis) coincidiram com a verdade de campo (64%), por outro lado, 2 (duas) amostras foram confundidas com alfafa, 5 (cinco) com trigo, 43 (quarenta e três) com milho, e 44 (quarenta e quatro) com palhas de culturas deixadas pós-colheita.

As novas tendências de classificadores automáticos apontam para sistemas mais avançados de classificação, tendo em vista que as características dos objetos passam a ser o foco de análise. Segundo Papa (2008), a classificação supervisionada pelo método SVM (*Support Vector Machine*) além de levar em consideração a aprendizagem, também apresenta características de suporte à decisão (AURIA e MORO, 2008;

FAUVEL et al., 2012; YANG et al., 2007), o torna adaptável em função das características específicas do alvo.

Um dos atributos que podem ser observados é a forma. Comumente, áreas que foram alteradas apresentam formas regulares, variável morfológica importante, somada ao caráter espectral das imagens. O método de classificação SVM identifica o melhor hiperplano capaz de separar agrupamentos de vetores em amostras diferenciadas, que é definido pelas diferentes formas de *Kernels* habilitadas pelo modelo (NASCIMENTO et. al., 2009), possibilitando assim, a integração de até 34 (trinta e quatro) diferentes variáveis, onde critérios Espectrais, de Formas e Texturas dos objetos, são as principais características analisadas.

Este classificador pode ser aplicado tanto em imagens multiespectrais quanto hiperespectrais, e tem demonstrado melhores resultados em termos de precisão, quando comparado a classificadores pontuais (pixel-a-pixel), mais comuns e por muito tempo utilizado no sensoriamento remoto. Um exemplo prático do potencial deste classificador, comparado às técnicas tradicionais, é o trabalho realizado por Ceamanos et al. (2010), já que os autores conseguiram discriminar áreas de pastagens de outras formas de cobertura e uso da terra, numa região vulcânica da Islândia, a partir da aplicação do algoritmo SVM sobre duas imagens do sensor hiperespectral AVIRIS.

Também na linha dos classificadores flexíveis que permitem orientação ao objeto, o trabalho realizado por Knorn et al. (2009) utilizou oito cenas do satélite Landsat para identificar a cobertura e uso da terra numa ecorregião que cobre parte da extensão territorial de seis países da Europa Central: República Checa, Eslováquia, Polônia, Ucrânia, Hungria e Romênia. Nesta pesquisa, foi avaliado o potencial do algoritmo SVM em identificar diferentes classes de cobertura e uso da terra, e identificou-se que a principal dinâmica da paisagem se deu em função da implantação de áreas de pastagens sobre a vegetação natural. Como referência, para a avaliação de coerência dos resultados obtidos, foram utilizadas imagens do satélite *QuickBird*, com a checagem de 500 (quinhentas) amostras, de uma população de 1.600 (um mil e seiscentas) utilizadas como supervisão do processo de classificação. O classificador automático SVM apresentou um excelente desempenho, com precisão média de 96,3%, segundo o índice de concordância total.

Além da avaliação singular de um algoritmo específico de classificação, são muito comuns no meio científico trabalhos que visam comparar o desempenho de diferentes classificadores (SEYLER et al., 2002). Carreiras et al. (2006) realizaram uma análise comparativa dos classificadores: análise de discriminante quadrática (ADQ), árvores de classificação simples (SCT), árvores de probabilidade da classificação (PBCT), e k-vizinhos (K-NN). O desempenho destes classificadores foi baseado no potencial de identificar diversas classes do bioma Floresta Amazônica, dentre elas, a classe Agricultura/Pastagem. A partir da amostragem em 19 (dezenove) cenas do sensor VEGETATION/SPOT-4, foi possível concluir que os classificadores testados foram adequados para discriminar a cobertura e uso da terra nestas regiões tropicais, apesar dos distintos níveis de acurárias encontrados. A classe Agricultura /Pastagem foi identificada pelo PBCT com menores erros, de aproximadamente 5%, sendo considerado o menor erro de omissão.

Duro at al. (2012) nesta mesma perspectiva, decidiram avaliar o potencial de três classificadores distintos: MAXVER, árvore de decisão, e *Support Vector Machine* (SVM), na região oeste do Canadá. Os dois últimos classificadores apresentaram melhores desempenhos, e o SVM destacou-se por discriminar melhor as áreas de pastagens, além de apresentar uma menor quantidade de pixel isolado, artefatos indesejados no produto temático da classificação, que quando em excesso, necessitam de técnicas adicionais de processamento, a exemplo da aplicação de filtros majoritários.

Seyler et al. (2002) avaliaram dois classificadores que estão associados a modelos diferenciados no que diz respeito a métodos de classificação: não-supervisionado (ISODATA) e supervisionado (Distância de Mahalanobis). O objetivo do trabalho foi analisar o potencial dos classificadores em separar as áreas de pastagens de outras formas de cobertura e uso da terra. A classificação supervisionada apresentou melhor desempenho (65,2%), enquanto o método sem supervisão se mostrou menos eficiente (acurácia de 47,6%), na identificação das áreas de pastagens. É importante salientar que, quando as amostras não apresentam distribuição normal, há a necessidade de acrescentar regras não-paramétricas.

Dentre as imagens orbitais do cenário espacial, as imagens do satélite Landsat são muito utilizadas para trabalhos de mapeamentos da cobertura e uso da terra (CARLSON e SANCHEZ-AZOFÉIFA, 1999), principalmente pelos registros históricos há mais de 35

anos, e suas relativas resoluções espaciais e espetrais (COHEN e GOWARD, 2004). Para VanNiel e McVicar (2004), a potencialidade das análises multitemporais baseiam-se na utilização de imagens dos mais variados períodos, tendo em vista que a análise de um único cenário não fornece informações espetrais suficientes para a distinção de ambientes complexos. Isto ocorre principalmente em regiões muito dinâmicas (i. e. regiões agrícolas), de modo que a implantação cíclica de cultivos, juntamente com o uso extensivo da pecuária, cria um ambiente variável, onde as características potenciais das análises multitemporais podem ser uma alternativa interessante para o entendimento da paisagem.

O trabalho realizado por Feitosa et al. (2009) propõe um método de classificação multitemporal em imagens do satélite Landsat, baseado na Cadeia de Markov, que observa os atributos dos objetos em datas regressas, mais especificamente as alterações de cobertura e uso da terra ao longo do tempo. Para tal análise, foram selecionadas três imagens do satélite Landsat, no município de Alcinópolis, estado do Mato Grosso do Sul. Concluiu-se que, a classificação por meio da Cadeia de Markov é altamente dependente da correlação existente entre o conjunto de dados ao longo dos períodos analisados. Uma das classes abordadas foram as pastagens, que apresentaram ganho significativo nos valores de acurácia para este método de classificação, em função do monitoramento das suas características fenológicas ao longo do tempo.

A tentativa de empregar uma metodologia operacional que utiliza dados de sensoriamento remoto orbital para a estimativa de áreas plantadas com culturas agrícolas/agropecuária, pode apresentar problemas relacionados ao período de aquisição das imagens orbitais, já que o calendário agrícola geralmente coincide com o período de maior pluviosidade e cobertura de nuvens (FORMAGGIO et al., 2003).

Além dos métodos de classificação empregados em imagens óticas, às imagens de radar, evidente que com menor frequência, também são submetidas a estes procedimentos com a finalidade de identificar características da paisagem. Estas imagens destacam-se principalmente por sofrerem poucas interferências dos fatores climáticos, portanto, apresentam uma considerável vantagem sobre os dados óticos, já que podem ser utilizadas para o mapeamento sazonal da cobertura e uso da terra em quaisquer condições climáticas (SAATCHI et al., 1997). No que diz respeito às missões recentes e futuras das imagens de radar com abordagens multitemporais e multifrequências, estas

apresentam um grande potencial de caracterização dos alvos, a exemplo dos dados SAR multitemporal/multipolarizado (PIERCE et al., 1998), que podem fornecer informações importantes sobre a cobertura e uso da terra em todas as estações do ano, quando associados à classificadores por Árvores de Decisão. Tais classificadores podem chegar até 84% de exatidão total, quando comparado a métodos de classificações tradicionais (WASKE e BRAUN, 2009).

Também na linha de pesquisa do sensoriamento remoto ativo, Silva et al. (2009) avaliaram o potencial do radar multipolarizado SAR (R99B/SIPAM – Banda L) em discriminar classes de cobertura e uso da terra na região oeste da Bahia, Brasil. A ênfase foi dada a áreas produtivas, i. e. do Cultivo do Algodão, Café e Áreas de Pastagens. O algoritmo utilizado para a classificação foi o ICM de caráter contextual (considerando a dependência espacial), que avaliou os valores de retroespalhamento obtidos nas diferentes polarizações da imagem SAR. O melhor resultado da classificação para as Áreas de Pastagens, com o algoritmo ICM, foi com as polarizações: HH-HV-VV (Kappa 0,89). Os resultados demonstram que o uso de uma única polarização deste sensor (HH ou VV), reflete em queda significativa nos índices de concordância analisados para as áreas de pastagens.

Devido à abrangência multidisciplinar dos dados do sensor MODIS, o EOS disponibiliza as imagens sob a forma de produtos, direcionados a aplicações específicas, que estão divididas em Terrestres, Oceânicas e Atmosféricas. Em relação às aplicações terrestres, o produto MOD13Q1 pode ser muito útil para o monitoramento de atividades agrícolas, pois é um produto que contém composições de imagens de 16 (dezesseis) dias sob a forma dos índices de vegetação NDVI e EVI, além da reflectância de superfície correspondente às bandas do azul, vermelho, infravermelho-próximo e infravermelho-médio, em uma resolução espacial de 250m. Porém, neste caso, as bandas do azul e infravermelho médio, são originalmente obtidas com uma resolução espacial de 500m e são posteriormente reamostradas para 250m. Para gerar cada ponto da imagem de composição de 16 dias, o algoritmo seleciona o pixel de melhor qualidade em relação à geometria de visada e interferência atmosférica dentre todas as passagens do período, que é então utilizado na geração das imagens compostas (EPIPHANIO, 2007).

Das aplicações dos produtos do sensor MODIS, as terrestres são mais utilizadas para a caracterização da cobertura e uso da terra. Segundo Wessels et al. (2004), as imagens do

sensor MODIS (250 e 500m) apresentam resultados promissores na distinção das classes Florestas e Pastagens, a partir de classificadores baseados em árvores de decisão, sendo uma alternativa interessante para monitorar atividades antrópicas na paisagem.

Já Redo e Millington (2011), propõem uma metodologia híbrida, utilizando tanto imagens do satélite MODIS (NDVI), quanto mapas temáticos de cobertura vegetal já existentes, além de complementar as suas análises com entrevistas de campo. Numa abordagem espaço-temporal, compreendida entre o período de 1984 a 2008, em Santa Cruz (Bolívia), percebeu-se que boa parte das áreas de florestas naturais suprimidas, se deu em função da implantação de áreas produtivas de pastagens, já que o aumento de produção está condicionado, quase sempre, a abertura de novas áreas produtivas. Em 2001, as áreas de pastagens representavam mais de 52,1% da área em estudo, entretanto, percebeu-se uma ligeira redução a partir de 2001 (42,8%), pois algumas pastagens foram substituídas por cultivos agrícolas de ciclo curto.

O trabalho realizado por Clark et al. (2010) testou o uso do classificador Máxima-Verossimilhança em imagens MODIS para identificar as seguintes classes de uso do solo: Corpos D`água, Área Urbana, Agricultura, Gramíneas/Pastagens e Vegetação Lenhosa, numa ecorregião conhecida como “Chaco Seco”, localizada entre os países Argentina, Bolívia e Paraguai. Na análise da classificação multitemporal (2001 a 2007), constatou-se que a Vegetação Lenhosa foi rapidamente substituída pela Agricultura e Gramíneas/Pastagens, sendo que as pastagens apresentaram o menor índice de concordância (58,9%).

A quantidade de técnicas de classificação de imagens é grande, e crescente a cada dia no cenário das pesquisas científicas do sensoriamento remoto. Segundo Wang e Howarth (1993), essas técnicas são basicamente um processo de generalização do ambiente, que se deve observar a escolha do método de classificação em função das peculiaridades dos alvos a serem discriminados, além das características das imagens. As incertezas estarão sempre presentes nestes processos, entretanto, o importante é conseguir mensurar de forma quantitativa esses erros, e cada vez mais conhecer quais são as principais fontes de variação.

3. CAPÍTULO 03 - ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 Características da área de estudo

A BHRV está geograficamente localizada nas coordenadas centrais $50^{\circ} 48' 32''\text{W}$ e $15^{\circ} 39' 15''\text{S}$, retângulo envolvente de $51^{\circ} 27' 56''\text{W}$ / $14^{\circ} 54' 45''\text{S}$ e $49^{\circ} 59' 27''\text{W}$ / $16^{\circ} 19' 05''\text{S}$, situada na região centro-oeste do estado de Goiás, Brasil (Figura 01). Sua extensão territorial é de aproximadamente 10.824 km^2 , sendo que seus limites externos fazem interseção com os municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Santa Fé de Goiás, Jussara, Itapirapuã, Novo Brasil, Fazenda Nova, Buriti de Goiás, Faina e Goiás.

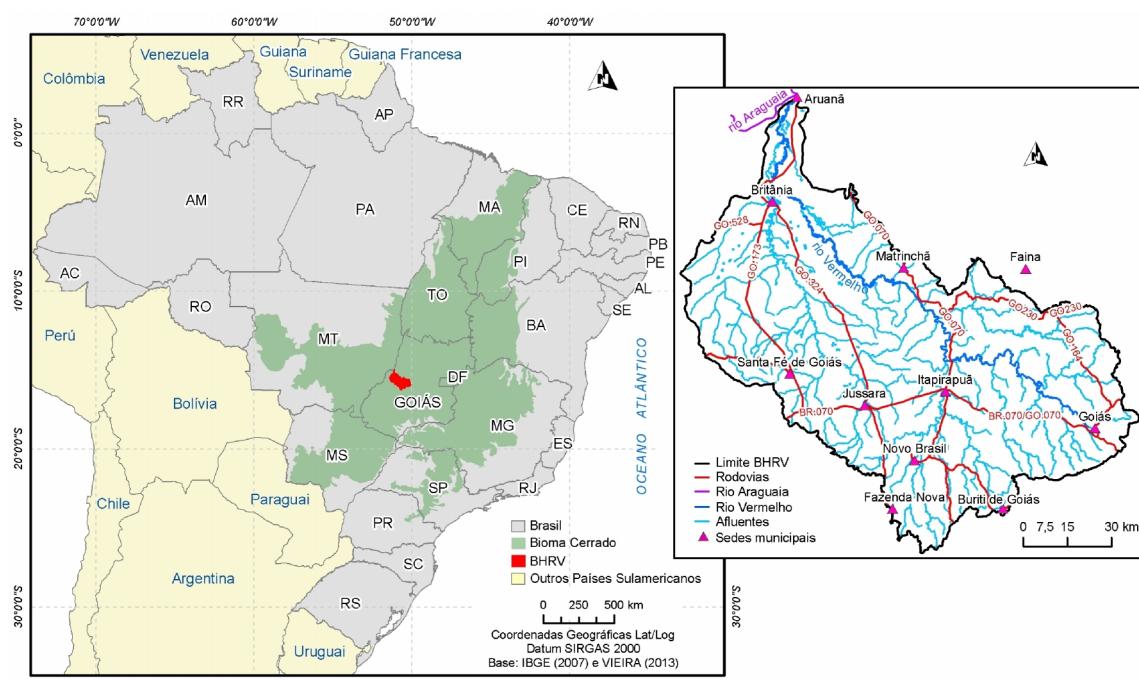


Figura 01 – Localização da área de estudo, em relação ao estado de Goiás e ao bioma Cerrado.

Encontra-se inserida nos domínios do bioma Cerrado, de modo que o processo de ocupação foi iniciado a partir do século XVIII com a “corrida do ouro” (CAVALVANTI et al., 2008). Atualmente, mais de 57% da cobertura e uso da terra está representada sob forma de pastagens cultivadas e naturais (VIEIRA, 2013), consequentemente, tem na pecuária a principal atividade econômica.

A região apresenta uma grande diversidade de ambientes, fato que aqui é tratado como uma área experimental do bioma Cerrado para a realização desta pesquisa, entre outras a serem desenvolvidas futuramente. Possui 20 formações geológicas diferentes, com aproximadamente 10 classes de solos, além de relevo variado (DEL'ARCO, et al., 1999).

3.2 Materiais e métodos

Em conformidade aos objetivos gerais e específicos desta pesquisa, a mesma está centrada na análise espaço-temporal de um conjunto de variáveis biofísicas obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto orbital: precipitação, evapotranspiração, *blue water*, índice de vegetação relação (EVI) e produtividade primária líquida, obtidas com frequência mensal (à exceção dos dados de produtividade primária líquida, que são anuais), entre o período de 2001 a 2011, além de dados de solos, relevo e mapas de cobertura e uso da terra gerados, a partir da interpretação visual de imagens TM/Landsat-5, para os anos de 1987, 2002 e 2008 (VIEIRA, 2013) (Figura 02). Com o objetivo de melhor caracterizar a cobertura e uso da terra na BHRV, foram realizadas sete campanhas de campo.

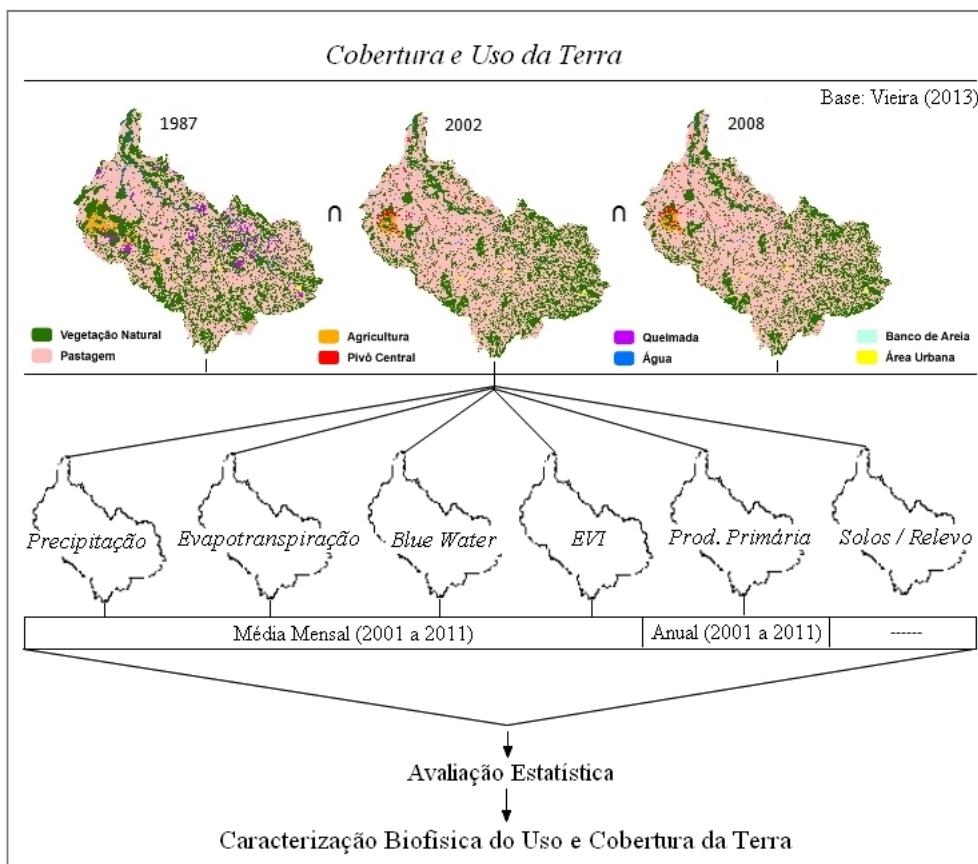


Figura 02 – Organograma da relação entre a cobertura e uso da terra e as variáveis biofísicas analisadas.

Fonte: Adaptado de Vieira (2013).

Com vistas a entender a dependência entre morfometria do relevo (i.e. declividade) e condições de solo (i.e. classes, profundidade e potencial de mecanização), bem como as características estruturais da cobertura e uso da terra (i.e. organização fundiária, principais usos) frente às variáveis edáficas (solos e relevo), foram utilizados dados

altimétricos oriundos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* (RODRÍGUEZ et al., 2006) e informações do Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Araguaia, Trecho Barra do Garças/MT – Luis Alves/GO (DEL'ARCO, et al., 1999) (Figura 03).

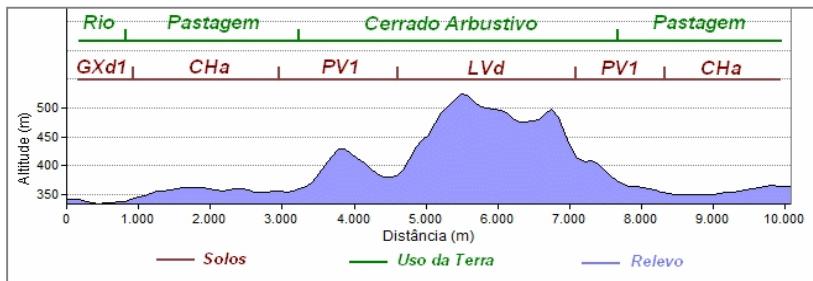


Figura 03 – Exemplo hipotético de perfil esquemático (transecto), relacionando informações sobre a cobertura e uso da terra, solos e morfometria do relevo.

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa foram aqueles disponibilizados através do programa *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA) em parceria com a Agência Japonesa de Pesquisa Espacial (JAXA), que tem como objetivo disponibilizar informações de chuvas (mm) ocorridas num período mínimo de 180 minutos, com resolução espacial de aproximadamente 27km (SIMPSON et al., 1988; KUMMEROW et al., 2000). Para auxiliar na caracterização da bacia hidrográfica de forma lógica e combinada, os dados do projeto TRMM foram adquiridos sobre a forma do produto 3B31, que representa acumulados mensais (COLLISCHONN, 2011), selecionados para o período de 2001 a 2011 (Equação 01). Em função da necessidade de se observar os efeitos da sazonalidade do clima sobre a cobertura e uso da terra, os dados de precipitação foram integrados e analisados também em dois períodos distintos, seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril), conforme Equação 02:

$$\text{Precipitação Média Mensal} = \frac{\sum_{2001}^{2011} (\text{Prec}^{\text{Jan}}; \text{Prec}^{\text{Fev}}; \dots; \text{Prec}^{\text{Dez}})}{n = 11} \quad (01)$$

$$\text{Precipitação Média Sazonal} = \frac{\sum_{2001}^{2011} (\text{Prec}^{\text{Seco}}; \text{Prec}^{\text{Chuvoso}})}{n = 11} \quad (02)$$

Quanto às estimativas orbitais de evapotranspiração mensal, ressalta-se a importância desta variável, a qual quantifica o volume de água, sob forma gasosa, que é transferida

para a atmosfera, oriunda da cobertura vegetal em função do processo de transpiração, ou também por evaporação da água armazenada nos solos, rios e reservatórios.

Especificamente, optou-se por utilizar estimativas de evapotranspiração derivadas das imagens MODIS, disponibilizadas na forma do produto MOD16A2, com resolução espacial de 1km (MU et al., 2005). O critério de avaliação, com vistas à coerência na comparação das variáveis, foi o uso da média mensal entre os meses correspondentes do período de 2001 a 2011 (Equação 03). Assim, como para a precipitação, os dados de evapotranspiração obtidos para o intervalo entre 2001 a 2011, foram analisados em relação às estações secas (maio a setembro) e chuvosas (outubro a abril), a partir da integração mensal correspondente entre os meses que configuraram estes períodos sazonais (Equação 04).

$$\text{Evapotranspiração Média Mensal} = \frac{\sum_{2001}^{2011} (\text{ETo}^{\text{Jan}}; \text{ETo}^{\text{Fev}}; \dots; \text{ETo}^{\text{Dez}})}{n = 11} \quad (03)$$

$$\text{Evapotranspiração Média Sazonal} = \frac{\sum_{2001}^{2011} (\text{ETo}^{\text{Seco}} \& \text{ETo}^{\text{Chuvoso}})}{n = 11} \quad (04)$$

A estimativa da quantidade de água disponível no ambiente, i.e. a diferença entre precipitação e evapotranspiração, comumente designado de “blue water” (LATHUILLIÈRE et al., 2012), possibilita identificar áreas onde há maior disponibilidade hídrica, e também as regiões que sofrem com a escassez de água (déficit hídrico) em determinados períodos do ano. Neste estudo, tais estimativas foram obtidas pela diferença média (2001 a 2011), mês a mês, entre dados TRMM e MOD16A2 (Equação 05), com vistas à geração de um balanço hídrico simplificado, i.e. sem considerar características edáficas, tais como capacidade de escoamento e infiltração dos solos.

$$\text{Blue Water} = \frac{\sum_{2001}^{2011} (\text{Prec}^{\text{Jan}} - \text{ETo}^{\text{Jan}}; \text{Prec}^{\text{Fev}} - \text{ETo}^{\text{Fev}}; \dots; \text{Prec}^{\text{Dez}} - \text{ETo}^{\text{Dez}})}{n = 11} \quad (05)$$

Para estabelecer uma relação entre fatores climáticos (i.e. precipitação) e a variação de biomassa presente nos principais usos da terra, optou-se por utilizar o índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*), disponibilizado através do produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 metros. A escolha específica deste índice

justifica-se devido a sua menor susceptibilidade a fatores externos, em particular às variações no substrato e contaminações atmosféricas (HUETE et al., 2002; WARDLOW et al., 2007). Considerando o caráter mensal das demais variáveis biofísicas, as imagens MOD13Q1, resultado da composição quinzenal de dados diários, foram convertidas em observações mensais médias (2001 a 2011), a partir da Equação 06:

$$EVI = \frac{\sum_{2001}^{2011} \left(EVI_{Jan} = \frac{1+17}{2}; EVI_{Feb} = \frac{33+49}{2}; \dots; EVI_{Dez} = \frac{337+353}{2} \right)}{n = 11} \quad (06)$$

A produtividade primária estima a quantidade de carbono imobilizado pela vegetação (kgC/m^2), correspondendo ao potencial de crescimento de uma dada fito-fisionomia. Especificamente, os dados anuais de produtividade primária líquida (PPL) avaliados neste estudo, ano a ano, são aqueles disponibilizados pelo produto MOD17A3, à resolução espacial de 1km (TURNER et al., 2006).

É importante salientar que as variáveis biofísicas supracitadas apresentam resoluções espaciais diferentes, o que pode simplificar algumas análises conjuntas, em função da diferença de escala. Por outro lado, tendo em vista o cenário espacial recente, o uso de tais produtos orbitais, mesmo que em diferentes escalas, é a única alternativa viável encontrada para a caracterização ampla e descritiva dos aspectos biofísicos.

Todas estas variáveis biofísicas foram obtidas, já re-projetadas e calibradas em suas respectivas unidades, junto ao portal do Laboratório do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (LAPIG / IESA / UFG – www.lapig.iesa.ufg.br). As variáveis biofísicas supracitadas foram avaliadas via Teste de *Pettitt*, também conhecido como teste da homogeneidade (PETTITT, 1979), com vistas a entender recorrência de padrões e valores entre todos os anos considerados (i.e. 2001 a 2011). Também foram submetidas às estatísticas “f” (BROWN e FORSYTHE, 1974) e “t” (MARTINEZ e FERREIRA, 2007), a partir do sorteio de 60 (sessenta) amostras aleatórias (30/classe ou ambiente), como objetivo de avaliar a significância de possíveis diferenças em função das principais classes de cobertura e uso da terra, e da localização que as principais formações ocupam na bacia (i.e. “Região 1” e Região 2”).

Antes do processo de caracterização biofísica das pastagens na BHRV por meio de coleta de campo e dados/produtos orbitais, foi realizado um levantamento dos censos agropecuários de 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006 para caracterizar temporalmente a processo de expansão das pastagens exóticas sobre as pastagens naturais. Tendo em vista que alguns fatores edafoclimáticos podem influenciar na distribuição das principais espécies de pastagens na BHRV, comparativamente à distribuição espacial das espécies, foi estabelecido um modelo de ocorrências parametrizado com características de solo (i. e. pedregosidade) e disponibilidade hídrica local. Da mesma forma, com o objetivo de tentar relacionar a ocorrência das espécies de pastagens à comportamentos radiométricos encontrados nas imagens do satélite RapidEye/*BlackBridge* (2011), buscou-se estabelecer padrões de distribuição das espécies nas imagens orbitais, e assim facilitar o processo de interpretação das imagens satelitárias.

Para a caracterização biofísica das áreas de pastagens, a partir da análise da matéria seca coletada *in loco*, foram necessárias realizar coletas do material vegetal em dois períodos do ano: período seco (setembro/2013), e período chuvoso (dezembro/2013), para 20 (vinte) amostras pré-selecionadas. Os trabalhos de campo consistiram na coleta do material vegetal encontrado nas áreas de pastagens da BHRV (16 pastagens cultivadas e 04 pastagens naturais) até a superfície do solo, utilizando um quadrado (PVC) com 50cm de lado para demarcar a área de coleta, sendo os valores de matéria seca redimensionados e expressos em (g/m^2) (Equação 07), bem como estratificados em biomassa verde e seca (Figura 04). Em função da variabilidade de matéria seca existente dentro da própria área de pastagem, é importante salientar que o processo de amostragem nas 20 (vinte) áreas foi realizado com 3 (três) repetições, escolhendo-se assim a melhor referência da estimativa populacional. Em seguida, o material vegetal coletado foi encaminhado para a estufa, a uma temperatura constante de 65°C, até que o valor de sua massa permanecesse constante, caracterizando assim, a ausência de material aquoso. Complementarmente, foram realizados registros fotográficos verticais a 1m de altura do solo (3 fotos por amostra, 1 registro a cada 50m), além de fotografias panorâmicas para auxiliar na caracterização dessas áreas.

$$\text{Matéria Seca} = \sum_{1}^{20} (\Delta \text{Massa Total} \rightarrow \text{Massa Estável})^{\text{Seco e Chuvoso}} \quad (07)$$

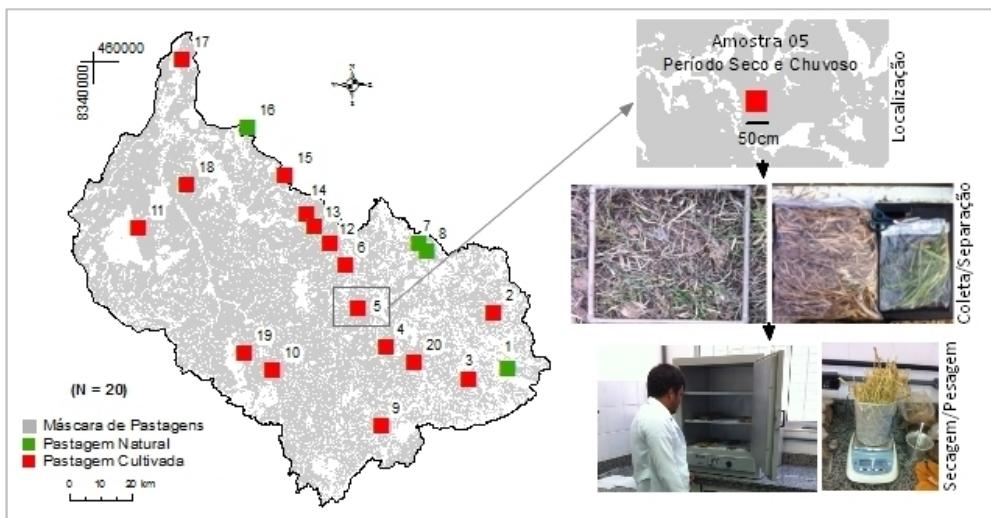


Figura 04 – Painel amostral das 20 (vinte) áreas de pastagens (cultivadas e naturais) pré-selecionadas para a coleta da biomassa, transformada em matéria seca a partir de procedimentos laboratoriais, e que também foram utilizados para a aquisição de curvas espectrais.

Numa análise biofísica complementar, foram analisadas assinaturais espectrais, por meio de um espectrorradiômetro, obtidas entre o período de 01 a 05 de outubro 2013. Apesar de adquiridas no mês de outubro, aqui caracterizado como o início da estação chuvosa, a coleta ocorreu antes das primeiras chuvas, portanto, o comportamento das respostas espectrais é característico do período seco. O espectroradiômetro utilizado foi o *FieldSpec-3*, com amplitude espectral de 300nm a 2.500nm e resolução de 10nm. As curvas espetrais foram realizadas para as 20 (vinte) amostras de pastagens, as mesmas da coleta da matéria seca, por meio de dois métodos: *Field of View* (FOV de 1°) a 1m de altura do solo, simulando a aquisição por satélite, ou seja, considerando o efeito de *background* do solo; e no modo *Plant Probe*, contato direto com as folhas verdes/secas encontradas nas pastagens amostradas (Figura 05).



Figura 05 – Exemplos dos métodos de obtenção das assinaturas espectrais das pastagens (*Field of View* e *Plant Probe*), utilizando o espectroradiômetro *Fieldspec-3*.

Todas as aquisições foram calibradas numa superfície lambertinana difusa, de tal forma a anular a influência da variação de intensidade solar entre as assinaturas espectrais das pastagens. É importante salientar que todas as medições ocorreram com três repetições, sendo considerados os valores médios espectrais. As estimativas espectrais só ocorreram em uma única estação sazonal em função da disponibilidade do equipamento.

As mesmas 20 (vinte) áreas de amostragem também foram utilizadas, como referência espacial, para a caracterização biofísica sazonal das pastagens a partir de medições radiométricas sobre os dados/produtos orbitais: Precipitação, Evapotranspiração, Blue Water e EVI . Para comparar a aplicação de classificadores supervisionados distintos na discriminação de pastagens cultivadas e naturais, foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) (Landsat-5), do ano de 2011. Este sensor apresenta resolução espacial nominal de 30m e 7 (sete) bandas espectrais. Foram necessárias três cenas (185x185km/cada) para recobrir a área da BHRV (Órbitas/Pontos: 223/070, 223/071, 222/71), sobre as quais (mosaicadas), foram selecionadas duas áreas-piloto para teste, buscando-se assim, diminuir a variabilidade local.

As cenas TM/Landsat-5 foram selecionadas com base em dois critérios essenciais: sem problemas radiométricos (Bad Lines) e sem a presença de ocorrência de nuvens. Foram utilizadas todas as bandas do espectro refletido (TM1/azul, TM2/verde, TM3/vermelho, TM4/infravermelho próximo, TM5 e 7/infravermelho médio), com vistas a aumentar a dimensionalidade espectral das amostras e dados em geral. O processo de correção geométrica foi baseado no reconhecimento de padrões radiométricos (*Auto Sync*), tendo sido utilizado o mosaico ortoretificado NASA *Geocover* e uma função polinomial de 1^a Ordem ajustada à um conjunto de 14 (quatorze) pontos de controle. As imagens foram submetidas aos classificadores supervisionados MAXVER, que utiliza critérios de distâncias estatísticas baseados apenas na dimensão espectral, e para possibilitar a comparação, ao SVM, que avalia distâncias em três categorias (Espectral, Textural e Espacial), com a possibilidade de 22 parametrizações estatísticas derivadas (Figura 06).

Os mapeamentos temáticos da cobertura e uso da terra existentes na BHRV são em escala aproximada de 1:150.000. Neste sentido, de forma a contribuir para a elaboração de bases temáticas em maior detalhe, um dos resultados buscados neste trabalho foi a geração de um mapa de cobertura e uso da terra, à escala de 1:50.000, com base no classificador SVM aplicado às imagens orbitais do satélite *RapidEye/BlackBridge*

(resolução espacial 5m), com maioria das cenas no período seco (ano de 2001) (Figura 07), tendo sido consideradas todas as suas bandas espectrais (Tabela 01).

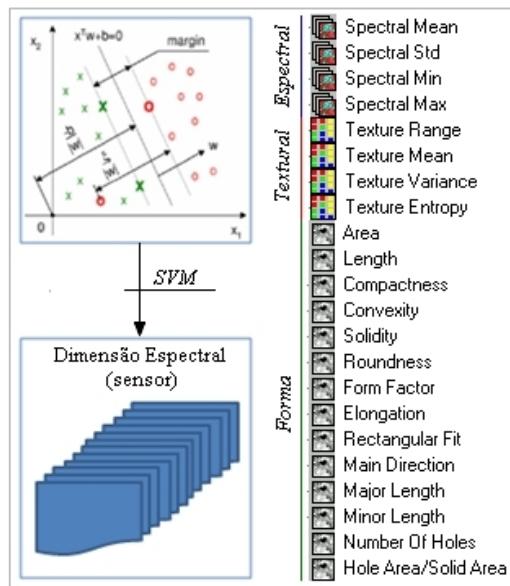


Figura 06 – Agrupamento estatístico dos níveis digitais identificados pelo classificador supervisionado SVM, com 22 (vinte e duas) parametrizações estatísticas divididas em três grupos de análise: Espectral (4), Textural (4) e Forma (14).

Fonte: Adaptado de Auria e Moro (2008).

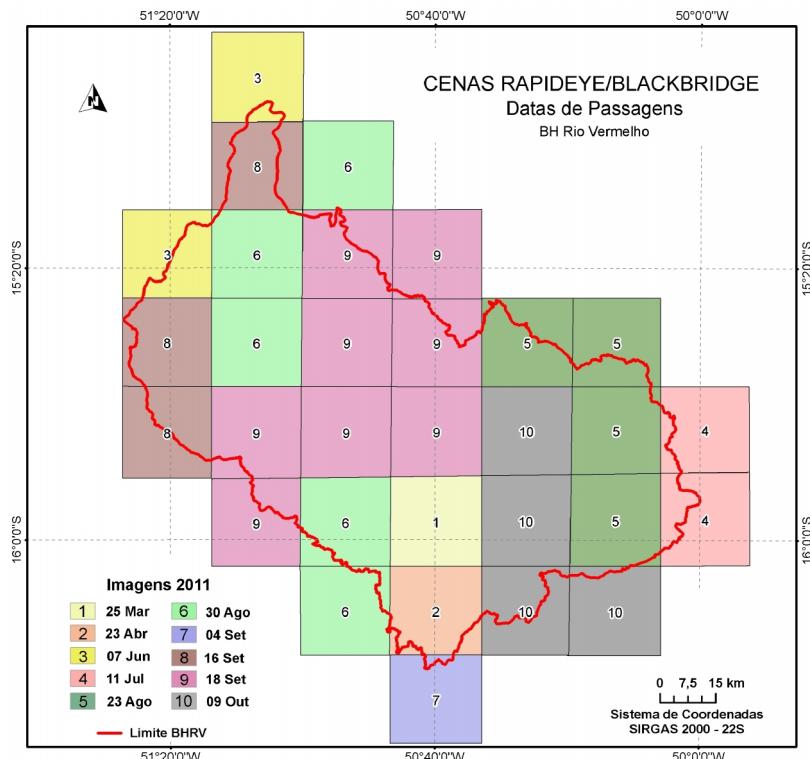


Figura 07 – Diferentes datas de passagens do satélite *RapidEye/BlackBridge* (2011), onde a maioria dos registros correspondem a intervalos compreendidos na estação seca.

