

ANÁLISE DESCRITIVA DOS ASPECTOS BIOFÍSICOS ASSOCIADOS AOS PADRÕES DE COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, BIOMA CERRADO

PABLO SANTANA SANTOS¹, LAERTE GUIMARÃES FERREIRA²

¹Universidade Federal da Bahia

Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia, Brasil, CEP: 40.170-020

pablo.srgeo@gmail.com

²Universidade Federal de Goiás

Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, Caixa Postal 131, CEP: 74001-970

laerte@iesa.ufg.br

RESUMO

O presente trabalho, ao utilizar a bacia hidrográfica do rio Vermelho como unidade experimental do bioma Cerrado, teve como objetivo principal realizar uma análise ampla 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. Algumas características edáficas, à exemplo de solos e relevo, foram fatores determinantes na organização espacial da paisagem. Fatores climáticos, à exemplo da sazonalidade, tem uma influência direta na biomassa das principais formações vegetais, principalmente àquelas que apresentam sistemas radiculares superficiais (ex. pastagens cultivadas), com reduções nos valores dos índices de vegetação de até 50 % durante o período de seca, a partir da observação e correlação comprovada entre os valores de P e EVI. 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, i.e. "Região 1" e "Região 2", onde predominam a ocupação antrópica e a vegetação natural remanescente, respectivamente.

Palavras chave: Dinâmica da Paisagem, Sensoriamento Remoto, Parâmetros Biofísicos.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-28. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

DESCRIPTIVE ANALYSIS OF BIOPHYSICAL ASPECTS ASSOCIATED WITH COVERAGE PATTERNS AND LAND USE IN THE RIO VERMELHO WATERSHED, CERRADO

ABSTRACT

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 and 2011 period, pursued a detailed analysis of the biophysical responses, in face of the historical processes that determined and shaped the landscape transformations. Some soil characteristics, for example soil and relief, were determining factors in the spatial organization of the landscape. Climatic factors, such as seasonality, have a direct influence on biomass levels of key vegetation formations, particularly those with shallow root systems (e.g. cultivated pastures), for which reductions in vegetation index values, as high as 50 %, can be observed during the dry season, from observation and proven correlation between the values of P and EVI. In fact, natural vegetation areas, comparatively to areas dominated by cultivated pastures, show very distinct and significant biophysical behaviour ($p < 0.05$). Likewise, two major landscapes could be identified, i.e. "Region 1" and "Region 2", where converted and remnant vegetation areas predominate, respectively.

Keywords: Landscape Dynamics, Remote Sensing, Biophysical Parameters.

1. Introdução

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 início no século XVII com a chegada dos colonizadores portugueses em regiões interioranas (Santos *et al.*, 2010), e somente na década de 1940 passou a ocupar regiões centrais do bioma (Klink e Moreira, 2002). Com a construção 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 (Castro *et al.*, 2003).

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 (Salim, 1986); e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro do Desenvolvimento dos Cerrados – PRODECER (Pires, 1996), o qual representou o maior investimento público associado a capital privado (Inocêncio, 2010), considerado à época um marco da cooperação entre Brasil e Japão (Rodrigues *et al.*, 2009). Tais programas se configuraram como importantes iniciativas políticas para o Cerrado ostentar os títulos de umas das principais fronteiras agrícolas do país, e uma das últimas existentes na América do Sul (López-Hernández, 1995).

Associado a este processo de ocupação, destacam-se dois principais impactos: ambiental e socioeconômico (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

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

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 cobertura e uso da terra (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), onde as imagens/produtos multitemporais tem sido uma alternativa rápida e viável, senão única, para a compreensão de processos que ocorreram nesses ambientes (Jepson, 2005), frente aos registros históricos e a possibilidade de visão sinótica. 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). Diversos índices espectrais, baseados na interação da energia eletromagnética com a superfície terrestre (Jesen, 2009), são utilizados para o entendimento das características funcionais/estruturais da vegetação (Hill e Donald, 1997), além de inferirem a contribuição/comportamento dos solos na resposta espectral da vegetação (Huete *et al.*, 1985), bem como são utilizados na identificação de alteração de ambientes naturais em antrópicos em escalas locais e globais (Paruelo *et al.*, 2004).

Neste sentido, o presente trabalho, utilizando-se da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) como unidade de planejamento experimental do bioma Cerrado, busca entender o comportamento do sistema biofísico em resposta à dinâmica de cobertura e uso da terra e transformações ocorridas nos ambientes naturais entre o período de 2001 a 2001. Para tal, será necessário a caracterização da cobertura e uso da terra no contexto histórico de ocupação, a avaliação de como as características edáficas locais (Relevo e Solo) influenciaram na organização espacial das propriedades rurais, bem como 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.

A pesquisa está fundamentada em duas hipóteses principais: 1^a- existe uma relação espacial entre a paisagem (i.e. organização fundiária) e os fatores edafoclimáticos locais (estruturação geomorfológica e clima); 2^a- a configuração da paisagem, proveniente do processo histórico de ocupação, condicionou um padrão espacial nas estimativas biofísicas locais.

2. Aspectos metodológicos

2.1 Características da área de estudo

A BHRV está geograficamente localizada nas coordenadas 51° 27' 56"W / 14° 54' 45"S e 49° 59' 27"W / 16° 19' 05"S, situada na região centro-oeste do Estado de Goiás, Brasil (figura 1). Sua extensão territorial é de aproximadamente 10.824 km², sendo que seus limites externos fazem intersessão com os municípios de Aruanã, Britânia, Matrinchã, Santa Fé de Goiás, Jussara,

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

Itapirapuã, Novo Brasil, Fazenda Nova, Buriti de Goiás, Faina e Goiás. Encontra-se inserida nos domínios do bioma Cerrado, onde o processo de ocupação foi iniciado a partir do século XVIII com a “corrida do ouro” (Cavalcanti *et al.*, 2008). Atualmente, mais de 57 % da cobertura e uso da terra está representado sob forma de pastagens cultivadas e naturais (Vieira, 2013), conseqüentemente, tem na pecuária a principal atividade econômica. A região apresenta uma grande diversidade de ambientes, fato que aqui é tratada como uma área experimental do bioma Cerrado para a realização desta pesquisa.

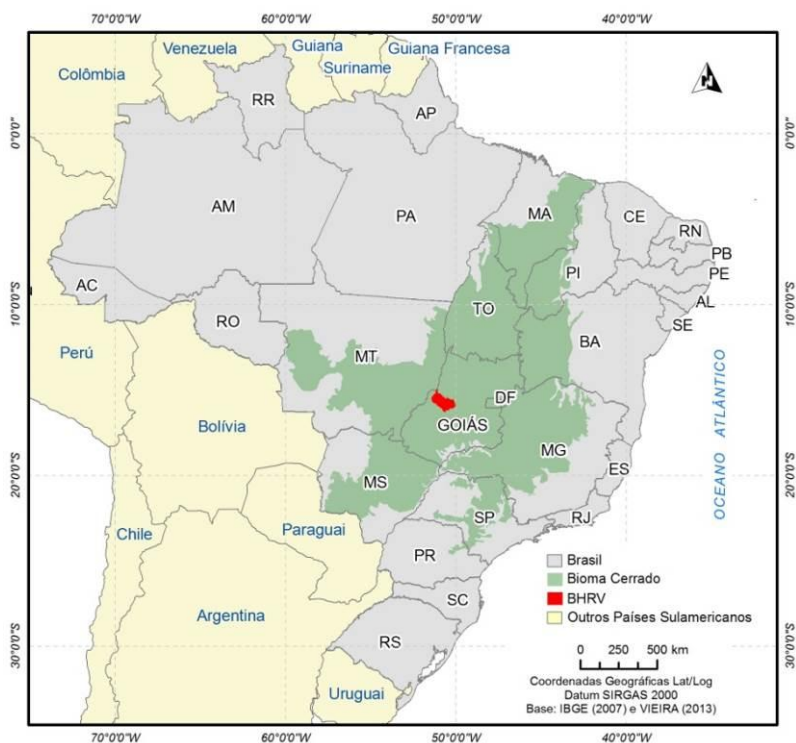


Figura 1. Localização da área de estudo, em relação ao Estado de Goiás e bioma Cerrado.

2.2 Materiais e métodos

A pesquisa está centrada na análise espaço-temporal de um conjunto de variáveis biofísicas obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto orbital, especificamente, precipitação, evapotranspiração, *blue water*, índice de vegetação (EVI) e produtividade primária líquida, obtidos com frequência mensal à exceção dos dados de produtividade primária líquida, anuais, entre o período de 2001 a 2011, além de dados de solos, relevo e mapas de cobertura e uso da terra obtidos, a partir da interpretação visual de imagens TM/Landsat-5, para os anos de 1987, 2002 e 2008, realizada por Vieira (2013) (figura 2). Com o objetivo de caracterizar os usos da terra na BHRV foram realizadas duas campanhas de campo (1ª de 04 a 05/04/2012, e 2ª de 25 a 30/06/2013). 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 de cobertura e uso da terra (i.e. organização fundiária, principais usos) em relação às variáveis edáficas

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

(solos e relevo), são 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).

