

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CAMPUS PLANALTINA**

RENATO FERREIRA SOUSA

**PADRÕES TEMPORAIS DA COBERTURA DA TERRA
EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA ECORREGIÃO
DO PLANALTO CENTRAL**

**PLANALTINA - DF
2016**

RENATO FERREIRA SOUSA

**PADRÕES TEMPORAIS DA COBERTURA DA TERRA
EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA ECORREGIÃO
DO PLANALTO CENTRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção de título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Felipe Couto Junior

**PLANALTINA 6 DF
2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, Renato Ferreira.

Padrões Temporais da Cobertura da Terra em uma Bacia Hidrográfica da Ecorregião do Planalto Central / Renato Ferreira Sousa. Planaltina ó DF, 2016, 34 f.

Monografia (Graduação) ó Universidade de Brasília

Faculdade de Planaltina, Brasília, 2016. Orientação: Antonio Felipe Couto Junior

1. Bioma Cerrado 2. Sensoriamento Remoto 3. Dinâmica da Paisagem I. Sousa, Renato.
II. Título.

RENATO FERREIRA SOUSA

**PADRÕES TEMPORAIS DA COBERTURA DA TERRA EM
UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA ECORREGIÃO DO
PLANALTO CENTRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção de título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 24 de junho de 2016

Prof. Dr. Antonio Felipe Couto Júnior, UnB/Campus Planaltina (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi, UnB/Campus Planaltina (Examinador)

Gestor Ambiental Glauber das Neves, GDF/Codeplan (Examinador)

DEDICATÓRIA

Dedicado este trabalho à minha família, em especial à minha mãe Maria Joana F. Sousa, ao meu pai Manoel Carlos de Sousa, e ao meu irmão Joel Ferreira Sousa, além dos meus educadores e amigos.

PADRÕES TEMPORAIS DA COBERTURA DA TERRA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA ECORREGIÃO DO PLANALTO CENTRAL

Resumo: Os dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) fornecem informações diárias que permitem entender e modelar a dinâmica terrestre. Neste contexto, é importante o conhecimento da variação espacial e temporal caracterizados por formações naturais e antrópicas, sendo essencial configurar os padrões de cobertura da terra, organizando a fenologia da vegetação natural e antrópica. Considerando a complexidade natural do bioma Cerrado, torna-se fundamental mapear a ocupação antrópica da cobertura da terra em função de sua vegetação. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar as coberturas natural e antrópicas do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto e organizar uma biblioteca de assinaturas temporais. Foi utilizado séries temporais do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) do produto MOD13, entre os anos de 2000 e 2010. Após a organização dos dados foram realizados tratamentos para a atenuação de ruídos, conforme as seguintes etapas: (a) aplicação de um filtro móvel de mediana e (b) separação da fração de sinal pela transformação da Fração Mínima de Ruído (FMR) e (c) restituição dos dados NDVI utilizando a fração de sinal. Os perfis construídos demonstram a dinâmica da cobertura da terra ao longo do período analisado para as formações naturais e antrópicas. Em relação as formações antrópicas os resultados indicaram: (a) as áreas de agricultura apresentaram maior variação absoluta 0,562 em seu NDVI, evidenciando o uso agrícola de plantio e colheita no alto da bacia hidrográfica. (b) A área urbana apresentou pouca variação 0,386 devido ao desenvolvimento de sua área consolidada. (c) A área de pastagem apresentou a menor mudança em seu NDVI 0,353 evidenciando a baixa refletância espectral. Em relação as formações naturais de cerrado que foram subdivididas: (a) formação florestal apresentou os maiores índices de vegetação. (b) as formações savânicas e campestres apresentaram atividades fotossintéticas similares. O estudo concluiu que por meio da abordagem multitemporal do sensor MODIS foi possível definir a dinâmica do uso e cobertura da terra evidenciando os comportamentos da vegetação ao longo do período analisado.