Tabela 01 – Características espetrais do satélite *RapidEye/BlackBridge*, comparativamente aos intervalos espetrais do TM/Landsat-5.

<i>RapidEye/BlackBridge</i>		TM/Landsat-5	
Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Bandas Espectrais	Resolução Espectral
Azul	440 - 510nm	Azul	450 - 520nm
Verde	520 - 590nm	Verde	520 - 600nm
Vermelho	630 - 690nm	Vermelho	630 - 690nm
Red-Edge	690 - 730nm		
		Infravermelho Próximo	760 - 900nm
Infravermelho Próximo	760 - 880nm	Infravermelho Médio	1.550 - 1.750nm
		Infravermelho Médio	2.080 - 2.350nm
		Infravermelho Termal	10.400 - 12.500nm

Como todo classificador supervisionado está sujeito à ocorrência de erros, expressos pela “confusão entre classes”, foi realizada uma etapa de pós-classificação, conhecida como edição matricial, como o objetivo de aproximar o mapeamento temático da realidade de campo. Em seguida, os resultados do mapeamento temático foram analisados e confrontados, por meio dos índices de concordância “Estatística Total” e “Índice Kappa”, com 120 (cento e vinte) pontos de controle (verdade de campo).

3.3 Campanhas de campo

Ao longo da execução dos trabalhos foram necessários realizar 07 (sete) campanhas de campo, como objetivos distintos, para atender as etapas necessárias à execução de cada atividade da pesquisa. Comumente, eram campanhas com duração média de 06 (seis) dias, com a maioria realizadas no ano de 2013. As principais características destas campanhas, i. e. data e objetivos, estão detalhados a seguir, na Tabela 02:

Tabela 02 – Datas e objetivos das (07) sete campanhas de campo realizadas durante o desenvolvimento da pesquisa, para atender diversos objetivos.

Data	Objetivos
04 a 05 de Abril/2012	Primeiro contato com a BHRV. Observação da paisagem, com identificação rápida dos principais coberturas e usos da terra por meio de um perfil longitudinal na área de estudo.
25 a 30 de Junho/2013	Observação mais detalhada da paisagem, registros fotográficos e localização espacial das principais coberturas e usos da terra, com enfoque às áreas de pastagens. Também nesta campanha foram realizados contatos com pecuaristas para a identificação de possíveis áreas de coleta de biomassa, as quais resultaram na composição do painel amostral.

16 a 21 de Setembro/2013	Coleta de biomassa nas 20 áreas selecionadas de pastagens (painel amostral), para o período seco.
01 a 05 de Outubro/2013	Coleta das assinaturas espectrais, com o <i>Fieldspec-3</i> , nas 20 (vinte) áreas de pastagens, definidas na campanha de campo de 16 a 21 de Setembro/2013.
10 a 15 de Dezembro/2013	Coleta de biomassa nas mesmas 20 áreas selecionadas de pastagens, agora para a estação chuvosa.
26 a 28 de Fevereiro/2014	Validação do mapa de cobertura e uso da terra por meio da observação "in loco", com objetivo de avaliar o mapeamento temático gerado na escala 1: 50.000.
18 a 20 de Abril/2014	Discussão, com equipe multidisciplinar, sobre as características da paisagem na BHRV, em vários aspectos (ocupação histórica, características biofísicas, balanço de energia, entre outros).

4. CAPÍTULO 04 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra

4.1.1 Características gerais sobre a paisagem

Com base na interpretação visual das imagens do satélite TM/Landsat-5 de 1987, 2002 e 2008, realizada por Vieira (2013), os usos da terra encontrados na bacia hidrográfica do rio Vermelho, são: Vegetação Natural, Pastagem, Agricultura, Pivô Central, Queimada, Água, Banco de Areia e Área Urbana (Figura 08).

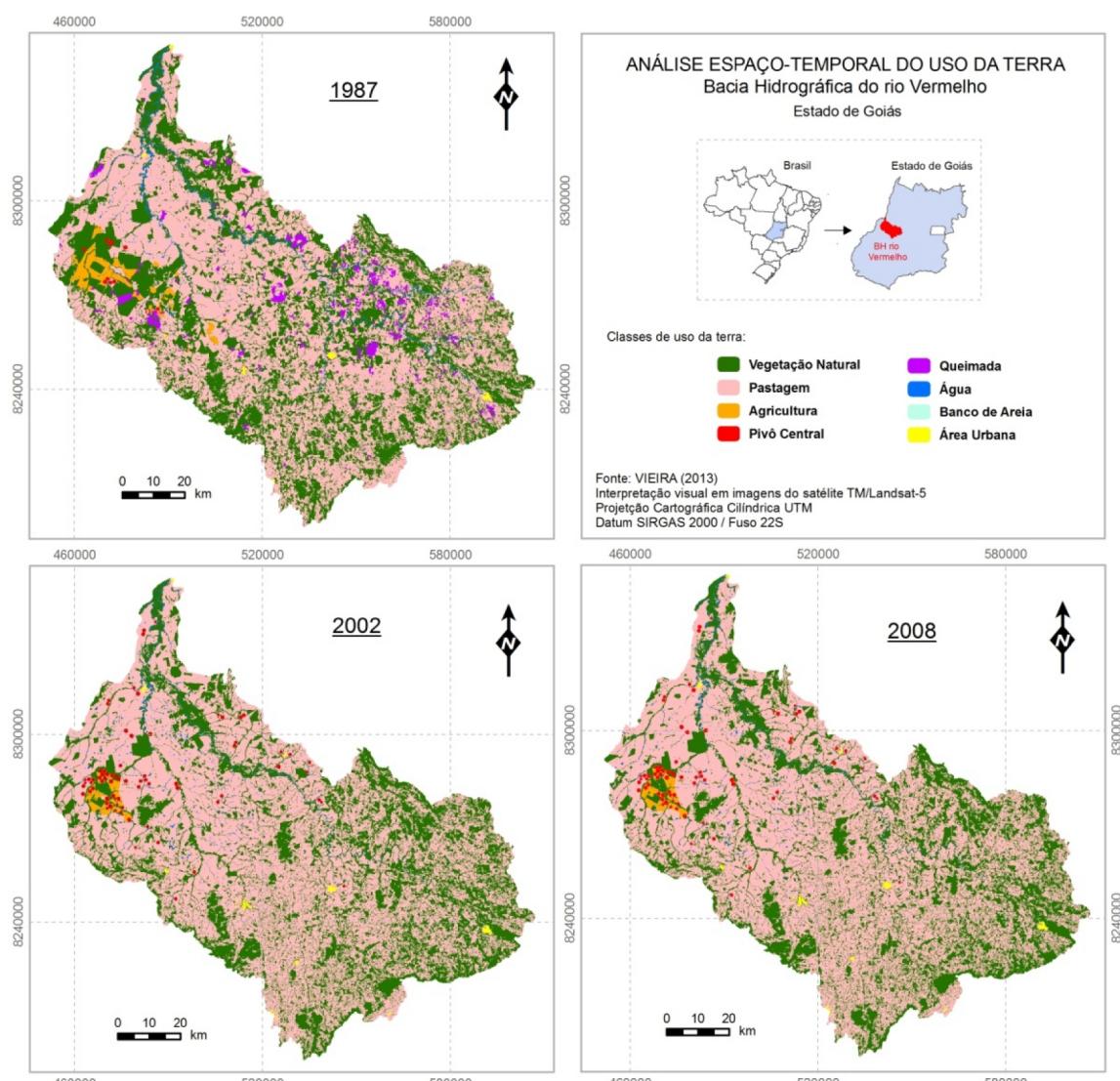


Figura 08 – Distribuição da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, para os períodos de 1987, 2002 e 2008. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice A.

Para caracterizar melhor os usos da terra, a partir da interpretação de Vieira (2013), foram realizadas inicialmente duas campanhas de campo, a primeira de 04 a 05/04/2012, e a segunda de 25 a 30/06/2013. As áreas com Vegetação Natural correspondem à vegetação natural típica do bioma Cerrado (Cerradão, Campos Cerrado), com espécies arbórea/arbustiva (Figura 09a); As áreas de Pastagens são representadas por espécies herbáceas, em sua maioria exótica (Figura 09b, 09f), utilizadas na pecuária extensiva, e são representadas principalmente pelas espécies: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola* e *Andropogon gayanus*. Em menor proporção, também são encontradas áreas com pastagens naturais, com espécies mais adaptadas ao ambiente, e estão localizadas principalmente em regiões de difícil acesso, pelas intermediações da Serra da Mesa (Figura 09g). Apesar de ocorrerem em menor proporção, estas áreas são de fundamental importância para a pecuária extensiva, pois representam uma alternativa de pastoreio para o gado no período de seca (transumância). Segundo Hill et al. (1999), estas espécies naturais são mais resistentes às interferências climáticas, com menores reduções de biomassa durante os períodos de estiagem.

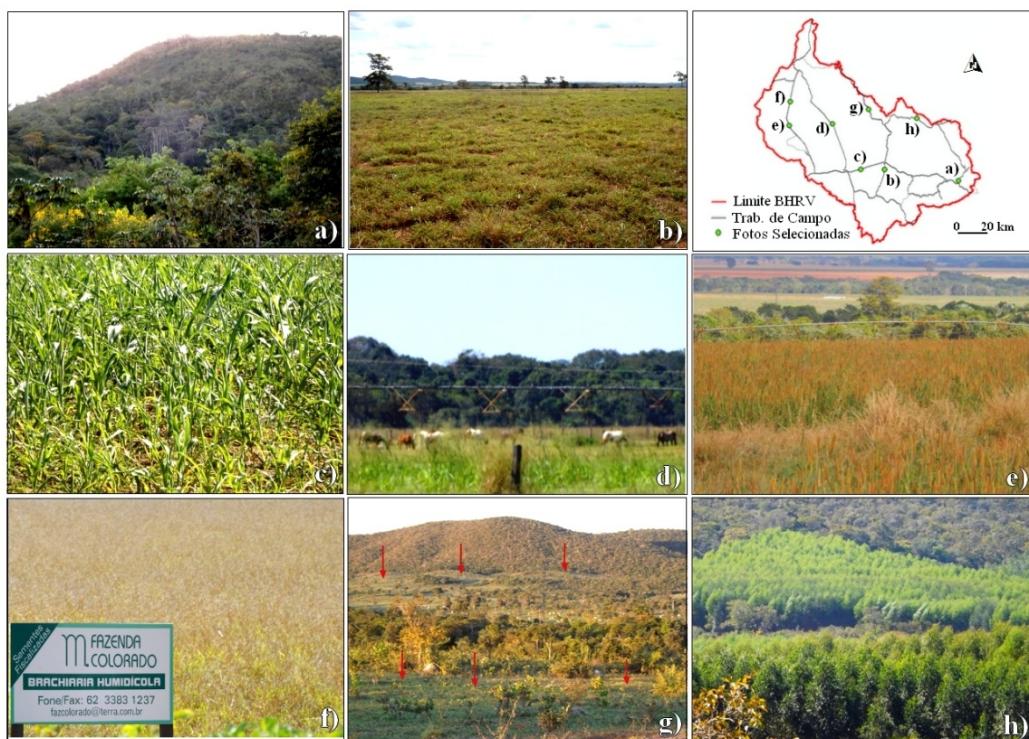


Figura 09 – Principais usos da terra encontrados na BHRV: a) vegetação natural típica do Cerrado, b) pastagens cultivadas, c) plantio de milho, d) pivô central para a produção de gramas ornamentais, e) pivô central com sorgo, f) área com pastagens cultivadas para a produção de sementes, g) pastagem natural próximo a Serra da Mesa, h) reflorestamento com a espécie *Eucalipto sp.*

Agricultura é representada por áreas regulares utilizadas para o plantio de lavouras temporárias, que em suas maioria são destinadas à alimentação animal (milho, sorgo) no período de escassez de alimento para o rebanho bovino, e para a produção de grão (soja) no período chuvoso. Também há a existência de sistemas irrigados conhecidos como “Pivô Central”, utilizados para a produção de mudas de espécies de gramíneas ornamentais (Figura 09d), e para a produção animal, a exemplo do plantio irrigado de sorgo (Figura 09e). Em áreas pontuais, existe também a presença de Queimadas, de forma controlada ou indiscriminada, principalmente nos meses de agosto e setembro. Também foram encontradas algumas áreas de reflorestamento com a espécie *Eucalipto sp.* (Figura 09h).

As outras classes incluem “Água”, representada por rios, riachos, lagos e reservatórios artificiais, com destaque para os rios Vermelho e Água Limpa (Lago do Tigre). Ocorrem também alguns “Bancos de Areia”, consistindo de material transportado por erosão, distribuído espacialmente em faixas contínuas e meandros de rios, além das “Áreas Urbanas”, representadas principalmente pelas sedes dos municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Santa Fé de Goiás, Jussara, Itapirapuã, Novo Brasil, Fazenda Nova, Buriti de Goiás e Goiás (este, o maior núcleo populacional da bacia, com cerca de 24.727 habitantes - IBGE, 2010). Dos 11 municípios que fazem interseção, apenas a sede do município de Faina não está localizada no interior da BHRV.

No que diz respeito à dinâmica dos três períodos analisados, desde 1987, as áreas de pastagens representam a principal cobertura e uso da terra, compreendendo mais de 57% da área total da bacia, ou seja, desde 1987 boa parte da vegetação natural já tinha sido convertida em pastagens (VIEIRA, 2013). A partir dos três períodos analisados, percebe-se que as principais mudanças na cobertura e uso da terra ocorreram entre o intervalo de 1987 a 2002, representadas pela conversão da vegetação natural em pastagens. Esta dinâmica se concentrou na região oeste da BHRV (Figura 10).

É interessante observar que, enquanto a supressão da vegetação natural foi da ordem de 8,5%, as áreas de pastagens expandiram aproximadamente 11,2%. A diferença nos valores desta relação inversa, que representa a principal dinâmica da paisagem local, ocorreu em função da conversão de algumas áreas agrícolas em pastagens. A partir de 1987, foram implantados aproximadamente 50 sistemas irrigados conhecidos como “pivô central” (i.e. plantios de sorgo/milho para produção animal, e espécies de gramas

para fins ornamentais), em sua maioria, estabeleceram-se sobre as áreas de pastagens, já abertas anteriormente. Entre o período de 2002 a 2008 não houve mudanças significativas na cobertura e uso da terra, que por meio das campanhas de campo realizadas, percebe-se que esta tendência de “estabilidade” permanece até os dias atuais.

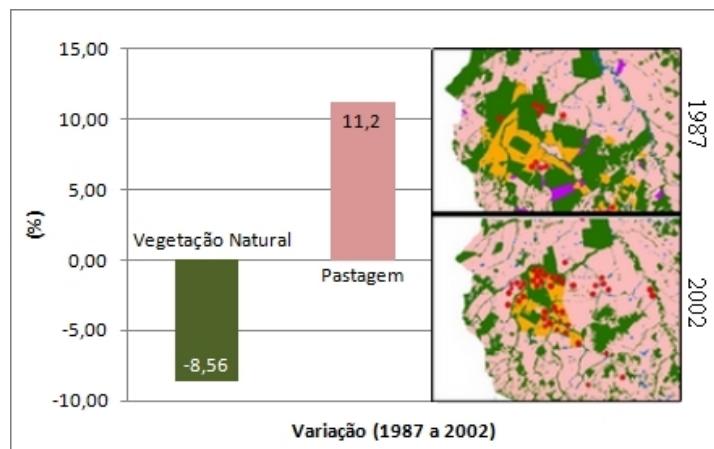


Figura 10 – Relação entre o aumento das pastagens e a redução da vegetação natural entre o intervalo de 1987 a 2002, na porção oeste da bacia.

As formações de cobertura e uso da terra se estabeleceram em diferentes classes de solos (Figura 11), os quais foram identificados a partir do Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia - Trecho Barra do Garças (MT) - Luís Alves (GO), na escala de 1:250.000 (DEL'ARCO, et al., 1999): Cambissolo (31,61%), Latossolo Vermelho-Amarelo (30,01%), Neossolo Litólico (12,58%), Argissolo Vemelho-Amarelo (9,18%), Latossolo Vermelho (8,28%), Gleissolo (4,27%), Nesossolo Quartizarênico (1,69%), Argissolo Vermelho-Escuro (0,92%), Latossolo Roxo (0,91%) e Plintossolo (0,54%). Esta diversidade de classes de solos, por sua vez, está diretamente relacionada à variabilidade existente nas formações geológicas, a exemplo do Maciço de Goiás (granito-gnáisses e *greenstone belts*), os gnáisses, paleoproterozóicos, e granitos, neoproterozóicos, se concentram na porção oeste da bacia, além da cobertura detrítico-laterítica que acompanha os principais rios (Uva, Itapirapuã e Vermelho). Na região norte, onde há formação de uma extensa planície, ocorre uma cobertura de sedimentos arenosos de composição quartzosa, conhecida como Formação Araguaia (VIEIRA, 2013).

O relevo expressa uma variação hipsométrica de aproximadamente 819 metros. Especificamente, os Latossolos Vermelho-Amarelo predominam nas áreas planas (cotas em torno de 234m), enquanto em áreas com relevo movimentado (com cotas de até

1053m em regiões próximas a Serra Dourada) são encontrados principalmente os Neossolos Litólico, e Cambissolos.

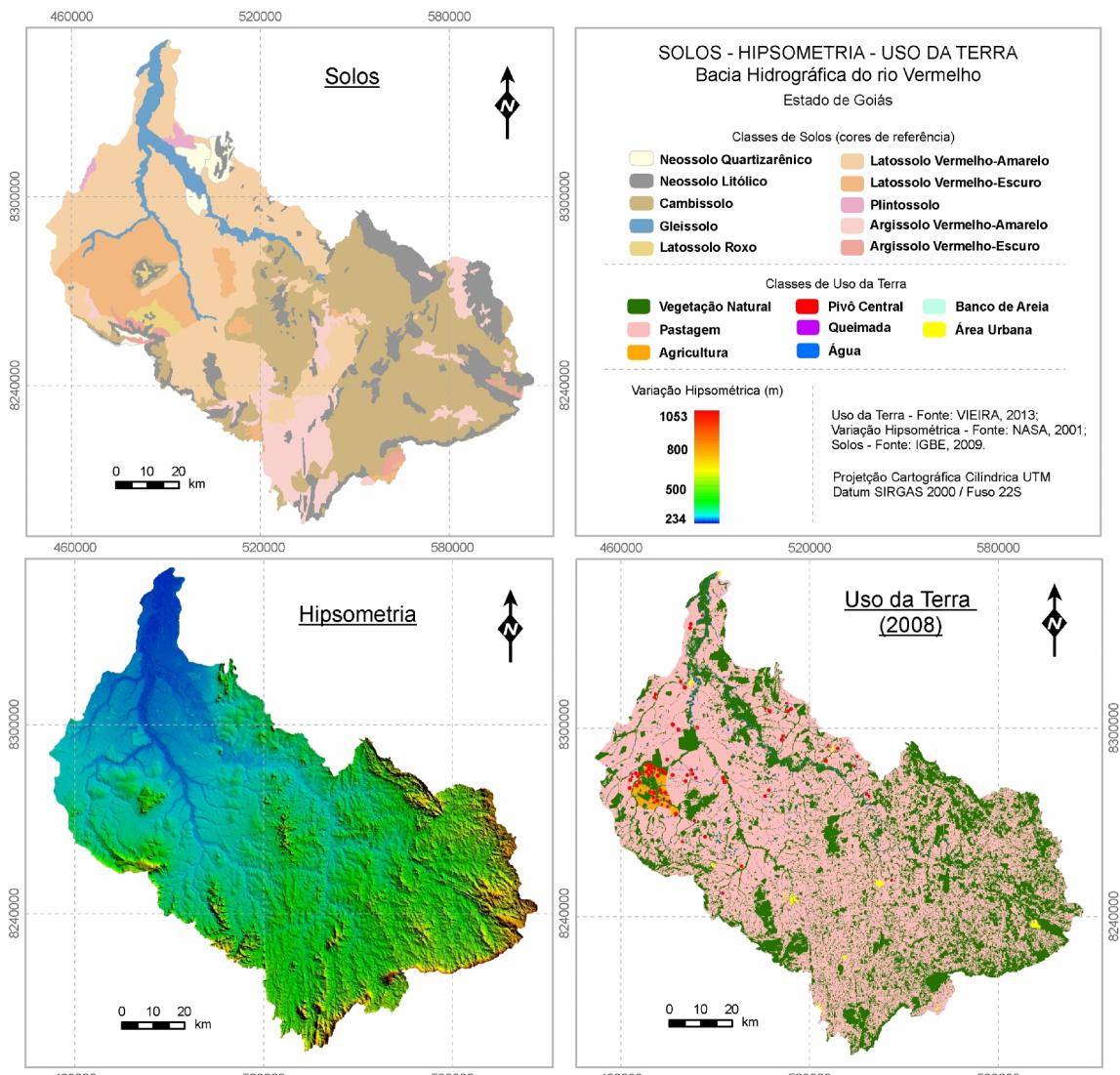


Figura 11 – Distribuição espacial da cobertura e uso da terra (2008), onde as pastagens e a vegetação natural (arbórea/arbusciva) são as principais representações em ordem de importância, sobre solos variados e hipsometria com amplitude de 819 metros. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice B.

Ao observar a cobertura e uso da terra (2008), relevo (hipsometria) e classes de solos, é possível identificar alguns dos fatores que influenciaram na organização espacial dos produtores rurais. Entre outros, há uma lógica impressa pelo capital na organização espacial fundiária da BHRV, de maneira que os grandes/médios pecuaristas estão localizados em áreas relativamente planas, com solos profundos dotados de boas características físicas, i.e. Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, aqui denominada de “Região 1”. Do outro lado, os pequenos produtores estão

localizados em regiões com declividades acentuadas, solos rasos e pedregosos, i.e. Cambissolos e Neossolo Litólico (“Região 2”), e enfrentam sérias dificuldades para mecanizar suas áreas, tornando o custo de produção mais elevado (Figura 12). Em função desta organização fundiária, associada às características da paisagem, percebe-se a formação de dois macroambientes aparentemente distintos. Os dois ambientes foram delineados a partir de características relacionadas aos solos, relevo, base fundiária, além das observações das paisagens “*in loco*”, realizadas nas campanhas de campo.

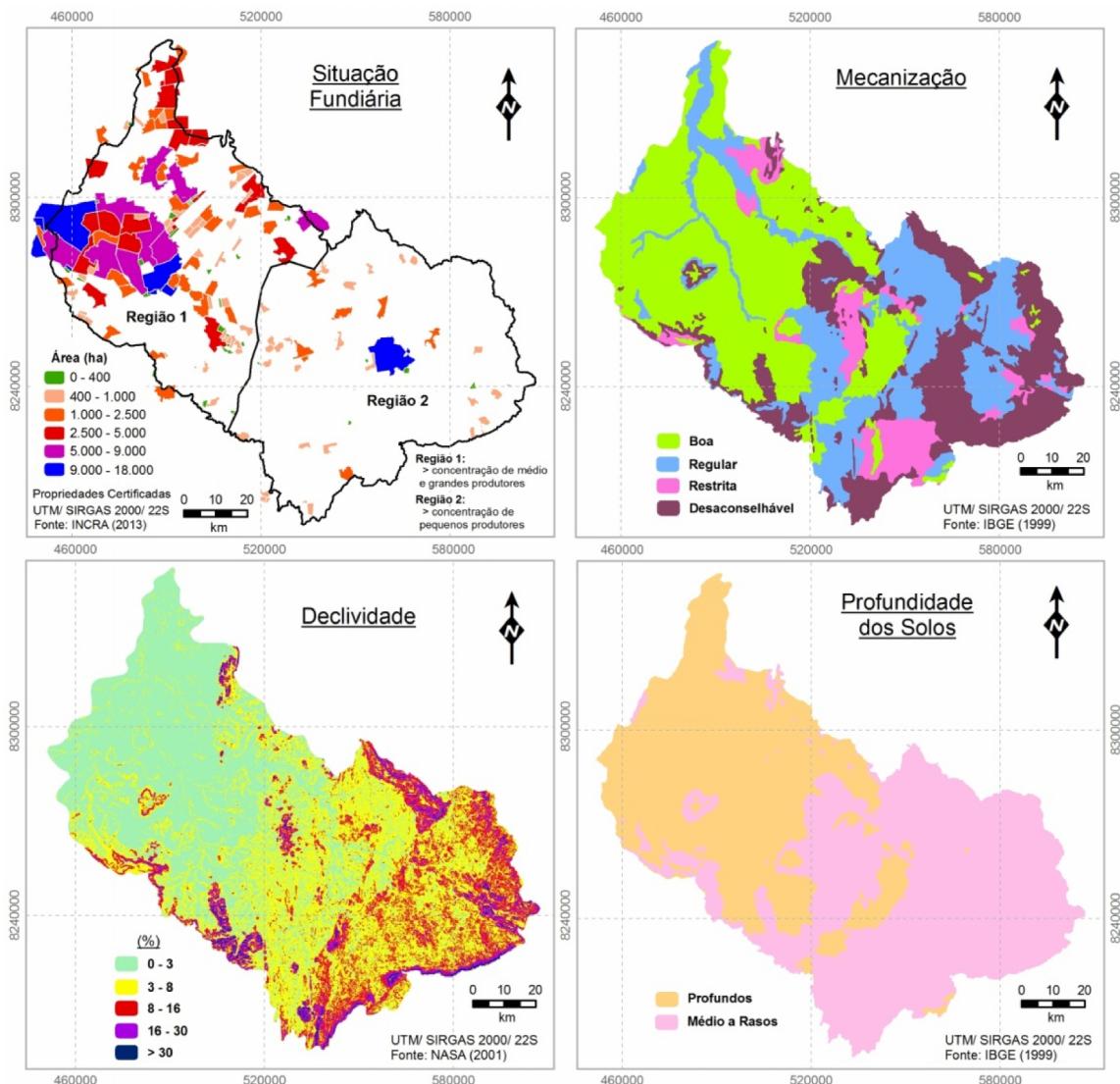


Figura 12 – Organização espacial dos produtores rurais, escalonados pelo tamanho das propriedades, em função das características físicas da bacia hidrográfica do rio Vermelho. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice C.

Nos perfis esquemáticos mostrados na Figura 13, fica evidente como as questões econômicas, aqui representadas de forma associada pelo tamanho da propriedade, influenciam nos aspectos métricos da paisagem, ainda que sujeitas às regras/limitações

impostas pelos fatores edáficos locais. Em linhas gerais, pode-se concluir que os médios/grandes pecuaristas, que foram os principais beneficiários de créditos agrícolas (SILVA, 2001), imprimem uma maior pressão na conversão de regiões naturais em áreas produtivas, representada por extensas áreas de pastagens, onde a vegetação natural remanesce apenas em regiões com impedimentos físicos, que dificultam a exploração comercial, a exemplo de regiões com solos alagados (Gleissolos).

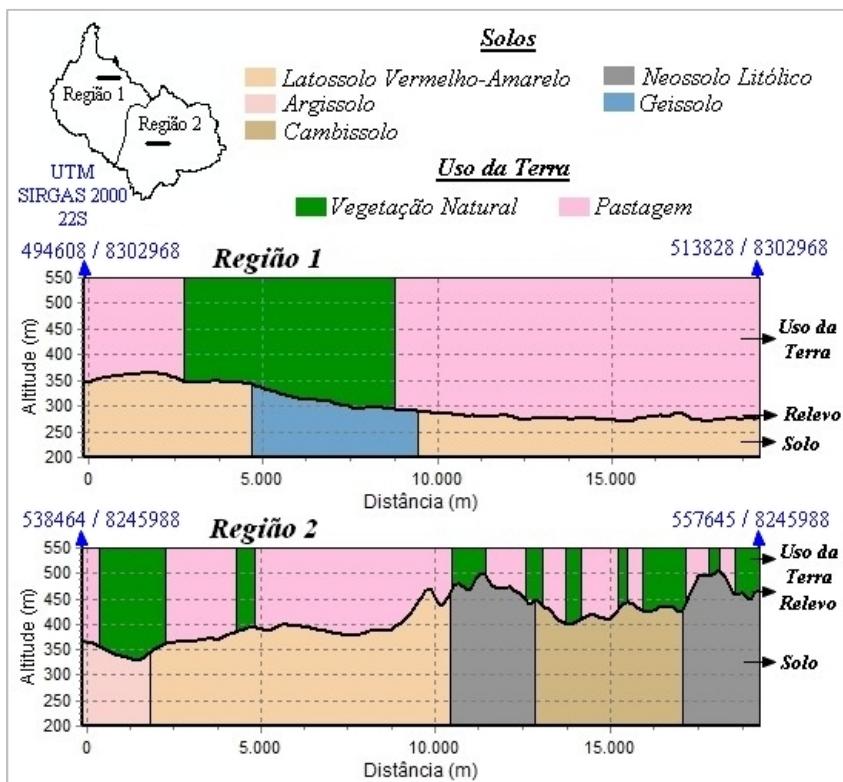


Figura 13 – Perfis esquemáticos relacionando solos, relevo e cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho. É possível identificar que na “Região 1” as áreas de pastagens são mais expressivas, excluindo-se apenas as áreas impróprias para a atividade pastoril (Gleissolo).

4.1.2 Avaliação biofísica associada ao uso da terra

Com base nas médias mensais de precipitação (2001 a 2011), fica evidente que o mês de janeiro, apresenta maior descarga pluvial na BHRV, com registros mensais de chuvas de até 335mm. A partir do mês de abril, há um decréscimo significativo nos valores de precipitação, a qual se torna praticamente ausente em julho (Figura 14). Ressalta-se a importância da distribuição espacial da precipitação quanto à identificação de dois períodos pluviométricos distintos (Figura 15), i.e. seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril), os quais influenciam diretamente no calendário agrícola da bacia.

Considerando que as áreas de pastagens cultivadas representam a principal cobertura e uso da terra, as características pluviométricas encontradas são favoráveis ao desenvolvimento da pecuária. Segundo Alcântara (2009), as principais espécies de gramíneas, a exemplo das africanas *Bhachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, esta última predominante na BHRV, necessitam de precipitação média acima de 1.100mm/ano. Outro ponto a ser considerado, é a importância da existência de estações bem definidas, o desenvolvimento das áreas de pastagens. Em linhas gerais, o período seco favorece a diminuição do ataque de pragas (ex. “cigarrinha das pastagens” - *Zulia entreriana / Deois flavopicta* -, a qual necessita de altos teores de umidade para o desenvolvimento de seu ciclo de vida). Assim, a alternância de estações é um fator favorável do ponto de vista entomológico, funcionando como um controle natural para diminuir a infestação de pragas nas áreas de pastagens.

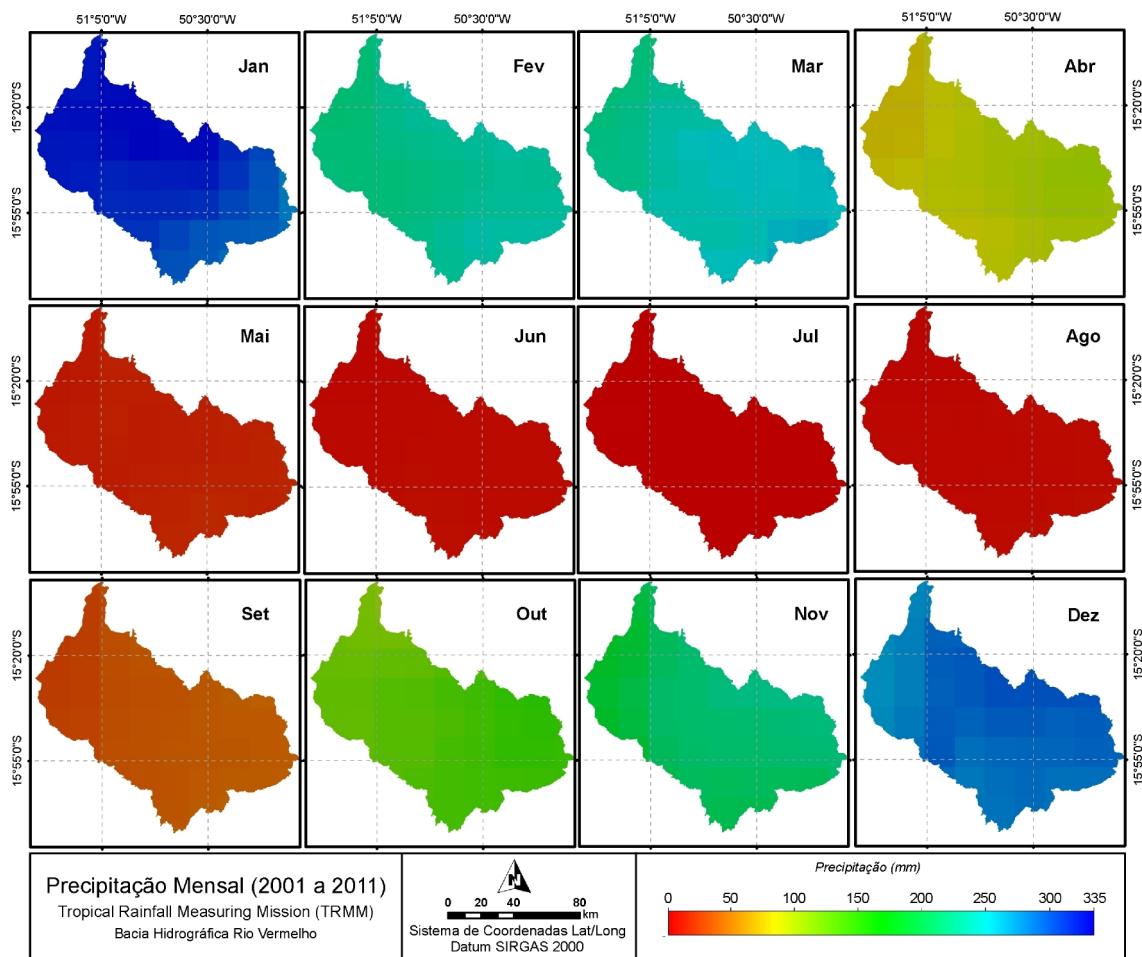


Figura 14 – Distribuição espacial de estimativas mensais de precipitação, entre 2001 a 2011, na bacia hidrográfica do rio Vermelho. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice D.

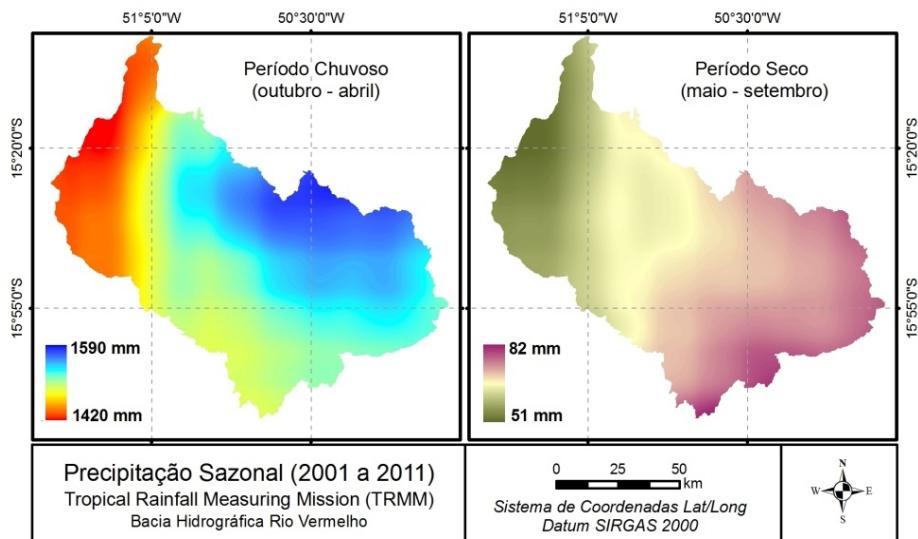


Figura 15 – Distribuição das médias sazonais (2001 a 2011) referentes aos períodos seco e chuvoso para a bacia hidrográfica do rio Vermelho, onde é possível identificar duas estações completamente distintas.

Portanto, pode-se concluir que em função da disponibilidade hídrica local, e da influencia sazonal nos aspectos entomológicos, há na BHRV, condições favoráveis para o desenvolvimento da pecuária extensiva, ainda que anos de secas severas, como as observadas em 2005 e 2007, afetam mais intensamente as pastagens cultivadas, menos adaptadas aos extremos locais (HILL et al., 1997).

Em relação à evapotranspiração, nos meses chuvosos, de maneira que a precipitação é mais intensa, há uma maior amplitude nos valores encontrados. Por outro lado, nos meses de escassez de água, os valores de evapotranspiração tendem a reduzir, com distribuição espacial mais homogênea (Figura 16).

Presume-se que, esta homogeneidade está associada a mecanismos comuns de defesa da superfície vegetativa, natural ou antrópica, com vistas a evitar perdas significativas de água para atmosfera, frente ao aumento de temperatura característico da estação seca. Da mesma forma, é interessante observar que a durante os meses de estiagem, a redução média nos valores de evapotranspiração, da ordem de 61%, é bem menos intensa que o decréscimo na precipitação (~95%) (Figuras 17 e 18), o que sugere tanto a presença de água armazenada nas várias camadas de solo, disponível, preferencialmente às espécies nativas com raízes mais profundas, quanto há defasagem entre os fluxos hidrológicos superficiais e em sub-superfície.