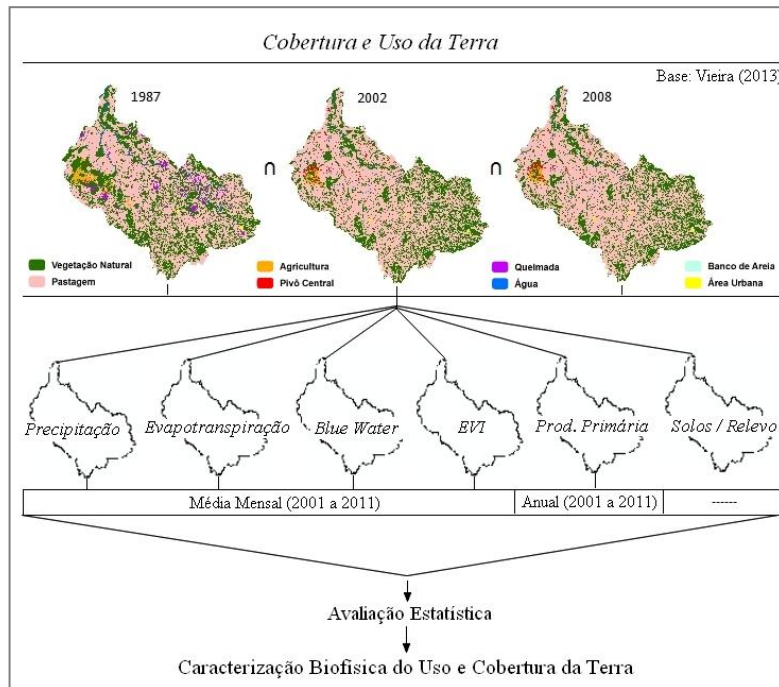


Figura 2. Organograma da relação entre cobertura e uso da terra e as variáveis biofísicas analisadas.

Fonte: Adaptado de Vieira (2013).

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa são 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). Para auxiliar na caracterização da bacia hidrográfica de forma lógica e combinada, os dados do projeto *TRMM* foram adquiridos sob a forma do produto 3B31, que representa acumulados mensais (Collischonn *et al.*, 2007), selecionados para o período de 2001 a 2011.

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

Em função da necessidade de se observar os efeitos da sazonalidade do clima sobre a cobertura e uso da terra, os dados de precipitação são integrados e analisados em dois períodos distintos, seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril), conforme equação abaixo:

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

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

Quanto as 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 que permite coerência na comparação das variáveis, será o uso da média mensal entre os meses correspondentes do período de 2001 a 2011.

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

Assim como para a precipitação, os dados de evapotranspiração, obtidos para o intervalo entre 2001 a 2011, são analisados em relação às estações secas (maio a setembro) e chuvosas (outubro a abril), a partir da integração mensal correspondente entre os meses que configuram estes períodos sazonais.

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

A estimativa da quantidade de água disponível no ambiente, i.e. a diferença entre precipitação e evapotranspiração, comumente designado “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 períodos do ano. Neste estudo, tais estimativas foram obtidas pela diferença média (2001 a 2011), mês a mês, entre dados TRMM e MOD16A2, com vistas à geração de um balanço hídrico simplificado, i.e. sem considerar características edáficas, à exemplo da capacidade de escoamento e infiltração dos solos.

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

Para estabelecer uma relação entre fatores climáticos (i.e. precipitação) e a variação de biomassa, conforme os principais usos da terra, optou-se por utilizar o índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*), disponibilizado através do produto MOD13Q1 à resolução espacial de 250 metros. A escolha do índice justifica-se devido a sua menor susceptibilidade à fatores externos, em particular variações no substrato e contaminações atmosféricas (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).

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

A produtividade primária estima a quantidade de carbono imobilizado pela vegetação (kgC/m²), correspondendo ao potencial de crescimento de uma dada fito-fisionomia.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

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). Todas estas variáveis biofísicas, obtidas já re-projetadas e calibradas em suas respectivas unidades junto ao portal do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás (LAPIG / IESA / UFG – www.lapig.iesa.ufg.br) foram testadas via Teste de Pettitt, também conhecido como teste da homogeneidade (Pettitt, 1979), com vistas à avaliar a recorrência de padrões e valores entre todos os anos considerados (i.e. 2001 a 2011). As variáveis supracitadas também foram submetidas à estatística “t” (Martinez e Ferreira, 2007), a partir do sorteio de 60 amostras aleatórias (30/classe ou ambiente), com o 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).

3. Resultados e discussão

3.1 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 3). Para caracterizar melhor os usos da terra previamente interpretados por Vieira (2013), foram realizadas 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 a vegetação natural típica do bioma Cerrado (Cerradão, Campos Cerrado), com espécies arbórea/arbustiva (figura 4a); As áreas de “Pastagens” são representadas por espécies herbáceas, em sua maioria exóticas (figura 4b, 4c, 4f), utilizadas na pecuária extensiva, e são representadas principalmente pelas espécies: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*. 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 Dourada (figura 4g). 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 são mais resistentes às interferências climáticas, com menores reduções de biomassa durante os períodos de estiagem.

A “Agricultura” é representada por áreas regulares utilizadas para o plantio de lavouras temporárias, em sua maioria destinadas a alimentação animal (milho, sorgo) no período de escassez de alimento, 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 4d), e para a produção animal, à exemplo do plantio irrigado de sorgo (figura 4e). Em áreas pontuais, observa-se a ocorrência de “Queimadas”, naturais e antropogênicas (com vistas ao manejo de pastagens), principalmente nos meses de agosto e setembro, e também algumas áreas de reflorestamento com Eucalipto (figura 4h). Incluem “Água”, representada por rios, riachos, lagos e reservatórios artificiais, com destaque para o rio Vermelho e Lago do Tigre. Ocorrem também alguns “Bancos de Areia”, consistindo de formações de neossolos

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

quartzarênicos, de baixa fertilidade natural, distribuídos espacialmente em faixas contínuas, 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. Dos 11 municípios que fazem interseção, apenas a sede do município de Faina não está localizada no interior da BHRV.

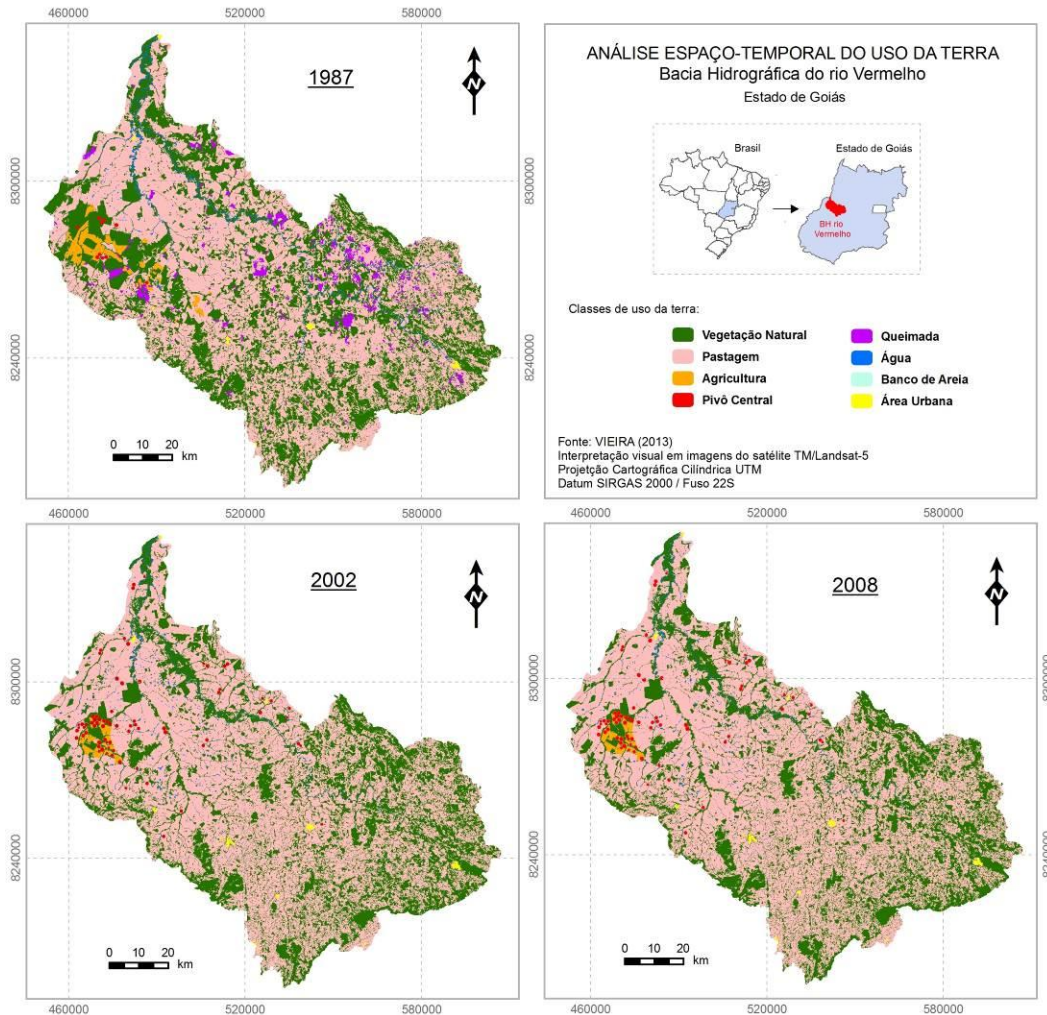


Figura 3. Distribuição da cobertura e uso da terra, entre os períodos de 1987, 2002 e 2008.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

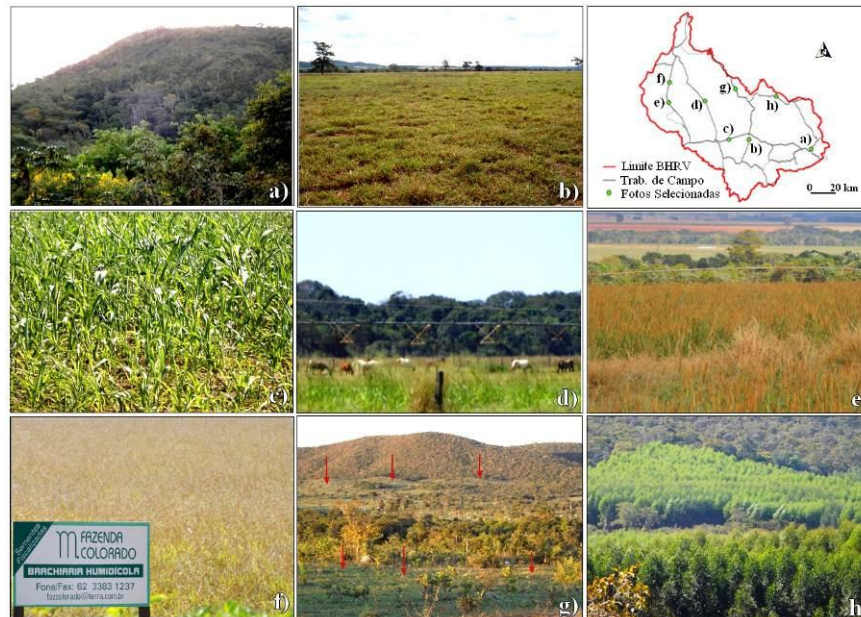


Figura 4. a) vegetação natural do Cerrado, b) pastagem cultivada, c) pastagem cultivada irrigada, d) pivô central de gramas ornamentais, e) pivô central de sorgo, f) pastagem cultivada para a produção de sementes, g) pastagem natural próxima a Serra Dourada, h) reflorestamento de Eucalipto.