Palavras-chave: *bioma cerrado, dinâmica de paisagem, análise multitemporal, NDVI.*

LAND COVER TEMPORAL PATTERNS IN A BASIN OF PLANALTO CENTRAL ECOREGION

Abstract: Data from the MODIS (MODIS) provide daily information that allow us to understand and model the terrestrial dynamics. In this context, it is important to know the spatial and temporal variations characterized by natural and anthropogenic formations, it is essential to set land cover patterns, organizing the phenology of natural vegetation and agriculture. Considering the complex nature of the Cerrado biome, it is essential to map the human occupation of land cover due to its vegetation. This study aimed to characterize the natural and anthropic covers the upper course of the river basin of the Black River and organize a library of temporal signatures. Was used NDVI time series (Normalized Difference Vegetation Index) of the product MOD13, between the years 2000 and 2010. After the organization of data treatments were performed for noise attenuation, as the following steps: (a) applying a filter mobile Mid and (b) separating the signal fraction of the transformation of noise Minimum fraction and (c) refund of NDVI data using the fraction signal. The built profiles demonstrate the dynamics of land cover over the period analyzed for the natural and anthropogenic formations. Regarding the anthropic formations results indicated: (a) the agricultural areas had higher absolute variation 0.562 on your NDVI, highlighting the agricultural use of planting and harvesting at the top of the watershed. (B) The urban area showed little variation 0.386 due to the development of a consolidated area. (C) pasture area had the lowest change in their NDVI 0.353 indicating a low spectral reflectance. Regarding the natural formations of savannah that were subdivided: (a) forest formation showed the highest rates of vegetation. (B) the savannas and grasslands showed similar photosynthetic activities. The study concluded that through multitemporal approach MODIS sensor was possible to define the dynamics of land use and land cover showing the behavior of vegetation over the analysis period.

Keywords: *cerrado, landscape dynamics, multitemporal analysis, NDVI.*

Sumário

CAPÍTULO 1 ó APRESENTAÇÃO GERAL	13
1.1 Introdução.....	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.3. Cobertura da terra e mudanças globais.....	14
1.4 Padrões temporais da cobertura da terra no Cerrado	16
CAPÍTULO 2 ó MAPEAMENTO TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO POR MEIO DE DADOS DO SENSOR MODIS	18
2.1. Introdução	18
2.2. Área de estudo.....	19
2.3. Materiais e Métodos.....	19
2.3.1 <i>Organização dos dados orbitais do Sensor MODIS</i>	19
2.3.2 <i>Tratamento de ruídos da série temporal NDVI</i>	21
2.3.3 <i>A Caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG</i>	21
2.3.4 <i>Séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural</i>	22
2.4. Resultados e Discussões	23
2.4.1 <i>Resultado do tratamento de ruídos da série temporal NDVI</i>	23
2.4.2 <i>Resultados da caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG</i>	24
2.4.3. <i>Resultados das séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural</i>	26
2.5. Conclusão	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

Lista de Figuras

- Figura 1** ó Estado atual das variáveis de controle para sete dos nove limites planetários, onde as cores verdes indicam as zonas de segurança, as amarelas indicam as zonas de incertezas e as vermelhas zonas de alto risco (Fonte: Steffen et al., 2015).15
- Figura 2** - Efeito relativo dos principais responsáveis pelas mudanças na biodiversidade. Estimativa esperada para 2100. Legenda: 1 = uso da terra; 2 = clima; 3 = deposição de nitrogênio; 4 = intercâmbio biótico; 5 = CO₂ atmosférico. (Adaptado Sala et al., 2000)15
- Figura 3** - Efeito de cada agente sobre a biodiversidade calculado como o produto de mudanças esperadas de cada agente pelo seu impacto, considerando a projeção para o ano 2100. Legenda: 1 = uso da terra; 2 = clima; 3 = deposição de nitrogênio; 4 = intercâmbio biótico; 5 = CO₂ atmosférico. (Adaptado Sala et al., 2000)16
- Figura 4** ó Padrões temporais típicos das principais formações vegetais encontradas no Parque Nacional de Brasília (PNB): Formação Florestal (linha preta); Formação Savânica (linha pontilhada); Formação Campestre (linha tracejada) (Fonte: Carvalho Junior et al., 2012).....17
- Figura 5** - Localização geral da área de estudo da região do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto (DF/GO), inserido dentro do Bioma Cerrado, no Planalto central Brasileiro.19
- Figura 6** - Serie temporal do sensor MODIS com imagens geradas a partir de uma sequência lógica crescente, no intervalo de 2000 a 2010. X representa a longitude; Y à latitude; e Z, os valores do Índice de Vegetação.20
- Figura 7** ó Localização dos pontos de coleta dos padrões temporais (perfil Z) de 30 da cobertura natural da terra em ambiente de cerrado, sendo dez pontos para formação florestal, dez pontos para formação savânica e dez pontos para formação campestre. Imagem Digital Globe 2016...23
- Figura 8** - Demonstração da variação entre os dados originais e tratados, resultando na otimização da qualidade dos dados.23
- Figura 9** - Divisão do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto em áreas conforme classificação do uso da terra da base SIEG (2000-2010).25
- Figura 10** - Médias dos comportamentos temporais (perfil Z) das formações florestal, savânica e campestre, referentes aos trinta pontos de coleta obtidos por meio Google Earth®, dentro da Área do Campo de Instrução Militar de Formosa, inserido dentro do curso da bacia hidrográfica do Rio Preto. Legenda: Média = linhas pretas; Pontos de coleta = linhas pontilhadas26