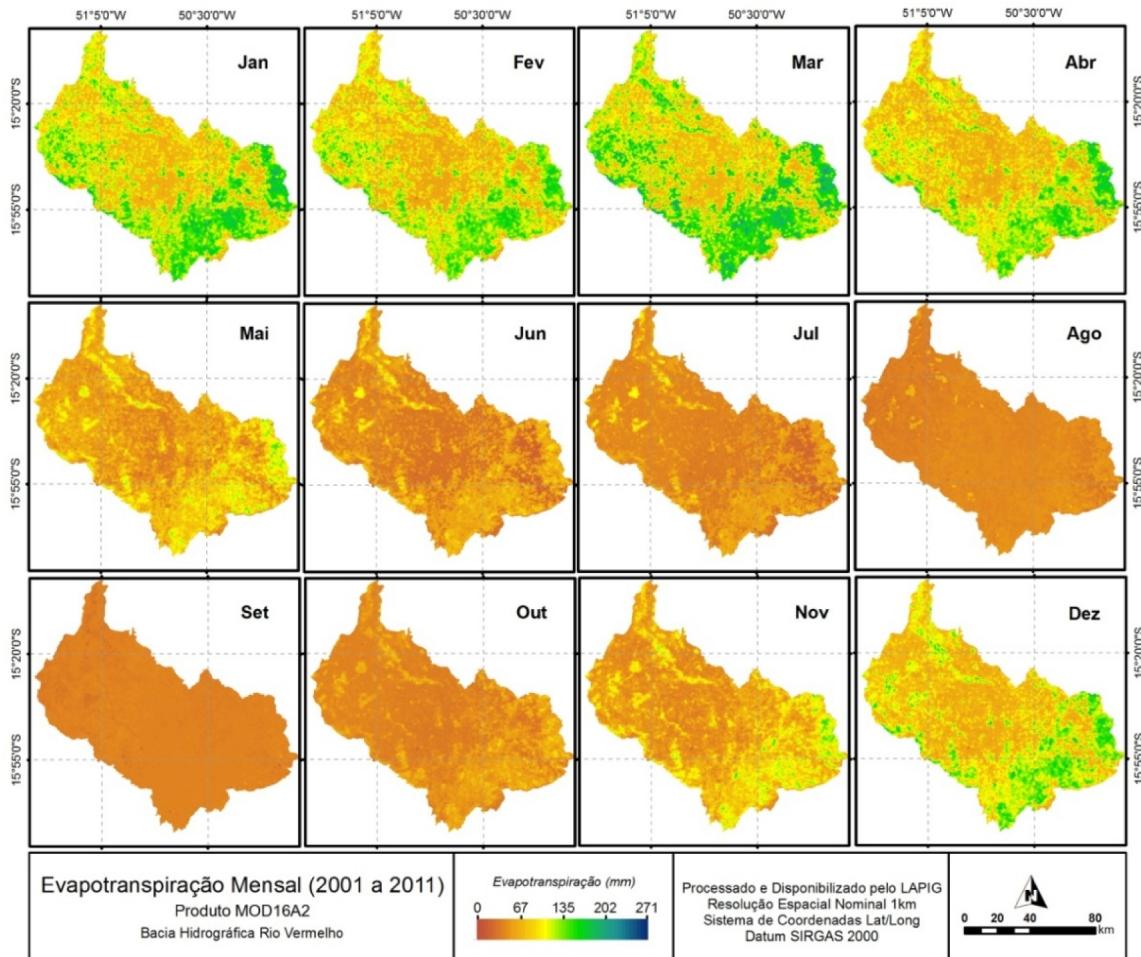
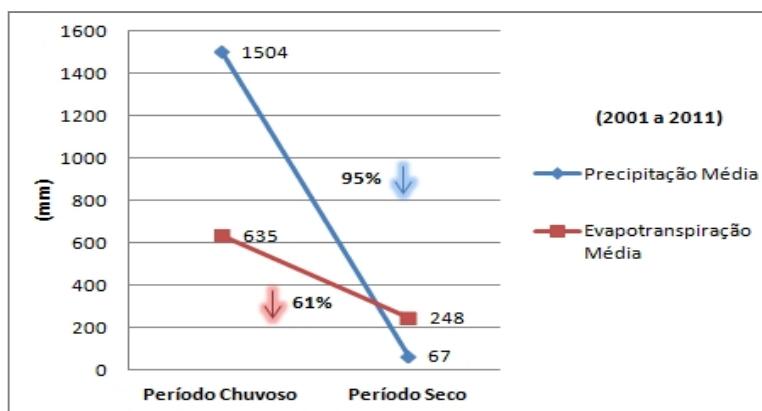


Figura 16 – Valores médios da evapotranspiração mensal (2001 a 2011), onde se pode observar que os meses de agosto apresentam menores índices e com distribuição mais homogênea ao logo da BHRV. Na “Região 2”, os valores de evapotranspiração tendem a ser mais acentuados. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice E.



. Figura 17 – Redução média da evapotranspiração nos dois períodos sazonais (seco e chuvoso), com queda de 95% para os valores de precipitação, e 61% nos valores de evapotranspiração.

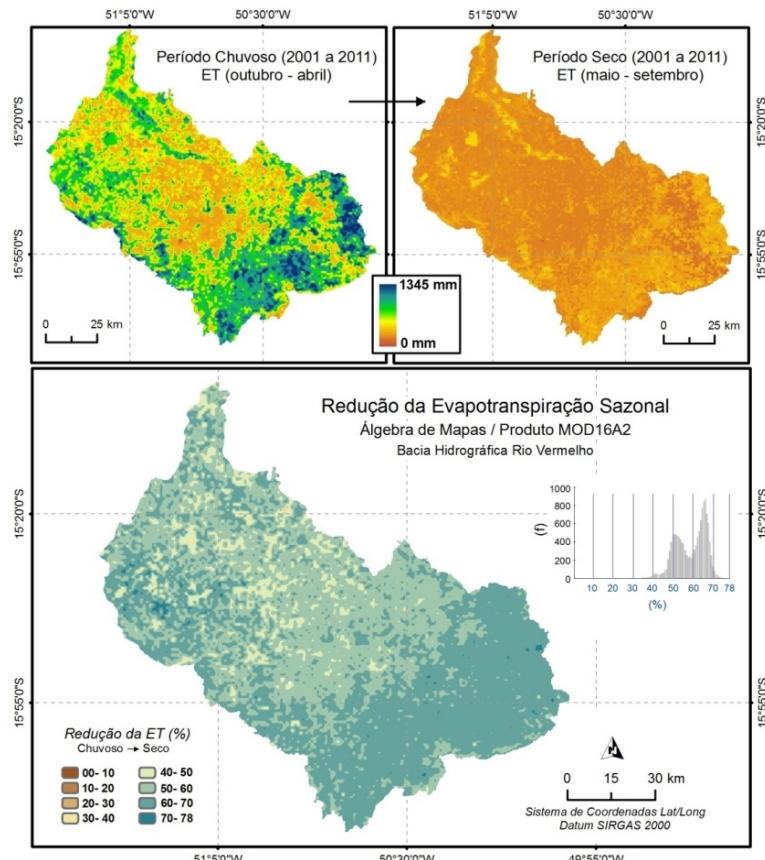


Figura 18 – Taxas de redução da evapotranspiração entre o período chuvoso e seco, onde se pode observar que as maiores reduções concentraram-se na “Região 2”.

Na distribuição espacial dos ambientes, os valores de evapotranspiração a partir da observação das médias mensais (2001 a 2011), são mais elevados na “Região 2”. Esta diferença parece estar relacionada a três aspectos: fisiologia vegetal; quantidade de chuva depositada; e características físicas dos solos, em particular, a capacidade de armazenamento (CAD) e a velocidade de infiltração.

Nesta região, há predominância de vegetação natural arbórea/arbustiva (vide Figura 10), a exemplo das matas de galerias e outras formações florestais remanescentes do bioma Cerrado. As áreas com vegetação natural (arbórea/arbustiva) são representadas em sua maioria, por espécies dicotiledôneas, com estruturas celulares mais organizadas e maior densidade de biomassa fotossintetizante ativa. Esta diferença do potencial de transpiração nos dois grandes grupos de vegetais encontrados na bacia é bem visível nos meses chuvosos, e tornam-se menores e mais homogêneos nos meses com menor depósito pluvial. Outro aspecto que deve ser observado, é que nesta região há uma proximidade do solo com a rocha matriz, ou seja, os solos são considerados muito rasos, consequentemente, presume-se uma baixa capacidade de armazenamento, e grande

parte da precipitação depositada é rapidamente perdida para a atmosfera em períodos de radiação solar mais elevada. Na “Região 1”, por outro lado, os solos são mais profundos, portanto, com uma maior capacidade de armazenamento. Como o processo de evaporação da água nos solos ocorre de forma heterogênea nos diferentes horizontes, espera-se que, nas camadas superficiais a evaporação ocorra com maior rapidez, consequentemente, as espécies que possuem sistemas radiculares superficiais, que são mais dependentes da água nos 20cm superficiais, a exemplo das gramíneas, tenham uma queda drástica de biomassa verde no período seco.

No período de escassez de água, a distribuição dos valores de evapotranspiração está relacionada com características morfológicas dos vegetais, como a profundidade do sistema radicular. Tal fato é evidente na Figura 19, em condições iguais de solo e relevo, espécies com sistemas radiculares mais profundos (vegetação arbórea/arbustiva) mantiveram valores de evapotranspiração mais elevados.

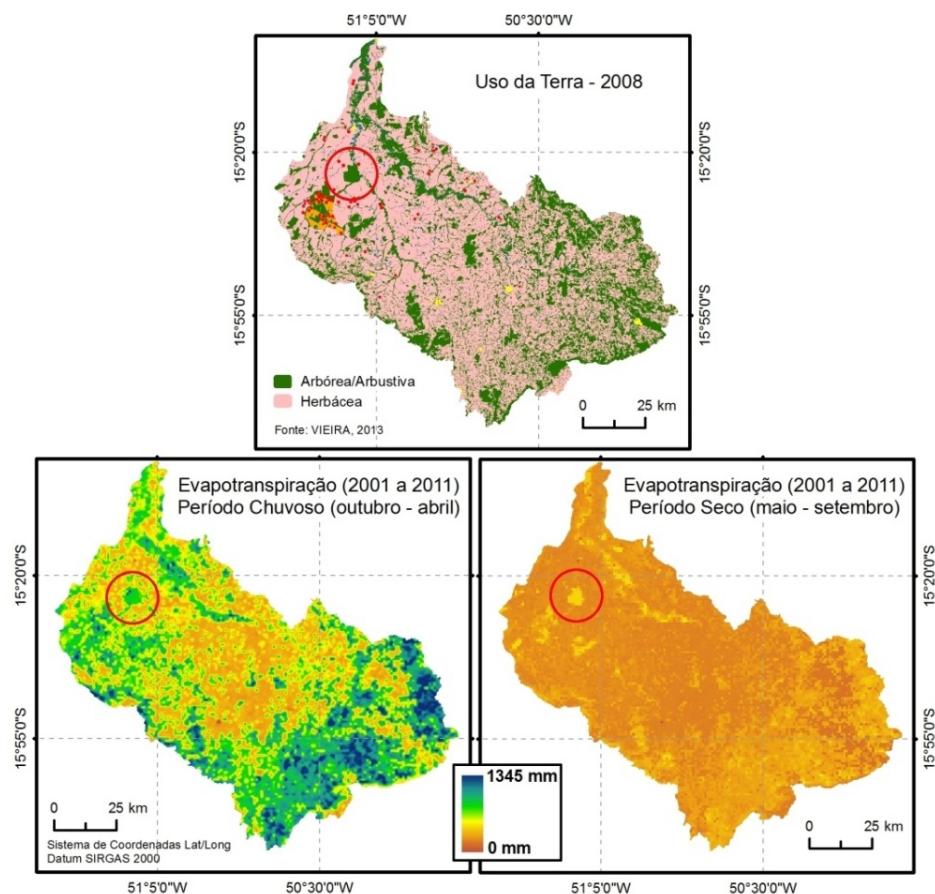


Figura 19 – Influencia da morfologia radicular (no detalhe, área de vegetação arbórea/arbustiva) nas estimativas de evapotranspiração durante o período seco.

A disponibilidade de água no ambiente fica mais visível a partir da avaliação das estimativas *Blue Water* (BW), cujos valores mensais históricos (2001 a 2011) situam-se no intervalo de 317 a -173mm. Quando positivos, estes representam a quantidade/intensidade de água disponível no sistema Solo-Planta (no caso, principalmente nos meses de dezembro e janeiro), enquanto negativos, representam períodos de déficit hídrico, com possíveis impactos no desenvolvimento das espécies vegetais (Figura 20).

Historicamente, o mês de maio apresenta índices de déficit hídrico em praticamente toda a BHRV, com valores mais severos para na “Região 2”. Já nos meses de agosto e setembro existe um “equilíbrio” entre a entrada e saída de água no sistema, não havendo grandes variações perceptíveis.

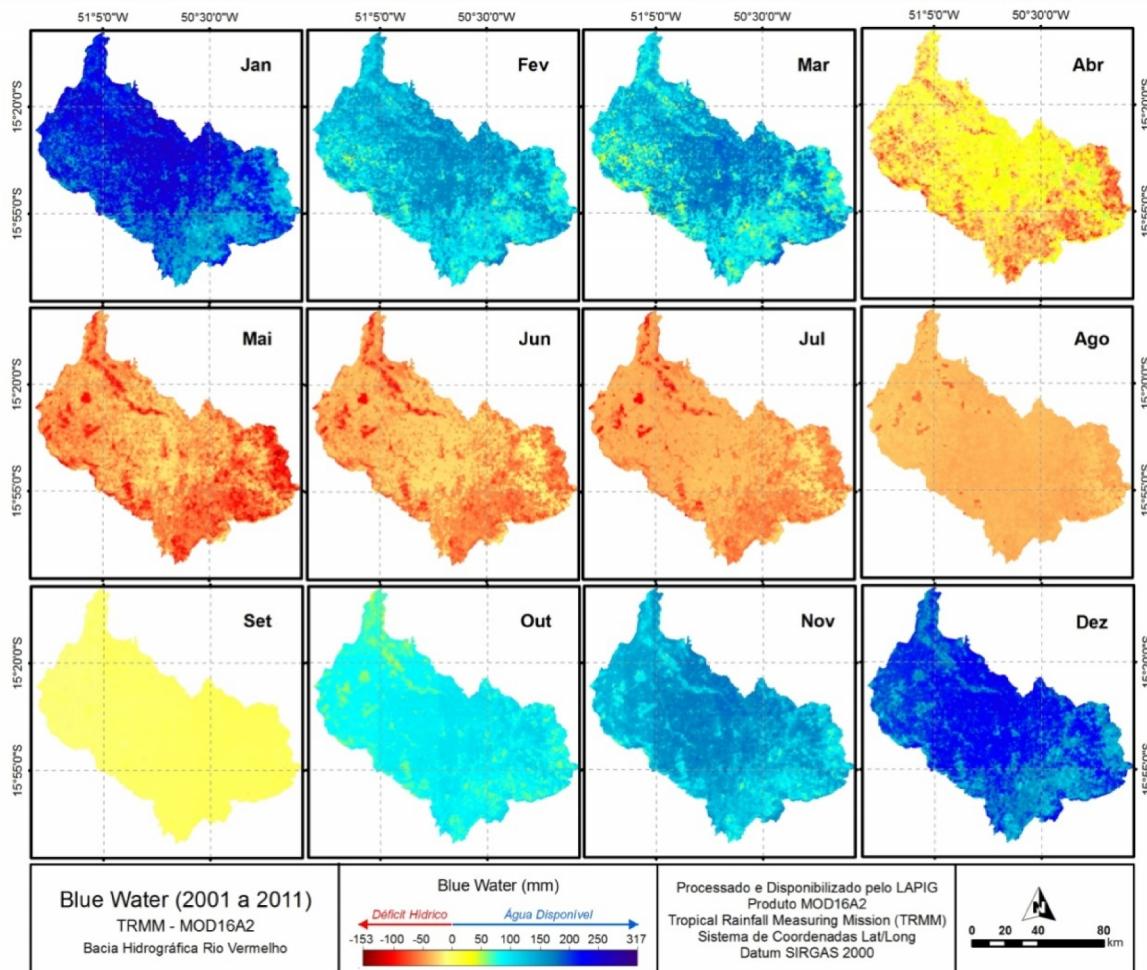


Figura 20 – Distribuição espacial dos valores de *Blue Water* na bacia, onde é possível observar que os meses de dezembro e janeiro apresentam maior disponibilidade hídrica. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice F.

Tomando como referência o mês de maio, estima-se que os valores de evapotranspiração para o período seco, em geral, sejam provenientes da água armazenada nos solos, já que neste período a radiação solar é intensa, e a precipitação registrada é muito baixa. Tal fato pode ser facilmente identificado quando correlacionamos estas variáveis biofísicas com a vegetação, onde é possível perceber que mesmo não havendo praticamente precipitação (P) no período, as áreas com vegetação arbórea/arbustiva, que possuem sistemas radiculares profundos, permanecem com valores de evapotranspiração (ET) maiores que os encontrados na vegetação herbácea (Figura 21), representadas pelas áreas de pastagens. Portanto, os períodos com elevados índices de déficit hídrico, a partir dos dados *Blue Water* (BW), afetaram de forma mais intensa a fisiologia dos vegetais que apresentam sistemas radiculares superficiais. A estabilidade dos valores de precipitação se dá em função de sua resolução espacial, que é de aproximadamente 27km.

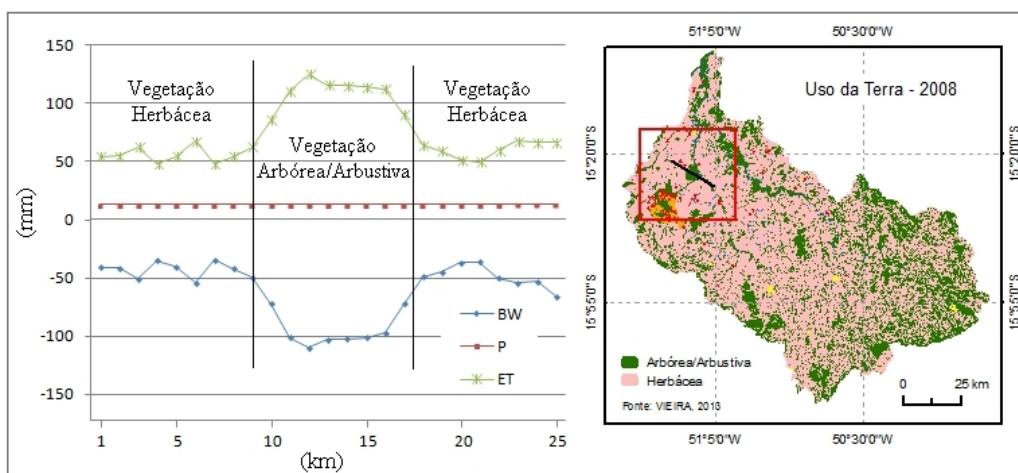


Figura 21 – Perfil esquemático com a eficiência das diferentes fito-fisionomias presentes na bacia hidrográfica do rio Vermelho, quanto à capacidade de aproveitamento da água armazenada no solo.

Na BHRV os valores de EVI são menores para o período seco, e aumentam nos meses de maior intensidade das chuvas (Figura 22). O índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index* (EVI) tem uma relação direta com a biomassa fotossinteticamente ativa e, em função dos processos fisiológicos da cobertura vegetal, com a própria disponibilidade hídrica. Assim, este índice está indiretamente relacionado com os valores de *Blue Water*, com os maiores valores de EVI associados aos períodos que há maior volume de água (l/m^2) armazenado na cobertura vegetal, solos e reservatórios (Figura 23).

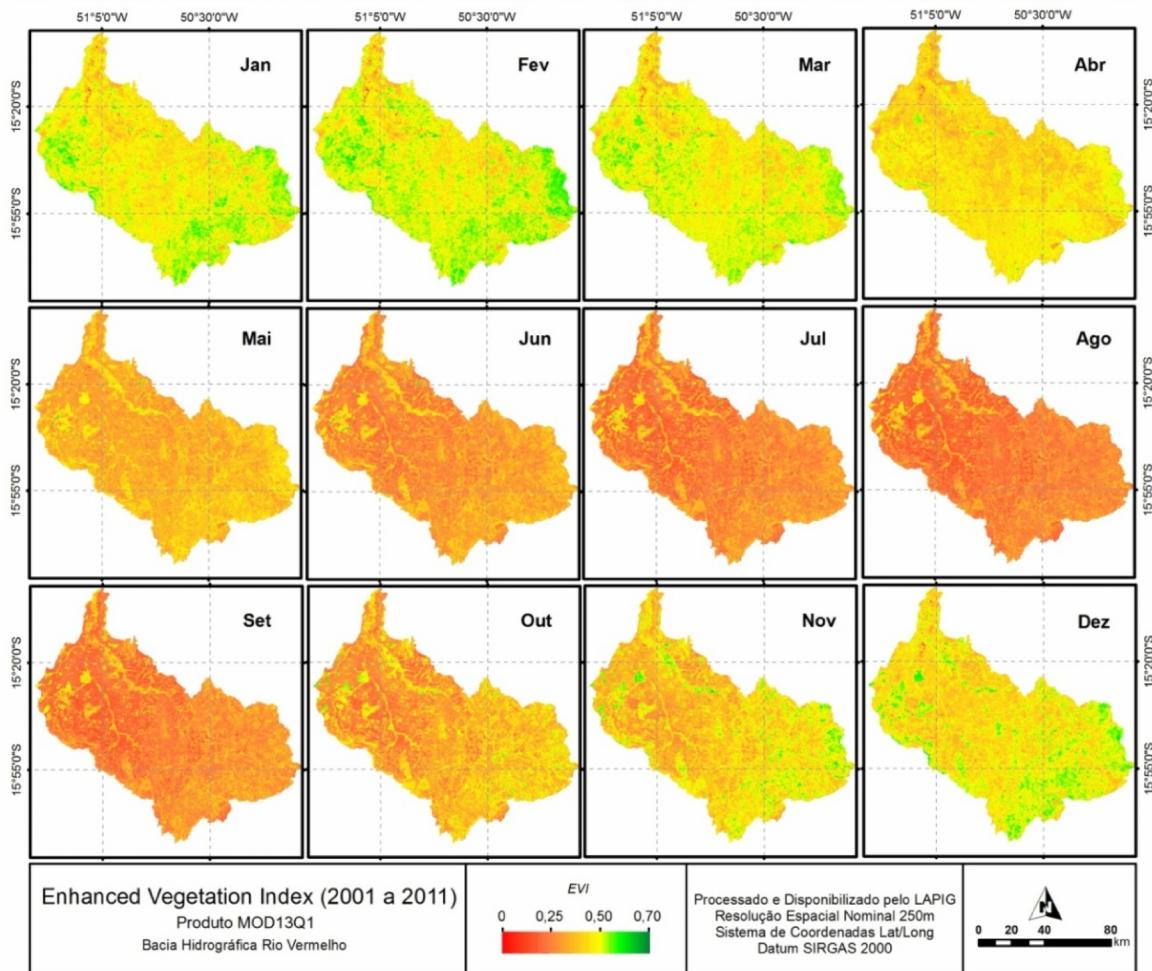


Figura 22 – Distribuição espacial dos valores EVI (médias mensais) para a bacia hidrográfica do rio Vermelho, entre o período de 2001 a 2011. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice G.



Figura 23 – Relação entre as médias mensais EVI e água disponível (*Blue Water*) na bacia hidrográfica do rio Vermelho.

Outro ponto a ser considerado, e que condiciona as estimativas mensais, é a estrutura da formação vegetal, de tal forma que os valores de EVI para vegetação de porte arbóreo/arbustivo são maiores tanto nos meses chuvosos quanto nos períodos secos,

quando comparados às respostas encontradas nas áreas de pastagens (vegetação herbácea). Entretanto, esta diferença de resposta é bem maior nos meses de escassez de água (Figura 24), o que torna este período particularmente importante quando da classificação/identificação de cobertura e uso da terra baseado nas estimativas de EVI.

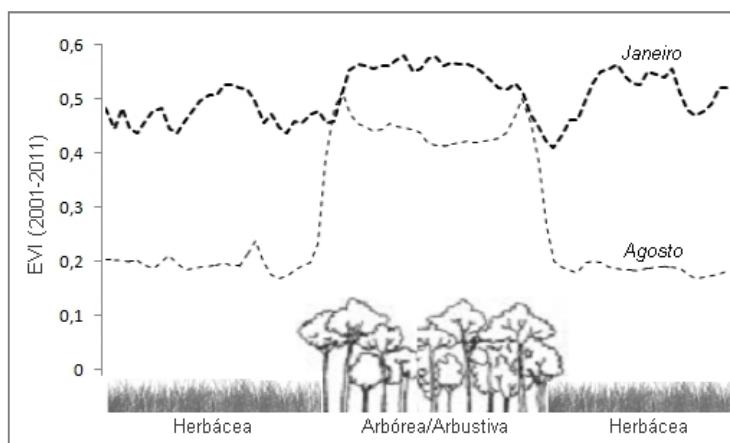


Figura 24 – Relação entre os valores de EVI e as principais formas de cobertura e uso da terra encontradas na bacia hidrografia do rio Vermelho.

Os dados de Produtividade Primária Líquida (PPL), que estão relacionados também com a biomassa vegetal, representam os níveis de matéria orgânica armazenada nos vegetais, em kgC/m^2 . De certo modo, esta grandeza tem uma relação direta com as taxas de crescimento das espécies encontradas na cobertura e uso da terra, e a capacidade que as espécies possuem em imobilizar Carbono. Os valores de PPL podem sofrer influencia tanto do aspecto espacial, em função da distribuição das espécies vegetais, quanto do aspecto temporal, que está associado a fatores climáticos, presumindo mesmas condições de cobertura e uso da terra.

No aspecto espacial, espera-se encontrar maiores valores de PPL em espécies de porte maiores (arbórea/arbustiva), onde a relação Carbono/Nitrogênio é mais elevada (ADUAN et al., 2003). No aspecto espacial, percebe-se que os maiores valores de PPL estão localizados em regiões com maior concentração de vegetação arbórea/arbustiva, localizadas principalmente na “Região 2” (Figura 25), portanto, pode-se afirmar que a vegetação arbórea/arbustiva é mais eficiente no sequestro de carbono, quando comparado às áreas de pastagens.

Os anos de 2002, 2005 e 2007 apresentam uma queda expressiva nos valores de PPL. Exceto para o ano de 2005, foi percebido que os períodos de queda expressiva nos

valores de PPL corresponderam à redução considerável nos valores de precipitação (Figura 26).

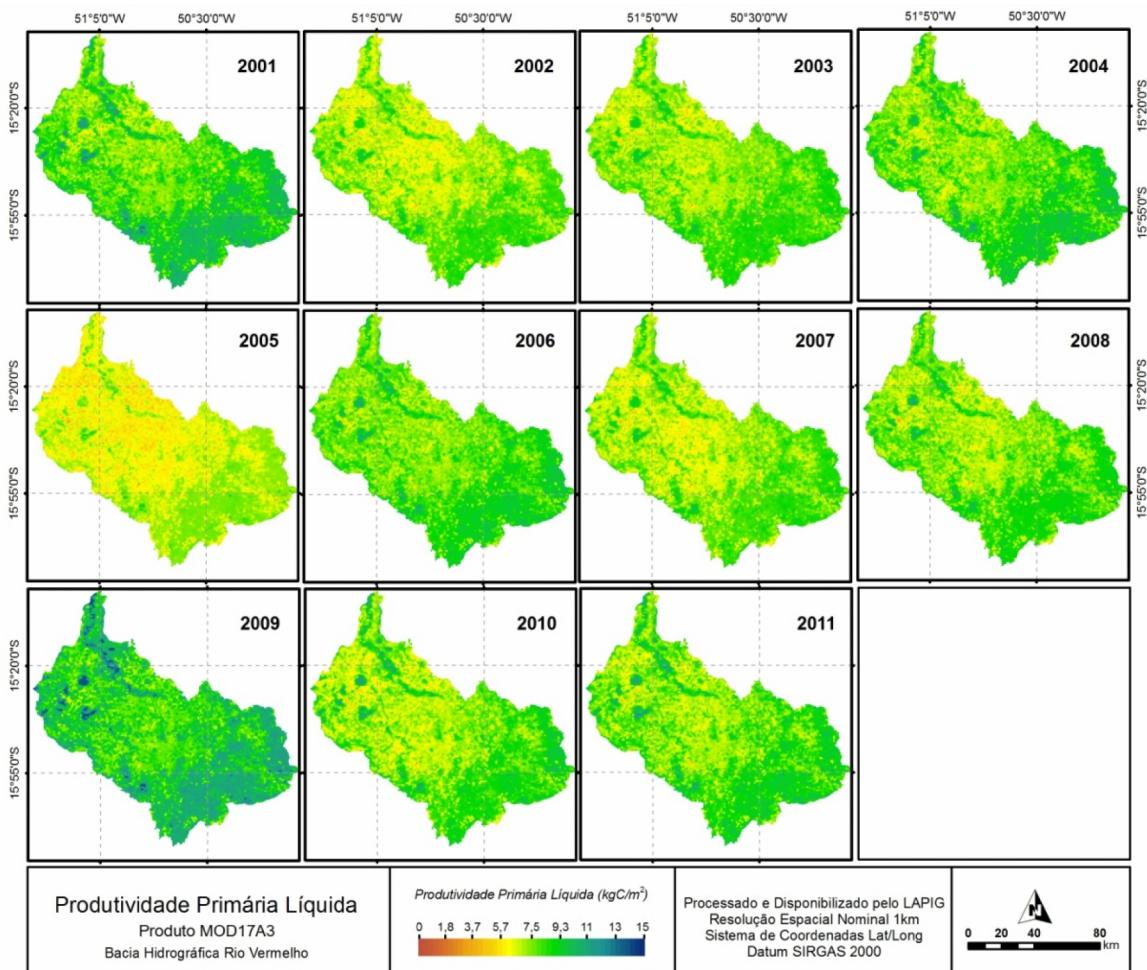


Figura 25 – Distribuição espacial (e inter-anual) dos valores de Produtividade Primária Líquida (PPL) para a bacia hidrográfica do rio Vermelho. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice H.

Há uma tendência de correlação positiva entre os valores de PPL e a precipitação depositada na bacia. Presume-se que, quando há pouca disponibilidade de água no sistema, há uma redução na taxa de crescimento vegetativo, consequentemente, o balanço entre fotossíntese (ganho de energia) e respiração (perda de energia) diminui, já que há perdas consideráveis de Carbono para a atmosfera. Em fato, em períodos com condições climáticas favoráveis, principalmente quando existe água em abundância, os diferentes extratos vegetais conseguem potencializar seus processos fisiológicos, resultando em armazenamento de energia, futuramente convertida em biomassa. Como consequência deste processo, percebe-se que quanto maior o valor de precipitação, maior será o desenvolvimento dos vegetais, e maiores serão as estimativas de PPL.

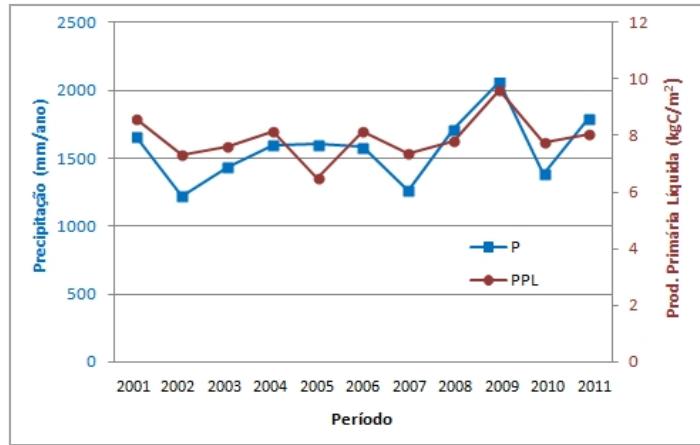


Figura 26 – Influencia da precipitação (estimativas anuais) sobre a Produtividade Primária Líquida média (PPL) na bacia hidrográfica do rio Vermelho.

4.1.3 Abordagem estatística

O teste de *Pettitt*, aplicado às variáveis Precipitação (P), Evapotranspiração (ET), *Blue Water* (BW) e EVI, confirmou ($p > 0.05$) que estas, apesar de pequenas variações nos valores de Precipitação e *Blue Water*, apresentam comportamento consistente ao longo dos 11 anos consecutivos em que são consideradas (Figura 27).

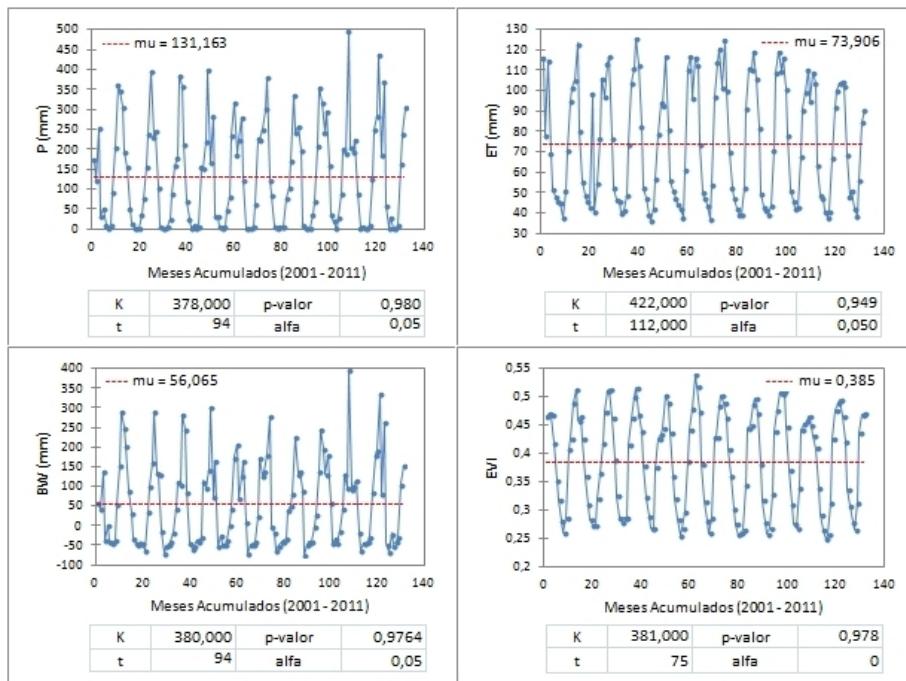


Figura 27 – Resultados do teste de homogeneidade para as variáveis biofísicas consideradas neste estudo, com distribuição mensal acumulada (2001 a 2011).

Indiretamente, a rejeição da hipótese H_0 (i.e. alterações significativas no comportamento de cada variável, ano a ano), sugere relativa estabilidade quanto à dinâmica da cobertura

e uso das terras, ou mudanças pouco significativas frente ao comportamento dominante das variáveis biofísicas investigadas.

Da mesma forma, e em relação às principais classes de coberturas e usos da terra, verificou-se que, à exceção da precipitação, todas as demais variáveis apresentam respostas significativamente distintas em função da cobertura existente, i.e. vegetação natural (arbórea/arbustiva) e das áreas de pastagens (herbácea) (Tabelas 03 e 04).

Tabela 03 – Resumo do Teste-F (2001 a 2011) para vegetação arbórea/arbustiva e herbácea.

Média Anual (2001 a 2011) – Teste-F	P	<i>Observações (30)/ gl (29)</i>	Arbórea/Arbustiva	Herbácea
		Média	1574,603031	1571,042436
		Variância	2896,791686	2847,213449
		p (F<=f) uni-caudal	0,481622072	
ET	Média	1090,461241	741,6581991	
	Variância	79543,87769	26347,6641	
	p (F<=f) uni-caudal	0,001988857		
BW	Média	483,5070596	829,2311188	
	Variância	83563,77196	29610,84189	
	p (F<=f) uni-caudal	0,003349914		
EVI	Média	0,437807566	0,340066986	
	Variância	0,003661174	0,000692279	
	p (F<=f) uni-caudal	1,19552E-05		
PPL	Média	9,35792124	7,174078743	
	Variância	1,552313255	0,957255342	
	P (F<=f) uni-caudal	0,099508001		

Tabela 04 – Valores-p para o Teste-t (2001 a 2011).

Média Anual (2001 a 2011) - Teste-t	P	<i>Observações (30)/ gl (29)</i>	
		p (T<=t) uni-caudal	0,398920708
		p (T<=t) bi-caudal	0,797841417
ET	p (T<=t) uni-caudal	2,25925E-07	
	p (T<=t) bi-caudal	4,52000E-07	
BW	p (T<=t) uni-caudal	4,88447E-07	
	p (T<=t) bi-caudal	9,76894E-07	
EVI	p (T<=t) uni-caudal	2,77353E-10	
	p (T<=t) bi-caudal	5,54707E-10	
PPL	p (T<=t) uni-caudal	1,73984E-10	
	p (T<=t) bi-caudal	3,47968E-10	

A BHRV aparentemente é dividida em duas regiões distintas; “Região 1” e “Região 2”. A criação das regiões foi reflexo da organização fundiária histórica, de modo que os médios/grandes pecuaristas estão localizados em áreas planas, com pastagens mais

extensas, e pouca conectividade entre os fragmentos de vegetação natural (“Região 1”). Já na “Região 2”, esta dinâmica é oposta.

Foram distribuídas 60 (sessenta) amostras, 30 (trinta) em cada macrorregião, com o objetivo de avaliar as respostas das variáveis biofísicas nos dois grandes ambientes da bacia. Para tal, foram utilizadas as médias anuais do período de 2001 a 2011, submetidas à análise do diagrama de dominância (Teste-t).

Com base na análise dos diagramas de dominância, com 95% de probabilidade, é possível afirmar que todas variáveis se mostraram estatisticamente diferentes para os dois macroambientes da BHRV, já que os valores-p foram menores que o nível de significância adotado. Além de distintos, foi possível comprovar que os valores de precipitação, evapotranspiração, EVI e produtividade primária líquida, foram superiores para a “Região 2”, e apenas a variável *Blue Water* teve valores superiores para a “Região 1” (Figura 28).