No que diz respeito à dinâmica, nos 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. 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 5). 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, ocorreu em função da conversão de algumas áreas agrícolas em pastagens. A partir de 1987, foram implementados aproximadamente 50 sistemas irrigados em pivô central (i.e. plantios de sorgo/milho para produção animal, e espécies de gramas para fins ornamentais), em sua maioria, sobre as áreas de pastagens. Entre o período de 2002 a 2008 não houve mudanças significativas na cobertura e uso da terra, e por meio das campanhas de campo realizadas percebe-se que esta tendência de “estabilidade” permanece até os dias atuais. As formações de cobertura e uso da terra se estabeleceram em diferentes classes de solos (figura 6), 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 Vermelho-Amarelo (9,18 %), Latossolo Vermelho (8,28 %), Gleissolo (4,27 %), Nesossolo Quartizarenico (1,69 %), Argissolo Vermelho-Escuro (0,92 %), Latossolo Roxo (0,91 %) e Plintossolo (0,54 %).

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

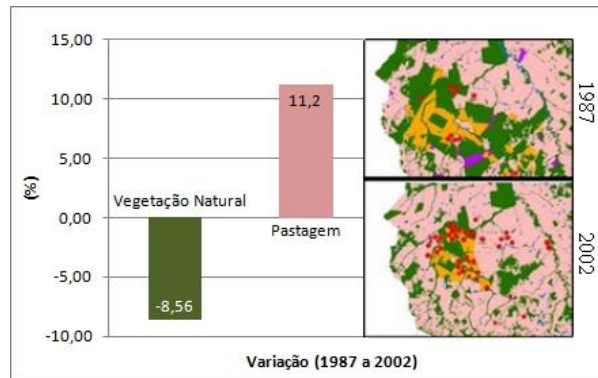


Figura 5. Relação entre pastagens e vegetação natural (1987 a 2002), oeste da bacia.

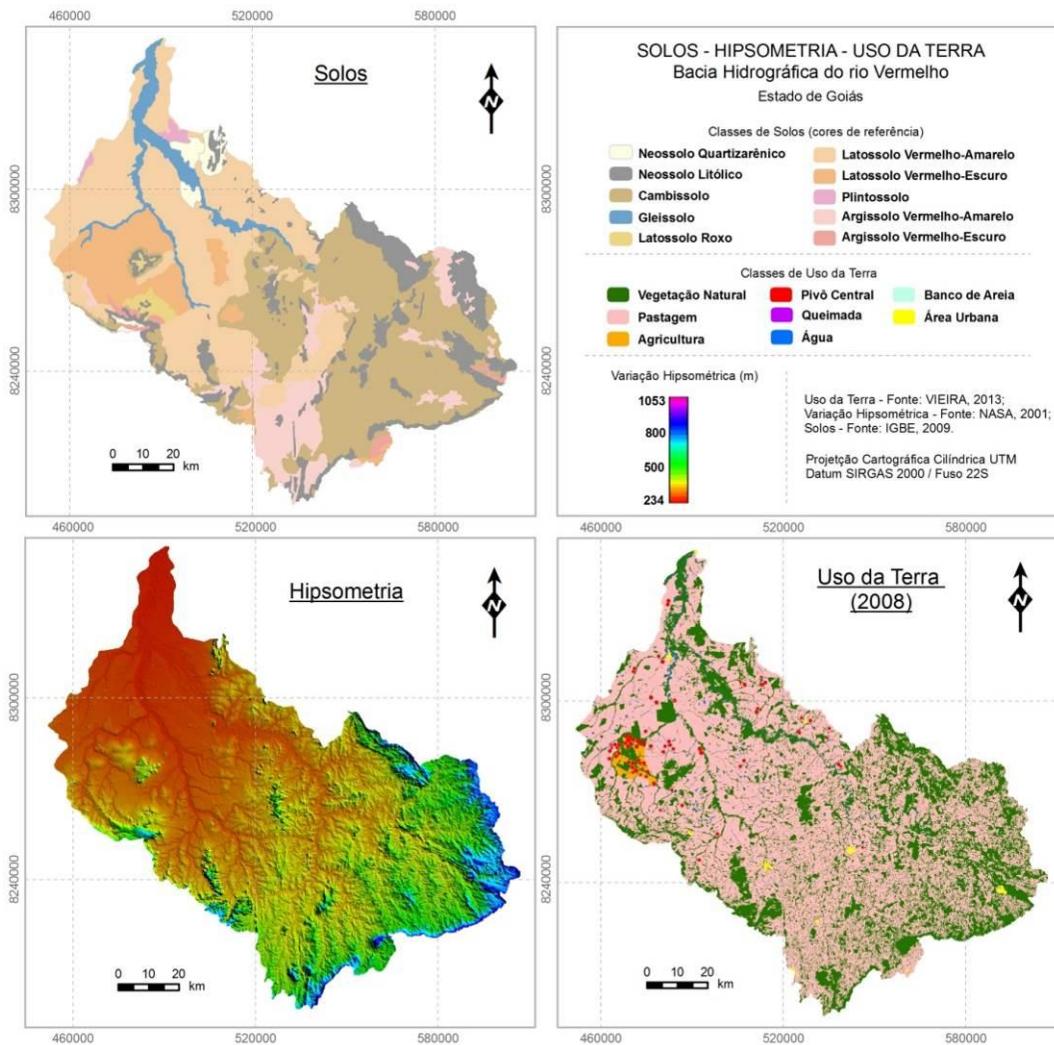


Figura 6. Distribuição da cobertura e uso da terra (2008), com predomínio das pastagens e vegetação natural, solos variados e hipsometria com amplitude de 819 metros.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

Esta diversidade de classes de solos, por sua vez, está diretamente relacionada à variabilidade das formações geológicas e no relevo, expressa, entre outros, em uma variação hipsométrica de aproximadamente 819 metros. Especificamente, os Latossolos Vermelho-Amarelo predominam nas áreas planas (cotas em torno de 234m), enquanto em áreas de relevo movimentado (com cotas de até 1053m em regiões próximas a Serra Dourada) são encontrados principalmente os Neossolos Litólico, e Cambissolos. Ao observar a cobertura e uso da terra (2008), relevo e classes dos solos, é possível identificar alguns dos fatores que influenciaram na organização espacial dos produtores rurais (figura 7).