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipo de fitofisionomia (formação florestal, savânica e campestre) e coordenadas geográficas.	22
Tabela 2 - Variação absoluta de NDVI para as áreas de agricultura, de pastagem, urbana e cerrado da base SIEG.....	25

CAPÍTULO 1 ó APRESENTAÇÃO GERAL

1.1 Introdução

A caracterização dos padrões sazonais da cobertura da terra é um importante subsídio para a análise das modificações ecossistêmicas, especialmente devido à sua complexidade natural (SINGH, 1989; GIRI *et al.*, 2005). Dessa forma, alternativas para o monitoramento dessas mudanças de cobertura vêm sendo desenvolvidas para compreender a capacidade dos sistemas biológicos suportarem as necessidades humanas (VITOUSEK *et al.*, 1997).

Os ecossistemas terrestres estão em constante processo de mudança espacial e temporal devido as ações naturais e antrópicas. Os sensores multitemporais e multiespectrais possuem uma finalidade importante na detecção, identificação, mapeamento e monitoramento das alterações do ambiente (MARTÍNEZ e GILABERT, 2009).

A detecção das mudanças nos estados antrópicos ou naturais são possíveis por meio da observação dos efeitos temporais, verificados por meio dos sensores orbitais. Os padrões de vegetação permitem desenvolver uma compreensão da dinâmica do uso da terra em ambientes antropizados e naturais, onde apresentam um alto grau de complexidade espacial e temporal (VERBURG, 2004).

Os conjuntos de dados multitemporais obtidos pelos sensores permitem quantificar os efeitos das mudanças de uso da terra, avaliar a agricultura, o desmatamento, as pastagens e as mudanças fenológicas e sazonais na vegetação (SINGH, 1989). Os dados gerados representam fontes importantes de acompanhamento regular da superfície terrestre permitindo descrever de forma refinada e robusta a evolução da cobertura da terra (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2012).

Com o propósito de monitorar as alterações ecossistêmicas nos diversos biomas, evidenciando as variações temporais, a cobertura vegetal e dinâmica sazonal a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA/E.U.A) financiou um programa de pesquisa (*Earth Observation System* ó EOS) que lançou em 1999 os satélites TERRA com os sensores MODIS (principal), MISR, ASTER, CERES e MOPITT.

A importância do estudo apresentado está diretamente relacionada para a geração de conhecimentos para o desenvolvimento de técnica para o monitoramento do uso e ocupação da cobertura da terra em função de padrões temporais da vegetação para caracterização de sua dinâmica terrestre.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar as coberturas do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto por meio dos dados espaciais do sensor MODIS entre os anos de 2000 a 2010.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os padrões temporais das classes de cobertura da terra mapeados e disponibilizados pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG);
- Detalhar os padrões temporais da cobertura vegetal natural generalizados pela classe de cobertura da terra denominada cerrado pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG).

1.3. Cobertura da terra e mudanças globais

As atividades humanas estão afetando a capacidade de suporte do sistema terrestre. O estado das sociedades modernas coloca em questionamento quanto a necessidade da mudança das formas de uso dos recursos naturais. Existe a necessidade de integração entre o desenvolvimento das sociedades humanas e a manutenção do sistema terrestre (STEFFEN *et. al.* 2015).