Apesar de chover mais na “Região 2”, percebe-se que também há uma saída significativa da água depositada, consequentemente, existe mais água disponível na “Região 1”. Portanto, a ocupação proveniente da organização espacial fundiária, influenciou nas principais representações da cobertura e uso da terra, de modo a formar dois ambientes distintos do ponto de vista biofísico.

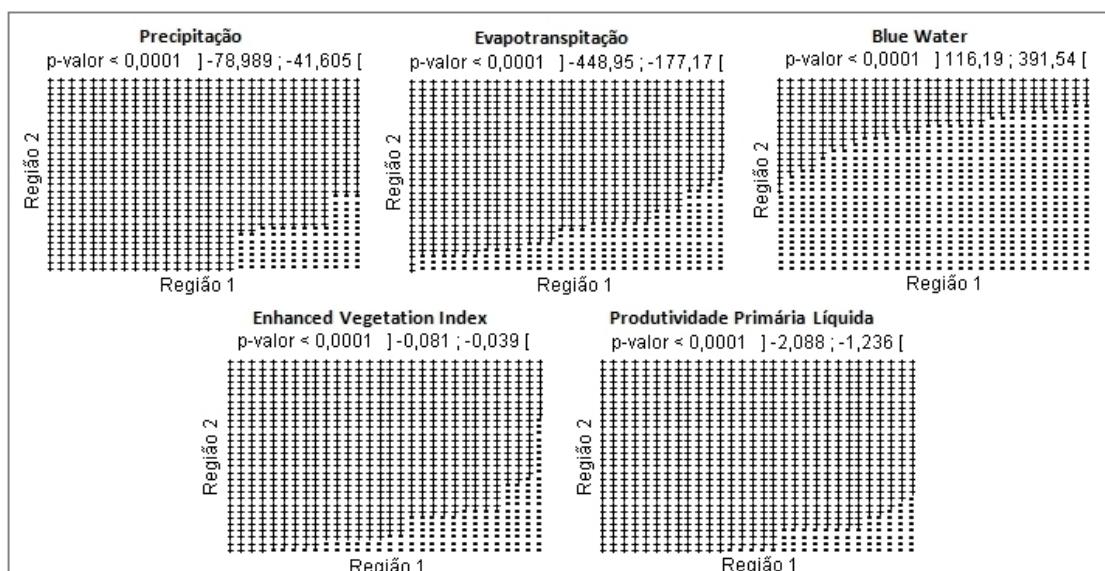


Figura 28 – Diagrama de dominância para as variáveis biofísicas (2001 a 2011) em relação aos dois grandes domínios (i.e. “Região 1” e “Região 2”) presentes na bacia hidrográfica do rio Vermelho.

4.2 Caracterização biofísica das áreas de pastagens cultivadas e naturais

4.2.1 Características gerais sobre as pastagens

As áreas de pastagens são representadas por espécies de porte herbáceo, utilizadas na pecuária extensiva, principal atividade econômica da BHRV. Devido a sua importância econômica, as pastagens são a principal cobertura e uso da terra, e representam aproximadamente 57% do uso total da bacia (VIEIRA, 2013). As pastagens encontradas na BHRV são divididas em dois grandes grupos: “pastagens cultivadas”, representadas por espécies exóticas africanas, i.e. *Brachiaria brizantha* (Brachiarão) (Figura 29a) encontrada em maior abundância; a *Brachiaria humidicola* (Figura 28b), introduzida em regiões mais úmidas; e *Andropogon gayanus* (Capim-Andropogon) (Figura 29c) com pouca representação, encontrada principalmente em áreas com solos pedregosos. Além das pastagens cultivadas que representam a grande maioria das forrageiras encontradas na BHRV, também há existência, porém em escala bem inferior, das “pastagens naturais”, aqui sem denominação de espécie em função do grande número encontrado de indivíduos diferentes que compõem esta categoria.

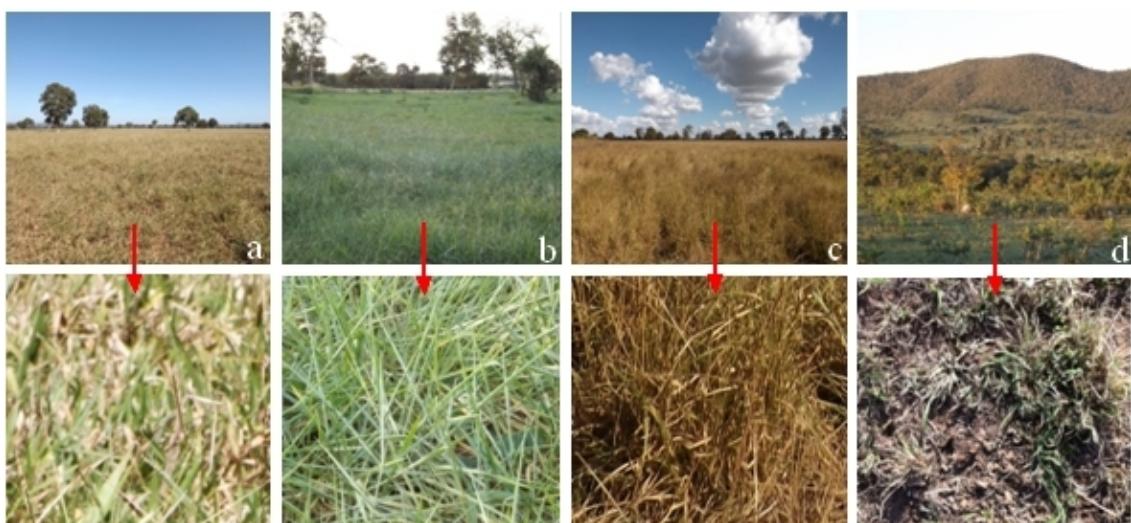


Figura 29 – Pastagens cultivadas, representadas por espécies exóticas, i.e. *Brachiaria brizantha* (a), *Brachiaria humidicola* (b), *Andropogon gayanus* (c), e pastagens naturais compostas por um conjunto de espécies, e são encontradas principalmente em regiões serranas, i.e. da Serra da Mesa (d), áreas de difícil acesso.

As pastagens naturais são mais adaptadas ao ambiente local, e localizam-se principalmente em áreas com relevo movimentado e de difícil acesso, a exemplo das intermediações da Serra Dourada e Serra da Mesa (Figura 29d). Com base nas 07 (sete)

campanhas de campo realizadas, totalizando aproximadamente 11.500km percorridos de observação da paisagem, estima-se que as pastagens naturais representem menos que 1% do total de pastagens encontradas na BHRV. As áreas de pastagens naturais, apesar de serem representadas pela minoria das forrageiras, estas desempenham um papel muito importante na alimentação bovina, devido as suas características morfofisiológicas adaptadas à escassez de água, estas áreas são utilizadas como refúgio para o gado no período da seca (transumância), tendo em vista que nesta estação sazonal, estas permanecem com um considerável percentual de biomassa verde. Numa avaliação inicial, foi observado que apesar das pastagens naturais apresentarem um considerável percentual de biomassa verde no período seco, sua biomassa total ainda é muito baixa quando comparado às espécies exóticas africanas, o que requer a necessidade de complementação por meio de volumosos/rações para suprir à necessidade animal.

Em pouquíssimas áreas foram encontradas consórcios com a leguminosa Calopogônio (*Callopogonium mucunoides*), espécie perene utilizada nas pastagens para auxiliar na fixação do nitrogênio por simbiose (EUCLIDES et al., 1998). Na porção oeste da bacia, no município de Britânia, foram encontradas algumas empresas que exploram as pastagens cultivadas para a produção comercial de sementes, da espécie *Brachiaria humidicola* (Figura 30). Entretanto, a utilização das pastagens para a produção de sementes não é uma atividade comumente encontrada na bacia, já que a grande maioria é utilizada no pastejo extensivo.



Figura 30 – Área de pastagem cultivada no município de Britânia, utilizada para a produção comercial de sementes da espécie *Brachiaria humidicola*.

4.2.2 Expansão histórica das pastagens cultivadas sobre as naturais

Segundo os dados dos censos agropecuários de 1950 a 1995, percebe-se que de 1950 a 1975 as áreas de pastagens naturais (ha) eram superiores às pastagens cultivadas nos 11 (onze) municípios que fazem interseção com a BHRV (Aruanã, Buriti de Goiás,

Britânia, Faina, Fazenda Nova, Goiás, Itapirapuã, Jussara, Matrinchã, Novo Brasil e Santa Fé de Goiás). A partir de 1985, houve um expressivo avanço das pastagens cultivadas sobre as pastagens naturais, e em 2006, as espécies exóticas representavam aproximadamente 91,3% do total das pastagens presentes nos municípios supracitados (Figura 31). Com base nas observações das campanhas de campo, percebe-se que, atualmente, a proporção das pastagens naturais é um pouco inferior aos registros encontrados no último censo agropecuário (2006), estima-se que mais de 99% das áreas de pastagens na BHRV são representadas por espécies exóticas (cultivadas), ou seja, existem poucas regiões com a presença de pastagens naturais, e muitas delas encontram-se contaminadas/consorciadas com espécies exóticas, dispersadas principalmente pela ação do vento, tendo em vista a proximidade entre os dois grandes grupos de pastagens encontradas na bacia, e/ou em áreas onde as espécies cultivadas foram implantadas e não conseguiram se estabelecer em função de algum fator edáfico impeditivo, i. e. de pedregosos nos solos, resurgindo assim, as comunidades de substituição representadas por espécies de pastagens naturais.

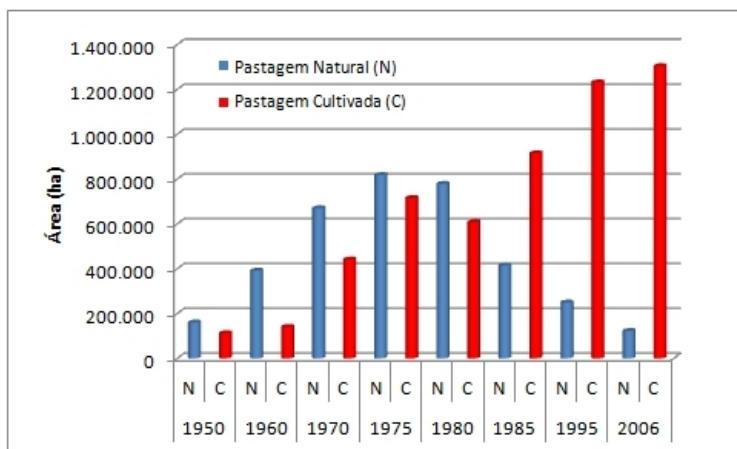


Figura 31 – Relação histórica entre ocupação das pastagens cultivadas e naturais, com base nos valores de área (ha) estimados pelos censos agropecuários de 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006.
Fonte: Censos Agropecuários.

Quanto à ocupação dessas áreas de pastagens (totais), no último levantamento do efetivo bovino nos municípios da região (IBGE, 2006), os municípios de Jussara (350.600), Aruanã (245.850), Itapirapuã (245.150) e Goiás (242.200) são os maiores produtores de gado da BHRV, representando 45% da produção total dos 11 municípios que compõem a BHRV, que é de 1.844.890 cabeças. A variação do efetivo bovino nos municípios está associada ao quantitativo de área de pastagem disponível, de modo que

em linhas gerais, os municípios apresentam uma lotação bovina similar (média 1,2 cabeças/ha), tendo em vista a proporcionalidade entre o efetivo bovino e as áreas de pastagens disponíveis em cada município (Figura 32).

Com base nas observações das campanhas de campo, a produção bovina (efetivo bovino) não é bem distribuída ao longo das áreas disponíveis, portanto, apesar dos dados municipais apontarem uma homogeneidade na taxa de lotação, há variações significativas na distribuição do efetivo bovino nas duas regiões da BHRV. Percebe-se uma maior taxa de ocupação do rebanho bovino na “Região 1”, principalmente nos municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Jussara, e norte de Itapirapuã. Cabe ressaltar que há disparidade econômica evidente nas duas regiões da bacia, sendo que na “Região 1” as pastagens são aparentemente mais produtivas, com pastos melhores manejados (i.e. aplicação de gesso para melhorar a absorção de água no solo, entre outros), onde há predominância da pecuária de corte (raça nelore), enquanto na “Região 2”, predomina a produção de gado leiteiro, com maior diversificação de espécies bovinas, representadas por matrizes mestiças, onde os solos são mais pedregosos, as áreas de pastagens são de menores dimensões, e aparentemente menos produtivas.

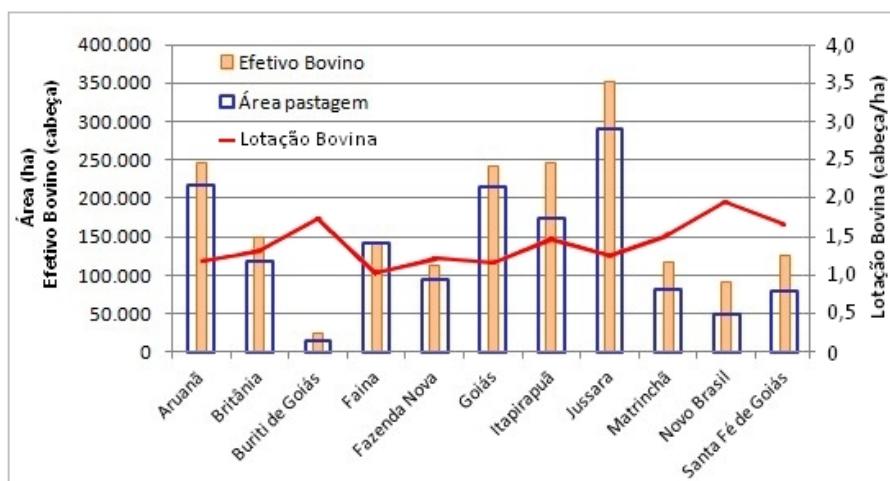


Figura 32 - Relação entre o efetivo bovino (2006) e as áreas de pastagens (2006) presentes em cada município que faz interseção com a BHRV, onde é visível que a produção municipal está associada à quantidade de área disponível para o pastejo, com pequenas variações nos índices de lotação bovina.

Fonte: Censo Agropecuário (2006).

4.2.3 A influência da seca na economia local

Das diversas categorias de cobertura e usos da terra encontradas na BHRV, descritas no anterior, sem dúvida, a categoria pastagem é a principal forma de cobertura e uso da

terra que mais são acometidas pelos efeitos sazonais. As variações na sua biomassa verde (ativa), mais eminentes no período seco, ocorrem pela combinação de suas características morfológicas associadas a fatores edafoclimáticos locais, tendo em vista que seu sistema radicular concentra-se no horizonte superior do solo, local onde a água é mais rapidamente perdida para atmosfera por evaporação.

A seca na região, é o principal problema que os pecuaristas enfrentam, pois entre os meses de maio a setembro as pastagens cultivadas não fornecem alimento suficiente para o rebanho (Figura 33), necessitando assim, de investimentos financeiros para complementar a alimentação animal. Tal fato caracteriza um ciclo econômico perigoso e rapidamente visível na BHRV, já que neste período, há uma redução significativa da produção pecuária (carne e leite), consequentemente, aumenta-se os custos de produção. Como consequência direta deste processo econômico, há um fenômeno chamado de “endividamento do pecuarista”, já que boa parte do lucro obtido no período das chuvas, que deveria ser destinado ao aumento do rebanho, bem como para a melhoria da qualidade das pastagens, acabam comprometidos para pagar dívidas adquiridas no período seco.



Figura 33 – Exemplos de diferentes pastagens no período seco, com evidência de estresse hídrico severo, onde os pastos não apresentam condições para a alimentação animal.

Este ciclo econômico perigoso é ainda mais intenso nos pequenos pecuaristas ($\sim <50\text{ha}$), localizados em sua maioria em áreas menos produtivas, e encontram como única alternativa a venda de parte do rebanho para a aquisição de insumos voltados a alimentação animal, quando senão, são obrigados a vender a propriedade como única forma de quitar dívidas adquiridas, causadas por este ciclo econômico perigoso. Nesta situação de fragilidade que se encontram, ainda surge na economia local a figura do

“atravessador”, que compra parte do rebanho bovino a um preço bem abaixo da cotação, aproveitando as fragilidades momentâneas de mercado, e, posteriormente, submete o rebanho ao confinamento, com o objetivo de alcançar melhores preços em curto período de tempo.

Visivelmente, os pecuaristas que estão na BHRV necessitam de forma urgente, de políticas públicas que possibilitem alternativas de renda para enfrentarem o período da seca, além de assistência técnica dos órgãos competentes. Estas ações são emergenciais e de grande importância para que a pecuária continue sendo uma atividade rentável, de grande importância para a economia local.

4.2.4. Caracterização biofísica das pastagens cultivadas e naturais

4.2.4.1 Modelo de ocorrência das principais espécies

Como descrito acima, as principais espécies de pastagens cultivadas encontradas na BHRV são: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola* e *Andropogon gayanus*. Além das espécies exóticas também são encontradas as pastagens naturais, representadas por um conjunto variado de espécies emergentes. A ocorrência das pastagens cultivadas e naturais na BHRV apresenta um modelo de distribuição associado às características edafoclimáticas locais (Figura 34), principalmente no que diz respeito às condições de solo (profundidade/pedregosidade) e disponibilidade hídrica local, seja permanente ou intermitente. Estes dois fatores explicam boa parte da distribuição das espécies de pastagens que ocorrem na BHRV, entretanto, é importante salientar que existem algumas exceções, representadas por uma minoria que não estão condicionadas a tais condições, ou que foram implantadas sem observar a aptidão agrícola local.

A *Brachiaria brizantha*, conhecida regionalmente como “Brachiarão”, é a espécie africana que ocorre em maior abundância na bacia, estima-se que das espécies exóticas implantadas, esta representa 80% do total de pastagens da bacia. Esta espécie é bem adaptada a terreno seco, porém, exigem solos com boas características físicas, e encontram dificuldades em se estabelecerem em solos com pedregosidade aparente. A *Brachiaria humidicola*, conhecida como “Capim-Quicuia”, é comumente encontrada em solos relativamente úmidos, com constância de disponibilidade hídrica local, i. e. de áreas próximo a rios, córregos, e regiões de baixios, onde o lençol freático é superficial. A maior concentração desta espécie localiza-se nos municípios de Aruanã e Britânia,

próximo a foz do rio Vermelho, às margens da GO-173, onde há um soerguimento substancial do lençol freático local (VIEIRA, 2013), formando assim, condições favoráveis e essenciais à implantação e desenvolvimento desta espécie. Mesmo no período seco, já que existe constância de disponibilidade hídrica, em função de fatores edáficos, esta espécie apresenta um bom percentual de biomassa verde (ativa) nesta estação sazonal.

O *Andropogon gayanus*, conhecido como “Capim-Andropogon”, geralmente está presente em relevo mais acidentado, ou em condições de solos pedregosos, localizados principalmente nos municípios de Goiás, Faina e Buriti de Goiás. Das espécies exóticas citadas, esta é encontrada em menor proporção, com a ocorrência registrada em pouquíssimas áreas, algumas ainda de forma experimental.

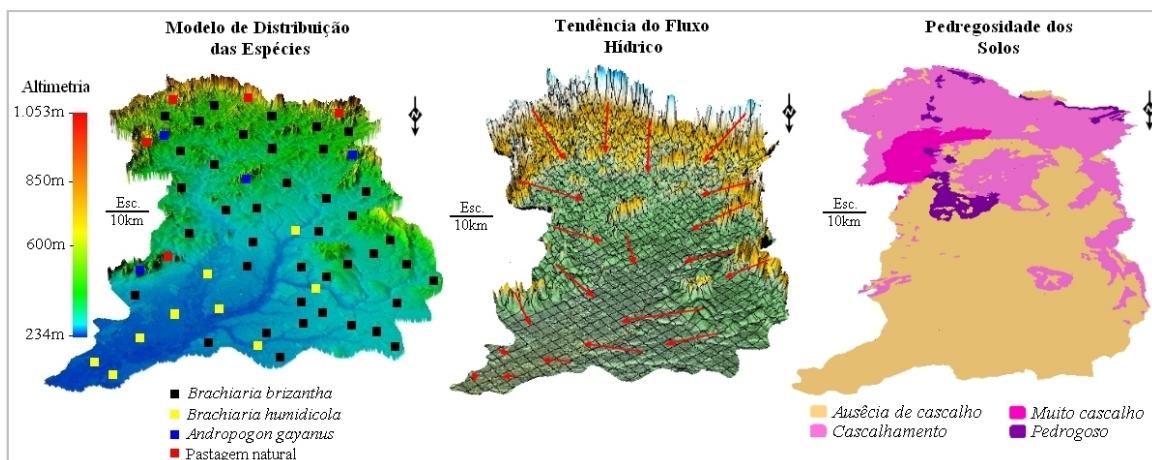


Figura 34 – Modelo de distribuição das principais espécies de pastagens, onde as ocorrências estão associadas à fatores edafoclimáticos locais.

As áreas com pastagens naturais também ocorrem em baixíssima proporção, e localizam-se principalmente próximo a Serra Dourada e Serra da Mesa, em regiões de difícil acesso, solos com característica de pedregosidade, relevo íngreme, com características similares a formação de “pasto sujo”, já que não são áreas manejadas, e contam com a presença de vegetação arbórea/arbustiva associada. Estima-se que as pastagens naturais tenham uma representação abaixo de 1% na BHRV, conforme indica a tendência apresentada nos últimos Censos Agropecuários, complementado pelas observações da paisagem realizadas nas campanhas de campo. Quanto à distribuição das pastagens naturais nos municípios que compõem a bacia, os municípios de Goiás e Faina apresentam os maiores percentuais de ocorrência em ordem decrescente, com aproximadamente 33% e 15%, respectivamente (Figura 35). Boa parte das pastagens

naturais encontram-se já contaminadas por espécies exóticas, provavelmente, em função de duas suposições: dispersão de sementes das espécies exóticas, as quais são mais abundantes, já que há uma relação de vizinhança entre estes dois grandes grupos de pastagens; além do crescimento das pastagens naturais em regiões onde foram inicialmente implantadas espécies exóticas, que não conseguiram se estabelecer principalmente em função de pedregosidade aparente no horizonte superficial do solo.

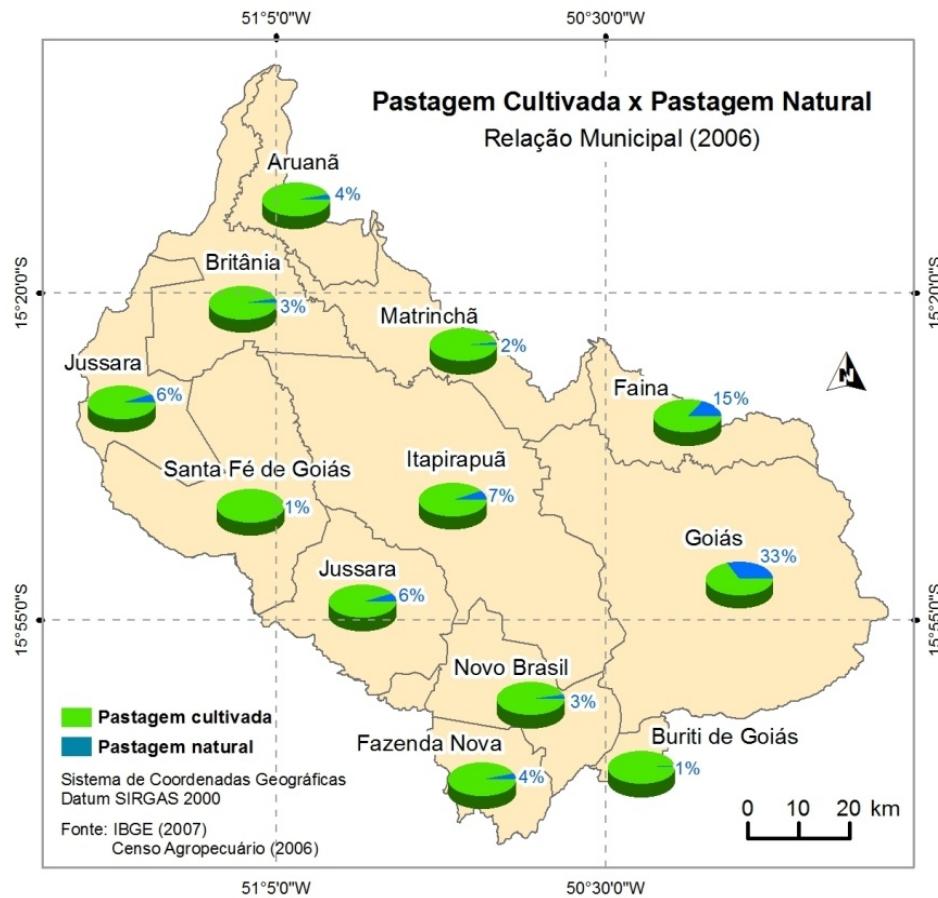


Figura 35 – Relação entre a distribuição das pastagens naturais e cultivadas nos municípios que fazem interseção com a BHRV.

Fonte: Censo Agropecuário (2006).

4.2.4.2 Padrões encontrados nas imagens orbitais do *RapidEye/BlackBridge*

Os padrões visuais encontrados são baseados na composição colorida “cor verdadeira” 3R 2G 1B das imagens orbitais do satélite *RapidEye/BlackBridge* de 2011, com resolução espacial nominal de 5m, representadas na escala 1:30.000. Tais padrões estão exemplificados com fotografias panorâmicas e verticais adquiridas nas campanhas de campo (Figura 36). A maioria das imagens *RapidEye/BlackBridge* foi obtida no período seco, estação considerada como “janela atmosférica” pela maioria dos sensores ópticos,

com menor incidência de nuvens e boas condições de iluminação para a aquisição de imagens/produtos satelitários.

Percebe-se que a espécie *Brachiaria humidicola*, nas imagens *RapidEye/BlackBridge*, apresenta-se em tons escuros, ou seja, há maior absorção da energia eletromagnética incidente, tendo em vista principalmente dois aspectos associados à interação da energia com a matéria: a presença de umidade constante no solo (exigência da espécie) em função da proximidade de rios/lagos e elevação do lençol freático, i. e. da região próxima a foz do rio Vermelho, formando assim, um ambiente de oxiredução (Fe^{2+}), o que confere um aspecto escurecido ao solo; o outro aspecto é por apresentar um considerável percentual de biomassa verde mesmo no período seco, com absorção da energia eletromagnética principalmente da região espectral do azul e vermelho. Considera-se que a umidade no solo é um fator primordial para a identificação desta espécie nas imagens de satélite, já que em solos secos e bem drenados esta espécie tem dificuldades em se estabelecer, e dificilmente serão implantadas.

Já a *Brachiaria brizantha* (Brachiarão), espécie de maior ocorrência na BHRV, é característica por apresentar um brilho mais intenso na região espectral do visível (principalmente na região do azul e vermelho) quando comparado à espécie anterior, portanto, percebe-se claramente, um padrão homogêneo típico espectral de material vegetal seco, característico desta espécie no período seco, com a presença de pouquíssimas folhas verdes (biomassa ativa). Outro ponto a ser considerado, é que esta espécie apresenta, na maioria das pastagens encontradas, um bom percentual de biomassa total, cobrindo assim, praticamente toda a superfície do solo, portanto, aparentemente a resposta espectral desta espécie não tem influencia significativa do *background* para regiões do espectro onde a interação da energia ocorre em contato superficial. Mesmo em algumas áreas, onde o adensamento de plantio é menor, espera-se menor absorção da energia na região do visível quando comparado a espécie *Brachiaria humidicola*, já que a *Brachiaria brizantha*, preferencialmente, é estabelecida em solos bem drenados, sem a presença de água aparente no horizonte superior, somando-se a drástica redução de biomassa verde que ocorre no período seco.

As pastagens naturais ocorrem em menor proporção, e são representadas por pequenas áreas (não apresenta padrão de pecuária extensiva), localizadas geralmente em regiões de difícil acesso, i. e. das proximidades da Serra Dourada e Serra da Mesa. Estas áreas

apresentam grande influencia do *background* no seu comportamento espectral, pois em função de suas características intrínsecas, apresentam um baixo percentual de biomassa total, cobrindo no máximo 40% da superfície do solo no período seco, enquanto as pastagens cultivadas, na maioria dos pastos, chegam a cobrir 100% da área.

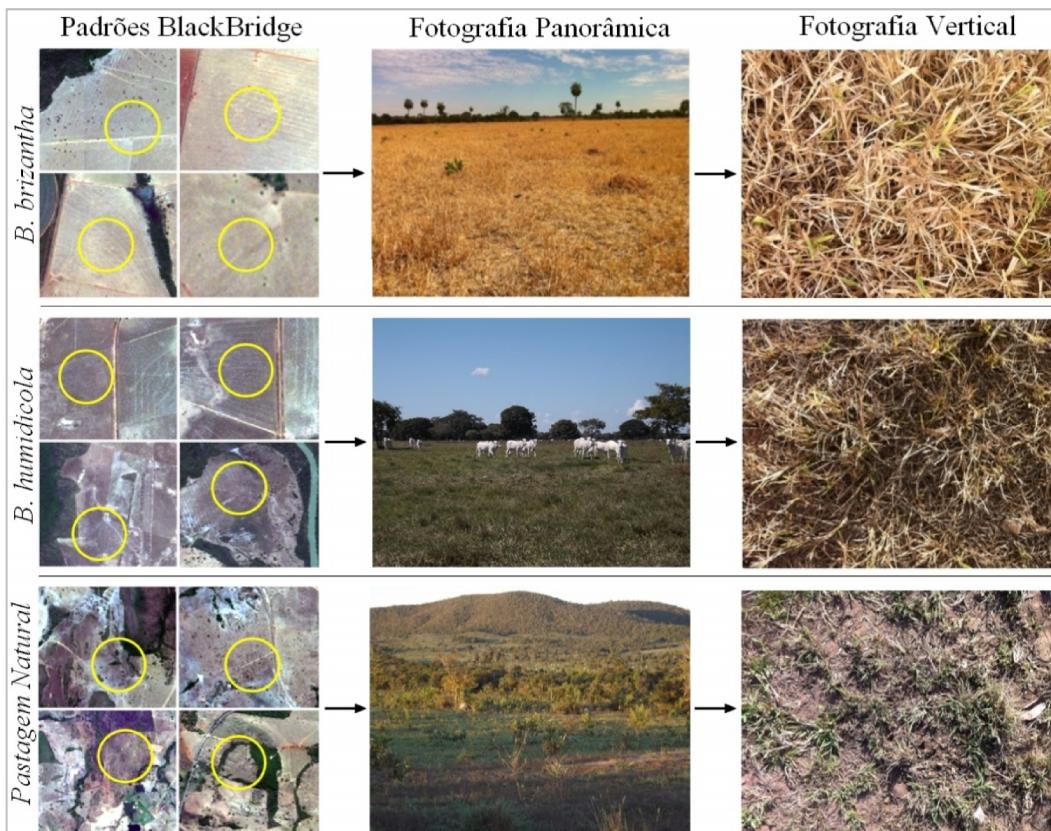


Figura 36 – Padrões de pastagens representados pelas imagens do satélite *RapidEye/BlackBridge* associados às fotografias obtidas nas campanhas de campo, onde é percebida a diferença encontrada entre as principais espécies exóticas *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*.

A influencia do solo, somada a biomassa verde encontrada mesmo no período seco nas pastagens naturais, já que esta espécie é adaptada à escassez de água, fazem com que haja uma absorção considerável da energia na região do visível, apresentando-se em tons escuros nas imagens *RapidEye/BlackBridge*. Tal fato diferencia as pastagens naturais da espécie exótica *Brachiaria humidicola*, já que ambas apresentam-se em tons escuros em função da absorção da energia eletromagnética, é que as pastagens naturais tem a presença mais evidente da característica textural, formada pelo contraste entre as espécies forrageiras (herbáceas) somadas a existência de arbustos proveniente das comunidades de substituição, do próprio processo de regeneração natural, de modo que a absorção da energia eletromagnética é ainda mais intensa. Portanto, é comum nas áreas de pastagens naturais a presença de vegetação arbórea/arbustiva, o que confere um

padrão de textura típico destas espécies, fato que comumente não ocorre com as outras espécies de pastagens cultivadas, tendo em vista que as espécies exóticas tem baixa resiliência à competição, consequentemente, há necessidade de maior manejo nas áreas de pastagens.

O *Andropogon gayanus* (Capim-Andropogon) é outra espécie exótica de pastagem cultivada que ocorre na BHRV, entretanto, a sua representação se dá em uma escala muito pequena, quando comparado às espécies exóticas supracitadas. Não foram apresentados exemplos de padrões desta espécie em função da sua escala de ocorrência, encontradas pequenas áreas ainda de forma experimental, além de não apresentar características espectrais diferenciadas. Nas imagens do satélite *RapidEye/BlackBridge*, esta espécie tem comportamento similar ao *Brachiaria brizantha*.

4.2.4.3 Distribuição do painel amostral

Para avaliar as características biofísicas sazonais das áreas de pastagens, a partir de imagens/produtos orbitais, além de dados produzidos pelas coletas nas campanhas de campo, foram selecionadas um total de 20 (vinte) amostras de pastagens, localizadas nas duas grandes regiões da BHRV (“Região 1” e “Região 2”). Tais amostras foram categorizadas em Pastagens Cultivadas (16 amostras) e Pastagens Naturais (04 amostras) (Figura 37).

As áreas foram selecionadas previamente na imagem do satélite *RapidEye/BlackBridge* de 2011, aproveitando a alta resolução espacial associada ao potencial sinótico, a fim de garantir uma boa distribuição das amostras ao longo da bacia, ou seja, representatividade das áreas. Cabe ressaltar que a distribuição das amostras também está condicionada à disponibilidade do pecuarista em colaborar com a pesquisa, permitindo assim, a coleta do material vegetal (biomassa) em sua propriedade. O número reduzido de pastagens naturais, quando comparado às 16 (dezesseis) amostras de pastagens cultivadas, se deve porque existem pouquíssimas áreas com este tipo de formação na bacia, e a maioria delas localizadas em regiões inacessíveis.

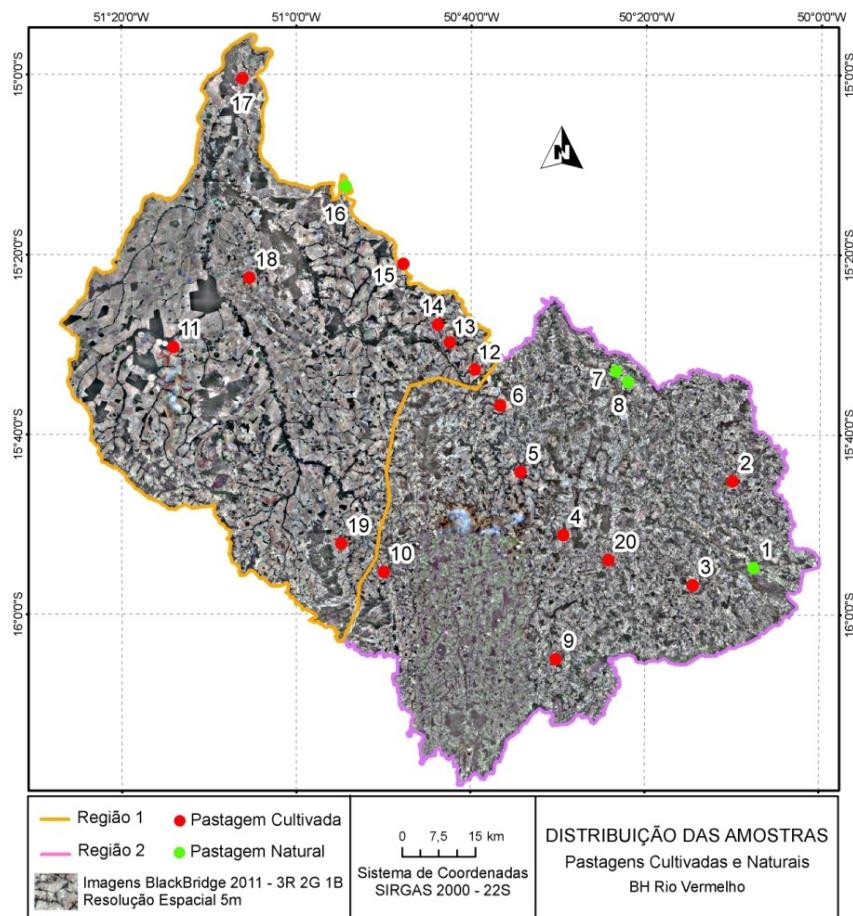


Figura 37 – Distribuição das 20 (vinte) amostras de pastagens cultivadas e naturais nas duas regiões da BHRV (Região 1 e Região 2). O painel amostral está dividido em 16 (dezesseis) amostras de pastagens cultivadas, e 04 (quatro) de pastagens naturais.

Segue abaixo a Tabela 05, com algumas características das 20 amostras acima mencionadas, representadas pelas propriedades que colaboraram com o desenvolvimento da pesquisa, permitindo assim, a coleta de biomassa nas áreas de pastagens cultivadas e naturais nos períodos seco e chuvoso. As áreas amostradas também são utilizadas (parâmetro espacial) para a avaliação biofísica a partir dos dados orbitais: Precipitação, Evapotranspiração, Blue Water e EVI, bem como para abordagens radiométricas das curvas espectrais obtidas com o *FieldSpec-3*. É importante salientar que as avaliações espectrais, que caracterizam a tendência das assinaturas nas amostras de pastagens, foram coletadas apenas no período seco, em função da disponibilidade do equipamento. Todas as áreas de pastagens selecionadas e descritas nesta tabela abaixo representam pastos já formados há mais de 10 (dez) anos, a fim de permitir abordagens comparativas com os produtos biofísicos orbitais.

Tabela 05 – Características gerais das propriedades utilizadas no painel amostral para a avaliação biofísica das pastagens na BHRV, a partir da coleta de biomassa em campo.