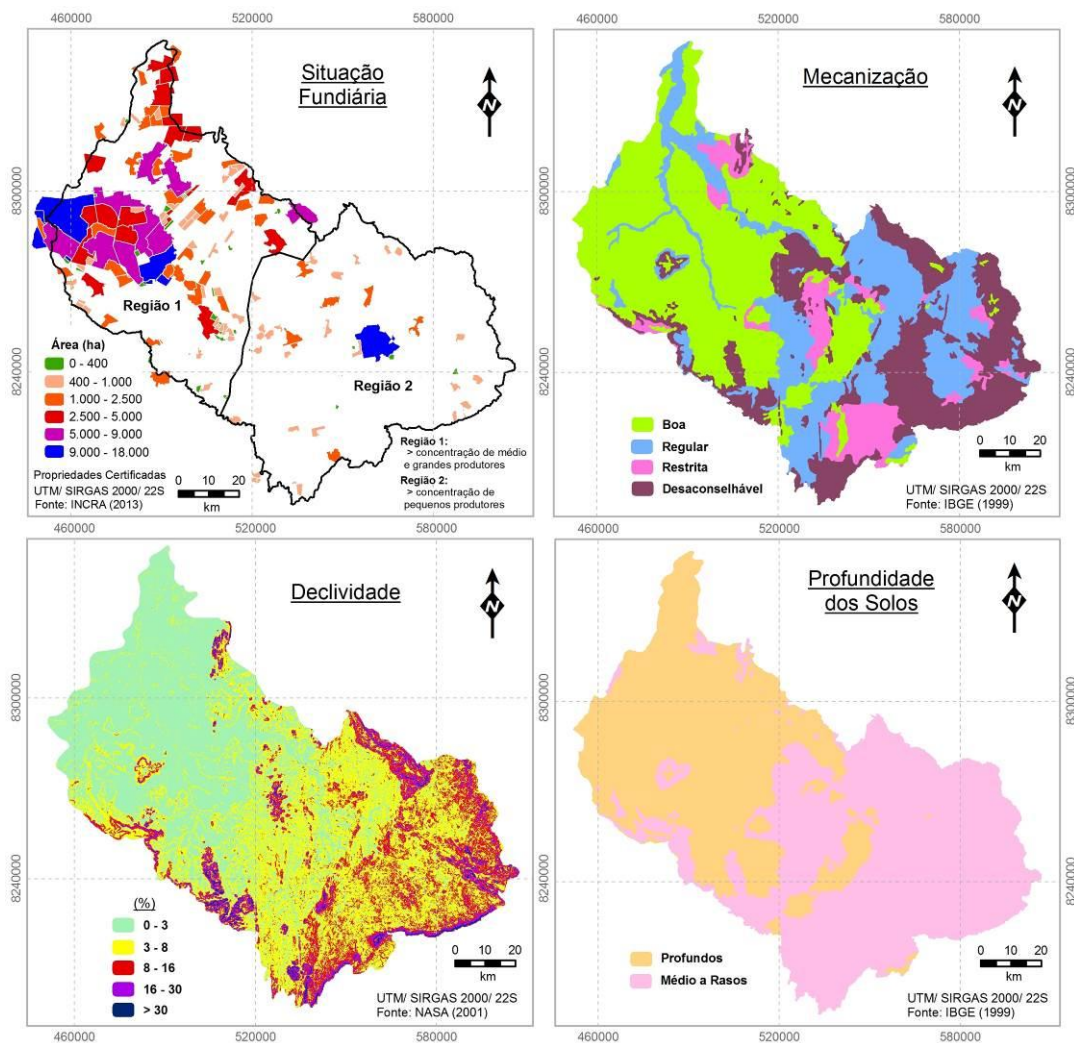


Figura 7. Organização espacial dos produtores rurais em função das características físicas.

Entre outros, há uma lógica impressa pelo capital na organização espacial fundiária da BHRV, onde 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 (Região 1). Do outro lado, os pequenos produtores estão localizados em regiões

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

com declividades acentuadas, solos rasos e pedregosos, i.e. Cambissolos e Neossolo Litólico (Região 2), onde enfrentam sérias dificuldades para mecanizar suas áreas, tornando o custo de produção mais elevado. Em função desta organização fundiária, associada às características da paisagem, percebe-se a formação de dois macroambientes aparentemente distintos. Nos perfis esquemáticos mostrados na figura 8, fica evidente como as questões econômicas, aqui representadas de forma simplificada pelo tamanho da propriedade, influenciam nos aspectos métricos da paisagem (tamanho de fragmentos), 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, à exemplo de regiões com solos alagados (Gleissolo).

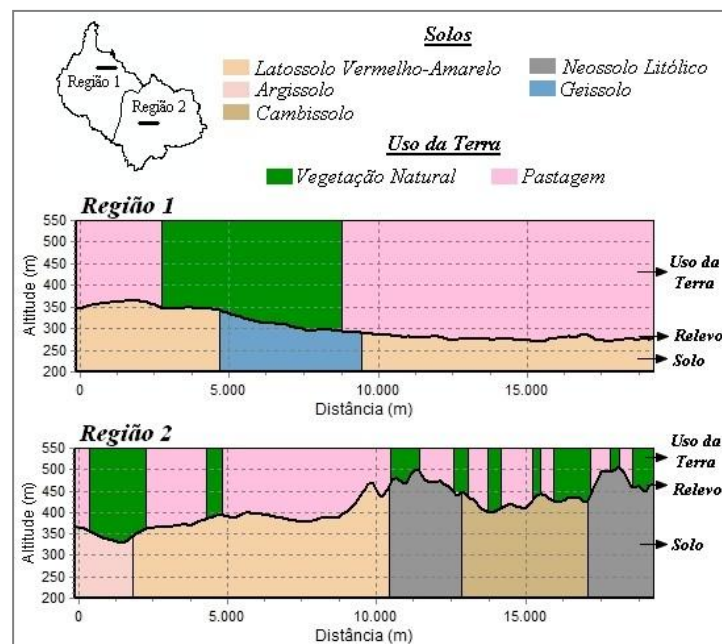


Figura 8. Perfis esquemáticos de solos, relevo e cobertura e uso da terra.

3.2 Avaliação biofísica associada ao uso da terra

Com base nas médias mensais de precipitação (2001 a 2011), 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. Ressalta-se a importância da distribuição espacial da precipitação quanto à identificação de dois períodos pluviométricos distintos (figura 9), i.e. seco (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril), os quais influenciam diretamente o 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, à exemplo da africana *Bhachiaria*

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

decumbens, predominante na BHRV, necessitam de precipitação média acima de 1.100mm/ano. Outro ponto a ser considerado, é a importância de estações bem definidas no desenvolvimento dessas áreas. 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.

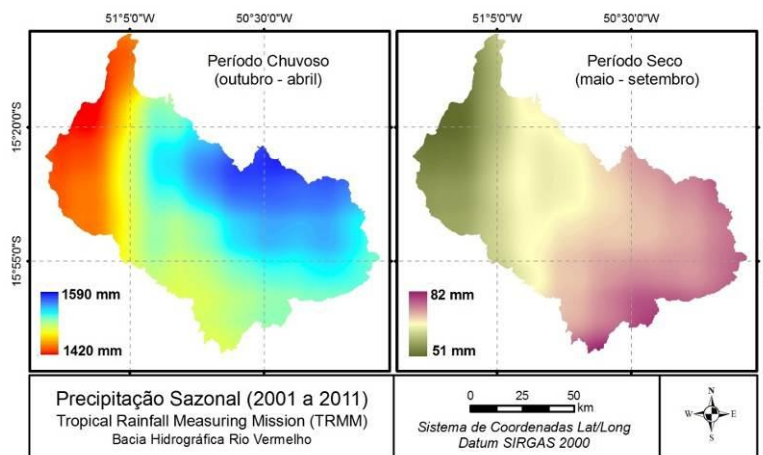


Figura 9. Identificação de dois períodos sazonais: seco e chuvoso.

Em relação à evapotranspiração, nos meses chuvosos, onde 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 10). 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 à 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, à exemplo das matas de galerias e algumas formações 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 vegetação encontrados na bacia, é bem visível nos meses chuvosos, tornando-se menor e mais homogênea nos meses com menor depósito pluvial.

Outro aspecto que deve ser observado, é que nesta região há uma proximidades dos solos com a rocha matriz, ou seja, os solos são considerados muito rasos, consequentemente, presume-se uma baixa capacidade de armazenamento, onde 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

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

rapidez. Consequentemente, as espécies que possuem sistemas radiculares superficiais, que são mais dependentes da água superficial, à exemplo das gramíneas, apresentam uma queda significativa de biomassa no período seco. 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.

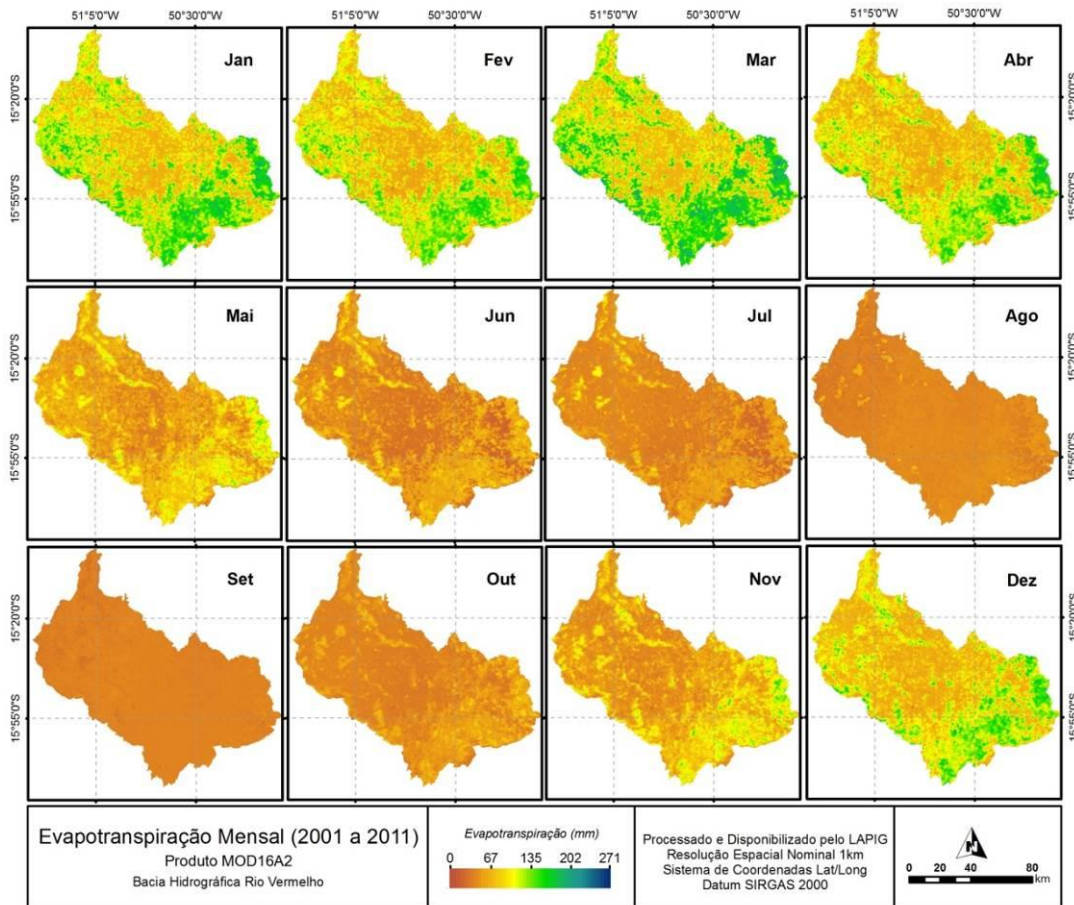


Figura 10. Valores médios da evapotranspiração mensal (2001 a 2011).