Em relação às mudanças globais, Steffen *et al.* (2015) estabeleceu três zonas que são possíveis observar o grau de risco devido às atividades humanas. Foram analisadas sete de nove variáveis planetárias: integridade da biosfera, mudança climática, acidificação dos oceanos, fluxos biogeoquímicos, mudanças na água doce e mudanças no sistema terrestre.

Na Figura 1 as zonas verdes representam o espaço operacional seguro das fronteiras planetárias. As zonas amarelas de incerteza para o aumento de risco são representadas pelas mudanças climáticas, mudanças no sistema terrestre. As zonas

vermelhas com alto grau de risco são representadas pela diversidade genética das espécies e os fluxos biogeoquímicos de fósforo e nitrogênio (Figura 1).

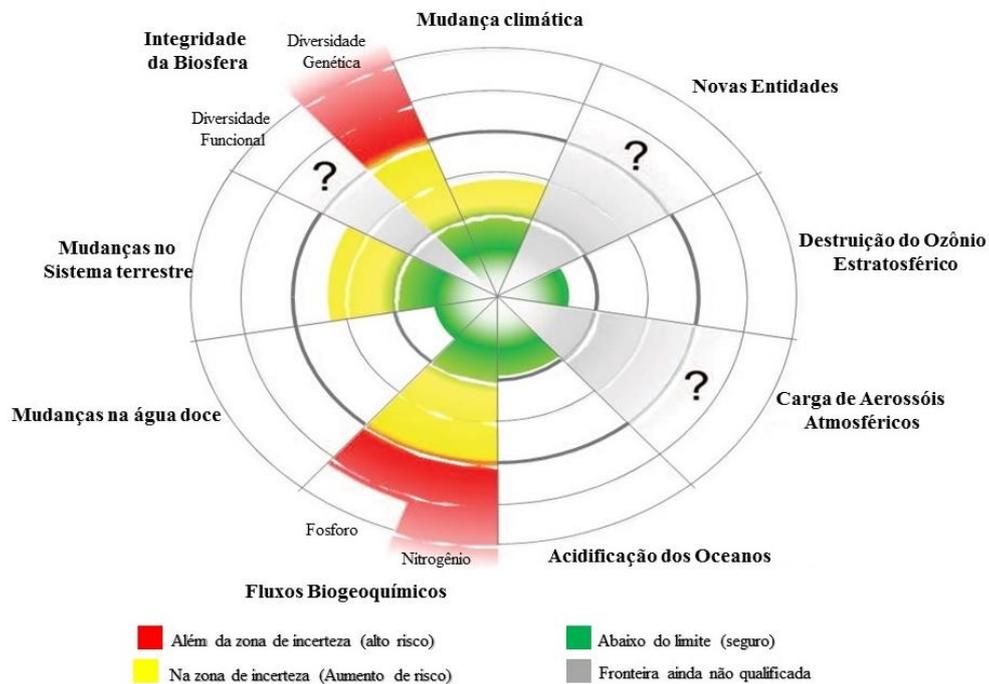


Figura 1 ó Estado atual das variáveis de controle para sete dos nove limites planetários. Cores verdes indicam as zonas de segurança ao passo que as amarelas e as vermelhas indicam, respectivamente incerteza e alto risco (Adaptado: Steffen et al., 2015).

As mudanças nos biomas são limitadas pelas alterações nos fluxos biogeoquímicos reguladores da dinâmica da superfície terrestre, com destaque para o uso inadequado de terras cultiváveis e a diminuição da cobertura florestal (Steffen et al. 2015). Dessa forma, as mudanças globais do uso da terra apresentam-se como o principal agente responsável pelas mudanças da biodiversidade nas próximas décadas (Sala *et al.*, 2000) (Figura 2).