Amostra	Tipo Pastagem	Nome Fazenda	Pecuária	Área (ha)	Localização Coleta (UTM/SIRGAS2000/22S)
01	Past. Natural	Faz. Alagoinha	Leite	29	X= 593593 Y= 8240439
02	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Pechincha	Leite	822	X= 589313 Y= 8258204
03	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Estância Vovô	Leite/Corte	97	X= 581147 Y= 8236910
04	Past. Cultivada (<i>A. gayanus</i>)	Faz. São José	Leite	363	X= 554637 Y= 8247201
05	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Ilha Bela	Leite	968	X= 545899 Y= 8260137
06	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Jatobá	Corte	2.904	X= 541761 Y= 8273770
07	Past. Natural	Faz. Olaria	Leite	145	X= 565454 Y= 8280776
08	Past. Natural	Faz. Cubatão	Leite/Corte	469	X= 567979 Y= 8278601
09	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Flecha Dourada	Leite	84	X= 553131 Y= 8221740
10	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Pires	Leite	387	X= 517948 Y= 8239693
11	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Marajó	Corte	1.064	X= 474861 Y= 8285787
12	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Carandá	Corte	1.258	X= 536553 Y= 8281134
13	Past. Cultivada (<i>A. gayanus</i>)	Faz. Ponto dos Botões	Corte	726	X= 531454 Y= 8286663
14	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Terra Nova	Corte/Leite	871	X= 529047 Y= 8290371
15	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Vereda	Corte	253	X= 521926 Y= 8302815
16	Past. Natural	Faz. Aneliza	Corte	87	X= 510131 Y= 8318694
17	Past. Cultivada (<i>B. humidicola</i>)	Faz. Boca da Mata	Corte	2.904	X= 488941 Y= 8340844
18	Past. Cultivada (<i>B. humidicola</i>)	Faz. Sete Lagoas	Corte	1.026	X= 490400 Y= 8299995
19	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Massagana	Corte	455	X= 509181 Y= 8245455
20	Past. Cultivada (<i>B. brizantha</i>)	Faz. Cristal	Leite	43	X= 563905 Y= 8242107

4.2.4.4 Relação sazonal da matéria seca a partir de coleta de campo

A relação sazonal da biomassa verde (ativa) e seca (baixa ou nula taxa fotossintética) foi estimada a partir da coleta do material vegetal nas 20 (vinte) amostras de pastagens supracitadas, em duas estações bem definidas da bacia: período seco (coleta de 16 a 21 de setembro) e período chuvoso (coleta de 10 a 15 de dezembro), ambas ocorreram no ano de 2013. Com objetivo de eliminar a influencia da variação de umidade nas folhas entre o tempo de coleta/transporte/aferição, foi determinado o teor de matéria seca, monitorado em estufa, até que a massa do material vegetal (coletado acima do solo)

mantivesse constante. A partir daí, foi mensurado o valor de matéria seca (g/m^2) da biomassa verde e seca nas amostras de pastagens cultivadas e naturais da BHRV, conforme Tabela 06.

Tabela 06 – Valores sazonais de matéria seca, coletados para as 20 (vinte) amostras de pastagens.

Matéria Seca (g/m^2)										
Biomassa	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
(Verde)	14,4	5,6	49,6	51,6	4,4	16,0	28,4	10,4	44,0	12,0
(Seca)	82,0	68,4	613,6	186,4	238,0	839,2	22,4	5,2	535,6	270,0
Biomassa	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
(Verde)	34,8	27,2	28,4	32,4	26,0	26,0	53,2	30,0	91,2	86,4
(Seca)	308,0	310,0	10,0	142,8	652,4	14,8	120,8	32,4	227,6	238,4
Biomassa	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
(Verde)	111,2	100,4	373,6	502,4	118,8	683,6	104,8	130,0	937,6	620,8
(Seca)	16,4	3,6	65,2	8,8	45,2	45,6	5,6	1,2	27,2	14,0
Biomassa	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
(Verde)	777,6	626,0	81,6	566,4	779,6	135,6	769,2	206,0	670,0	274,4
(Seca)	100,8	41,2	7,6	9,6	180,4	4,8	29,2	2,8	72,8	46,8
	Período Seco					Período Chuvoso				

Com base na relação (%) da matéria seca (biomassa verde e seca), percebe-se que as pastagens naturais, mesmo no período de escassez de água, apresenta um considerável percentual de biomassa verde (média de 50,3%) na sua composição total, mostrando-se um tipo de forrageira mais adaptada às condições de escassez de água, enquanto as espécies exóticas (pastagens cultivadas) tem um baixo percentual de biomassa verde neste período sazonal, com média de aproximadamente 18,7%. Portanto, as espécies de pastagens cultivadas sofrem uma drástica redução em sua biomassa verde no período seco, quando comparado as espécies naturais (Figura 38). No período chuvoso, com disponibilidade hídrica abundante, o percentual de biomassa verde nas áreas de pastagens passa de 70% em todas as amostras, alcançando o valor médio de aproximadamente 92,1%. Portanto, percebe-se que no período chuvoso há alimento suficiente em pasto, sem a necessidade de complementação animal, e tanto as pastagens cultivadas quanto as naturais apresentaram elevado percentual de biomassa verde (ativa) em sua composição.

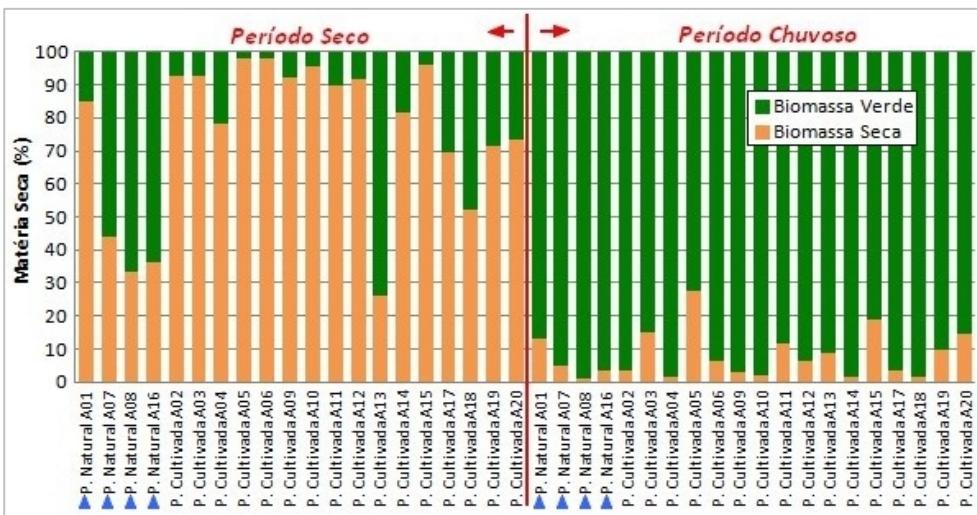


Figura 38 – Influência sazonal (período seco e chuvoso) no percentual de biomassa verde e seca das pastagens cultivadas e naturais na BHRV. É importante salientar que a estimativa do percentual nas áreas de pastagens é uma medida relativa, e diz respeito à proporcionalidade.

Diante o percentual de matéria seca expressa acima, nos dois períodos sazonais, é importante salientar que se presume uma diferença significativa no comportamento biofísico nas áreas de pastagens cultivadas e naturais encontradas na BHRV, principalmente quando esta variável biofísica tem uma relação direta com o vigor vegetativo das formas de cobertura e uso da terra. Espera-se, maior absorção da energia eletromagnética na região do visível, no período chuvoso, quando comparado ao período seco, ou seja, presume-se que haja uma diferença sazonal no comportamento destas pastagens, cuja variabilidade de resposta pode ser significativamente maior.

Considerando os valores absolutos de matéria seca total, em g/m^2 , percebe-se que as pastagens cultivadas apresentam uma biomassa total (seca + verde) bem superior, tanto no período seco (cultivadas - média $336,6 \text{ g/m}^2$, naturais - média $50,9 \text{ g/m}^2$), quanto no período chuvoso (cultivadas - média $549,3 \text{ g/m}^2$, naturais - média $147,0 \text{ g/m}^2$), portanto, as pastagens cultivadas apresentam biomassa total bem superior às pastagens cultivadas (Figura 39). Apesar das características de adaptação à condição de escassez de água, as pastagens naturais não fornecem alimento suficiente para a taxa média de lotação animal encontrada na BHRV (1,2 cabeças/ha), sendo utilizada apenas como alternativa para o período da seca (transumância), devido a uma drástica redução da biomassa verde (ativa), que acomete as espécies exóticas neste período sazonal.

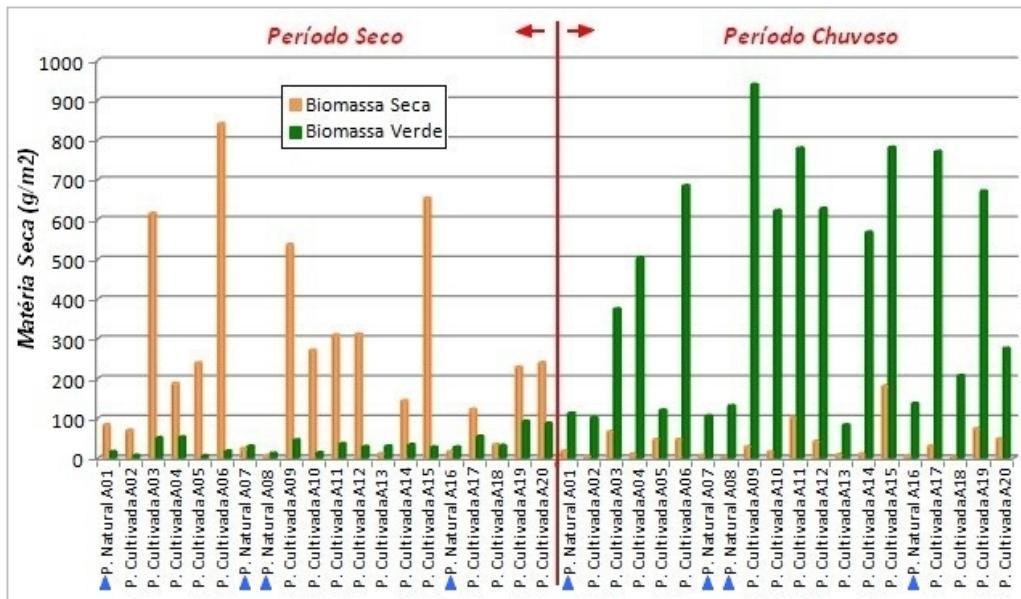


Figura 39 – Equivalência entre a matéria seca (biomassa verde) das áreas de pastagens cultivadas e naturais no período seco. Já no período chuvoso, os valores encontrados de biomassa verde são bem superiores nas amostras de pastagens cultivadas, o que pode auxiliar na diferenciação destes dois grupos de forrageiras.

No período seco, apesar das áreas de pastagens naturais apresentarem um percentual bem maior de biomassa verde em sua composição, a sua biomassa total é bem menor quando comparado às pastagens cultivadas, que são representadas por espécies africanas, introduzidas principalmente pelo potencial em fornecer um volume considerável de biomassa para a alimentação animal. Diante a redução drástica de biomassa verde no período seco nas pastagens cultivadas, que são menos adaptadas às condições de estresse hídrico, percebe-se que há uma equivalência na estimativa da biomassa verde das pastagens cultivadas com as naturais nesta estação sazonal.

As duas distribuições, tanto a do período seco quanto a do período chuvoso, admitem uma distribuição normal, segundo os resultados do Teste de *Shapiro-Wilk* (Figura 40), já que o Valor-p calculado é maior que o nível de significância, portanto, os dados sazonais de matéria seca admitem comparação paramétrica para as áreas de pastagens cultivadas e pastagens naturais, apoiando abordagens subsequentes do Teste de Equivalência (TOST), empregado abaixo para comparar a igualdade/diferença estatística nas duas distribuições.

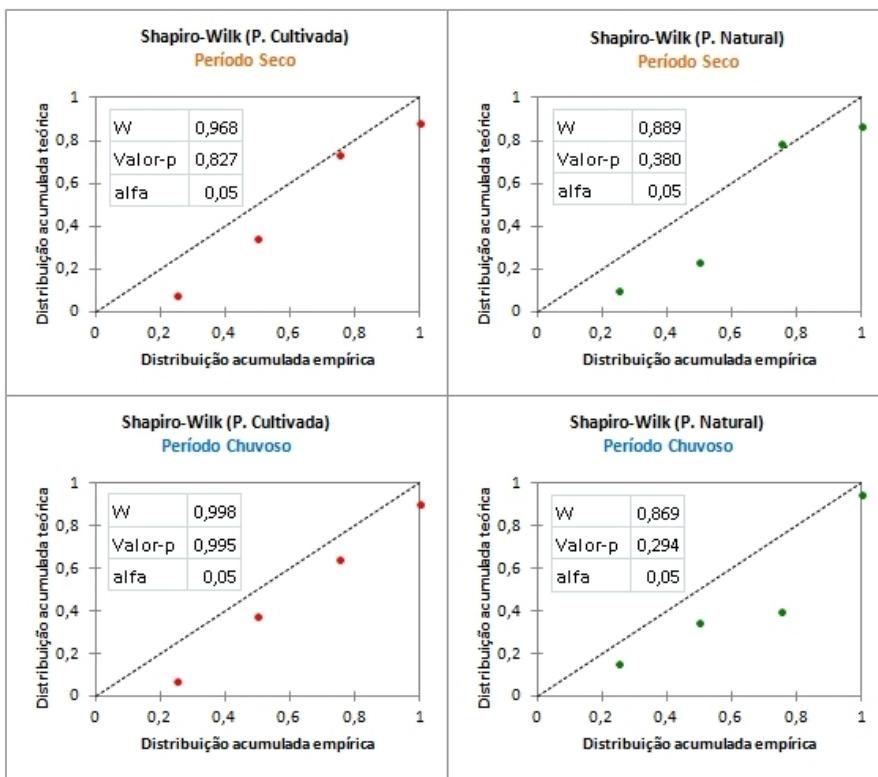


Figura 40 - Teste de normalidade pelo método *Shapiro-Wilk*, que atesta comportamento de normalidade para as duas distribuições sazonais: período seco e chuvoso, admitindo assim, regras paramétricas comparativas entre as pastagens cultivadas e naturais.

A relação de igualdade estatística encontrada entre a biomassa verde (ativa) nas áreas de pastagens cultivadas e naturais no período seco é comprovado pelo Teste de Equivalência (TOST), cujo Valor-p 0,067 (limite inferior) encontrado é maior que o nível de significância adotado (Tabela 07), considerando a matéria seca coletada em campo. Tal fato pode explicar a dificuldade em separar estes dois grandes grupos de pastagens quando se utiliza imagens/produtos orbitais do período seco (SEYLER et al., 2002). Baseado na coleta da matéria seca recomenda-se que os trabalhos científicos que abordem a estimativa do vigor vegetativo das pastagens, priorizem o período chuvoso como referência ($\text{Valor-p} < 0,05$), já que a biomassa verde (ativa) das pastagens cultivadas é estatisticamente superior aos valores encontrados nas pastagens naturais. Entretanto, esta relação se torna ainda mais complexa, quando o plano de análise é orbital, pois nas áreas de pastagens naturais há presença eminente de vegetação arbórea/arbustiva, proveniente do processo de regeneração natural (~ pasto sujo), o que de certo modo interfere (aumenta) na estimativa do vigor vegetativo dessas áreas.

Tabela 07 – Teste de Equivalência (TOST) que comprova a igualdade entre a biomassa verde (g/m^2) das pastagens cultivadas e naturais para o período seco, e a diferença entre a biomassa verde nestes dois grandes grupos de pastagens, na estação chuvosa.

Teste de Equivalência-TOST / Biomassa Verde (Período Seco)						
Variável	N	D. F.	Mínimo	Máximo	Média	D. P.
P. Natural	4	0	10,400	28,400	19,800	8,754
P. Cultivada	4	0	16,000	51,600	35,400	15,726
Teste	Diferença	t	T (crítico)	GL	alfa	Valor-p
Superior	-15,600	-1,733	1,943	6,000	0,050	0,933
Inferior	-15,600	-1,733	-1,943	6,000	0,050	0,067
Teste de Equivalência-TOST / Biomassa Verde (Período Chuvoso)						
Variável	N	D. F.	Mínimo	Máximo	Média	D. P.
P. Natural	4	0	1,200	16,400	7,657	6,552
P. Cultivada	4	0	206,000	937,600	582,400	307,942
Teste	Diferença	t	T (crítico)	GL	alfa	Valor-p
Superior	-575,400	-3,736	1,943	6,000	0,050	0,995
Inferior	-575,400	-3,736	-1,943	6,000	0,050	0,005

As fotografias verticais (~ 1m de altura) exemplificam os resultados obtidos no Teste de Equivalência, que apesar de existirem pouquíssimas folhas verdes nas pastagens cultivadas no período seco, em termos absolutos (g/m^2), há uma equivalência da biomassa verde encontrada nas áreas de pastagens cultivadas e naturais neste período sazonal. Já no período chuvoso, com maior depósito pluvial, consequentemente maior disponibilidade hídrica, os valores de matéria seca, estimados a partir da biomassa verde, são bem superiores nas pastagens cultivadas, quando comparado aos valores estimados nas pastagens naturais (Figura 41). Esta produtividade superior encontrada nas pastagens cultivadas, certamente, foi um dos fatores que incentivaram a sua disseminação não só na BHRV, mas em boa parte das áreas de pecuária extensiva presentes no bioma Cerrado.

Como visto anteriormente, as áreas de pastagens naturais são mais adaptadas às condições de estresse hídrico. Já as pastagens cultivadas, apresentam maior variabilidade de produtividade (biomassa verde), quando comparada às pastagens naturais, esta última apresentam-se com estimativas mais homogêneas de matéria seca ao longo da bacia. A BHRV tem duas regiões biofisicamente diferentes (“Região 1 e Região 2”), portanto, a partir dos dados de biomassa verde (ativa) percebe-se que a “Região 1”, com maior concentração de propriedades de médio a grande porte, relevo plano e solos com melhor característica física, apresentam áreas de pastagens cultivadas

mais produtivas, tanto no período seco quanto chuvoso, quando comparado aos valores de produtividade encontrados na “Região 2” (Figura 42).

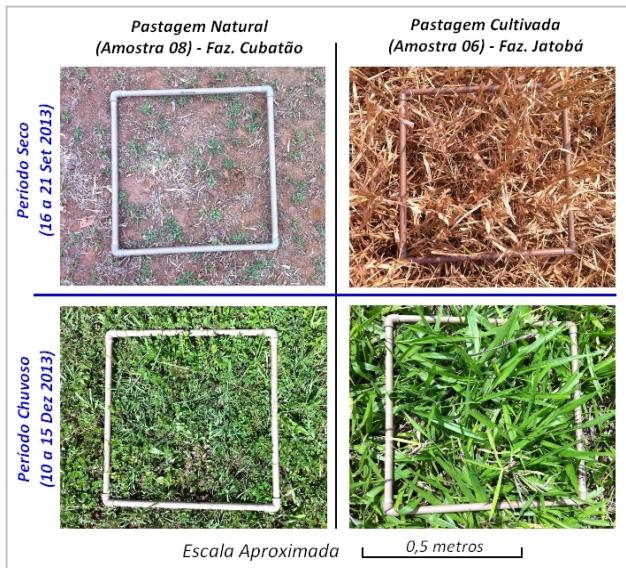


Figura 41 – Registros fotográficos que exemplificam a equivalência entre a biomassa verde no período seco nas pastagens cultivadas e naturais, enquanto no período chuvoso, é evidente a distinção entre a quantidade de biomassa verde nas áreas de pastagens cultivadas e naturais da BHRV.

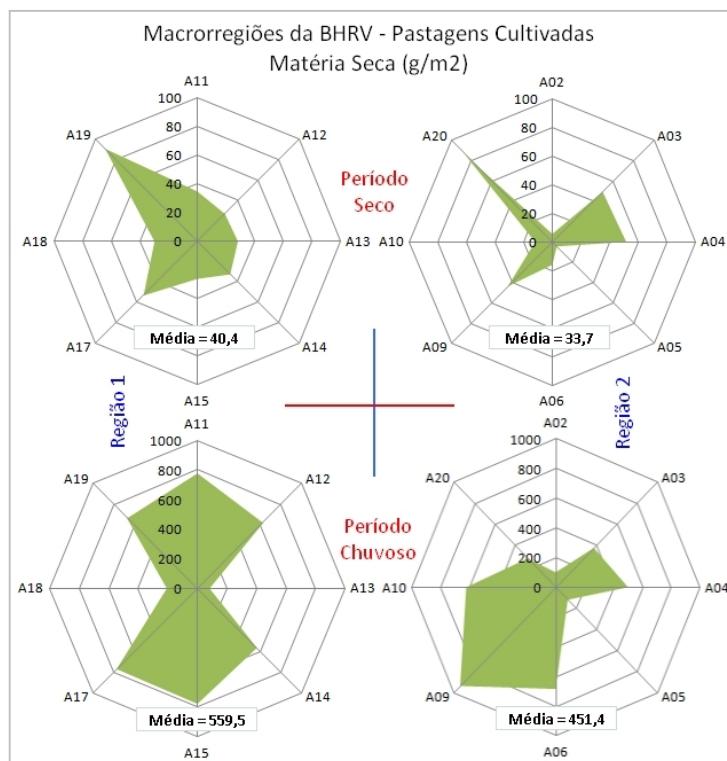


Figura 42 – Comparação entre as pastagens cultivadas nas regiões da BHRV (“Região 1” e “Região 2”). Percebe-se que as pastagens cultivadas da “Região 1” são mais produtivas que as pastagens encontradas na “Região 2”. Esta diferença de produtividade ocorre nos dois períodos sazonais.

Notoriamente, o efeito sazonal que resulta na redução da biomassa ativa das pastagens cultivadas é ainda mais intenso na “Região 2”, com a existência de solos mais rasos, evapotranspiração mais intensa, e o volume de armazenamento menor. Portanto, pode-se afirmar que as pastagens cultivadas encontradas na “Região 2” são menos produtivas que as pastagens cultivadas presentes na “Região 1”. Para ilustrar esta afirmativa, segue abaixo na Figura 43, os registros fotográficos panorâmicos, onde é percebida claramente a diferença de produtividade nas regiões existentes na BHRV, nos dois períodos sazonais.

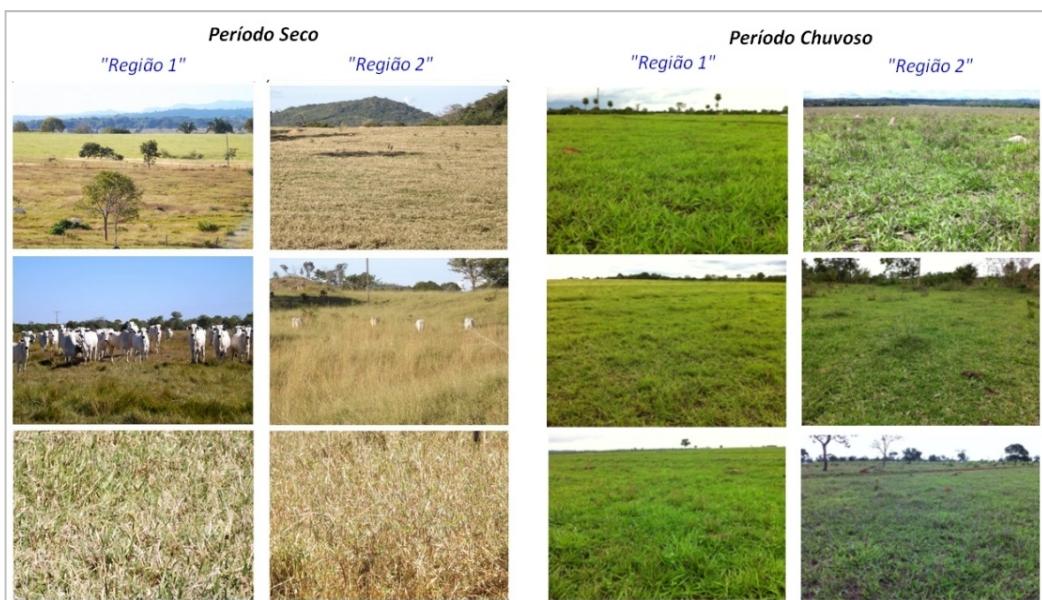


Figura 43 – Comparação, por meio de registros fotográficos panorâmicos, da produtividade nas áreas de pastagens cultivadas encontradas nas regiões da BHRV, em ambos os períodos sazonais: seco e chuvoso. Visivelmente, as pastagens cultivadas amostradas na “Região 1” são mais produtivas.

4.2.4.5 Abordagem espectral complementar

Para melhor caracterização das áreas de pastagens, foram obtidas assinaturas espectrais no período de 01 a 05 de outubro 2013, que apesar da coletada ocorrer no mês de outubro, aqui caracterizado como o início da estação chuvosa, as estimativas foram coletadas antes das primeiras chuvas, portanto, o comportamento das respostas espectrais são característicos do período seco.

Na coleta foi utilizando um espectroradiômetro (*FieldSpec-3*) com amplitude espectral de 300nm a 2.500nm, e resolução de 10nm. As curvas espetrais (20 amostras) foram obtidas utilizando dois métodos diferenciados: *Field of View* (FOV de 1°) a 1m de altura do solo, simulando a aquisição por satélite, ou seja, considerando o efeito de

background; e no modo *Plant Probe*, contato difeto com as folhas verdes/secas encontradas nas pastagens amostradas. Todas as medições ocorreram com três repetições, sendo considerados os valores médios espectrais. Para o método *Plant Probe* foram selecionadas curvas típicas que representem as espécies de pastagens cultivadas: *Brachiaria brizantha* (Amostra 11) e *Brachiaria humidicola* (Amostra 17), e naturais (Amostra 07), cujos resultados dos comportamentos espectrais estão apresentados abaixo, nas Figuras 44 e 45.

Como as curvas espectrais foram obtidas antes do início das chuvas, no método FOV 1°, percebe-se que o padrão típico espectral encontrado nas áreas de pastagens reflete um comportamento padrão de folhas em senescência (secas) (Figura 44), somando-se ao efeito de absorção proveniente do *background* (solo), este último observado principalmente no comportamento espectral da metade das amostras de pastagens naturais (A07, e A16), ou espécies cultivadas que apresentaram biomassa total com valores bem abaixo do comum (A02 e A20).

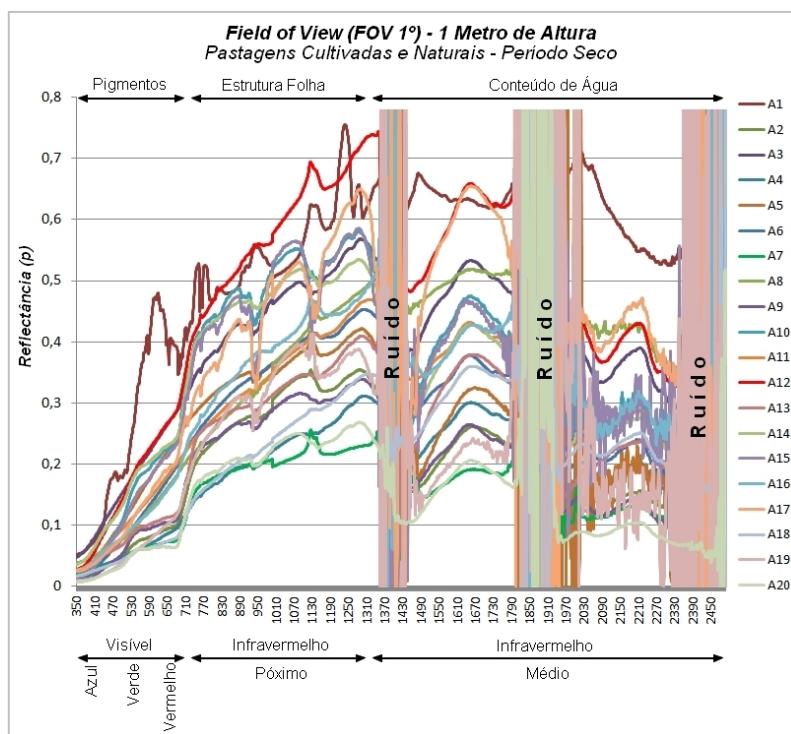


Figura 44 – Comportamento espectral das pastagens cultivadas e naturais, obtidas com o FOV (1°), a 1 (um) metro de altura do solo. Em linhas gerais, as curvas apresentaram padrão típico de material vegetal em senescência (seco).

Há evidentemente ausência de uma curva típica de vegetação em seu estado fisiológico normal, onde é caracterizado por bandas de absorção na região do visível,

principalmente nos comprimentos de onda do azul e vermelho, comuns às espécies que não estão submetidas a qualquer tipo de estresse (PONZONI et al., 2007). Cabe ressaltar, que as mediadas com o FOV (1°), em função de falhas no equipamento, apresentaram alguns ruídos em todas as 20 (vinte) amostras na região do infravermelho-médio, especificamente nos comprimentos de ondas que caracterizam a absorção por água.

Boa parte das espécies cultivadas apresentou baixa influencia do solo em seu comportamento, com valores de reflectância elevados na região do infravermelho próximo (A03, A06, A10, A12, A14, A15 e A17), tendo em vista que sua biomassa total é suficiente para cobrir praticamente toda a superfície do solo, diminuindo assim, a influência do *background* no comportamento espectral. Por outro lado, o comportamento apresentado é bem característico de “folha seca”, sem a presença de bandas absorção bem definidas na região do visível, comum aos vegetais que apresentam taxas fotossintéticas consideráveis.

Na análise do método *Plant Probe* (folhas secas), é percebido que o material vegetal da pastagem natural (A07) apresenta maior percentual de água em sua composição, tendo em vista os maiores valores de absorção encontrados nas duas regiões características do infravermelho-médio (1.450nm e 1.900nm). De forma natural, as folhas secas já caracterizam a presença de estresse hídrico nas pastagens, portanto, das espécies analisadas, a *Brachiaria brizantha* (A11) apresentou níveis de estresse hídrico mais acentuados, quando comparado à espécie *Brachiaria humidicola* (A17), e às pastagens naturais, tendo em vista que os valores de reflectância foram elevados nas posições espectrais (1.750nm e 2.200nm), regiões que caracterizam este distúrbio fisiológico (Figura 45).

As folhas verdes encontradas nas áreas de pastagens, que por sinal no período seco representam uma minoria da biomassa total nas áreas amostradas (exceto as pastagens naturais), não apresentaram estresse hídrico aparente, já que as bandas de absorção estão profundas e bem definidas nas regiões espectrais específicas do infravermelho médio. No comportamento espectral das folhas verdes na região do visível, é percebido que a espécie *Brachiaria brizantha* apresenta maior absorção da energia nos comprimentos de ondas do azul, e esta absorção se intensifica na região do vermelho. Estas duas regiões espectrais, principalmente a região do vermelho, são regiões importantes para a geração e armazenamento de energia pela maioria das pastagens, cuja onda eletromagnética é

absorvida de forma intensa pela clorofila, principal componente foliar responsável pela fotossíntese, e acúmulo de energia.

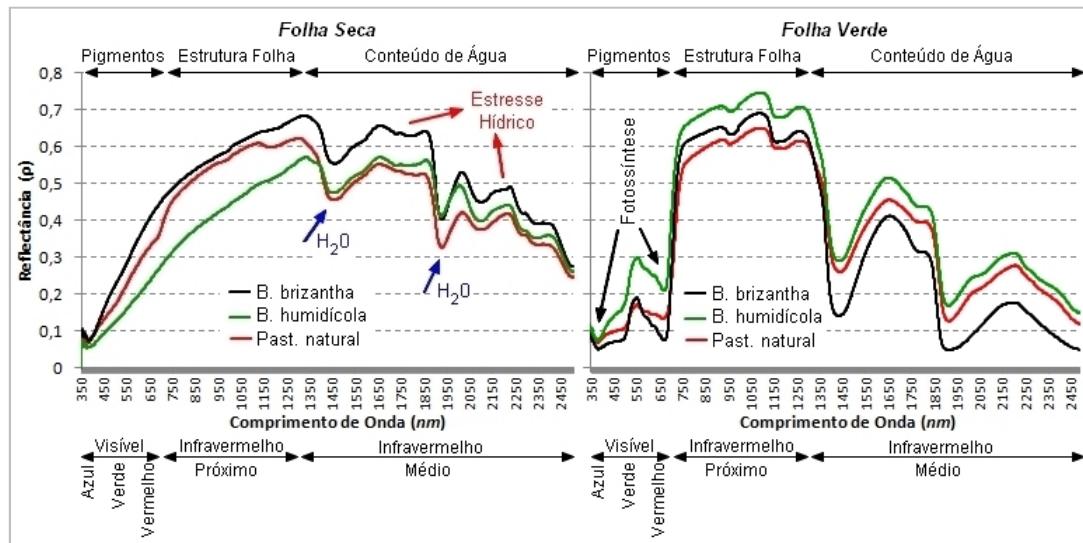


Figura 45 – Caracterização espectral das pastagens pelo método *Plant Probe*. As pastagens naturais apresentam maior percentual de conteúdo de água na folha, e a *Brachiaria brizantha* apresentou maiores níveis de estresse hídrico.

Portanto, das espécies analisadas na região espectral do visível (folhas verdes), a espécie *Brachiaria brizantha* apresenta melhor eficiência na absorção de energia, consequentemente, esta espécies apresenta maior potencial fotossintético. Tal fato pode explicar o poder de rebrota (enchimento) desta espécie quando não está submetida à condições de estresse hídrico, devido ao seu potencial diferenciado de geração e armazenamento de energia, quando comparado às demais espécies analisadas.

4.2.4.6 Influência sazonal no comportamento das pastagens, baseado em dados orbitais

A Figura 46 representa os resultados obtidos para as 20 (vinte) áreas de pastagens, com base na avaliação das informações biofísicas orbitais: Índice de Vegetação (EVI), Precipitação (P), Evapotranspiração (ET) e *Blue Water* (BW), para as duas estações: seca (maio a setembro), e chuvosa (outubro a abril), representadas pelas médias sazonais observadas entre o período de 2001 a 2011. É importante salientar que as 20 (vinte) áreas selecionadas correspondem às mesmas áreas utilizadas para a coleta da biomassa utilizadas na determinação da matéria seca em campo, e que as áreas de pastagens previamente selecionadas, já são formadas há mais de 10 anos, sem passar por qualquer “reforma” neste período.

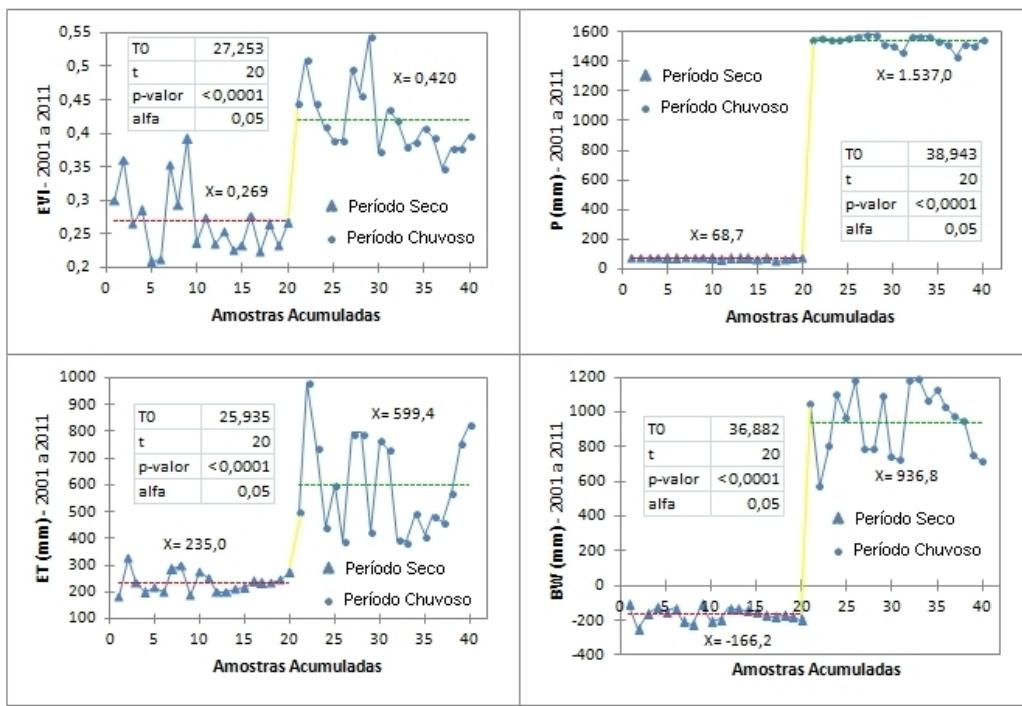


Figura 46 – Médias sazonais entre o período de 2001 a 2011 das variáveis biofísicas: Índice de Vegetação (EVI), Precipitação (P), Evapotranspiração (ET) e Blue Water (BW), das 20 (vinte) amostras de pastagens selecionadas na BHRV, estimadas a partir de produtos orbitais.

A distribuição da Precipitação (P) nas áreas de pastagens é mais homogênea no período seco, enquanto no período chuvoso há uma maior variabilidade na descarga hídrica. Há boa distribuição da Precipitação no período chuvoso, com valores variando de 1.400mm a 1.600mm, e média de descarga hídrica de aproximadamente 1.537mm, valores consideráveis e necessários para o desenvolvimento das principais forrageiras, tanto as de origens naturais, quanto às espécies introduzidas. Em função do baixo índice pluviométrico no período seco, as pastagens apresentam uma queda significativa nos valores de Evapotranspiração (ET), com média em torno de 235,0mm, provavelmente, esta queda está associada a dois aspectos: menor capacidade de armazenamento da água nos solos (evaporação), e sistema de defesa das forrageiras, com o fechamento dos estômatos para evitar perda de água para atmosfera (transpiração), já que neste período há um aumento significativo da temperatura superficial. No período chuvoso, os valores de Evapotranspiração são maiores (média de 599,4mm) e apresentam uma variabilidade considerável, que provavelmente está relacionado com o potencial de cada espécie transpirar, além da capacidade dos solos na retenção da água, já que neste período a descarga hídrica é abundante.

Os valores de EVI expressam o vigor vegetativo das diferentes formas de cobertura e uso da terra, e estão relacionados intimamente com a biomassa fotossintetizante ativa (ALMEIDA et al., 2008). Espera-se que quanto maior o vigor vegetativo, maior a biomassa capaz de realizar fotossíntese (ativa), portanto, quando há uma redução significativa na biomassa ativa, em função de algum tipo de estresse (i.e. estresse hídrico), espera-se que haja uma redução significativa nos valores estimados de EVI.