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 11 e 12), o que sugere tanto a presença de água armazenada nas várias camadas de solo, disponível, preferencialmente às espécies nativas com raízes mais profundas, quanto a defasagem entre os fluxos hidrológicos superficiais e em sub-superfície. Fica evidente que no período de escassez de água, a distribuição dos valores de evapotranspiração também está relacionado com características morfológicas da vegetação, como a profundidade do sistema radicular. Em condições iguais de solo e relevo, espécies com sistemas radiculares mais profundos (vegetação arbórea/arbustiva) tendem a manter valores de evapotranspiração mais elevados (círculo vermelho) (figura 13).

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

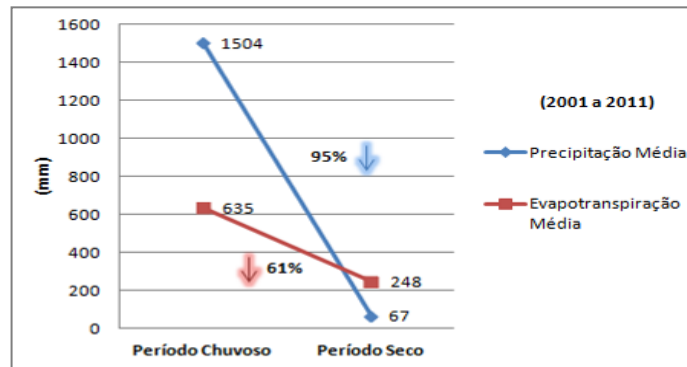


Figura 11. Redução média da evapotranspiração nos dois períodos sazonais (seco e chuvoso), com queda de 95 % para os valores de precipitação, e 61 % nos valores de evapotranspiração.

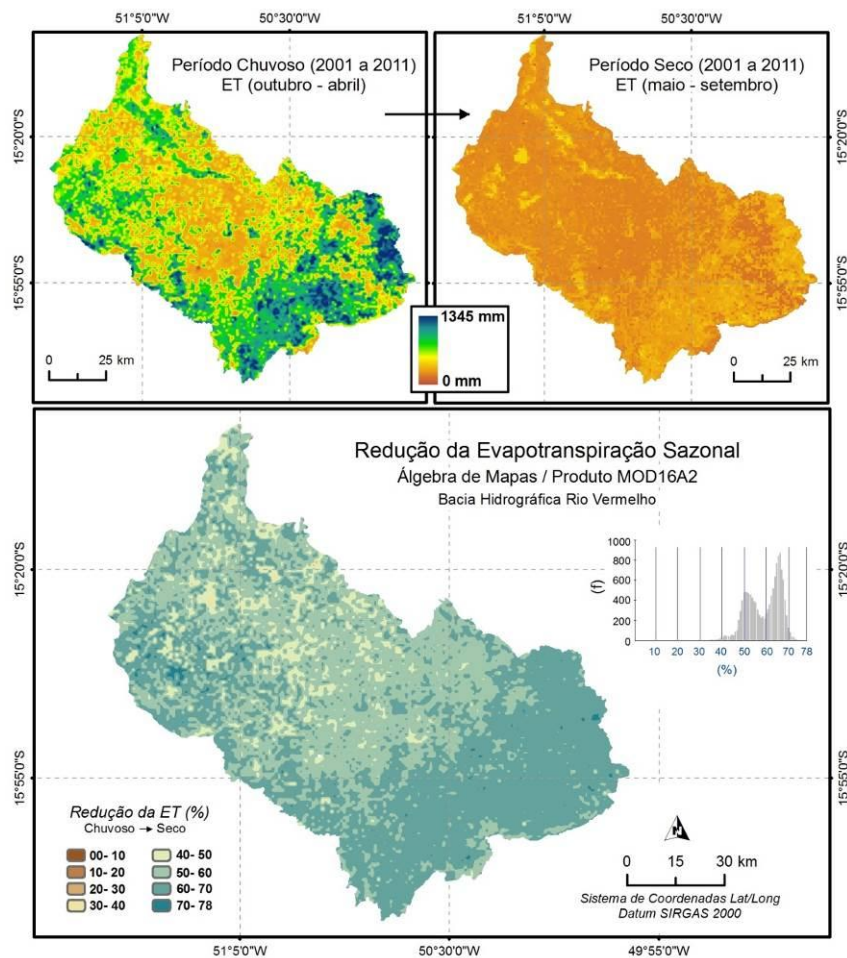


Figura 12. Taxas de redução da evapotranspiração entre o período chuvoso e seco, onde pode-se observar que as maiores reduções se concentraram na “Região 2”.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

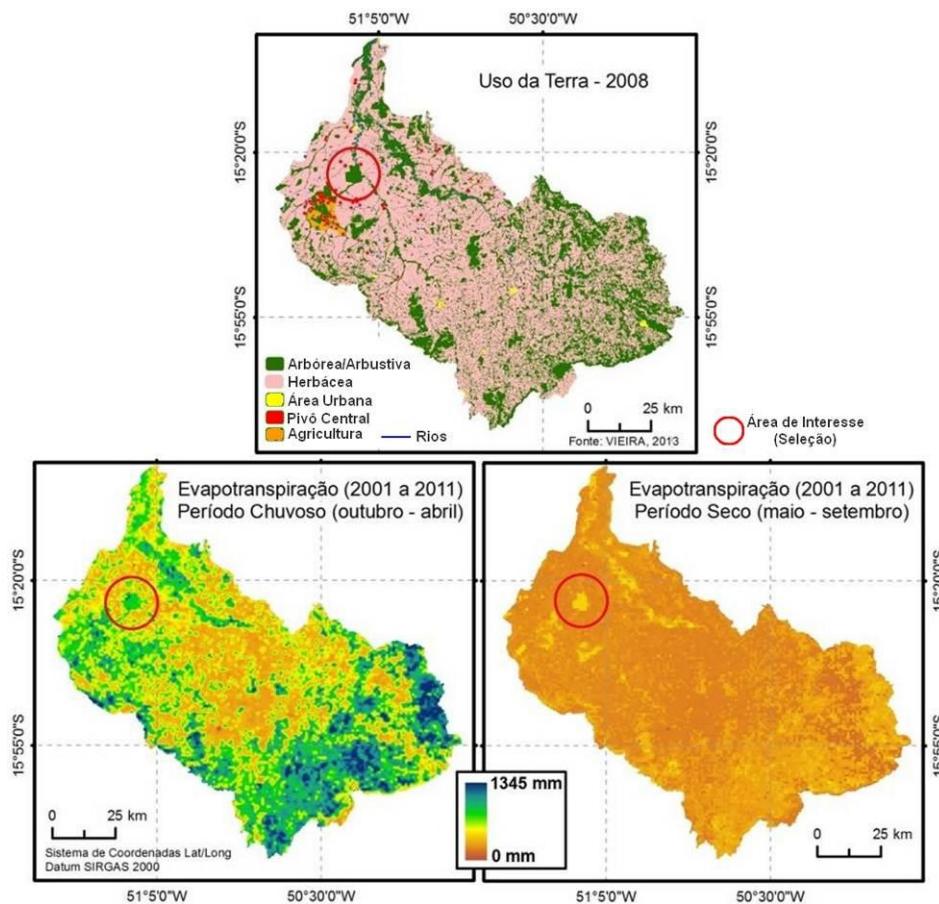


Figura 13. Influência da morfologia radicular (no detalhe, área de vegetação remanescente) nas estimativas de evapotranspiração durante o período seco.

A disponibilidade de água no ambiente fica mais visível a partir da avaliação dos valores de *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, enquanto negativos, representam períodos de déficit hídrico, com possíveis impactos no desenvolvimento das espécies vegetais (figura 14). Historicamente, o mês de maio apresenta 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. 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 15), representadas pelas áreas de pastagens. Portanto, os

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

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.