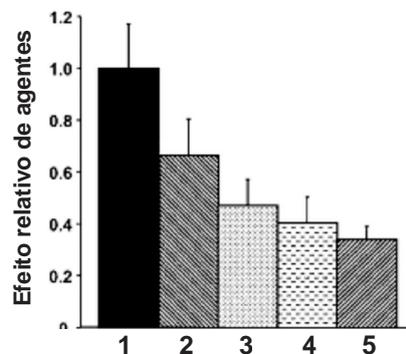


Figura 2 - Efeito relativo dos principais responsáveis pelas mudanças na biodiversidade. Estimativa esperada para 2100. Legenda: 1 = uso da terra; 2 = clima; 3 = deposição de nitrogênio; 4 = intercâmbio biótico; 5 = CO₂ atmosférico. (Adaptado Sala et al., 2000).

Na Figura 3, considerando a região tropical e os domínios de savana, o uso da terra também se apresenta com o principal agente de mudança relativa na biodiversidade (Sala et al., 2000) (Figura 3). As regiões tropicais apresentam grandes alterações, ocasionadas principalmente pela falta de aprimoramento na gestão das formas de uso da terra. No caso das savanas apesar do predomínio do uso da terra, esse bioma também se mostra influenciado pelos demais fatores (Figura 3).

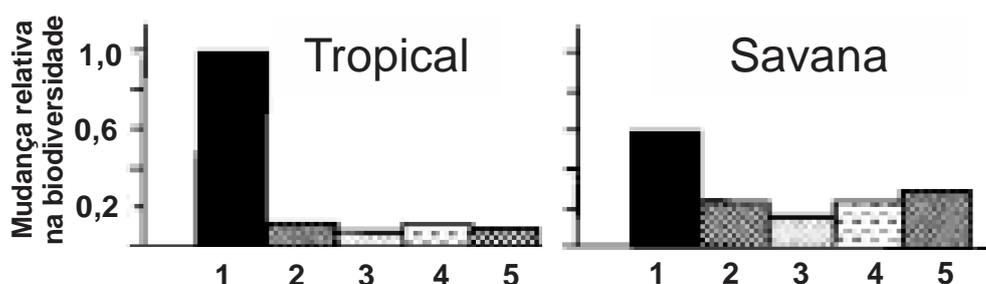


Figura 3 - Efeito de cada agente sobre a biodiversidade calculado como o produto de mudanças esperadas de cada agente pelo seu impacto, considerando a projeção para o ano 2100 em relação ao clima tropical e a vegetação de savana. Legenda: 1 = uso da terra; 2 = clima; 3 = deposição de nitrogênio; 4 = intercâmbio biótico; 5 = CO₂ atmosférico. (Adaptado Sala et al., 2000)

1.4 Padrões temporais da cobertura da terra no Cerrado

A vegetação apresenta padrões temporais que se mostram diretamente relacionadas aos impactos sobre os fluxos de matéria e energia (DEFRIES, et al., 2002; ZHANG, et al., 2003). A compreensão desse modelo proporciona ampliação do conhecimento referente ao monitoramento de longa duração dos padrões globais de vegetação por meio de indicadores de atributos terrestres advindos principalmente de sensores orbitais.

Nas regiões tropicais, em especial nos domínios das savanas, a caracterização dessas dinâmicas tem recebido ainda mais atenção devido ao aumento da demanda por terras agricultáveis, que podem ampliar os impactos sobre o clima (OSBORNE et al., 2004). Mesmo havendo controvérsias quanto à sua extensão, a sazonalidade observada nas savanas tropicais mostra-se relacionada à análise de modificações ecossistêmicas (GIRI, et al., 2005).

Dentre as savanas globais, o Cerrado destaca-se como a mais diversa em termos biológicos e ambientais (SILVA, et al., 2002; SILVA, et al., 2006). Segundo Ribeiro e Walter (2008), os principais tipos de fitofisionomias do Cerrado estão enquadrados em formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e

cerradão), formações savânicas (cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda) e formações campestres (campo sujo, campo limpo e campo rupestre).

Essa classificação de fitofisionomias é estrutural baseada nas proporções entre o estrato arbóreo e herbáceo-arbustivo, refletindo padrões fenológicos distintos entre si. As diferenças das principais formações vegetais do Cerrado foram destacadas por Carvalho Junior et al. (2012) por meio do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (Figura 4). Esses autores demonstraram que as formações florestais, nesse caso as Matas Galeria, apresentaram os maiores valores de índices de vegetação e menor variação sazonal, devido ao fato de estarem localizadas próximas aos cursos d'água. Por outro lado, as formações campestres refletiram a maior variação sazonal, pois são caracterizados predominantemente pelo estrato herbáceo, que perde praticamente toda vegetação da terra durante a estação seca, devido a vegetação fotossinteticamente não ativa que apresentam baixa refletância, mantendo-se apenas por suas estruturas subterrâneas. A formação savânica apresentou valores intermediários por ser caracterizada pela presença de elementos arbóreos e herbáceos.