Na BHRV as áreas de pastagens selecionadas para análise, representadas por médias sazonais entre o período de 2001 a 2011, apresentaram uma redução significativa (a 5%) nos valores de EVI para o período seco, tendo em vista que a média reduziu de 0,420 para 0,269, do período chuvoso para o período seco, já que o Valor-p calculado foi menor que o nível de significância adotado, portanto, houve uma redução sazonal de 35,9% nos valores de EVI para as 20 (vinte) áreas de pastagens amostradas. Esta redução significativa que ocorreu no período seco, certamente deverá influenciar no balanço da quantidade de biomassa fotossintetizante ativa. Com base nas análises dos valores de EVI, em linhas gerais, espera-se que no período seco haja uma maior quantidade de biomassa em senescência, enquanto no período chuvoso este cenário se inverta. Através da quantificação da biomassa ativa e biomassa seca nas áreas de pastagens, a partir de campanhas de campo, espera-se estabelecer uma relação mais próxima entre a biomassa destas pastagens com os valores de EVI estimados por satélite, nas duas estações climáticas da BHRV.

Todas as áreas amostradas de pastagens no período seco estão sob déficit hídrico, com valores médios negativos de disponibilidade hídrica em torno de -166,2mm, representados pela variável biofísica *Blue Water* (BW). Tal fato influencia na variação significativa que ocorreu da biomassa ativa nas áreas de pastagens entre o período seco e chuvoso. Ao observar a relação entre disponibilidade hídrica (BW) e Precipitação (P), percebe-se que os valores de BW apresentam uma variabilidade considerável no período chuvoso, apesar da Precipitação (P) se apresentar de forma homogênea. Tal fato ocorre em função da considerável contribuição dos valores de Evapotranspiração (ET) na estimativa do cálculo de disponibilidade hídrica. Visivelmente, as variáveis biofísicas supracitadas apresentam comportamentos distintos entre o período seco e chuvoso, já que o Valor-p calculado foi menor que o nível de significância adotado, ou seja, a sazonalidade climática certamente tem influencia direta na alteração do vigor vegetativo (EVI) das áreas de pastagens.

Existem diversos fatores que podem influenciar nos valores de biomassa ativa nas áreas de pastagens, além dos que estão diretamente associados à questão sazonal, i.e. diferença entre espécies, condições físicas, fertilidade dos solos, ataque de pragas, entre outros. Entretanto, as variáveis biofísicas que estão associadas às questões sazonais, ora apresentadas (Precipitação, Evapotranspiração e Blue Water), tem um papel importante para explicar a variação de biomassa nas áreas de pastagens, tendo em vista os resultados dos coeficientes de determinação apresentados pela regressão linear. Entre as variáveis biofísicas listadas, a Precipitação ($R^2=0,706$) é a principal variável que mais influencia nos valores de biomassa das pastagens na BHRV (Figura 47), aqui simplificadamente representado pelo Índice de vegetação EVI.

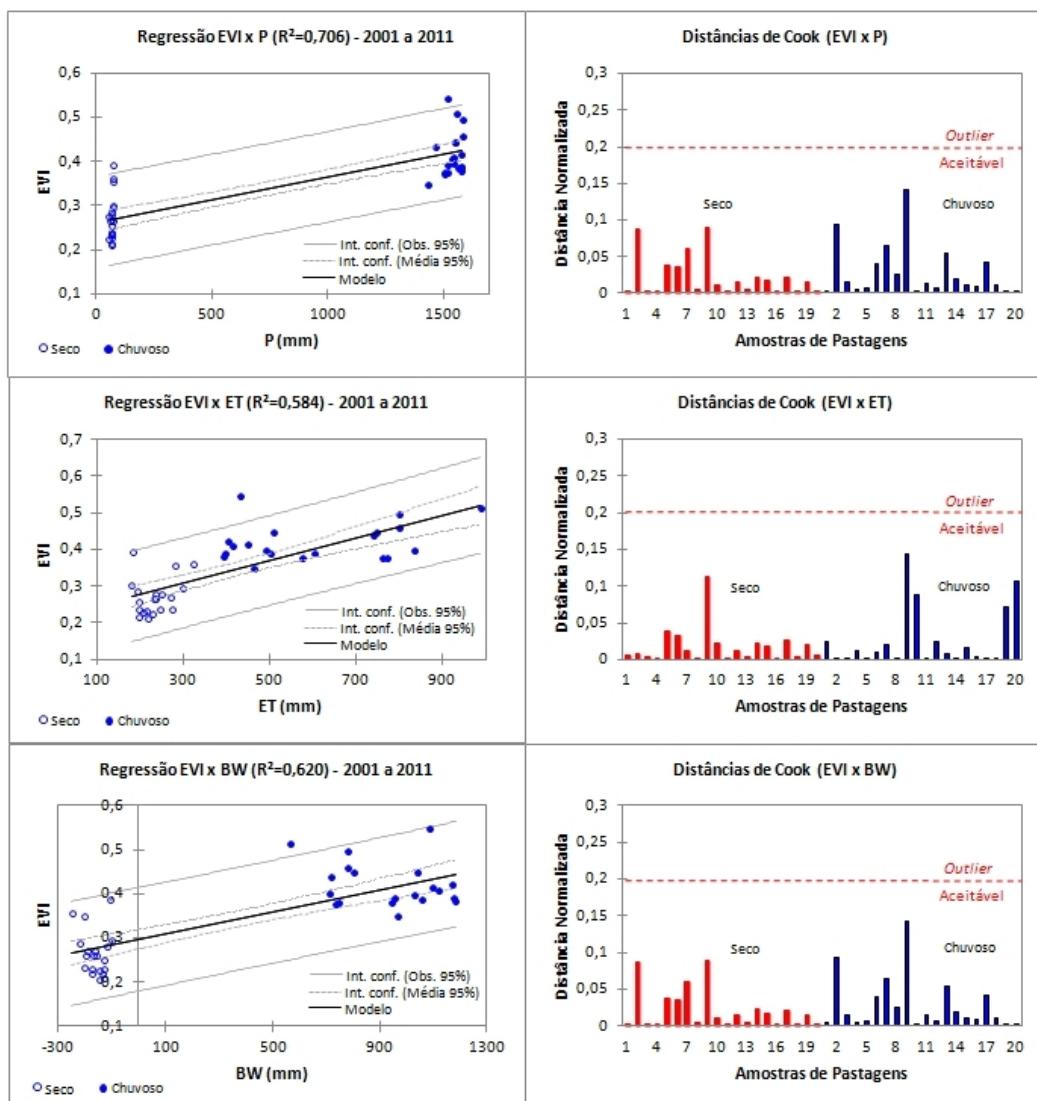


Figura 47 – Regressão linear do comportamento das variáveis biofísicas orbitais analisadas nas áreas de pastagens.

Ao analisar as distâncias de Cook (COOK, 1979) como medida de dispersão, e que estas representam a influência isolada da amostra numa distribuição (*outlier*), percebe-se que há uma certa variabilidade em todas as variáveis biofísicas analisadas nas áreas de pastagens para as duas estações sazonais da bacia. Entretanto, os valores encontrados nas Distâncias de Cook estão dentro dos parâmetros estatísticos permitidos, limite superior de 20% (GAMA et al, 2005).

4.2.4.7 Comparação biofísica orbital entre as pastagens cultivadas e naturais

Como visto anteriormente, a questão sazonal tem grande influencia no comportamento biofísico das pastagens na BHRV, sendo diferente nas duas estações sazonais (seca e chuvosa). Entretanto, é necessário avaliar se as variáveis biofísicas supracitadas são sensíveis à distinção dos dois grandes grupos de pastagens que ocorrem na bacia: pastagens naturais (A01, A07, A08 e A16) e pastagens cultivadas (A02, A03, A04, A05, A06, A09, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17, A18, A19 e A20). Para tal, foram utilizadas médias das variáveis biofísicas orbitais EVI, Precipitação, Evapotranspiração e *Blue Water*, a partir de estimativas sazonais compreendidas entre o período de 2001 a 2011.

Com base na avaliação da Tabela 08, apesar das variáveis orbitais apresentarem uma maior diferença biofísica entre as pastagens cultivadas e naturais no período chuvoso (15,449), esta diferença não foi suficiente para alcançar significância estatística, já que o Valor-p calculado foi maior que o nível de significância adotado, para os dois períodos sazonais. Portanto, do ponto de vista biofísico orbital, as pastagens cultivadas e naturais são estatisticamente iguais. Esperava-se, que pelo menos os valores de EVI, índice de vegetação que está relacionado diretamente com o vigor vegetativo das pastagens, fossem estatisticamente diferentes para as pastagens cultivadas e naturais no período chuvoso, já que os resultados de matéria seca em campo (g/m^2) comprovam que o volume de biomassa verde (ativa) nas pastagens cultivadas é bem superior ao encontrado nas pastagens naturais, neste período sazonal.

Portanto, conclui-se que as variáveis biofísicas utilizadas são sensíveis quando se trata de espécies com características morfológicas bem distintas, i.e. áreas de pastagens e vegetação arbórea/arbustiva, portanto, quando essas características são similares, i.e. pastagens cultivadas e naturais, as variáveis biofísicas não apresentaram grandes variações.

Tabela 08 – Comparação sazonal entre o comportamento biofísico das pastagens cultivadas e naturais, a partir de produtos biofísicos orbitais (média 2001 a 2011). Percebe-se que os dados biofísicos orbitais utilizados não conseguem encontrar diferenças significativas no comportamento das pastagens.

Média (2001 a 2011)	Seco (maio a setembro)		Chuvoso (outubro a abril)	
	Pastagem Natural (valores médios)	Pastagem Cultivada (valores médios)	Pastagem Natural (valores médios)	Pastagem Cultivada (valores médios)
EVI	0,30755575	0,260502	0,4530575	0,412603875
BW	-166,938639	-163,3392081	928,0681913	943,3423081
P	73,204546	67,78977075	1562,681824	1532,357963
ET	240,1431883	231,2028475	634,6136473	587,9091014
<i>Test Student</i>	Diferença	2,701	Diferença	15,449
	t (Valor observado)	0,023	t (Valor observado)	0,034
	t (Valor crítico)	2,448	t (Valor crítico)	2,448
	GL	6	GL	6
	p-valor (bilateral)	0,982	p-valor (bilateral)	0,974
	alfa	0,05	alfa	0,05

Um fato importante, e que deve ser observado, principalmente pelas respostas biofísicas orbitais do EVI e ET, é que as pastagens cultivadas apresentaram valores médios relativamente inferiores aos encontrados nas pastagens naturais, relativos por não alcançarem significância estatística. Entretanto, os dados de matéria seca coletados em campo apontam uma inversão nos resultados, principalmente no período chuvoso, com superioridade bem evidente nos valores de matéria seca (biomassa verde) das pastagens cultivadas sobre as pastagens naturais. A única alternativa mais consistente para explicar tal fato nas estimativas orbitais, é que as pastagens cultivadas geralmente são melhores manejadas, sem a influência considerável de espécies arbóreas/arbustivas que elevam os valores de EVI e ET, enquanto nas pastagens naturais a presença destas espécies é evidenciada constantemente, chegando a ter características associativas de “pasto sujo”. Portanto, presume-se que nas estimativas orbitais, que são de baixa resolução espacial (< 250m) os valores estimados de EVI e ET estão sofrendo influencia da vegetação arbórea/arbustiva, que ocorre associado nas áreas de pastagens naturais, oriunda do processo de regeneração natural, já que estas áreas não são manejadas por muitas décadas. Neste sentido, deve-se adotar abordagens que minimizem a influencia da vegetação arbórea/arbustiva nas áreas de pastagens naturais, ou utilizar produtos biofísicos orbitais de altíssima resolução espacial, de maneira que este efeito compensatório seja menor.

Nas diversas formas de cobertura e uso da terra, quanto maior a quantidade de biomassa ativa maior será o vigor vegetativo. Portanto, ao comparar os dados coletados em campo de matéria seca (g/m^2) com os valores médios sazonais de EVI (2001 a 2011), que representam o vigor vegetativo, percebe-se que existe uma baixa correlação entre estas valorações para as 20 (vinte) áreas de pastagens selecionadas como painel amostral ($R^2 = 0,14$). Esta baixa correlação pode estar associada à influência da vegetação arbórea/arbustiva nas áreas de pastagens, já que a aquisição do EVI é a nível orbital, cujos resultados da regressão evidenciam que as amostras que apresentaram maiores resíduos, correspondem as amostras com maior ocorrência de vegetação arbórea/arbustiva dentro de um raio de 250m (Figura 48), representadas em tons de vermelho nas imagens do *RapidEye/BlackBridge* (2011), em composição colorida falsa-cor 5R 4R 3G. Outro ponto a ser considerado, e que pode estar influenciando na correlação estimada, é que existe uma dificuldade evidente nas abordagens óticas orbitais quando as estimativas comparativas dizem respeito a dados volumétricos.

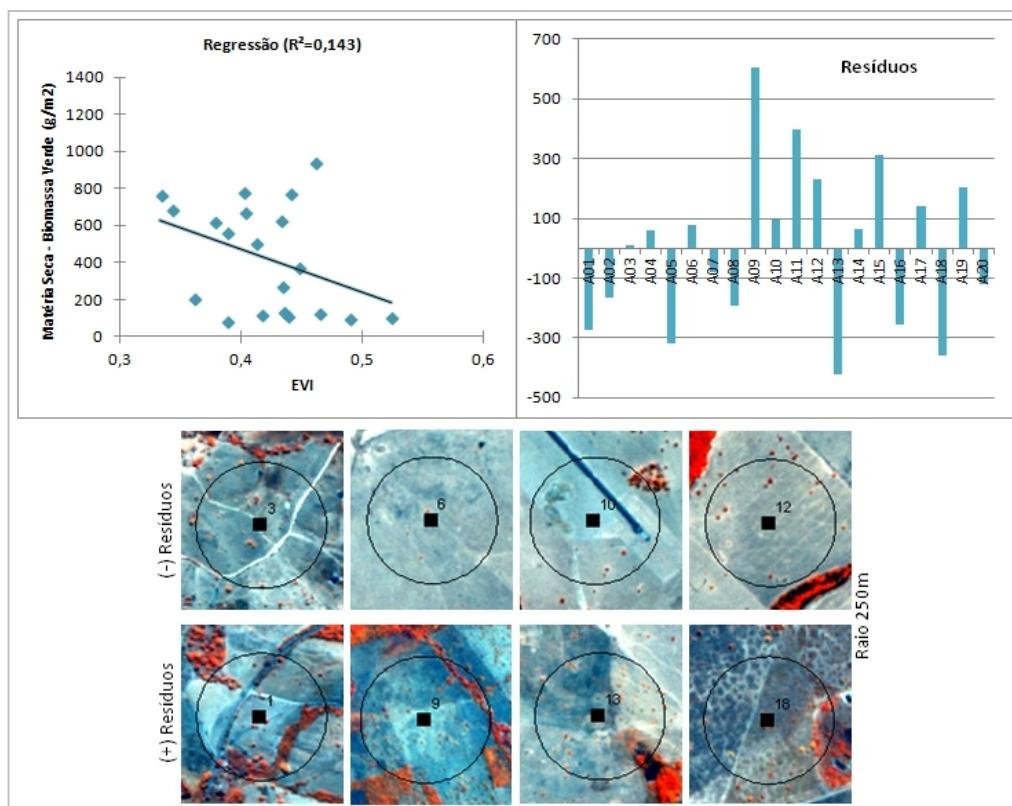


Figura 48 – Influencia da vegetação arbórea/arbustiva na estimativa do vigor vegetativo das áreas de pastagens.

4.3 Avaliação de classificadores supervisionados na identificação da cobertura e uso da terra em imagens multiespectrais

4.3.1 Visão geral das principais coberturas e usos da terra

Na Bacia Hidrográfica do rio Vermelho, o levantamento mais recente de cobertura e uso da terra foi realizado por Vieira (2013), baseado em imagens TM-Landsat-5 do ano de 2008, e este atende uma escala de aproximadamente 1:150.000. Neste mapeamento temático, realizado a partir de técnicas manual de classificação, foram identificados as seguintes classes: Pastagem, Vegetação Natural, Agricultura, Pivô Central, Queimada, Banco de Areia e Área Urbana (Figura 49). As duas primeiras classes ocorrem em maior abundância na bacia, e representam, respectivamente, 65% e 32% das coberturas e usos da terra mapeados.

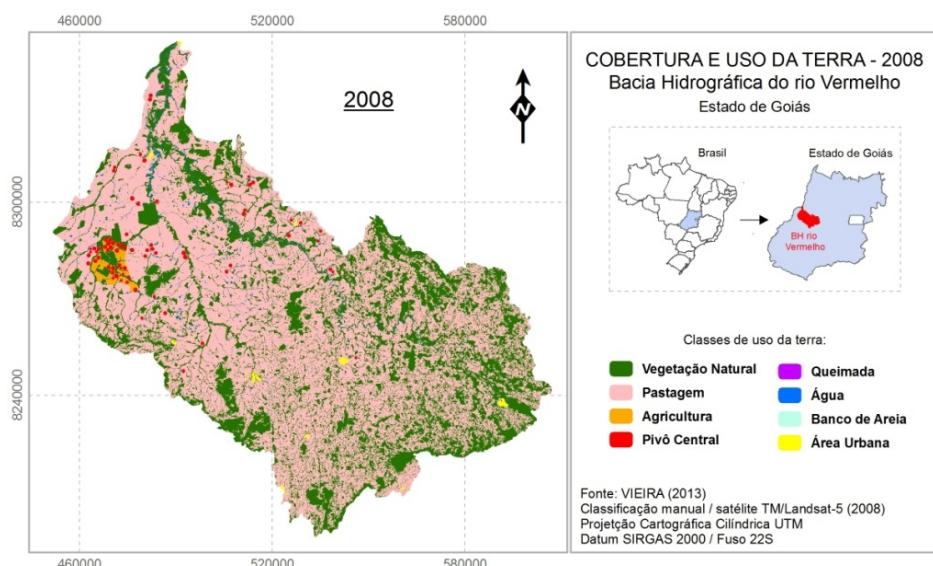


Figura 49 – Mapeamento da cobertura e uso da terra para o ano de 2008, com base em imagens do satélite TM/Landsat-5, realizado por Vieira (2013), onde as pastagens e a vegetação natural são as duas formações predominantes na BHRV, em ordem decrescente.

Como visto no primeiro capítulo, as áreas com vegetação natural (predominância de espécies arbóreas/arbustivas) apresentam maior vigor vegetativo quanto comparada as áreas com pastagens tanto naturais, quanto as áreas com pastagens cultivadas, esta última, em sua maioria, colonizadas por espécies africanas do gênero *Brachiaria*. Portanto, do ponto de vista espectral, a vegetação natural e as áreas de pastagens não apresentam grandes dificuldades para separação a partir do emprego de classificadores automáticos tradicionais, baseados apenas no parâmetro espectral. Tal fato se deve principalmente pela vegetação natural absorver em maior proporção a energia

eletromagnética, em comparado aos valores encontrados nas áreas de pastagens. Portanto, o grande desafio para a classificação de imagens do sensoriamento remoto multiespectral, é a separação de alvos que apresentam valores de reflectância semelhantes, a exemplo dos dois grandes grupos de pastagens: cultivadas e naturais.

Neste sentido, a avaliação preliminar abaixo pretende mensurar, por meio de testes estatísticos paramétricos, a relação entre a distribuição dos valores digitais (ND) das duas principais classes de cobertura e uso da terra, sendo as áreas de pastagens decompostas em cultivadas e naturais.

4.3.2 Avaliação preliminar das características radiométricas

Inicialmente, antes da avaliação de separação/similaridade entre as classes supracitadas, foi realizada uma avaliação radiométrica, etapa importante para identificar possíveis problemas radiométricos nas imagens. As imagens orbitais utilizadas na avaliação preliminar, e que posteriormente foram submetidas ao processo de classificação, pertencem ao satélite TM/Landsat-5, datadas em 2001, com duas tomadas anuais: estação seca e chuvosa. Todas as bandas espectrais, pertencentes ao sensor *Thematic Mapper (TM)* foram utilizadas, exceto a banda do espectro emitido (termal = *TM6*).

É comum no momento da formação das imagens Landsat-5, que utilizam método de imageamento mecânico, visto que os barretes de detectores (*array*) movem-se perpendiculares ao sentido da órbita, aparecerem alguns problemas radiométricos que podem interferir no processo de classificação, i. e. de saturação ou má formação de linhas (*bad lines*). Tais problemas podem ser provenientes de três fontes: 1- calibração absoluta, 2-problemas no sistema ótico do espelho corretor de linhas, ou 3- falta de sensibilidade momentânea da fotocélula (detector) à radiação eletromagnética. Deste modo, é de extrema importância realizar uma avaliação radiométrica de anomalias antes de submeter às imagens a qualquer processo automatizado.

Esta avaliação foi realizada com amostragens de transectos, para identificar possíveis anomalias que correspondem à repetição do valor digital (estabilidade) no eixo das abscissas (y), efeito que caracteriza a saturação em imagens. Portanto, conforme os resultados apresentados na Figura 50, não foi identificado nenhum problema desta natureza, ou seja, as imagens selecionadas (período seco e chuvoso) que apoiaram às análises estatísticas, e posteriormente submetidas aos processos automáticos de

classificação, não apresentaram problemas radiométricos evidentes de quaisquer natureza. Tal avaliação faz-se necessário, devido a sua importância, pois problemas radiométricos severos podem camuflar/interferir de forma significativa nos resultados de processos automáticos de classificação, no caso específico aqui, na avaliação dos classificadores supervisionados testados.

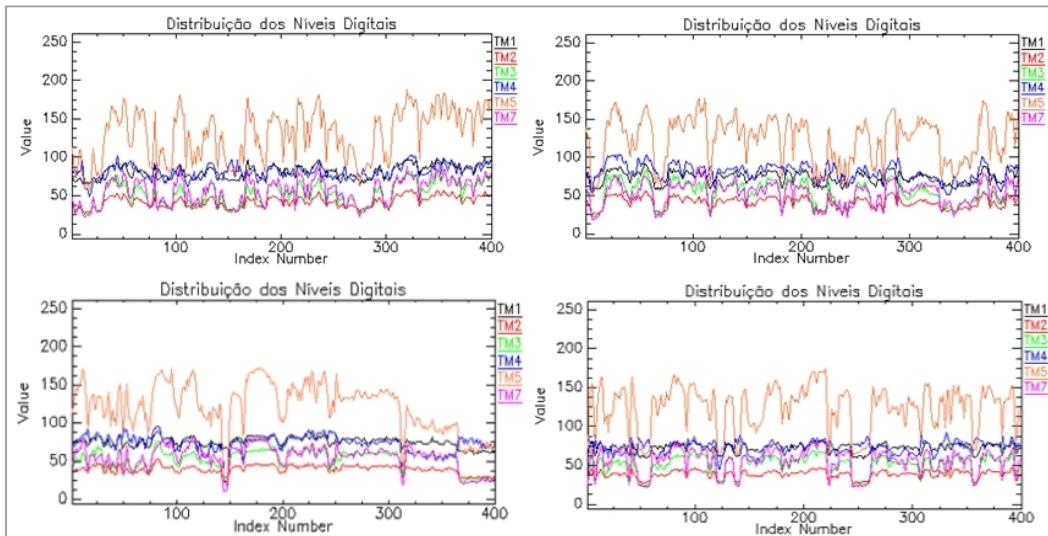


Figura 50 – Avaliação radiométrica das seis bandas espectrais do TM/Landsat-5, onde não foram encontradas características de saturação, já que há uma distribuição discreta observada no eixo y.

4.3.3 Potencial dos classificadores supervisionados (MAXVER e SVM) na diferenciação das principais formas de cobertura e uso da terra

Numa abordagem preliminar das principais classes de cobertura e uso da terra presentes na BHRV (vegetação arbórea/arbustiva e pastagens: cultivadas e naturais), foram selecionadas 07 (sete) amostras de cada classe, a partir de identificação de tais usos em campanhas de campo, realizadas durante o desenvolvimento dos trabalhos. Cabe salientar que houve dificuldade em identificar áreas de pastagens naturais, pois esta categoria representa uma população muito baixa quando comparado às demais classes aqui abordadas.

Os valores digitais apresentados abaixo na Tabela 09 estão distribuídos em função da resolução radiométrica do sensor (8bits), portanto, possuem intervalos de discretização variando entre 0 e 255, isto, para cada banda espectral, sendo os valores próximos de 0 (zero) correspondentes a alvos que mais absorvem energia eletromagnética, enquanto os valores digitais mais próximos a 255 correspondem a alvos que mais refletem a energia eletromagnética, podendo haver variação de

intensidade de resposta em função do tipo de energia eletromagnética utilizada (banda), que está associada à resolução espectral do sistema sensor. Partindo deste princípio, percebe-se que a vegetação arbórea/arbustiva apresenta valores digitais menores que as pastagens cultivadas e pastagens naturais, em todas as bandas espectrais, em ambos os períodos sazonais analisados. Portanto, pode-se afirmar que há maior absorção da energia eletromagnética na vegetação arbórea/arbustiva.

Tabela 09 – Distribuição dos valores digitais selecionados para as (06) seis bandas espectrais do TM/Landsat-5, num total de 21 (vinte e uma) amostras, divididas em 07 (sete) amostras por classe de cobertura e uso da terra.

	Vegetação Arbórea/Arbustiva						Pastagem Cultivada						Pastagem Natural								
	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7			
Período Seco	A 1	61	26	24	74	57	19	A 1	76	43	62	75	137	59	A 1	75	39	52	62	100	51
	A 2	56	24	19	77	54	17	A 2	77	45	67	85	137	56	A 2	74	35	44	62	132	58
	A 3	60	26	24	67	59	21	A 3	87	46	70	91	144	66	A 3	72	38	54	83	139	63
	A 4	62	27	24	75	56	20	A 4	79	45	61	87	139	59	A 4	73	38	52	66	154	76
	A 5	60	29	27	83	70	23	A 5	86	48	69	87	145	58	A 5	75	37	47	64	133	59
	A 6	59	26	19	76	47	18	A 6	84	49	70	84	166	78	A 6	73	37	47	63	118	58
	A 7	59	25	22	72	55	19	A 7	77	39	57	74	135	59	A 7	75	38	47	75	150	60
Período Chuvoso	Vegetação Arbórea/Arbustiva						Pastagem Cultivada						Pastagem Natural								
	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7			
	A 1	51	21	15	73	48	13	A 1	50	27	21	89	66	18	A 1	58	27	27	65	66	24
	A 2	50	21	15	78	54	16	A 2	53	29	22	103	71	20	A 2	52	25	22	68	93	31
	A 3	49	22	16	72	56	15	A 3	57	32	28	93	90	30	A 3	52	27	22	94	79	24
	A 4	48	20	16	61	52	18	A 4	62	34	29	102	93	30	A 4	53	24	25	75	100	38
	A 5	50	23	18	86	64	18	A 5	58	29	30	72	86	31	A 5	57	27	27	67	90	33
	A 6	48	19	14	59	42	13	A 6	56	29	23	91	74	27	A 6	57	28	27	66	87	35
	A 7	46	19	14	59	48	13	A 7	55	30	21	113	74	22	A 7	59	30	30	71	78	27

Com base na distribuição média das sete amostras, representada pelos valores digitais das bandas espectrais supracitadas, é possível perceber que há uma proximidade na resposta espectral das áreas de pastagens cultivadas com as pastagens naturais, em ambos os períodos sazonais, o que de certo modo dificulta resultados promissores com a aplicação de técnicas de classificação supervisionada que se baseiam apenas em valores radiométricos como critério de análise, para a separação das classes. Portanto, há necessidade evidente de inclusão de outros critérios na diferenciação destas classes, a exemplo de características relacionadas à forma e textura do alvo. A banda espectral do infravermelho-próximo (TM4) é a que menos contribui na separação das classes

vegetação arbórea/arbustiva, pastagens cultivadas, e pastagens naturais. Por outro lado, percebe-se que a utilização das bandas do infravermelho-médio (TM5 e TM7), no período seco, é de extrema importância para distinguir a vegetação arbórea/arbustiva das pastagens cultivadas e naturais.

De modo geral, percebe-se que há uma grande similaridade nos valores digitais encontrados nas amostras de pastagens cultivadas e naturais. Ainda que tenha uma distribuição semelhante, a banda espectral do vermelho (TM3) foi a que apresentou melhor potencial para distinção das pastagens cultivadas e naturais, tanto no período seco quanto chuvoso. As bandas do infavermelho-médio (TM5 e TM7) e também a do intervalo espectral do vermelho (TM3), apresentaram características distintivas com distribuições evidentes, em ordem decrescente de importância, no sentido de distinguir a vegetação arbórea/arbustiva das amostras de pastagens (Figura 51).

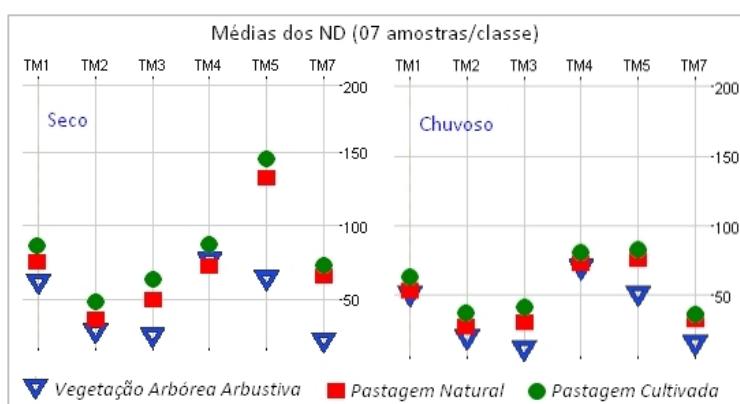


Figura 51 – Análise gráfica das diferenças/similaridades das classes de cobertura e uso da terra (vegetação arbórea/arbustiva, pastagens cultivadas e naturais), nos dois períodos sazonais, a partir de das médias obtidas pelas 07 (sete) amostras, extraídas de cada classe.

Os dados de matéria seca coletados em campo, abordados anteriormente, apontam que no período chuvoso há uma maior distinção entre as áreas de pastagens cultivadas e naturais, já que as diversas espécies cultivadas apresentaram um vigor vegetativo superior neste período sazonal. Entretanto, quando as estimativas são oriundas de abordagens orbitais, as pastagens naturais apresentaram interferências da vegetação arbórea/arbustiva, o que de certo modo existe uma compensação do vigor vegetativo nessas áreas de pastagens naturais, deixando-as com características espetrais semelhantes às áreas de pastagens cultivadas, quando a abordagem é espectral. Desta maneira, os valores digitais encontrados no período chuvoso apresentam maior similaridade entre as categorias de pastagens cultivadas e naturais.

A significância da diferença/similaridade é confirmada a partir da avaliação estatística (Figura 52), de maneira que é percebido a diferença entre as áreas com vegetação arbórea/arbustiva e as duas categorias de pastagens (pastagem cultivada valor-p 0,029; pastagem natural valor-p 0,048), fato que ocorre apenas no período seco. Neste período sazonal, as áreas de pastagens apresentaram uma queda drástica em seu vigor vegetativo, já que seu sistema radicular é superficial, região onde as perdas de água para a atmosfera ocorrem mais rapidamente, iniciando assim, um processo de estresse hídrico comprovado por méis dos registros fotográficos obtidos em campo. Já a vegetação arbórea/arbustiva, que possui sistema radicular profundo, consegue manter um considerável vigor vegetativo mesmo na estação seca. No período chuvoso, as áreas de pastagens (cultivadas e naturais) e a vegetação arbórea/arbustiva são estatisticamente iguais, já que ambas apresentam considerável vigor vegetativo. Portanto, baseado nos valores digitais analisados, percebe-se que as áreas de pastagens e a vegetação arbórea/arbustiva são facilmente diferenciadas nas imagens do satélite TM/Landsat-5, no período seco. Por outro lado, quando se compara as pastagens cultivadas e naturais, há necessidade de incorporar outras variáveis como plano de análise no processo de classificação, pois apenas os valores digitais não são suficientes para distinguir estas duas categorias da paisagem, em ambos os períodos sazonais.

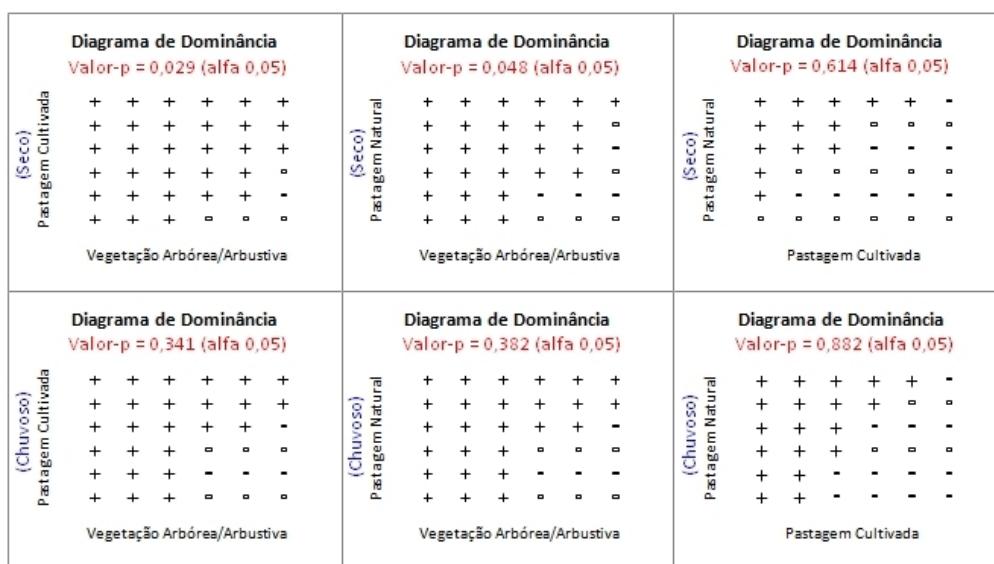


Figura 52 – Diagrama de dominância, como base no “Teste t” onde é possível afirmar que há uma distinção estatística, em ambos os períodos sazonais, entre a vegetação arbórea/arbustiva e as pastagens cultivadas e naturais. Por outro lado, existe uma similaridade comprovada entre as pastagens cultivadas e naturais.

A fim de comparar o desempenho dos dois classificadores supervisionados aqui abordados (SVM e MAXVER), sobre a ótica da diferenciação ou similaridade da distribuição dos valores digitais encontrados nas áreas de Pastagens Naturais e Pastagens Cultivadas, foram selecionadas, a partir da identificação em campanhas de campo, duas regiões com ocorrência de polígonos contendo as três classes de cobertura e uso da terra (Figura 53). É importante salientar que a avaliação ocorreu sobre as 06 (seis) bandas espectrais do satélite TM/Landsat-5 datadas em 2001, com dois registros sazonais (seco e chuvoso).

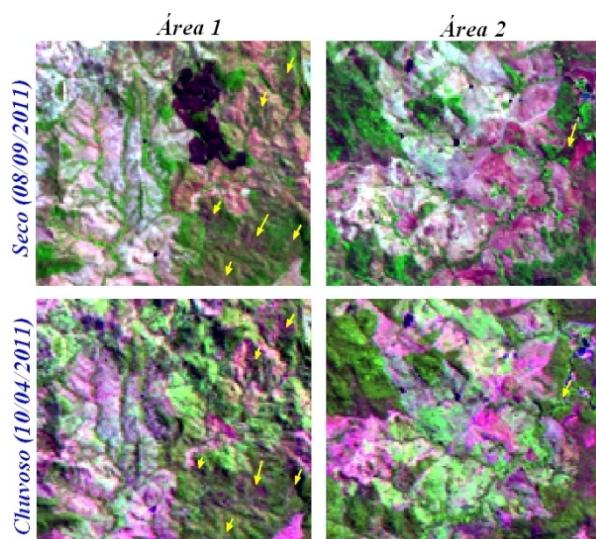


Figura 53 – Seleção de duas amostras de pastagens naturais, a partir da identificação em campo. As imagens de satélite exemplificam as duas amostras de pastagens naturais, em períodos sazonais distintos, representadas na composição colorida 5R 4G 3B.

Visivelmente, tanto no período seco quanto chuvoso, para as duas áreas selecionadas, o classificador SVM (*Support Vector Machine*) apresentou melhor desempenho na identificação das áreas de pastagens naturais, separando-as das pastagens cultivadas e da vegetação arbórea/arbustiva (Figura 54). Por outro lado, ambos os métodos apresentaram problemas de classificação, a exemplo da identificação de áreas de pastagens naturais inexistentes (confusão entre classes), mesmo adicionando outros critérios além do espectral. Entretanto, deve-se considerar positivo o desempenho do classificador SVM.

Os dados coletados de matéria seca em campo, que são restritos à coleta da vegetação herbácea nas áreas de pastagens, mostraram que o período chuvoso seria a melhor estação sazonal para separar as áreas de pastagens naturais das cultivadas, já que neste

período, o vigor vegetativo (biomassa verde) das espécies exóticas é bem superior, enquanto no período seco, em função do estresse hídrico que acomete as áreas de pastagens, os valores de biomassa verde apresentam-se de forma mais homogênea, sem muita diferença de comportamento entre as duas categorias de pastagens.