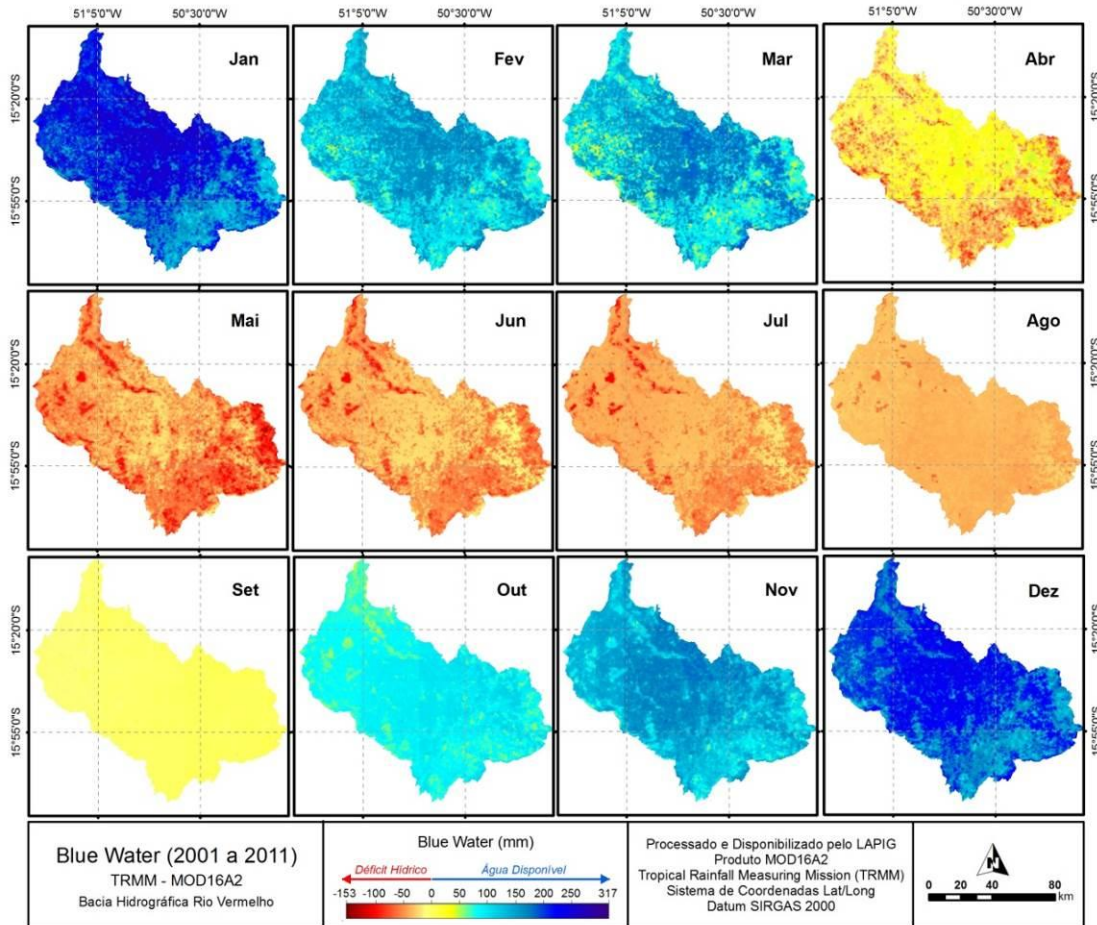


Figura 14. Distribuição espacial dos valores de *Blue Water* na bacia.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-28. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

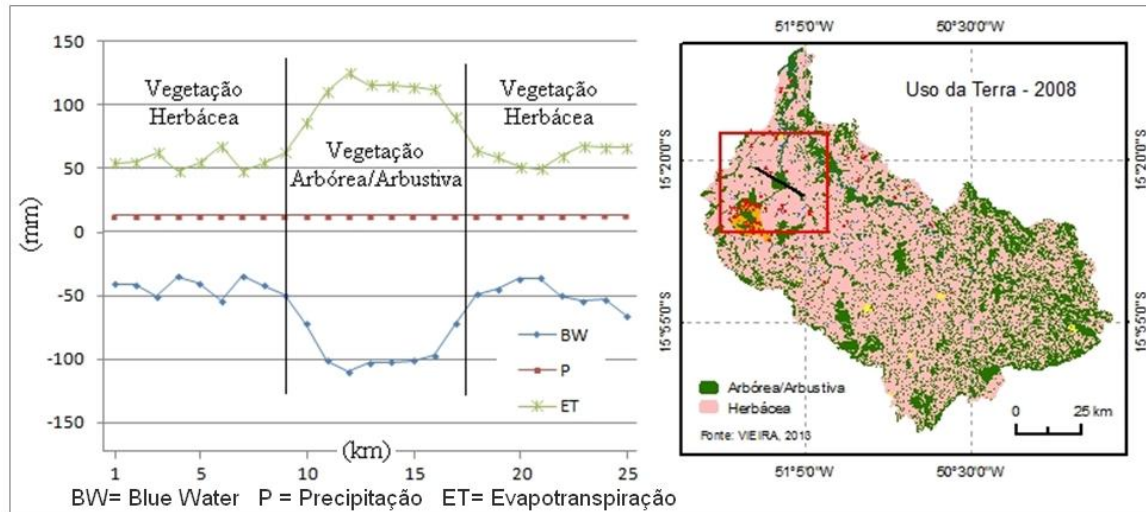


Figura 15. Eficiência das fito-fisionomias no aproveitamento da água armazenada no solo.

Na BHRV os valores de EVI são menores para o período seco, e aumentam nos períodos onde há maior intensidade das chuvas (figura 16). 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 17a).

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 (herbáceas). Entretanto, esta diferença de resposta é bem maior nos meses de escassez de água (figura 17b), o que torna este período particularmente importante quando da classificação/identificação de cobertura e uso da terra baseado nas estimativas de EVI.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

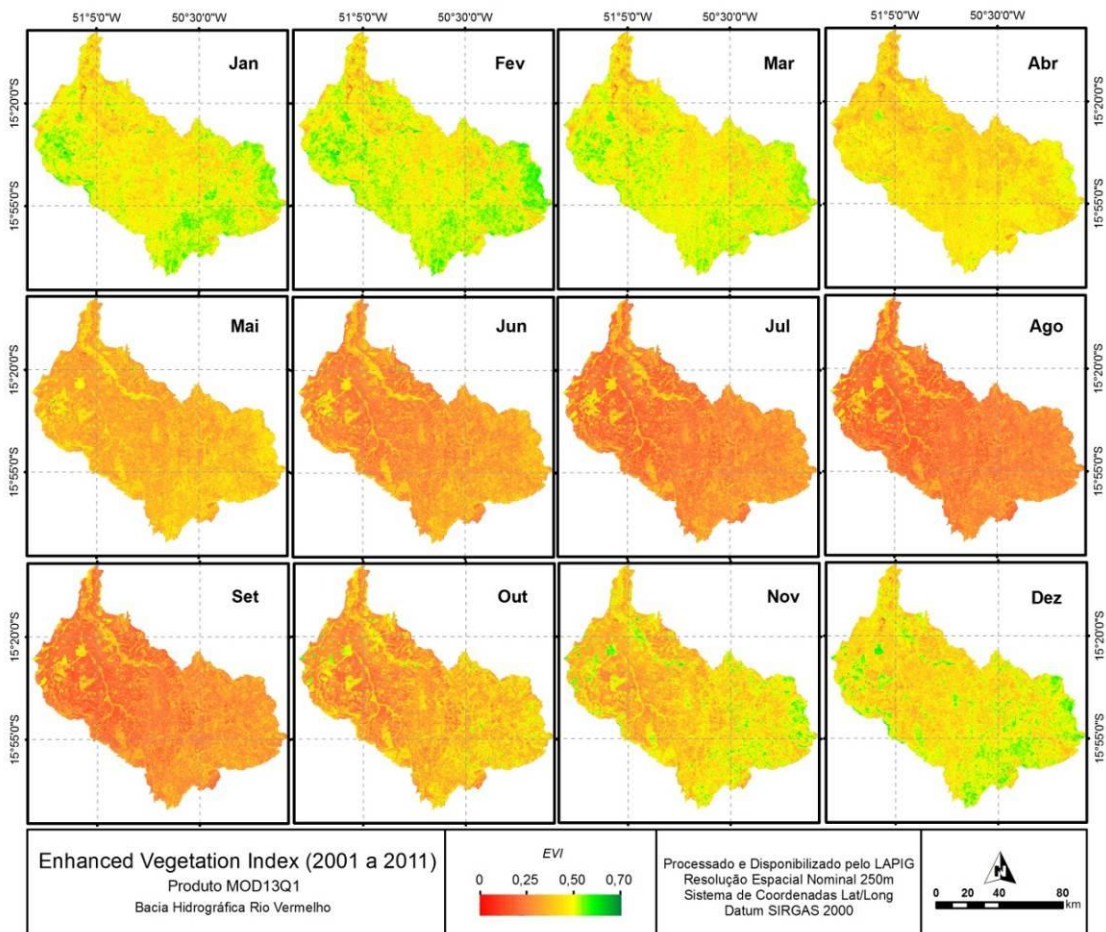


Figura 16. Distribuição espacial dos valores EVI (médias mensais) para a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, entre o período de 2001 a 2011.

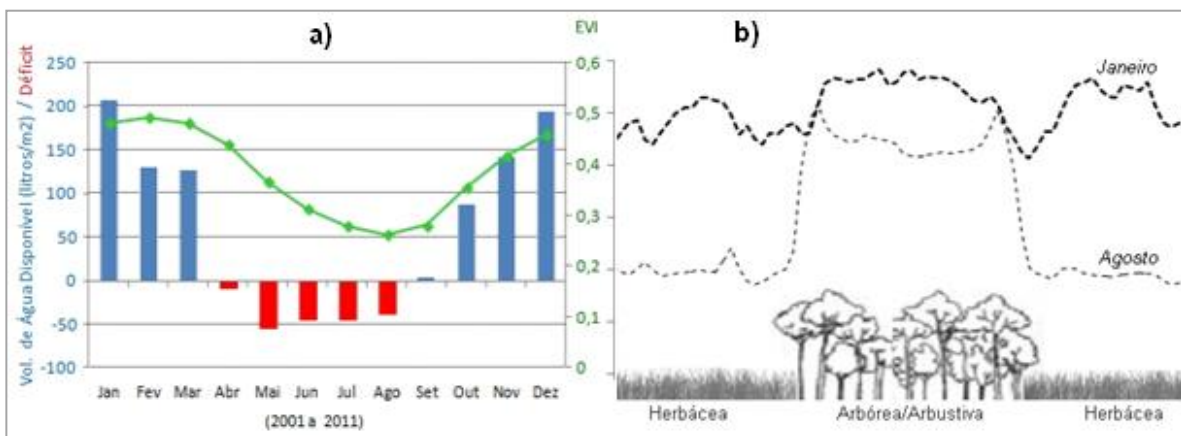


Figura 17. Relação entre as médias mensais EVI, água disponível (*blue water*) e as principais formas de cobertura e uso da terra.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