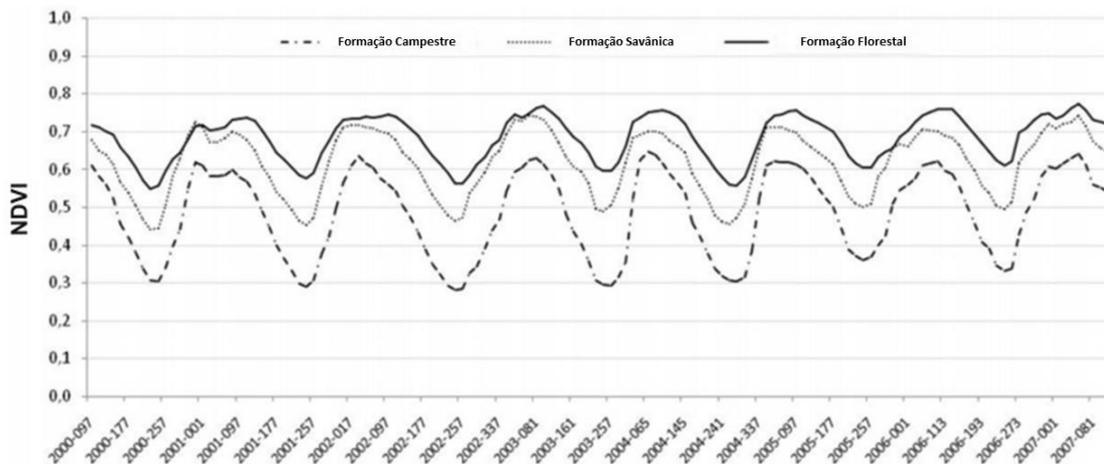


Figura 4 ó Padrões temporais típicos das principais formações vegetais encontradas no Parque Nacional de Brasília (PNB): Formação Florestal (linha preta); Formação Savânica (linha pontilhada); Formação Campestre (linha tracejada) (Fonte: Carvalho Junior et al., 2012).

CAPÍTULO 2 ó MAPEAMENTO TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO POR MEIO DE DADOS DO SENSOR MODIS

2.1. Introdução

O bioma cerrado passa por constantes modificações que estão atreladas aos usos agropastoris recentes, tornando relevante a descrição de sua dinâmica de ocupação para a gestão de seus recursos naturais (JENPSON, 2005; BRANNSTROM et al., 2008). É fundamental a caracterização dos padrões temporais das principais coberturas da terra (COUTO JUNIOR et al., 2011; CARVALHO JUNIOR et al., 2012).

Atualmente um dos principais avanços foi o desenvolvimento de sensores orbitais com alta resolução temporal, como o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) que impulsionou a geração de séries temporais contínuas da superfície terrestre. Esse sensor proporcionou a geração de medições da variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal devido à sua capacidade de integração do comportamento espectral e a atividade fotossintética, por meio dos índices de vegetação (HUETE et al., 2002).

Com isso, essas séries temporais contínuas permitem uma descrição mais detalhada das variações sazonais da cobertura terrestre e fenologia da vegetação (KANG et al., 2003; SAKAMOTO et al., 2005; ZHANG et al., 2003).

Contudo, a utilização dessas séries temporais está condicionada ao tratamento de dados contaminados com ruídos atmosféricos e instrumentais. Carvalho Junior et al. (2012) descreveram um procedimento metodológico simples e que proporciona a obtenção de assinaturas temporais da cobertura terrestre com a atenuação daqueles ruídos presentes nas séries temporais contínuas.

Com base nas informações, o presente estudo foi desenvolvido na região central do Brasil, onde se encontra o domínio do Cerrado brasileiro, que vem sofrendo alterações de forma intensa desde 1970 (GALFORD et al., 2008).