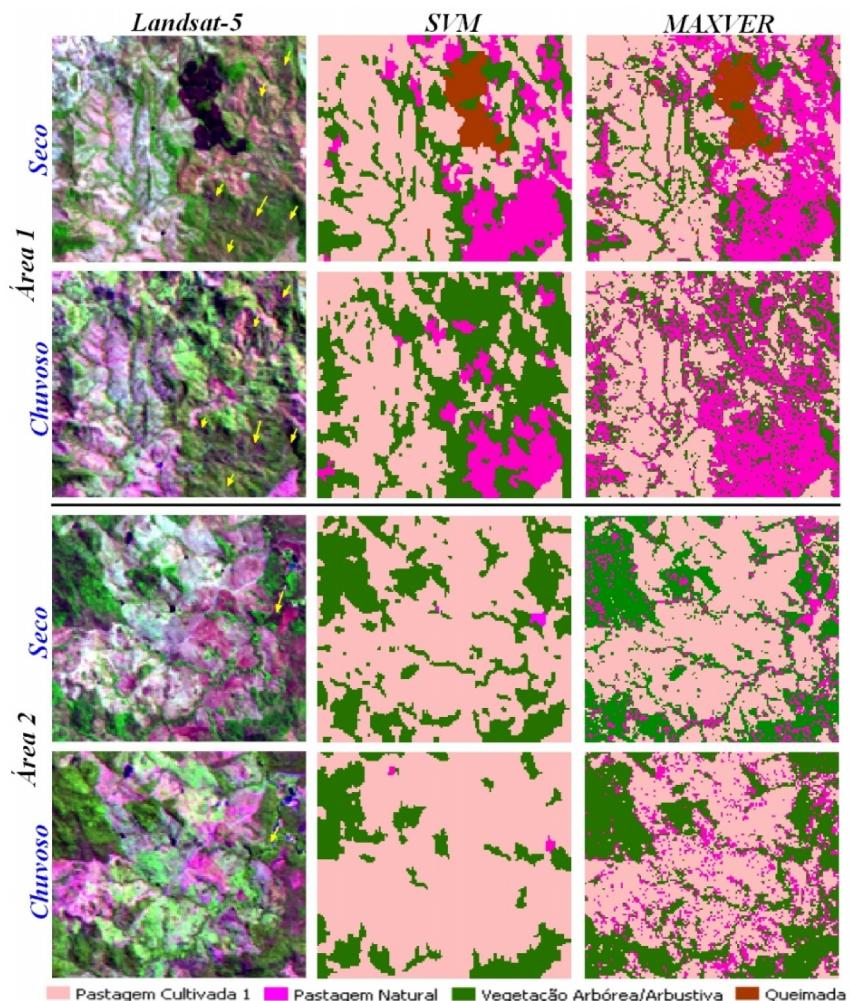


Figura 54 – Ambos os classificadores supervisionados apresentaram problemas na separação das áreas de pastagens cultivadas e naturais, entretanto, em função da incorporação de outras variáveis, o SVM apresentou resultados animadores.

Umas das grandes dificuldades encontradas em separar as áreas de pastagens naturais das cultivadas, é que nas pastagens naturais há presença constante da vegetação arbórea/arbustiva, encontrada em vários estágios de desenvolvimento, portanto, do ponto de vista orbital fica difícil estabelecer a diferenciação destes dois ambientes, com elevado grau de certeza, ao utilizar os classificadores supracitados MAXVER e SVM, apesar deste último apresentar resultados animadores nos dois períodos sazonais. Quando o emprego de tais classificadores é aplicado em regiões relativamente grandes

(> variabilidade de ambientes), i. e. da BHRV que possui extensão de 10.824 km², é extremamente difícil diferenciar as áreas de pastagens cultivadas das naturais, o que necessita de diversas etapas de pós-classificação, i. e. da edição matricial. Portanto, para extensas áreas, não foi possível diferenciar com elevado grau de acurácia, mesmo com o emprego do SVM, as áreas de pastagens cultivadas das naturais.

4.3.4 Elaboração de um mapa de cobertura e uso da terra (2011) em escala semi-detalhe

Como uma das contribuições desta pesquisa, foi elaborado um mapa de cobertura e uso da terra da BHRV (Figura 55), na escala de semi-detalhe (1:50.000). Este mapeamento foi realizado por meio de classificação supervisionada (SVM) sobre imagens orbitais do satélite *RapidEye/BlackBridge* de 2011, com resolução espacial de 5m, somado às observações da paisagem nas campanhas de campo realizadas durante o desenvolvimento da pesquisa.

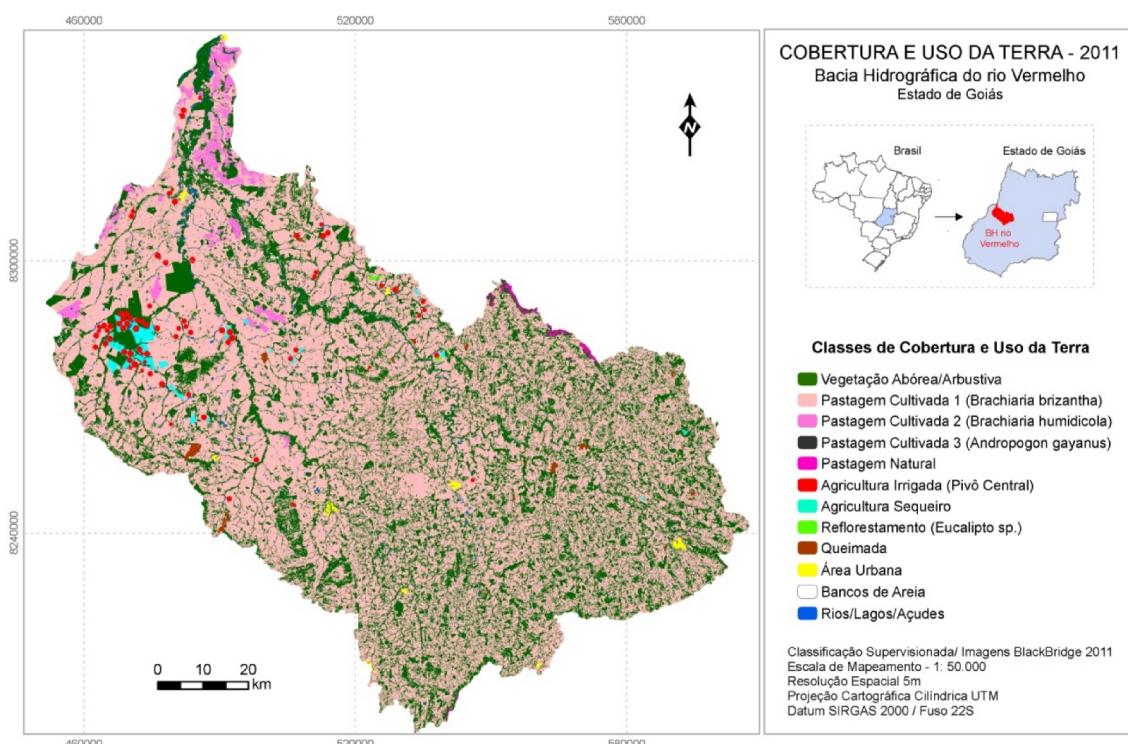


Figura 55 – Mapa de cobertura e uso da terra da BHRV, na escala de 1:50.000. As classes Pastagem Cultivada 1 e Vegetação Arbórea/Arbustiva são as principais formas de cobertura e uso da terra. Esta figura está representada em escala maior, no Apêndice I.

Neste mapeamento, foram identificados 12 (doze) principais classes de cobertura e uso da terra, a partir das observações que ocorreram ao longo das campanhas de campo, as

quais são citadas a seguir: Vegetação Arbórea/Arbustiva (Cerrado Stricto Censu), Pastagem Cultivadas 1 (*Brachiaria brizantha*), Pastagem Cultivada 2 (*Brachiaria humidicola*), Pastagem Cultivada 3 (*Andropogon gayanus*), Pastagem Natural, Agricultura Irrigada (Pivô Central), Agricultura Sequeiro, Reflorestamento (*Eucalipto sp.*), Queimadas, Área Urbana, Bancos de Areia e Rios/Lagos/Açudes. As 12 (doze) classes mapeadas podem ser representadas pela Equação 08, e descritas a seguir com representações temáticas, bem como exemplificadas nos registros fotográficos obtidos durante as campanhas de campo:

$$\text{Map.BHRV} = \sum_{i=1}^{n=12} (\text{Clas } 1^{2011}) \cup (\text{Clas } 2^{2011}) \cup; \dots; \cup (\text{Clas } 12^{2011}) \quad (08)$$

As áreas aqui denominadas de “Vegetação Arbórea/Arbustiva” correspondem aos remanescentes do bioma Cerrado, que não foram convertidos em outros usos. Esta categoria possui formação florestal, com exemplos localizados principalmente em regiões de relevo íngreme, de difícil acesso, a exemplo da Serra Dourada e Serra da Mesa. Em áreas mais planas, este tipo de categoria está preferencialmente localizado ao longo dos rios/riachos, sob formação de mata ciliar e/ou mata de galeria (Figura 56).

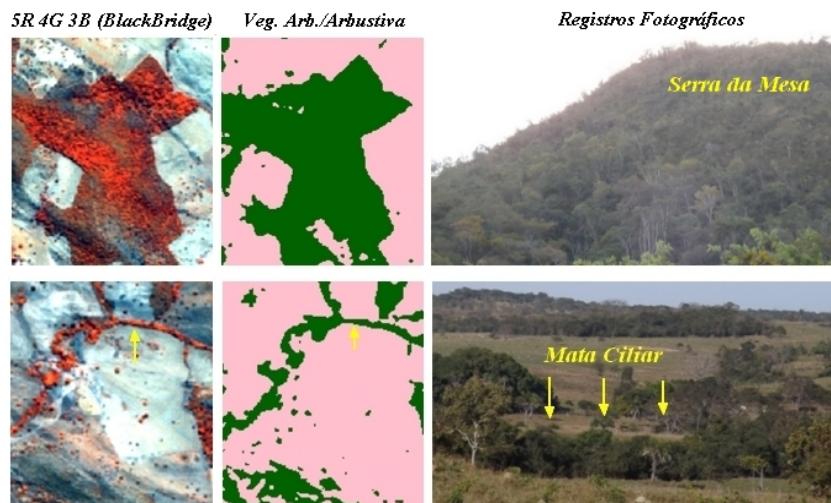


Figura 56 – Exemplo das principais formas de ocorrência da categoria de paisagem “Vegetação Arbórea/Arbustiva” na BHRV, localizadas nas proximidades da Serra da Mesa, e ao longo dos rios sob forma de mata ciliar.

As áreas de Pastagens Cultivadas, que representam a principal forma de cobertura e uso da terra na BHRV, estão aqui divididas em três categorias, em função da espécie predominante nas áreas de pasto (Figura 57). “Pastagem Cultivada 1” é referente às pastagens formadas pela espécie *Brachiaria brizantha*, conhecida localmente como

Brachiarão, é a forrageira de maior abrangência na bacia, e teve sua implantação justificada com base em dois fatores: potencial em gerar volume considerável de matéria seca para alimentação animal; espécie de forrageira exótica mais resistente ao período seco. Já a classe de “Pastagem Cultivada 2”, representam as pastagens formadas pela espécie *Brachiaria humidicola*, mais exigentes em disponibilidade hídrica, portanto, a maioria dos pastos formados por desta espécie está localizado em áreas úmidas, próximo a rios/córregos, e em regiões com lençol freático superficial, a exemplo de algumas regiões localizadas no município de Arauanã e Britânia. A “Pastagem Cultivada 3” representa a forrageira da espécie *Andropogon gayanus*, com pouca representação na BHRV, implantada em regiões com solos pedregosos, onde o *Brachiaria brizantha* não conseguiu se estabelecer. Esta espécie foi introduzida na BHRV em áreas com menor representação, de modo que boa parte das pastagens compostas anteriormente foi substituída pelo Brachiarão (*Brachiaria brizantha*), com exceção às regiões de solos pedregosos.

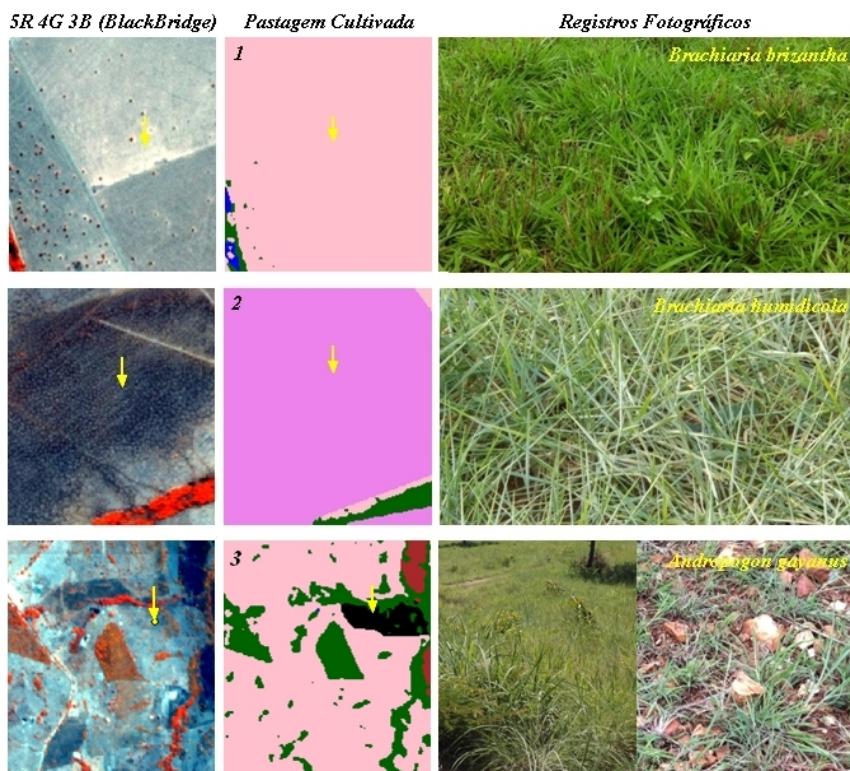


Figura 57 – As três principais espécies encontradas de pastagens cultivadas, em ordem de extensão: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola* e *Andropogon gayanus*.

As áreas de “Pastagens Naturais” foram formadas a partir da supressão da vegetação arbórea/arbustiva, onde se iniciou um processo de regeneração com o surgimento de comunidades de substituição. Esta categoria é formada por um conjunto de espécies de

gramíneas nativas, por isto não há denominação de uma espécie específica, como ocorrem nos patos formados pelas espécies exóticas, que apresentam baixa resiliência a competição. As Pastagens Naturais são áreas não manejadas, portanto, é comum a existência da vegetação em processo regenerativo, de porte arbóreo/arbustivo, o que confere a estes ambientes uma característica textual observada nas imagens orbitais (Figura 58). Por serem mais resistentes à seca, estas áreas são utilizadas como refúgio para o gado no período da seca, considerada uma prática cultural denominada de “transumância”. São raras as áreas com Pastagens Naturais na BHRV, portanto, estima-se que esta categoria represente menos de 1% do total de pastagens encontradas, cujas poucas áreas mapeadas estão nas proximidades da Serra Dourada e Serra da Mesa, regiões de difícil acesso.

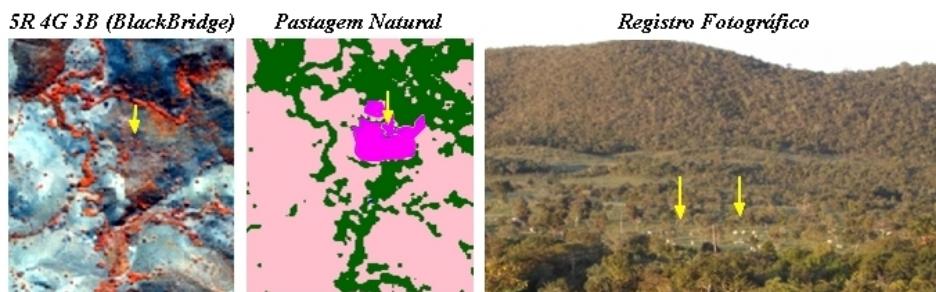


Figura 58 – Área de Pastagem Natural, localizada próximo a Serra da Mesa, em região de difícil acesso. Estas áreas apresentam similaridade com a formação “pasto sujo”, pois como não são manejadas, há um processo de regeneração natural em estágio médio a avançado.

As áreas com “Agricultura Irrigada” são representadas por sistema de irrigação circular de pêndulo giratório, conhecido como “Pivô Central” (Figura 59), em média com 700m de raio. São encontrados principalmente na “Região 1” da BHRV, com maior concentração deste tipo de sistema, localizados principalmente no município de Jussara. As culturas plantadas neste sistema de irrigação atendem dois objetivos distintos, em função de condições sazonais. No período chuvoso, é produzido Soja e Algodão para exportação, enquanto o Milho é voltado ao abastecimento interno (granjas). Já no período seco, praticamente toda a produção no sistema de Pivô Central é voltada à alimentação animal (Milho/Sorgo), tendo em vista que neste período sazonal não há alimento suficiente em pasto para o rebanho bovino. Em menor ocorrência, também são encontrados alguns plantios de gramíneas para fins ornamentais.

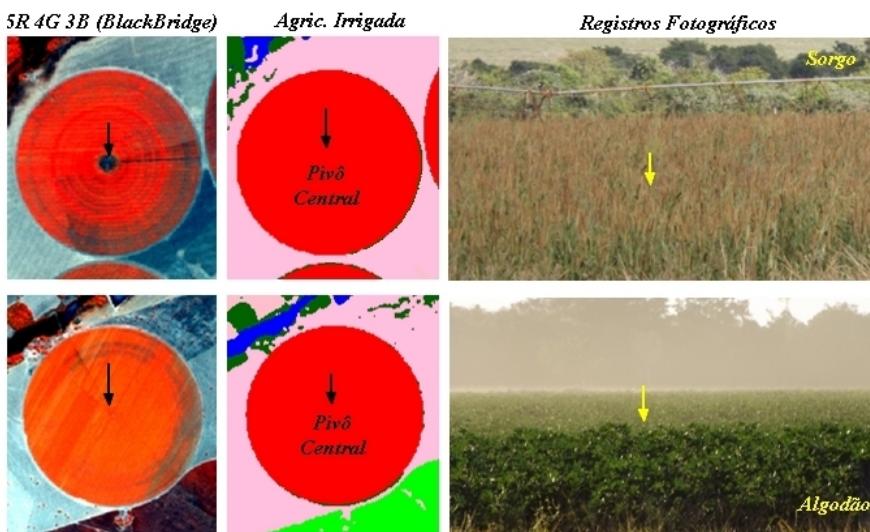


Figura 59 – Alguns cultivos encontrados na BHRV (Sorgo e Algodão) em sistema de irrigação por Pivô Central.

As áreas com “Agricultura Sequeiro” são utilizadas apenas no período chuvoso, com cultivos de espécies de ciclo curto, a exemplo da Soja e o Milho. No período seco, estas áreas permanecem com solo exposto, num padrão característico nas imagens de satélite de alta resolução espacial, identificadas pela presença de “ranhuras”, causadas pela colheita ou preparação do solo para plantio (Figura 60), período que antecede as primeiras chuvas. A Soja produzida nestas áreas é voltada ao mercado externo, enquanto parte da produção Milho é distribuída para granjas locais, com destino a produção de ração para abastecer aviários, e outra parte é armazenada sobre forma de silagem, que será destinada a alimentação bovina no período seco.

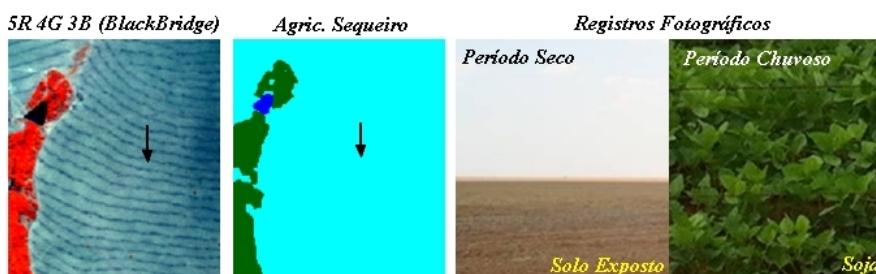


Figura 60 – Agricultura de Sequeiro, onde o solo permanece em pousio durante todo o período seco, já que a precipitação é muito baixa ou nula. No período chuvoso, estas áreas recebem cultivos de ciclo curto, i. e. Soja e Milho.

A classe “Reflorestamento” é representada pela atividade de silvicultura, com o objetivo de repovoamento florestal voltado a atender necessidades de mercado, com espécies de que apresentam crescimento uniforme. Nas áreas de reflorestamento da bacia são

encontrados pequenos bosques da espécie *Eucalipto sp.*, com a maioria dos plantios ainda em fase de experimentação, e a maioria das parcelas encontradas em estágio médio de desenvolvimento.

Esta atividade econômica ainda é pouco expressiva, já que foram encontrados apenas pequenos plantios, ou seja, sem muita representação, em comparado às outras principais formações de cobertura e uso da terra que ocorrem na bacia. Como se trata de plantios de mesma espécie, alterado geneticamente para crescimento uniforme, estas áreas apresentam na imagem de satélite uma textura lisa característica (Figura 61), o que facilita sua distinção de outras formações florestais existentes, i. e. da “Vegetação Arbórea/Arbustiva”, composta por espécies variadas, em diferentes extratos, com rugosidade aparente em função da reflectância múltipla.

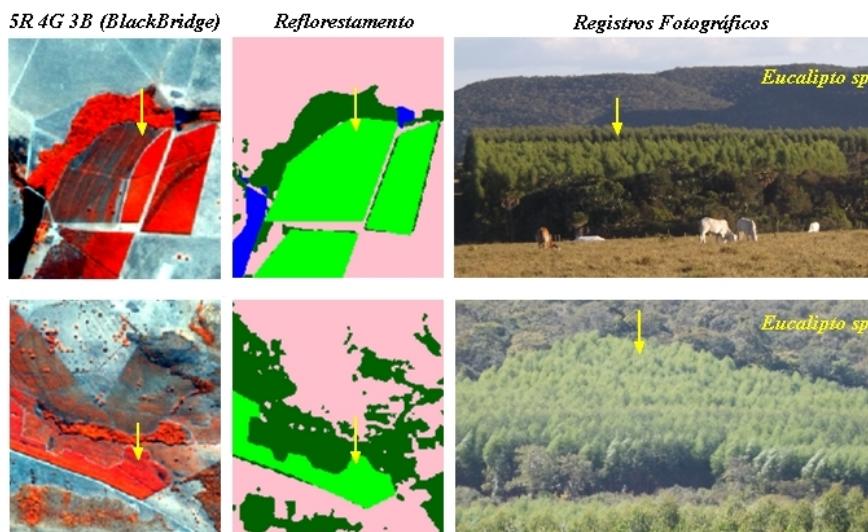


Figura 61 – Pequenas áreas de Reflorestamento povoadas pela espécie *Eucalipto sp.*, encontradas principalmente na região oeste da bacia.

A classe “Queimadas”, em sua maioria, representa um trato cultural de baixo custo para renovação das áreas de pastagens, já que a maioria das gramíneas é resistente ao fogo, eliminando assim, a presença de espécies indesejadas, i. e. das “ervas daninhas”. Na imagem de satélite, as áreas com registro de queimadas apresentam um comportamento bem escuro (Figura 62), característico deste fenômeno. Apesar da maioria da cobertura e uso da terra da bacia ser representada por pastagens, percebe-se que este tipo de prática cultural não é muito comum entre os pecuaristas da atualidade, portanto, mesmo no período seco, foram encontrados poucos registros de queimada na tomada do satélite *RapidEye/BlackBridge*, e nas observações realizadas nas campanhas de campo.

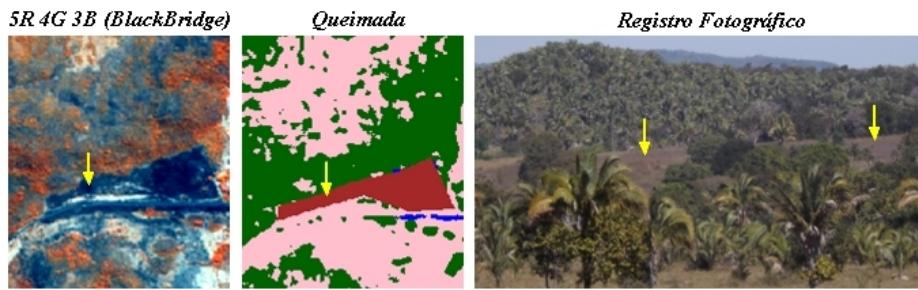


Figura 62 – Cicatrizes deixadas após ocorrer a queima para renovação das pastagens, com padrão escuro inconfundível na imagem de satélite.

Existem vários núcleos urbanos consolidados no interior da BHRV, que representam a sede dos municípios que fazem interseção com a bacia (Figura 63). Estes núcleos urbanos consolidados estão aqui representados com a categoria “Área Urbana”, e correspondem às sedes dos municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Santa Fé de Goiás, Jussara, Itapirapuã, Novo Brasil, Fazenda Nova, Buriti de Goiás e Goiás, sendo este último, o mais representativo em termos populacionais, com aproximadamente 24.727 habitantes (IBGE, 2010). É importante salientar que dos 11 (onze) municípios que fazem interseção com a BHRV, apenas a sede do município de Faina não está localizada no interior da bacia.



Figura 63 – Área Urbana, representada pelos núcleos urbanos consolidados, sedes dos municípios que fazem interseção com a BHRV. Em destaque a cidade histórica de Goiás, representando o maior núcleo urbano populacional, embrião do estado de Goiás.

A categoria “Bancos de Areia” é encontrada ao longo dos meandros e na região da foz do rio Vermelho, comumente é formada pelo transporte de sedimentos, ocasionando o assoreamento de rios. Este tipo de formação é identificado com mais evidência no período seco, visto que a vazão hídrica é menor. Na Figura 64 é possível identificar este tipo de formação, na foz do rio Vermelho, encontro com o rio Araguaia.



Figura 64 – Formação de Bancos de Areia ao longo dos meandros e foz dos rios Vermelho e Araguaia. Material transportado a partir de processos erosivos que ocorrem na bacia.

A classe “Rios/Lagos/Açudes” representam os principais corpos d’água encontrados na bacia, com destaque para o rio Vermelho, que nasce na cidade de Goiás, e para o Lago do Tigre (rio Água Limpa), local turístico muito visitado, localizado na cidade de Britânia (Figura 65). Os açudes comumente têm formas circulares, e geralmente estão presentes na grande maioria dos pastos, já que sua principal função é fornecer água para o rebanho.



Figura 65 – Lago do Tigre, ponto turístico localizado na cidade de Britânia, onde o acesso é por meio de balsa, fazendo a conexão entre a cidade de Britânia e algumas propriedades rurais que estão no entorno da GO-324, ainda sem pavimentação.

4.3.4.1 Resultados do mapeamento da cobertura e uso da terra

Segundo os dados quantitativos do mapeamento temático de cobertura e uso da terra, elaborado a partir de classificação supervisionada em imagens do satélite *RapidEye/BlackBridge* (2011), as áreas de pastagens representam 67,6% do uso total da BHRV (Tabela 10), com destaque à classe Pastagem Cultivada 1 (*Brachiaria brizantha*), que representa a grande maioria das forrageiras (65,5% dos usos da bacia), ou seja, das classes abordadas neste mapeamento, é a que tem maior representatividade, com pastos de dimensões bem variadas, já que das categorias mapeadas foi a que apresentou maior desvio padrão (1.030,66). Apesar da média geral apresentar-se baixa (3,95ha), existem inúmeras áreas significativas deste tipo de pastagem na bacia.

As áreas com Pastagens Naturais foram perdendo espaço para as espécies cultivadas, atualmente, apresenta pouca representação na bacia ($1.871,48\text{ha} = 0,17\%$), e estão localizadas em regiões íngremes, de difícil acesso. Os dados de pastagens cultivadas e naturais, expressas pelos censos agropecuários, apontam esta preferência pelas espécies cultivadas em detrimento às pastagens naturais, uma dinâmica que segue de forma crescente até os dias atuais, porém em menor intensidade.

Tabela 10 – Resultado quantitativo, referente as 12 (doze) classes de cobertura e uso da terra. As áreas de pastagens representam a principal forma de uso (67,6%), expressas pelas categorias: Pastagem Cultivada 1, 2, 3, além da Pastagem Natural.

Classe de Cobertura e Uso da Terra	N	Área (ha)	%	Média (ha)	Desvio Padrão (ha)
Vegetação Arbórea/Arbustiva	289.051	323.779,68	29,91	1,62	61,30
Pastagem Cultivadas 1 (<i>B. brizantha</i>)	179.912	710.561,69	65,64	3,95	1.030,66
Pastagem Cultivada 2 (<i>B. humidicola</i>)	23.514	18.099,68	1,67	0,77	26,91
Pastagem Cultivada 3 (<i>A. gayanus</i>)	2.199	1.295,72	0,12	0,59	1,99
Pastagem Natural	1.065	1.871,48	0,17	1,76	22,37
Agricultura Irrigada (Pivô Central)	62	8.217,59	0,76	132,54	86,17
Agricultura Sequeiro	547	5.510,76	0,51	10,07	90,84
Reflorestamento (<i>Eucalipto sp.</i>)	12	370,39	0,03	30,87	44,29
Queimadas	69	2.859,43	0,26	41,44	95,85
Área Urbana	61	2.060,54	0,19	33,78	88,08
Bancos de Areia	433	224,67	0,02	0,52	2,26
Rios/Lagos/Açudes	17.201	7.614,85	0,70	0,44	7,17
Total	514.126	1.082.466,49	100,00	-	-

A bacia ainda conserva aproximadamente 29,9% de formações florestais do bioma Cerrado (Vegetação Arbórea/Arbustiva), entretanto, em algumas regiões este tipo de formação encontra-se bastante fragmentada, já que foi encontrado um número elevado de ocorrência ($N = 289.051$). A representação das áreas voltadas à produção agrícola seja irrigada (pivô central), ou de sequeiro, tem pouca representatividade na bacia, já que as áreas agrícolas totais somam um percentual de 1,37%, com predominância da agricultura irrigada sobre forma de pivô central (0,76%) e valores médios de 132,54ha, ou seja, existem poucas áreas agrícolas tradicionais (sequeiro), e as que existem estão localizadas preferencialmente no município de Jussara, região limítrofe entre os municípios de Britânia e Santa Fé de Goiás. Apesar de incipiente, ainda de forma experimental representado por pequenos plantios, há na BHRV Reflorestamentos (silvicultura), com plantios das espécies *Eucalipto sp.*, matrizes geneticamente

modificadas para alcançar crescimento uniforme, a fim de atender as necessidades de mercado.

A BHRV apresenta duas grandes regiões biofisicamente distintas, denominadas de “Região 1” e “Região 2”. Do ponto de vista de uma rápida avaliação métrica da paisagem, das principais formas ocupação (Pastagem Cultivada 1 e Vegetação Arbórea/Arbustiva), percebe-se que, das classes de cobertura e uso da terra, existem algumas diferenças métricas na paisagem nas duas regiões supracitadas. Em termos de área total, a vegetação arbórea/arbustiva é mais presente na “Região 2”, com valores totais próximos de 194.460,88ha, enquanto na “Região 1”, os valores encontrados são um pouco inferiores (129.318,81ha). Por outro lado, na “Região 1” existem fragmentos da Vegetação Arbórea/Arbustiva de maior dimensão, com valores médios de 2,06ha, consequentemente, com uma menor quantidade de indivíduos ($N = 119.89$), enquanto na “Região 2”, os valores encontrados são menores (1,21ha), e mais populosos ($N = 169.160$), ou seja, há maior fragmentação.

Contextualizando os valores métricos encontrados na Vegetação Arbórea/Arbustiva com a dinâmica de ocupação da bacia, já que as pastagens, em sua maioria, foram implantadas sobre a vegetação natural, percebe-se que em função das características edafoclimáticas locais, a organização fundiária condicionou uma formação diferenciada na implantação das pastagens cultivadas ao longo da bacia. Na “Região 1”, considerada uma região mais produtiva, com boas condições de relevo, solos com boas características físicas, os tamanhos das áreas de pastagens implantadas foram superiores aos encontrados na “Região 2”, o que condicionou um maior isolamento das formações florestais. Por outro lado, apesar de isolados, os fragmentos florestais são de tamanho superior aos remanescentes encontrados na “Região 2”, já que o valor de área núcleo é mais elevado (Figura 66). Na “Região 2”, apesar da fragmentação ser maior, já que os fatores edáfoclimáticos condicionaram a implantação de pastos de pequenas dimensões, consequentemente, há uma maior conectividade entre os fragmentos florestais remanescentes. Ou seja, a implantação da pecuária na bacia, condicionada por fatores edáfoclimáticos, resultou em duas atividades de pecuária com características distintas, no que diz respeito à morfometria da paisagem.

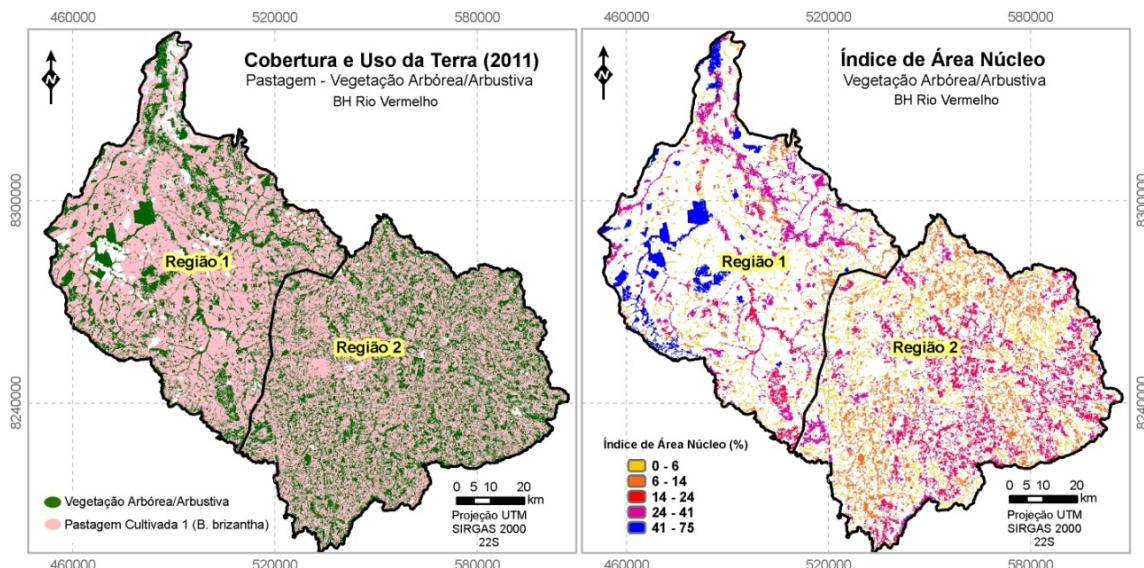


Figura 66 – Menor conectividade dos fragmentos florestais na “Região 1”, em função da implantação de extensas áreas de pastagens cultivadas. Por outro lado, os fragmentos apesar de apresentarem uma menor população na “Região 2”, estes são mais expressivos em termos de área, o que pode apresentar uma melhor ambientação para algumas espécies da macrofauna.

4.3.4.2 Acurácia do mapeamento (índices de concordância)

Como forma de avaliação dos mapeamentos em diferentes temáticas, são utilizados vários índices de concordância encontrados na literatura, e que visam estabelecer um critério avaliativo (qualitativo/quantitativo), entre o mapa temático elaborado e a realidade de campo, com objetivo de mensurar estatisticamente o quão preciso é o mapeamento realizado. Existem diversos índices de concordância, dentre eles, três se destacam por serem utilizados mais amplamente, segundo os registros encontrados na literatura: Índice de Concordância Total (HELLDEN & STERN, 1980); Índice de Concordância Tau (KLECKA, 1980) e Índice de Concordância Kappa (COHEN, 1968).

Para avaliação do mapeamento temático da cobertura e uso da terra na BHRV de 2011 na escala de 1: 25.000, foram utilizados como “verdade” 120 (duzentos) pontos de controle (Figura 67) coletados durante as campanhas de campo, os quais se basearam na avaliação do mapeamento temático por meio dos Índices de Concordância Total, que representa uma abordagem direta proporcional aos erros e acertos, além do Índice Kappa, com abordagens mais criteriosas, por levar em consideração os erros de “omissão” e “comissão”.

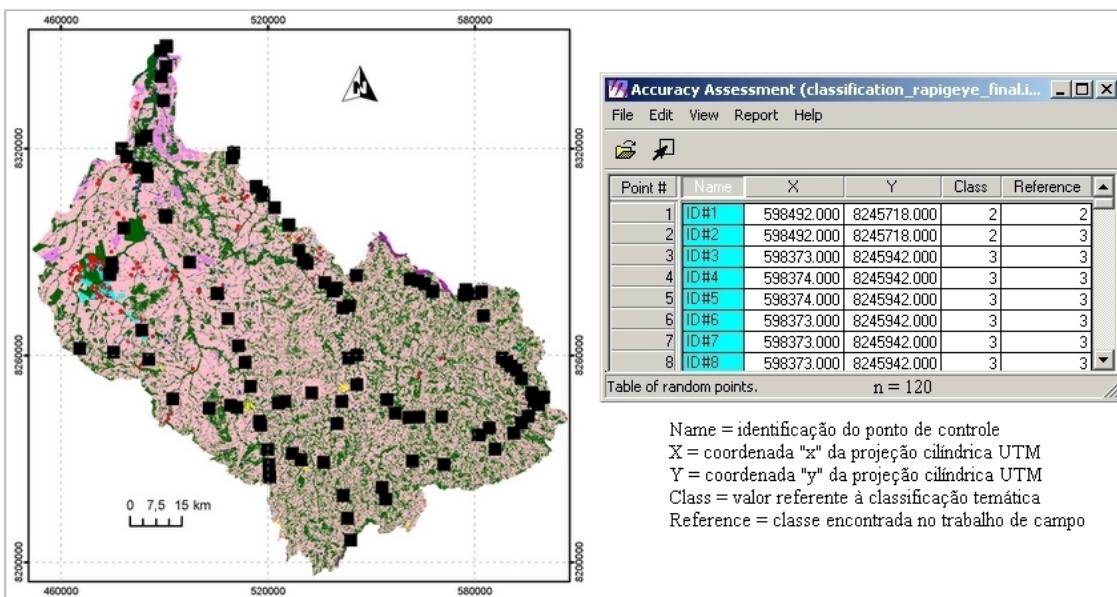


Figura 67 – Distribuição dos 120 (cento e vinte) pontos de controle utilizados para a avaliação do mapeamento da cobertura e uso da terra, a partir das Estatísticas Totais e Índice Kappa.