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 $\text{kgC}/\text{m}^2/\text{ano}$, ou seja, expressa o teor de Carbono (C) anual armazenado por unidade de área. De certo modo, esta grandeza tem uma relação direta com as taxas de crescimento das espécies encontradas na paisagem e a capacidade destas espécies em imobilizar Carbono. Os valores de PPL podem sofrer influência tanto do ponto de vista espacial, em função da distribuição das espécies vegetais, quanto temporal, que está associado a fatores climáticos, presumindo as mesmas condições de cobertura e uso da terra. No aspecto espacial, espera-se encontrar valores mais elevados de PPL em espécies de maior porte (arbórea/arbustiva), onde a relação Carbono/Nitrogênio é mais elevada (Aduan *et al.*, 2003). Assim, constata-se que os maiores valores de PPL estão localizados em regiões onde há maior concentração de vegetação arbórea/arbustiva, localizadas principalmente no alto curso da bacia, “Região 2” (figura 18), mais eficientes no sequestro de carbono, comparativamente 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 a redução considerável nos valores de precipitação (figura 19). Em fato, 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, conseqüentemente, o balanço entre fotossíntese (ganho de energia) e respiração (perda de energia) diminui, já que há perdas consideráveis de Carbono para a atmosfera. Por outro lado, 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 os valores de precipitação, maior será o desenvolvimento dos vegetais, e maior será as estimativas de PPL. Os valores encontrados de PPL nas áreas de pastagens foram similares aos observados por e Rosa Sano (2013), na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, de aproximadamente $0,8591 \text{ kgC}/\text{m}^2/\text{ano}$, com maiores oscilações nos anos de precipitações reduzidas, e também similares ao intervalo de 0,79 a $0,93 \text{ kgC}/\text{m}^2/\text{ano}$ encontrados por Ribeiro *et al.* (2015), em áreas de pastagens.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

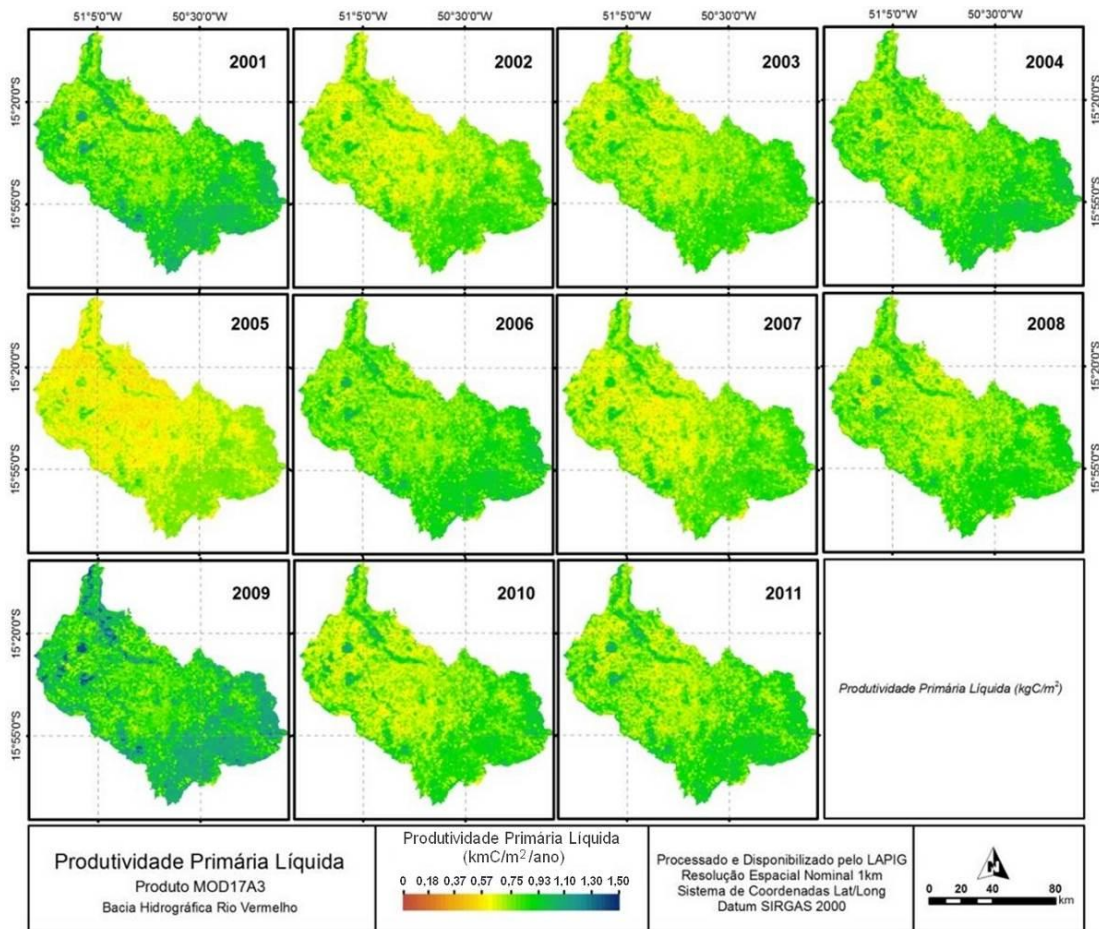


Figura 18 – Distribuição espacial (e inter-anual) dos valores de produtividade primária líquida (PPL).

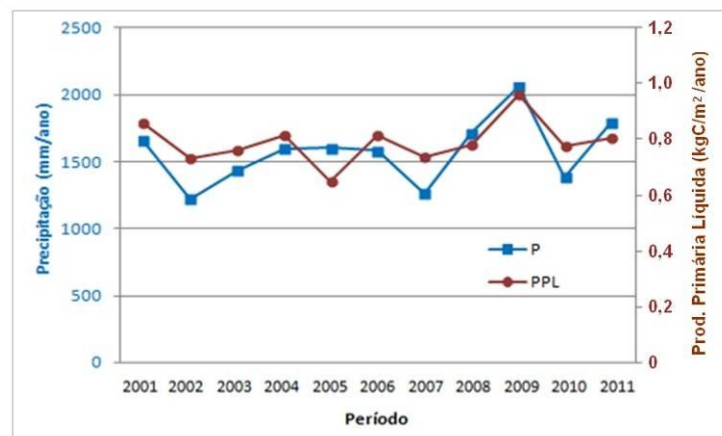


Figura 19. Influencia da precipitação (estimativas anuais) sobre a produtividade primária líquida média (PPL).

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

3.3 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 20).

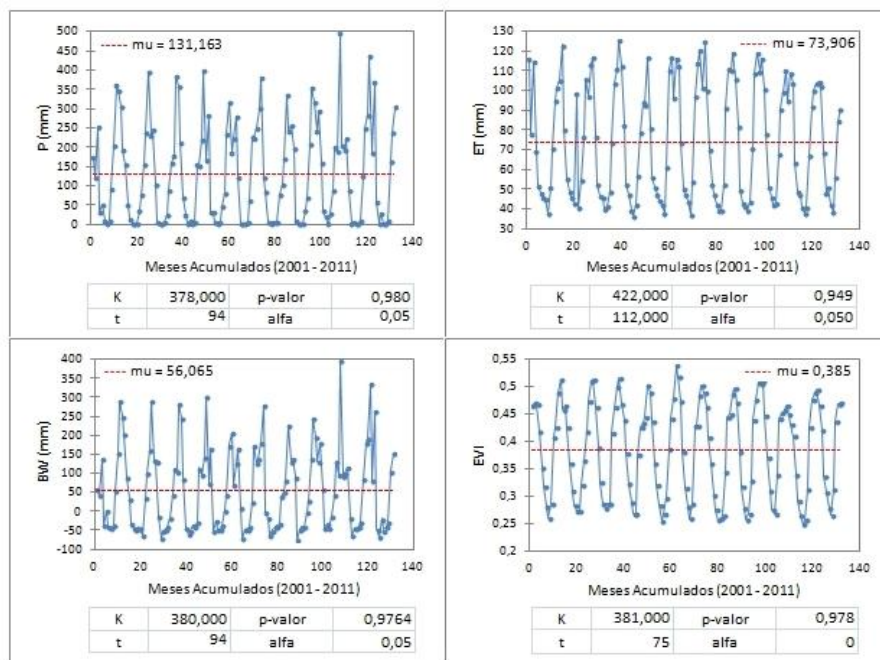


Figura 20. Resultados do teste de homogeneidade para as variáveis biofísicas consideradas neste estudo, distribuição mensal (2001 a 2011).

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 áreas de pastagens (herbácea) (tabela 01).

Tabela 1. Valores-p para o Teste-t (2001 a 2011).

Observações (30)/ gl (29)						
Média Anual (2001 a 2011) - Test-t	P	p (T<=t) uni-caudal	0,398921	EVI	p (T<=t) uni-caudal	2,77E-10
		p (T<=t) bi-caudal	0,797841		p (T<=t) bi-caudal	5,55E-10
	ET	p (T<=t) uni-caudal	2,26E-07	PPL	p (T<=t) uni-caudal	1,74E-10
		p (T<=t) bi-caudal	4,52E-07		p (T<=t) bi-caudal	3,48E-10
	BW	p (T<=t) uni-caudal	4,88E-07			
		p (T<=t) bi-caudal	9,77E-07			

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): “Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

A BHRV aparentemente é dividida em duas macrorregiões distintas; “Região 1” e “Região 2”. A criação das macrorregiões foi reflexo da organização fundiária histórica, onde os médios/grandes pecuaristas estão localizados em áreas planas, com pastagens mais extensas, e pouca conectividade entre os fragmentos da vegetação natural (Região 1). Já na “Região 2”, esta dinâmica é oposta. Com base na análise dos diagramas de dominância, com 95 % de probabilidade, é possível afirmar que todas as 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 22).