O objetivo foi a caracterização das coberturas natural e antrópicas do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto por meio de dados do sensor MODIS.

2.2. Área de estudo

O alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto está localizado na região central brasileira, localizada entre os paralelos 15° 29' e 16° 18' de latitude sul e os meridianos 47° 00' e 47° 38' de longitude Oeste (Figura 5).

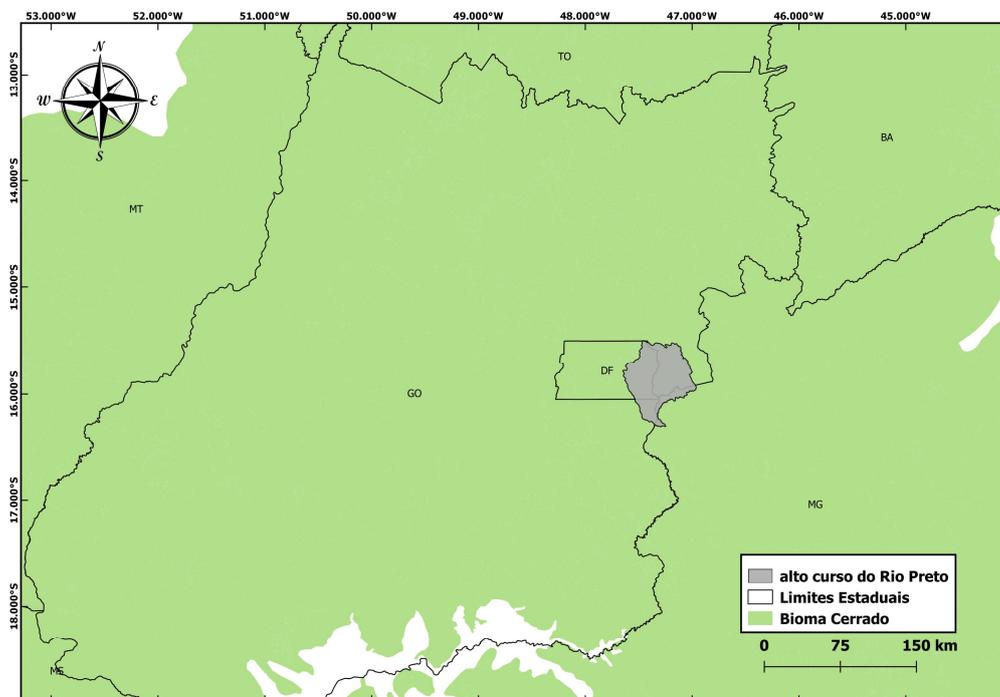


Figura 5 - Localização geral da área de estudo da região do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto (DF/GO), inserido dentro do Bioma Cerrado, no Planalto central Brasileiro.

A área da bacia hidrográfica possui uma extensão de 2.147 km², sendo caracterizada por uma sazonalidade marcada, com invernos secos (maio a setembro) e verões chuvosos (outubro a abril).

2.3. Materiais e Métodos

2.3.1 Organização dos dados orbitais do Sensor MODIS

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), formalmente conhecido como EOS-AM-1, foi projetado para atender os campos de estudos relacionados à atmosfera, oceano e terra, possui resolução espacial 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) (ANDERSON, 2003). É utilizado amplamente em estudos relacionados a gestão de recursos naturais devido a sua melhor aplicação no desenvolvimento de séries históricas para o monitoramento espacial da vegetação.

Dentre os produtos oferecidos pelos MODIS encontra-se o MOD13 que tem como subproduto o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que oferece dados relacionados a produção de biomassa. Para confecção do trabalho foi usado o produto MOD13, disponibilizados pela *National Aeronautic Space Administration* (NASA), corresponde a uma composição de 16 dias, resolução espacial de 250 metros e intervalo temporal entre os anos 2000 e 2010. A geração de imagens é feita a partir da refletância diária de superfície (MOD09 - nível 2), corrigidos para o espalhamento molecular, absorção de ozônio e aerossóis (VERMOTE et al., 2002).