Com o emprego dos índices de concordâncias sobre o mapeamento temático produzido (Tabela 11), o Índice de Concordância Total apresentou 90% de acerto, na avaliação do painel amostral (120 pontos). Já os valores encontrados na estatística Kappa, foram de aproximadamente 0,835, que segundo análise qualitativa estabelecida na literatura por Cohen (1960), apesar de estar no limite inferior, este mapeamento temático está conceitualmente na categoria “Excelente”, já que os valores encontrados deste índice estão entre o intervalo de “ $0,8 < k < 1,0$ ”. Em geral, as classes amostradas apresentaram um elevado percentual de acerto, com algumas exceções, i. e. da Pastagem Cultivada 3 (*A. gayanus*), de modo que os valores estão próximos de 50% de erros.

Tabela 11 – Resultado dos índices de Concordância Total e Kappa, que utilizaram a comparação entre os dados coletados de campo com os resultados da classificação automática da cobertura e uso da terra.

Cobertura e Uso da Terra	Índice de Concordância Total			Estatística Kappa
	Nº Pontos	Nº Acertos	%	Índice
Vegetação Arbórea/Arbustiva	21	19	90,48%	0,8846
Pastagem Cultivada 1 (<i>B. brizantha</i>)	72	66	91,67%	0,8239
Pastagem Cultivada 2 (<i>B. humidicola</i>)	5	4	80,00%	10,0000
Pastagem Cultivada 3 (<i>A. gayanus</i>)	2	1	50,00%	10,0000
Pastagem Natural	6	4	66,67%	0,7895
Agricultura Irrigada (Pivô Central)	4	4	100,00%	10,0000
Agricultura de Sequeiro	2	2	100,00%	0,4915
Reflorestamento (<i>Eucalipto sp.</i>)	1	1	100,00%	10,0000
Queimada	1	1	100,00%	10,0000
Área Urbana	3	3	100,00%	0,5897

Bancos de Areia	1	1	100,00%	10,0000
Rios/Lagos/Açudes	2	2	100,00%	10,0000
Valores Totais	120	108	90,00%	0,8354

Este mapeamento apresenta como vantagens à escala abordada (semi-detalhe), e um conjunto considerável de observações de campo, que por meio da edição matricial, foi possível conferir a este mapeamento um elevado grau de acerto, o que torna-o mais próximo da realidade de campo. Por outro lado, a desvantagem encontrada está na abordagem unitemporal, tendo em vista que a avaliação multitemporal poderia trazer maior solidez a este produto temático.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas de pastagens representam o principal uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho. Durante as últimas décadas, as alterações significativas encontradas foram as conversões de algumas áreas de vegetação natural em pastagens. Esta alteração foi percebida principalmente na porção oeste da bacia.

Algumas características edáficas, a exemplo de solos e relevo, foram fatores determinantes na organização espacial das propriedades rurais, que tem como principal atividade a pecuária extensiva. As maiores propriedades rurais estão localizadas em solos profundos com boas características físicas (Latossolos), associados a relevos planos, o que favorece a infiltração da água das chuvas, além de permitir a mecanização dessas áreas.

A relação precipitação/evapotranspiração é positiva no período chuvoso e negativa no período seco, portanto, entre os meses de maio a agosto foram encontrados índices severos de déficit hídrico em algumas regiões da bacia. A disponibilidade e escassez de água tem afetado a biomassa das principais formações de cobertura e uso da terra, consequentemente, a falta deste recurso em determinados períodos tem um impacto direto no comportamento fisiológico das formas vegetais existentes, principalmente na vegetação herbácea cujo o sistema radicular é superficial, i. e. das pastagens. Água armazenada nos solos, proveniente da precipitação do período chuvoso, foi de fundamental importância para a manutenção da biomassa das espécies arbóreas/arbustivas, no período de escassez de água.

Existe uma forte correlação entre os valores de precipitação e a relação de biomassa presente nos vegetais, representados pelos valores de EVI. Em quase todos os anos analisados, quanto maior a precipitação depositada na bacia, maiores foram os índices encontrados de EVI, consequentemente, maior a capacidade de armazenamento de energia nos vegetais pelo processo de fotossíntese, o que resulta numa maior taxa de crescimento.

Entre o período de 2001 a 2011, não houve alterações significativas na cobertura e uso da terra, a partir da avaliação dos índices biofísicos. Entretanto, as duas principais formas de uso (vegetação natural e pastagem) apresentaram comportamentos diferenciados, ou seja, as respostas biofísicas foram alteradas em função da conversão

de uso da terra. A estrutura fundiária implantada condicionou a formação de dois ambientes completamente diferentes, do ponto de vista biofísico, denominados neste trabalho de “Região 1” e “Região 2”.

Com base nos registros dos censos agropecuários, a partir de 1985 as espécies exóticas africanas passaram a predominar as pastagens presentes na BHRV, superando a área representada por pastagens naturais. Numa tendência crescente, atualmente, as pastagens cultivadas representam mais de 99% dos pastos formados na bacia utilizados para a pecuária extensiva. Representadas por uma minoria (<1%) as pastagens naturais estão localizadas em áreas de difícil acesso, principalmente nas proximidades da Serra Dourada e Serra da Mesa, município de Goiás.

É encontrada na bacia tanto a pecuária leiteira como a pecuária de corte, onde os municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Jussara e norte de Itapirapuã apresentaram taxas de lotação bovina superiores a 1,2 cabeças/ha. Coincidemente, a relação espacial destes municípios corresponde a macrorregião da bacia mais produtiva (“Região 1”), com predomínio de gado de corte da raça nelore. A questão da seca é o principal problema enfrentado pelos pecuaristas, que ainda encontram-se sem alternativas de renda para minimizar os prejuízos causados por este período sazonal.

A distribuição das espécies cultivadas e naturais que compõem as pastagens da BHRV está associada a fatores edafoclimáticos locais, de maneira que as características relacionadas ao solo (profundidade/pedregosidade) e a direção de escoamento/acúmulo do fluxo hídrico explica a ocorrência da maioria das espécies. Portanto, as características de solo e disponibilidade hídrica são fatores importantes a serem considerados na diferenciação das espécies. Neste sentido, a relação dessas espécies (exóticas e naturais), associadas aos fatores edafoclimáticos locais, condicionam um padrão no comportamento das imagens orbitais ópticas, i. e. das imagens do satélite *RapidEye/BlackBridge*.

Baseado no comportamento espectral das espécies no período seco, as pastagens naturais apresentaram maior influência do solo em sua resposta espectral. Nas folhas da espécie exótica *Brachiaria brizantha* foram encontrados os maiores níveis de estresse hídrico, por outro lado, quando há disponibilidade hídrica abundante (período chuvoso), esta espécie apresenta maior eficiência no aproveitamento da energia eletromagnética na região do azul e vermelho, regiões espectrais importantes, utilizadas na fotossíntese.

Com base na determinação de matéria seca em campo nas áreas de pastagens, é possível afirmar que as espécies de pastagens naturais são mais adaptadas à escassez de água, pois mesmo no período seco, apresentaram um considerável percentual de biomassa verde (média 50,3%). Entretanto, percebe-se que a sua biomassa total é bem inferior às encontradas nas espécies exóticas, de modo que, apesar das espécies naturais apresentarem maior adaptação ao período seco, a sua biomassa não é suficiente para alimentar o rebanho bovino local.

No período seco há uma correspondência entre a biomassa verde encontrada nas espécies cultivadas e naturais. Tal fato explica a dificuldade em separar estes dois grupos de pastagens neste período sazonal. Já no período chuvoso, há uma diferença significativa entre os dois grupos de pastagens, pois a biomassa verde encontrada nas espécies cultivadas é bem superior às encontradas nas pastagens naturais. Tal fato justifica a sua implantação e utilização na pecuária extensiva até os dias atuais.

As pastagens cultivadas encontradas na “Região 1” da BHRV são mais produtivas quando comparadas às encontradas na “Região 2”, tanto no período seco quanto chuvoso. Visivelmente, a “Região 1” apresenta características mais favoráveis ao desenvolvimento da pecuária extensiva, com solo mais profundos (< pedregosidade), relevo plano que facilita a mecanização, e em algumas áreas há uma elevação considerável do lençol freático, o que aumenta a disponibilidade hídrica local.

Os dados biofísicos orbitais (EVI, Precipitação, Evapotranspiração e *Blue Water*), a partir da avaliação de médias sazonais entre o período de 2001 a 2002, evidenciaram que há uma diferença estatística no comportamento biofísico das pastagens entre o período seco e chuvoso, sendo este último, o período sazonal que apresentou maior variabilidade nas áreas de pastagens da BHRV.

Quando esta comparação ocorre no sentido de distinguir as pastagens cultivadas das naturais, apesar dos valores biofísicos se distanciarem no período chuvoso, estes não alcançaram significância estatística, ou seja, nos períodos sazonais analisados as pastagens cultivadas e naturais apresentaram comportamentos similares, a partir das estimativas das imagens/produtos orbitais. Esperava-se, que valores de EVI e ET fossem superiores nas áreas de pastagens cultivadas para o período chuvoso, entretanto, os maiores valores foram encontrados nas pastagens naturais, mesmo não alcançando significância estatística. A única alternativa mais plausível para explicar tal fato nas

estimativas orbitais, é que as pastagens cultivadas geralmente são bem manejadas, sem a influência considerável de espécies arbóreas/arbustivas, enquanto nas pastagens naturais a presença destas espécies é constante, com características associativas de “pasto sujo”. Portanto, presume-se que nas estimativas orbitais, os valores estimados de EVI e ET estão sofrendo influencia da vegetação arbórea/arbustiva que ocorrem associados às pastagens naturais, frente à resolução espacial dos produtos orbitais.

Dentre as bandas espectrais analisadas, a do infravermelho-próximo (TM4) é a que menos contribui na separação das classes vegetação arbórea/arbustiva, pastagens cultivadas, e pastagens naturais. Por outro lado, percebe-se que a utilização das bandas do infravermelho-médio (TM5 e TM7), no período seco, é de extrema importância para distinguir a vegetação arbóreo/arbustiva das pastagens cultivadas e naturais. Em linhas gerais, as áreas de vegetação arbórea/arbustiva apresentaram maior absorção da energia eletromagnética, o que facilita a utilização de classificadores supervisionados na distinção deste tipo de cobertura e uso da terra, sem a necessidade eminentemente de classificadores orientados a objeto.

É possível perceber que há uma proximidade muito grande nas respostas das áreas de pastagens cultivadas com as pastagens naturais, tanto no período seco quanto no período chuvoso, o que dificulta e separação destas duas categorias de forrageiras nas imagens multiespectrais. Neste sentido, há necessidade evidente de incluir outros critérios na diferenciação destes dois grandes grupos de pastagens, além dos critérios espetrais.

O classificador supervisionado SVM apresentou melhor desempenho para separação das pastagens cultivadas das naturais, quando comparado aos classificadores tradicionais (MAXVER). Entretanto, o seu bom desempenho está condicionado a regiões restritas onde a variabilidade é menor, ou seja, quanto utilizado para a totalidade da bacia, mesmo adicionando outras abordagens, i. e. textura e forma, o classificador SVM não apresentou bons resultados, já que existe um grande número e padrões variados de pastagens, somado-se aos outros usos.

O mapeamento temático produzido da cobertura e uso da terra, na escala de 1:50.000 foi bem avaliado segundo as estatísticas dos índices de concordâncias adotados. Entretanto, é importante salientar que a avaliação não diz respeito ao desempenho do classificador, e sim ao produto temático, o qual passou por algumas etapas de edição matricial, tornado-se mais próximo da realidade de campo.

Durante o período de realização deste trabalho, percebeu-se que a BHRV é um grande laboratório de pesquisa sobre a caracterização das pastagens no Cerrado, portanto, há necessidade eminente de pesquisas futuras que abordem, de forma mais sistemática, o comportamento espectral das principais espécies de pastagens, associando o seu comportamento biofísico com análises microscópicas de suas principais estruturas, sobretudo foliares, no sentido de compreender melhor o balanço de energia existente entre planta e atmosfera.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro.** Embrapa Cerrados, 2003.
- ALAKIAN, A.; MARION, R.; BRIOTTET, X. Retrieval of microphysical and optical properties in aerosol plumes with hyperspectral imagery: L-APOM method. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 781–793, 2009.
- ALCÂNTARA, P. B. **Plantas forrageiras: gramíneas & leguminosas.** São Paulo: Nobel, 2009. 162p.
- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, C. A. D. Use of Enhanced Vegetation Index (EVI) in the analysis of vegetation dynamics of the Sooretama biological reservation, ES. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008.
- ANDREW, M. E.; USTIN, S. L. The role of environmental context in mapping invasive plants with hyperspectral image data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 4301–4317, 2008.
- ARAUJO, F. A. N.; FERNANDES, M. H. C. A chegada da cana-de-açúcar no Cerrado: breve histórico da ocupação inicial da Região Centro Oeste do Brasil. **Universitas Humanas**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2012.
- AURIA, L.; MORO, R. A. Support Vector Machines (SVM) as a Technique for Solvency Analysis. **German Institute for Economic Research, Berlin**, 18p., 2008.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Revista de Geografia Agrária**, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.
- BATLSTA, E. A.; COUTO, H. T. Z. Influencia de fatores físicos do solo sobre o desenvolvimento das espécies florestais mais importantes do Cerrado da Reserva Biológica de Moji-Guaçu, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, n. 1, p. 318, 1992.
- BEERI, O.; PHILLIPS, R.; HENDRICKSON, J.; FRANK, A. B.; KRONBERG, S. Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 216–225, 2007.

- BEGET, M. E.; BELLA, C. M. D. Flooding: The effect of water depth on the spectral response of grass canopies. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 285– 294, 2007.
- BÉGUÉS, A. Leaf Area Index, Intercepted Photosynthetically Active Radiation, and Spectral Vegetation Indices: A Sensitivity Analysis for Regular-Clumped Canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 46, p. 45-49, 1993.
- BITTAR, I. M. B. Modernização do cerrado brasileiro e desenvolvimento sustentável: revendo a história. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, 2011.
- BOELMAN, N. T., STIEGLITZ, M., GRIFFIN, K. L., & SHAVER, G. R. Inter-annual variability of NDVI in response to long-term warming and fertilization in wet sedge and tussock tundra. **Oecologia**, v. 143, n. 4, p. 588-597, 2005.
- BRANDÃO, A.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. Crescimento agrícola no período 1999–2004. **Explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil. Ipea. Texto para discussão**, n. 1062, p. 1, 2005.
- BRAUD, I.; DANTAS-ANTONINO, A. C.; VAUCLIN, M.; THONY, J. L.; RUELLE, P. A simple soil-plant-atmosphere transfer model (SiSPAT) development and field verification. **Journal of Hydrology**, v. 166, n. 3, p. 213-250, 1995.
- BROONER, W. G.; SIMONETT, D. S. Crop Discrimination with Color Infrared Photography: I A Study in Douglas County, Kansas. **Remote Sensing of Environment**, v. 2, p. 21-35, 1971.
- BROSSARD, M; BARCELLOS, A. O. Conversão do cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 153-168, 2005.
- BROWN, M. B.; FORSYTHE, A. B. Robust tests for the equality of variances. **Journal of the American Statistical Association**, v. 69, n. 346, p. 364-367, 1974.
- CAMARANO, A. A.; BELTRÃO, K. I. **Distribuição espacial da população brasileira: mudanças na segunda metade deste século**. Rio de Janeiro: IPEA, 2000.

CARLSON, T. N.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A. Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in and around San José, Costa Rica. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, p. 247–256, 1999.

CARREIRAS, J.; PEREIRA, J.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 283–298, 2006.

CASTILHO, D.; CHAVEIRO, E. F. Por uma análise territorial do Cerrado. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (Org.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Ed. Vieira, 2010.

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. N.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E.D. (coord.) **Chuvas no cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa, CPAC, 1994, p.13-23.

CASTRO, N.; HELFAND, S.; REZENDE, G. Expansão rodoviária e desenvolvimento agrícola dos cerrados. **Região e Espaço no Desenvolvimento Agrícola Brasileiro**, v. 1, p. 2, 2003.

CAVALCANTI, M. A.; LOPES, L. M.; CELESTINO, M. N. Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 167-186, 2008.

CEAMANOS, X.; WASKE, B.; BENEDIKTSSON, J. A.; CHANUSSOT, J.; FAUVEL, M.; SVEINSSON, J. R. A classifier ensemble based on fusion of support vector machines for classifying hyperspectral data. **International Journal of Image and Data Fusion**, v. 1, n. 4, p. 293-307, 2010.

CHAUL, N. F. Goiânia: a capital do sertão. **Revista UFG**, n. 6, p. 100-110, 2009.

CHAVEIRO, E. F.; BARREIRA, C. C. M. A. Cartografia de um pensamento de Cerrado. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (Org.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Ed. Vieira, 2010.

CHRISTENSEN, S.; GOUDRIAAN, J. Deriving Light Interception and Biomass from Spectral Reflectance Ratio. **Remote Sensing of Environment**, v. 43, p. 87-95, 1993.

- CLARK, M. L.; AIDE, T. M.; GRAU, H. R.; RINER, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2816–2832, 2010.
- CLEVERS, J. G. P. W. The use of imaging spectrometry for agricultural applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 54, p. 299–304, 1999.
- COHEN, J. Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. **Psychological bulletin**, v. 70, n. 4, p. 213, 1968.
- COHEN, W. B.; GOWARD, S. N. Landsat's role in ecological applications of remote sensing. **BioScience**, v. 54, n. 6, p. 535-545, June 2004.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 93-99, 2011.
- COOK, R. D. Influential observations in linear regression. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 365, p. 169-174, 1979.
- CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; PETERSON, D. L. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: testing the Kokaly and Clark methodologies. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, n. 3, p. 349-359, 2001.
- DEL'ARCO, J. O.; RIOS, A.; DAMBRÓS, L.; TARAPANOFF, I.; ASS, N. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Araguaia-Trecho Barra do Garças (MT)-Luis Alves (GO). **AHITAR/IBGE. Goiânia, Brazil**, 1999.
- DOMAÇ, A.; SÜZEN, M. L. Integration of environmental variables with satellite images in regional scale vegetation classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 7, p. 1329–1350, April 2006.
- DUARTE, L. M. G. Desenvolvimento sustentável: um olhar sobre os cerrados brasileiros. **Dilemas do cerrado: entre o ecologicamente (in) correto eo socialmente (in) justo. Rio de Janeiro: Garamond**, p. 11-22, 2002.
- DURO, D. C.; FRANKLIN, S. E.; DUBÉ, M. G. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the

classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 118, p. 259–272, 2012.

ELLIS, E. C.; WANG, H.; XIAO, H. S.; PENG, K.; LIU, X. P.; LI, S. C.; OUYANG, H.; CHENG, X.; LIN ZHANG YANG, L. Z. Measuring long-term ecological changes in densely populated landscapes using current and historical high resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 457-473, 2006.

EPIPHANIO, R. D. V. **Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimativa da área de soja no estado do Mato Grosso.** (Dissertação de Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos - SP. [S.l.]. 2007.

Euclides, V. P. B.; Macedo, M. C. M.; Oliveira, M. P. Produção de bovinos em pastagens de Brachiaria spp. consorciadas com Calopogonium mucunoides nos cerrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 2, p. 238-245, 1998.

FAUVEL, M.; J.CHANUSSOT; J.A.BENEDIKTSSON. A spatial-spectralkernel-based approach for the classification of remote-sensingimages. **Pattern Recognition**, v. 45, p. 381–392, 2012.

FEITOSA, R. Q.; COSTA, G. A.; MOTA, G. L.; PAKZAD, K.; COSTA, M. C. Cascade multitemporal classification based on fuzzy Markov chains. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, p. 159170, 2009.

FERREIRA, A. A.; BASTOS, R. P.; FERREIRA, M. E. Estado-da-arte sobre a biodiversidade de vertebrados em Goiás. In: FERREIRA, L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado.** Editora UFG, 2008.

FERREIRA, I. M. Paisagens do Cerrado: um estudo do Subsistema de Veredas. **Universo do Cerrado. Goiânia: UCG**, v. 1, p. 79-164, 2008.

FERREIRA, I. M. Paisagens do Cerrado: um estudo do Subsistema de Veredas. **Universo do Cerrado. Goiânia: UCG**, v. 1, p. 79-164, 2008.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado: uma análise a partir de

dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 2, 2011.

FOLEY, S.; RIVARD, B.; SANCHEZ-AZOFÉIFA, G. A.; CALVO, J. Foliar spectral properties following leaf clipping and implications for handling techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, p. 265–275, 2006.

FORMAGGIO, A. R.; MOURA, V.; EPIPHANIO, J. C. N.; SILVA, H. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. **Dados TM/Landsat na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão, no estado de São Paulo**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 93-100.

FRANCO, J. B. S. O papel da EMBRAPA nas transformações do cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 2, n. 3, 2001.

GAMA, F. F.; SANTOS, J. R. D.; FREITAS, C. D. C.; MURA, J. C. Aplicação de dados polarimétricos de radar aerotransportado (banda P) para estimativa de parâmetros estruturais de florestas tropicais. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, 2005, p. 4413-4420.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Conservation policies and control of habitat fragmentation in the Brazilian Cerrado biome. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 3, p. 99-118, 2013.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectral without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609–620, 2000.

GONTIA, N. K.; TIWARI, K. N. Estimation of Crop Coefficient and Evapotranspiration of Wheat (*Triticum aestivum*) in an Irrigation Command Using Remote Sensing and GIS. **Water Resour Manage**, v. 24, p. 1399–1414, 2010.

GUIMARÃES, E. N.; LEME, H. J. C. A região metropolitana de Brasília no contexto. **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Núcleo de Estudos de População, UNICAMP, p. 75-107, 2001.

HAMADA, Y.; STOW, D. A.; COULTER, L. L.; JAFOLLA, J. C.; HENDRICKS, L. W. Detecting Tamarisk species (*Tamarix* spp.) in riparian habitats of Southern

California using high spatial resolution hyperspectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 237–248, 2007.

HELDEN, U.; STERN, M. Evaluation of Landsat Imagery and Digital Data for Monitoring Desertification Indicators in Tunisia. Proc. 14th. Int. Symp. on Rem. Sens. of Environ, p. 1601-1611, 1980.

HILL, M. J.; DONALD, G. E.; HYDER, M. W.; SMITH, R. C. Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 528– 545, 2004.

HILL, M. J. et al. Pasture Land Cover in Eastern Australia from NOAA-AVHRR NDVI and Classified Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 67, n. 1, p. 32-50, 1999.

HILL, M. J.; VICKERY, P. J.; FURNIVAL, E. P.; DONALD, G. E. Mapping Pastures in Eastern Australia with NOAA-AVHRR NDVI and Landsat TM Data. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, p. 275-277, 1997.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, 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.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 1, p. 37-53, 1985.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censos agropecuários (1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006)**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 06 jan. 2013.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo demográfico (2010)**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapeamento das unidades territoriais (2007)**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_int.shtml?c=3>.

Acesso em: 10 jan. 2013.

INOCÊNCIO, M. E. As tramas do poder na territorialização do capital no Cerrado: O PRODECER. Goiânia, 2010. 272 p. 2010. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

ITANO, S.; TOMIMATSU, H. Reflectance spectra for monitoring green herbage mass in Zoysia-dominated pastures. **Grassland Science**, v. 57, p. 9–17, 2011.

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

JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

JEPSON, W.; BRANNSTROM, C.; FILIPPI, A. Access regimes and regional land change in the Brazilian Cerrado, 1972–2002. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 100, n. 1, p. 87-111, 2010.

JESEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. [S.l.]: Jonh R. Jensen: tradução José Carlos Neves Epiphanio (Coord.) - São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

KAWAMURA, K.; WATANABE, N.; SAKANOUE, S.; INOUE, Y. Estimating forage biomass and quality in a mixed sown pasture based on partial least squares regression with waveband selection. **Grassland Science**, v. 54, p. 131–145, 2008.

KLECKA, W. R. (Ed.). **Discriminant analysis**. Sage, 1980.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. **The Cerrados of Brasil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**, p. 69-90, 2002.

- KNORN, J.; RABE, A.; RADELOFF, V. C.; KUEMMERLE, T.; KOZAK, J.; HOSTERT, P. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 957–964, 2009.
- KUMAR, A. S.; KEERTHI, V.; MANJUNATH, A. S.; WERFF, H. V. D.; MEER, F. V. D. Hyperspectral image classification by a variable interval spectral average and spectral curve matching combined algorithm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, p. 261–269, 2010.
- KUMAR, R.; SILVA, L. F. Separability of Agricultural Cover Types by Remote Sensing in the Visible and Infrared Wavelength Regions. **IEEE Transactions On Geoscience Electronics**, v. GE-15, n. 1, p. 42-49, January 1977.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. T. C.; STOCKER, E.; NAKAMURA, K. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p. 1965-1982, 2000.
- LATHUILLIÈRE, M. J.; JOHNSON, M. S.; DONNER, S. D. Water use by terrestrial ecosystems: temporal variability in rainforest and agricultural contributions to evapotranspiration in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 2, p. 25-32, 2012.
- LINDEN, S. V. D.; HOSTERT, P. The influence of urban structures on impervious surface maps from airborne hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2298–2305, 2009.
- LIU, X. Several different remote sensing image classification technology. **Journal of Sustainable Development**, v. 4, n. 5, p. 167-173, October 2011.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Impact of agriculture and livestock production on tropical soils in Latin America. **Global land use change: A perspective from the Colombian Encounter**. CSIC. Madrid, España, p. 405-418, 1995.
- LU, D.; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 456–469, 2003.

- LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 5, p. 823–870, March 2007.
- LUCAS, R.; ROWLANDS, A.; BROWN, A.; KEYWORTH, S.; BUNTING, P. Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 62, p. 165–185, 2007.
- LUNETTA, R. S.; KNIGHT, J. F.; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L. D. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, p. 142-154, Nov 2006.
- LUZ, B. R. D.; CROWLEY, J. K. Identification of plant species by using high spatial and spectral resolution thermal infrared (8.0–13.5 micrometro) imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 404–413, 2010.
- LUZ, B. R. D.; CROWLEY, J. K. Spectral reflectance and emissivity features of broad leaf plants: Prospects for remote sensing in the thermal infrared (8.0–14.0 micrometro). **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 393–405, 2007.
- MARTINEZ, L.; FERREIRA, A. **Análise de Dados com SPSS**. Lisboa: Escolar Editora, 2007. 124p.
- MARTINS JR, O. P.; CHAVES, F. Uso de instrumentos econômicos para a conservação da biodiversidade em Goiás: reserva legal, servidão florestal e bolsa de reserva florestal. In: FERREIRA, L. G. (Org.) **Encruzilhada ambiental**. Goiânia: Ed. Da UFG, 2008. p. 165-175.
- MAZZETTO, C. E. **Os cerrados e a sustentabilidade: territorialidades em tensão**. 2006. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado), 2006. UFF, Niterói.
- MIGUEL-AYANZ, J. S.; BIGING, G. S. Comparison of Single-Stage and Multi-Stage Classification Approaches for Cover Type Mapping with TM and SPOT Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 92-104, 1997.

MILTON, E. J.; ROLLIN, E. M. Estimating the irradiance spectrum from measurements in a limited number of spectral bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 348 – 355, 2006.

MITTERMEIER, R. A., DA FONSECA, G. A. B., RYLANDS, A. B. & MITTERMEIER, C. G. 1997. Brazil. In R. A. Mittermeier, P. Robles Gil & C. G. Mittermeier. (Eds.), Megadiversity: earth's biologically wealthiest nations. pp. 39-49. México: CEMEX - Agrupación Sierra Madre.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Brief Introduction to MODIS Evapotranspiration Data Set (MOD16). **Water Resources Research**, v. 45, p. 0-3, 2005.

MUÑOZ-ROBLES, C.; FRAZIER, P.; TIGHE, M.; REID, N.; BRIGGS, S. V.; WILSON, B. Assessing ground cover at patch and hillslope scale in semi-arid woody vegetation and pasture using fused Quickbird data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 14, p. 94–102, 2012.

MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K. Integrating imaging spectroscopy and neural networks to map grass quality in the Kruger National Park, South Africa. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 104– 115, 2004.

MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K.; WIEREN, S. V. Discriminating tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 263– 272, 2003.

NASCIMENTO, R. F. F.; ALCÂNTARA, E. H. D.; KAMPEL, M.; STECH, J. L.; NOVO, E.; FONSECA, L. M. G. O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD/CBERS-2. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., Natal. Anais. São José dos Campos: INPE**, p. 5903-5908, 2009.

NEPSTAD, D.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBEBVRE, P.; PEDLWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R.. Land use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Ciência e Cultura**, v. 49, p. 73 – 86, Jul 1997.

- NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F. R.; LEONIDAS, F. C.; SOARES, J. V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 3, p. 314–327, 2007.
- NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J. P.; GALVÃO, L. S.; SOARES, J. V. Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 1569–1583, 2008.
- OLIOSO, A.; CHAUKI, H.; COURAUXT, D.; WIGNERON, J. P. Estimation of evapotranspiration and photosynthesis by assimilation of remote sensing data into SVAT models. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 3, p. 341-356, 1999.
- OLIVEIRA, V. D.; FERREIRA, M. A. R. Maximum likelihood and restricted maximum likelihood estimation for a class of Gaussian Markov random fields. **Metrika**, v. 74, p. 167–183, 2011.
- PAPA, J. P. **Classificação Supervisionada de Padrões utilizando Florestas de Caminhos Ótimos.** (Tese de Doutorado). Universidade de Campinas - UNICAMP. Campinas/SP. [S.l.]. 2008.
- PAUL, C. K.; MASCARENHAS, A. C. Remote Sensing in Development. **Science**, v. 214, n. 9, p. 139-145, 1981.
- PEDROSO, I. L. P. B.; SILVA, A.. O papel das políticas públicas no desenvolvimento agroindustrial de Rio Verde-GO. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 15, p. 20-27, 2005.
- PEREIRA, A. C.; GAMA, V. F. Anthropization on the Cerrado biome in the Brazilian Uruçuí-Una Ecological Station estimated from orbital images. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 969-976, 2010.
- PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- PIERCE, L. E.; BERGEN, K. M.; DOBSON, M. C.; ULABY, F. T. Multitemporal Land-Cover Classification Using SIR-C/X-SAR Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, p. 20–33, 1998.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. **Sociedade e Cultura**, v. 3, n. 1, 2007.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do cerrado. **Sociedade e cultura**, v. 3, n. 1, p. 111-131, 2007.

PIRES, M. O. **Desenvolvimento e sustentabilidade: um estudo sobre o programa de cooperacao Nipo-Brasileira para o desenvolvimento dos cerrados (PRODECER)**. UnB, 1996.

REDO, D. J.; MILLINGTON, A. C. A hybrid approach to mapping land-use modification and land-cover transition from MODIS time-series data: A case study from the Bolivian seasonal tropics. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 353–372, 2011.

REZENDE, G. C. **Ocupação agrícola e estrutura agrária no cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e da tecnologia**. Ipea, 2002.

RICHARDS, J. A. Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using the Principal Components Transformation. **Remote Sensing of Environment**, v. 16, p. 35-46, 1984.

ROBICHAUD, P. R.; LEWIS, S. A.; LAES, D. Y.; HUDAQ, A. T.; KOKALY, R. F.; ZAMUDIO, J. A. Postfire soil burn severity mapping with hyperspectral image unmixing. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 467–480, 2007.

ROCHA, G. F.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2012.

RODRIGUES, W.; VASCONCELOS, S. J.; BARBIERO, A. K. Análise da efetividade socioeconômica do PRODECER III no município de Pedro Afonso, Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 301-306, 2009.

SAATCHI, S. S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S. Mapping Amazon Deforestation and Land Use in tlainforest by Using SItl-C Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 191-202, 1997.

SALIM, C. A. As políticas econômica e tecnológica para o desenvolvimento agrário das áreas de cerrados no Brasil: avaliação e perspectivas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 297-342, 1986.

SANDMEIER, S.; MÜLLER, C.; HOSGOOD, B.; ANDREOLI, G. Physical Mechanisms in Hyperspectral BRDF Data of Grass and Watercress. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, p. 222-233, 1998.

SANO, E. E. ; ROSA, R. ; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANTOS, C. C. M. **Oeste da Bahia: modernização com (des)articulação econômica e social de uma região**. Salvador, 2007. 239 p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

SANTOS, M. A. D.; BARBIERI, A. F.; GUEDES, G. R.; MACHADO, C. J.; CARVALHO, J. A. M. D. Dinâmica demográfica e uso da terra no cerrado brasileiro: reflexões a partir da experiência do Padap. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 2, p. 319-331, 2012.

SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F.; CARVALHO, J. A. M.; MACHADO, C. J. **O cerrado brasileiro: notas para estudo**. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil. Território e sociedade no início do século XXI**. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SCARIOT, A.; SEVILHA, A. C. Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais deciduais no Cerrado. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**, p. 123-139, 2005.

SCHUERGER, A. C.; CAPELLE, G. A.; DI BENEDETTO, J. A.; MAO, C.; THAI, C. N.; EVANS, M. D.; STRYJEWSKI, E. C. Comparison of two hyperspectral imaging and two laser-induced fluorescence instruments for the detection of zinc stress and chlorophyll concentration in bahia grass (*Paspalum notatum Flugge.*). **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 572–588, 2003.

- SCHUT, A. G. T.; KETELAARS, J. J. M. H.; MEULEMAN, J., KORNET, J. G.; LOKHORST, C. Novel Imaging Spectroscopy for Grass Sward Characterization. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 2, p. 131-141, 2002.
- SCHUT, A. G. T.; LOKHORST, C.; HENDRIKS, M. M. W. B.; KORNET, J. G.; KASPER, G. Potential of imaging spectroscopy as tool for pasture management. **Grass and Forage Science**, v. 60, p. 34-45, 2005.
- SCHUT, A. G. T.; KETELAARS, J. J. M. H. Imaging spectroscopy for early detection of nitrogen deficiency in grass swards. **Early detection of N deficiency in grass swards**, v. 51, n. 3, p. 297-317, 2003.
- SEYLER, F.; CHAPLOT, V.; MULLER, F.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; BALLESTER, V.; CERRI, C. C. C. Pasture mapping by classification of Landsat TM images. Analysis of the spectral behaviour of the pasture class in a real medium-scale environment: the case of the Piracicaba Catchment (12 400 km², Brazil). **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 4985–5004, 2002.
- SHIKI, S.; SILVA, J. F. G.; ORTEGA, A. C. **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação do Impacto Ambiental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997.
- SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**, v. 2, n. 2, p. 24-36, 2001.
- SILVA, W. F.; RUDORFF, B. F.; FORMAGGIO, A. R.; PARADELLA, W. R.; MURA, J. C. Discrimination of agricultural crops in a tropical semi-arid region of Brazil based on L-band polarimetric airborne SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, p. 458-463, 2009.
- SIMPSON, J.; ADLER, R.; NORTH, G. A proposed tropical rainfall measuring mission(TRMM) satellite. **American Meteorological Society, Bulletin**, v. 69, n. 3, p. 278-295, 1988.
- SMITH, J.; WINOGRAD, M.; GALLOPIN, G.; PACHICO, D. Dynamics of the agricultural frontier in the Amazon and savannas of Brazil: analyzing the impact of

policy and technology. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 3, n. 2, p. 31-46, 1998.

SOARES, L. D. B.; MUNIZ, L. C.; FIGUEIREDO, R. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MACHADO, P. D. A. Balanço energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no cerrado. **Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 26, 2007.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. L. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, 2007.

STARKS, P. J.; ZHAO, D.; PHILLIPS, W. A.; COLEMAN, S. W. Herbage mass, nutritive value and canopy spectral reflectance of bermudagrass pastures. **Grass and Forage Science**, v. 61, p. 101–111, 2006.

TODD, S. W.; HOFFER, R. M. Responses of Spectral Indices to Variations in Vegetation Cover and Soil Background. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 9, p. 915-921, September 1998.

TURNER, D. P.; RITTS, W. D.; COHEN, W. B.; GOWER, S. T.; RUNNING, S. W.; ZHAO, M.; AHL, D. E. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, n. 3, p. 282-292, 2006.

VAGEN, T. Remote sensing of complex land use change trajectories – a case study from the highlands of Madagascar. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 219-228, Jul 2006.

VANNIEL, T. G.; MCVICAR, T. R. Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: a case study in south-eastern Australia. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 45, p. 91–108, 2004.

VIDAL, R. S. Land-use mapping in Chile. **Photogrammetria**, v. 22, p. 153-159, 1967.

VIEIRA, P. A. **Dinâmica de Ocupação, vulnerabilidades e cenários para a bacia hidrográfica do rio Vermelho**. Goiás, 2013. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M., MARCHÃO, R. L.; GUIMARAES-JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

WANG, J.; LI, Y.; CHEN, Y.; HE, T.; LV, C. Hyperspectral Degraded Soil Line Index and soil degradation Mapping in Agriculture-pasture Mixed Area in Northern China. **International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications**, 2008.

WANG, M.; HOWARTH, P. J. Modeling errors in remote sensing image classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 45, p. 261-271, 1993.

WARD, D. E.; SUSOTT, R. A.; KAUFFMAN, J. B.; BABBITT, R. E.; CUMMINGS, D. L.; DIAS, B.; SETZER, A. W. Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 97, n. 13, p. 14601-14619, 1992.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the US Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 3, p. 290-310, 2007.

WASKE, B.; BRAUN, M. Classifier ensembles for land cover mapping using multitemporal SAR imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 64, p. 450-457, 2009.

WESSELS, K. J.; FRIES, R. S.; DEMPEWOLF, J.; ANDERSON, L. O.; HANSEN, A. J.; POWELL, S. L.; MORAN, E. F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 67–83, 2004.

YANG, F.; ICHII, K.; WHITE, M. A.; HASHIMOTO, H.; MICHAELIS, A. R.; VOTAVA, P.; NEMANI, R. R. Developing a continental-scale measure of gross primary production by combining MODIS and AmeriFlux data through Support Vector Machine approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 109–122, 2007.

YOKOYA, N.; YAIRI, T.; IWASAKI, A. Coupled non-negative matrix factorization (CNMF) for hyperspectral and multispectral data fusion: application to pasture classification. **Geoscience and Remote Sensing Symposium.**, p. 1779-1782, 2011.

ZHAO, D.; STARKS, P. J.; BROWN, M. A.; PHILLIPS, W. A.; COLEMAN, S. W. Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance. **Grassland Science**, v. 53, p. 39-49, 2007.