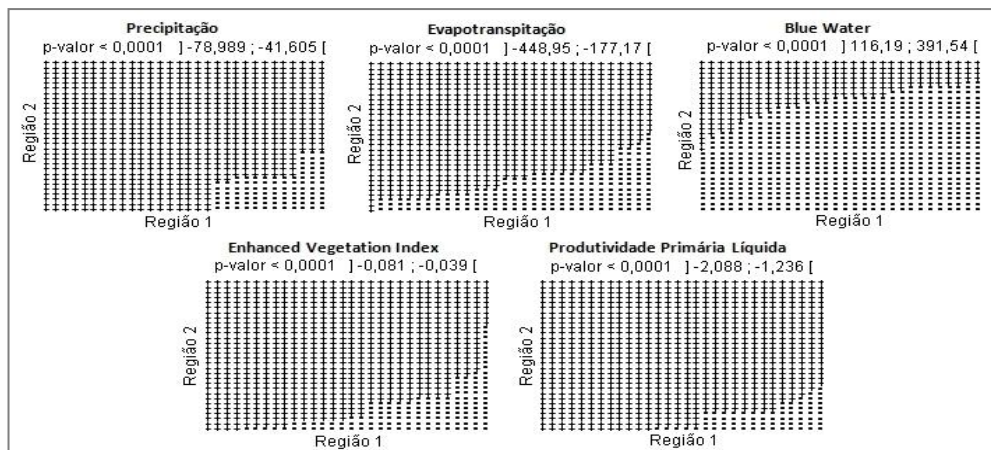


Figura 22. Diagrama de dominância para as variáveis biofísicas (2001 a 2011) em relação aos dois grandes domínios (i.e. “Região 1” e “Região 2”).

4. 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 restringiram-se à conversão de algumas áreas de vegetação natural em pastagens, principalmente na porção Oeste da bacia. Algumas características edáficas, à 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 uso da terra. Consequentemente, a falta deste recurso em determinados períodos tem um impacto direto no comportamento fisiológicos das formas vegetais existentes, principalmente na vegetação herbácea, representada pelas pastagens. A 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.

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

Existe uma forte correlação entre os valores de precipitação e a relação de biomassa presente nos vegetais, representados pelo valores de EVI. Em quase todos os anos analisado, 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 desses vegetais. Entre o período de 2001 a 2011, não houve alterações significativas no uso da terra, a partir da avaliação dos índices biofísicos. Entretanto, as duas principais formas de uso da terra (vegetação natural e pastagem) apresentam 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, denominados neste trabalho de "Região 1" e "Região 2".

5. Referências Bibliográficas

Aduan, R. E., Vilela, M. F. e Klink, C. A. (2003): *Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro*. Brasília, Editora Embrapa.

Alcântara, P. B. (2009): *Plantas forrageiras: gramíneas & leguminosas*. São Paulo, Nobel.

Balsan, R. (2006): "Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira". *Revista de Geografia Agrária*, 1, 2, pp. 123-151.

Camarano, A. A. e Beltrão, K. I. (2000): "Distribuição espacial da população brasileira: mudanças na segunda metade deste século". Rio de Janeiro: IPEA.

Castro, N., Helfand, S. e Rezende, G. (2003): *Expansão rodoviária e desenvolvimento agrícola dos cerrados*. Rio de Janeiro, IPEA.

Cavalcanti, M. A., Lopes, L. M. e Celestino, M. N. (2008): "Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do rio Vermelho na cidade de Goiás, GO". *Boletim Goiano de Geografia*, 28, 1, pp. 167-186.

Collischonn, B., Allasia, D., Collischonn, W. e Tucci, C. E. M. (2007): "Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior". *Revista Brasileira de Cartografia*, 59, 1, pp. 93-99.

Del'arco, J. O., Rios, A., Dambros, L., Tarapanoff, I., e Ass, N. (1999): *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Araguaia-Trecho Barra do Garças (MT)-Luis Alves (GO)*. Goiânia, AHITAR/IBGE.

Hill, M. J. e Donald, G. E. (1997): "Mapping Pastures in Eastern Australia with NOAA-AVHRR NDVI and Landsat TM Data". *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1, pp. 275-277.

Hill, M. J., Vickery, P. J., Furnival, E. P. e Donald, G. E. (1999): "Pasture Land Cover in Eastern Australia from NOAA-AVHRR NDVI and Classified Landsat TM". *Remote Sensing of Environment*, 67, 1, pp. 32-50.

Huete, A. R., Jackson, R. D. e Post, D. F. (1985): "Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds". *Remote Sensing of Environment*, 17, 1, pp. 37-53.

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

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

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

Jepson, W. (2005): "A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna". *The Geographical Journal*, 171, 2, pp. 99-111.

Jepson, W., Brannstrom, C. e Filippi, A. (2010): "Access regimes and regional land change in the Brazilian Cerrado, 1972–2002". *Annals of the Association of American Geographers*, 100, 1, pp. 87-111.

Kawamura, K., Watanabe, N., Sakanoue, S. e Inoue, Y. (2008): "Estimating forage biomass and quality in a mixed sown pasture based on partial least squares regression with waveband selection". *Grassland Science*, 54, 3, pp. 131–145.

Klink, C. A. e Moreira, A. G. (2002): "Past and current human occupation, and land use". *The Cerrados of Brasil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, pp. 69-88.

Lathuillière, M. J., Johnson, M. S. e Donner, S. D. (2012): "Water use by terrestrial ecosystems: temporal variability in rainforest and agricultural contributions to evapotranspiration in Mato Grosso, Brazil". *Environmental Research Letters*, 7, 2, pp. 25-32.

López-Hernández, D. (1995): "Impact of agriculture and livestock production on tropical soils in Latin America". *Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter*. Madrid, CSIC., pp. 405-418.

Martinez, L. e Ferreira, A. (2007): *Análise de Dados com SPSS*. Lisboa, Escolar Editora.

Martins-Júnior, O. P. e CHAVES, F. (2008): "Uso de instrumentos econômicos para a conservação da biodiversidade em Goiás: reserva legal, servidão florestal e bolsa de reserva florestal", In: FERREIRA, L. G. (Ed.): *Encruzilhada ambiental*. Goiânia, UFG, pp. 165-175.

Mu, Q., Zhao, M. e Running, S. W. (2005): "Brief Introduction to MODIS Evapotranspiration Data Set (MOD16)". *Water Resources Research*, 45, pp. 0-4.

Numata, I., Roberts, D. A., Chadwick, O. A., Schimel, J., Sampaio, F. R., Leonidas, F. C. e Soares, J. V. (2007): "Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data". *Remote Sensing of Environment*, 109, 3, pp. 314-327.

Paruelo, J. M., Garbulsky, M. F., Guerschman, J. P., & Jobbágy, E. G. (2004). "Two decades of Normalized Difference Vegetation Index changes in South America: identifying the imprint of global change". *International Journal of Remote Sensing*, 25, 14, pp. 2793-2806.

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

Pettitt, A. N. (1979): "A non-parametric approach to the change-point problem". *Applied Statistics*, 28, 2, pp. 126-135.

Rezende, G. C. (2002): *Ocupação agrícola e estrutura agrária no cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e da tecnologia*. Rio de Janeiro, Ipea, 28 p. (Boletim Técnico).

Santana Santos, P., Guimarães Ferrerira, L. (2017): "Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado", *GeoFocus (Artículos)*, nº 20, p. 3-25. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.395>

Ribeiro, V. R., Almeida, C. T., Santana, M. F., e Delgado, R. C. (2015) Estimativa da produtividade primária líquida na região do reservatório Funil-SP por meio do produto MOD17A3. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 17, pp. 721-726.

Rodriguez, E., Morris, C. S. e Belz, J. E. (2006): "A global assessment of the SRTM performance". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, 3, pp. 249-260.

Rodrigues, W., Vasconcelos, S. J. e Barbiero, A. K. (2009): "Análise da efetividade socioeconômica do PRODECER III no município de Pedro Afonso, Tocantins". *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39, 4, pp. 301-306.

Rosa, R., Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens modis". *Geofocus*, 13, 1, pp. 367-395.

Salim, C. A. (1986): "As políticas econômica e tecnológica para o desenvolvimento agrário das áreas de cerrados no Brasil: avaliação e perspectivas". *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 3, 2, pp. 297-342.

Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. e Ferreira, L. G. (2008): "Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 1, pp. 153-156.

Santos, M. A. D., Barbieri, A. F., Guedes, G. R., Machado, C. J. e Carvalho, J. A. M. D. (2012): "Dinâmica demográfica e uso da terra no cerrado brasileiro: reflexões a partir da experiência do Padap". *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 50, 2, pp. 319-331.

Santos, M. A., Barbieri, A. F., Carvalho, J. A. M. e Machado, C. J. (2010): *O cerrado brasileiro: notas para estudo*. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais.

Santos, M. e Silveira, M. L. (2001): *O Brasil. Território e sociedade no início do século XXI*. Rio de Janeiro, Record.

Silva, L. L. (2001): "O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80". *Caminhos de Geografia*, 2, 2, pp. 24-36.

Simpson, J., Adler, R. e North, G. (1988): "A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite". *American Meteorological Society Bulletin*, 69, 3, pp. 278-295.

Turner, D. P., Ritts, W. D., Cohen, W. B., Gower, S. T., Running, S. W., Zhao, M., Costa, M. H., Kirschbaum, A. A., Ham, J. M., Saleska, S. R. e Ahl, D. E. (2006): "Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes". *Remote Sensing of Environment*, 102, 3, pp. 282-292.

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

Vilela, L., Martha-Junior, G. B., Macedo, M. C. M., Marchão, R. L., Guimarães-Júnior, R., Pulrolnik, K. e Maciel, G. A. (2011): "Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 10, pp. 1127-1138.

Wardlow, B. D., Egbert, S. L. e Kastens, J. H. (2007): "Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the US Central Great Plains". *Remote Sensing of Environment*, 108, 3, pp. 290-310.