Neste trabalho foi utilizado o produto *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), com valores entre -1 a +1, conforme a densidade da vegetação, e possuindo o potencial de monitoramento da vegetação para a compreensão do meio ambiente (WEIER e HERRING, 2000). Esse índice é composto pela refletância entre as faixas do visível e infravermelho próximo, de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{NDVI} = (\mu_{\text{IVP}} - \mu_{\text{Ver}}) / (\mu_{\text{IVP}} + \mu_{\text{Ver}})$$

Onde μ_{IVP} são os valores de refletância no infravermelho próximo e μ_{Ver} são representados pela refletância na faixa do vermelho (Rouse et. al.,1973).

Considerando que os dados de índices de vegetação são corregistrados, foi gerado um cubo temporal, onde X refere-se à longitude; Y, à latitude; e Z, aos valores do Índice de Vegetação (CARVALHO JUNIOR et al. 2012) (Figura 6).

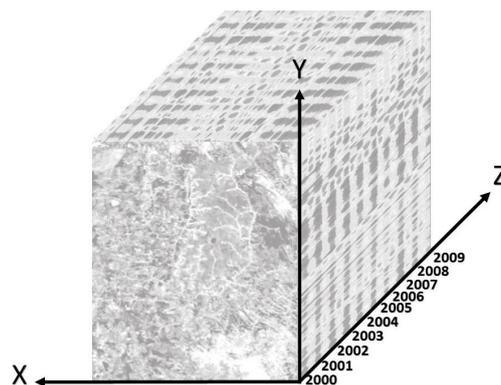


Figura 6 - Serie temporal do sensor MODIS com imagens geradas a partir de uma sequência lógica crescente, no intervalo de 2000 a 2010. X representa a longitude; Y à latitude; e Z, os valores do Índice de Vegetação.

2.3.2 Tratamento de ruídos da série temporal NDVI

Após a organização desses dados foram realizados tratamentos para a atenuação de ruídos, conforme procedimentos apresentados por Carvalho Junior et al. (2012):

- 1) **Aplicação de um filtro móvel de mediana:** O filtro de mediana é um caso particular da *i*-ésima ordem estatística de uma série de números reais, utilizando uma janela móvel sobre a assinatura temporal, organizando as observações em ordem crescente, gerando o valor central da janela por meio de operações não lineares simples.
- 2) **Separação da fração de sinal pela transformação da Fração Mínima de Ruído (FMR):** A Fração Mínima de Ruído (FMR) é uma transformação semelhante à Análise de Componentes Principais (ACP), sendo linear, porém, maximiza a razão sinal/ruído para o ordenamento das imagens, segundo sua qualidade (GREEN et al., 1988).
- 3) **Restituição dos dados para a escala original de NDVI:** Foi utilizada a transformação inversa FMR, que considera o ponto de inflexão dos autovalores e a qualidade das imagens. Essa transformação elimina a presença do ruído branco (não-correlacionados e com baixa variância), pois considera a fração sinal.

2.3.3 A Caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG

O Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG) realiza a correlação entre BDE-Goiás (Banco de Dados Estatísticos do Estado de Goiás) e o Sistema de Informações Geográficas. Dentre os dados disponibilizados, destaca-se os referentes aos usos e coberturas da terra, gerados por meio de caracterização local e disponibilizado na escala 1:250.000, no formato (shp, dbf e shx) e sistema coordenadas geodésicas SAD69 (*South American Datum 69*).

No presente trabalho, foram estudadas as classes inseridas em duas categorias de usos e cobertura da terra, de acordo com a base geoespacial SIEG:

- 1) Cobertura Natural: subdividida na classe Cerrado;
- 2) Cobertura Antrópica: subdividida nas classes Área urbana, Agricultura e Pastagem.

Essas classes foram utilizadas como máscara para a caracterização temporal dos valores de NDVI, visando obter o comportamento médio desse índice de vegetação dentro do intervalo de 10 anos, organizados em biblioteca temporal.

2.3.4 Séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural

De acordo com os dados disponibilizados pelo SIEG, a classe de cobertura natural foi classificada apenas como cerrado. Contudo, o emprego de imagens de alta resolução espacial, por meio da base de imagens disponibilizada pelo Google, evidencia a presença de subdivisões de coberturas vegetais naturais. Os comportamentos dessas formações vegetais podem ser caracterizados por meio das séries desenvolvidas neste trabalho.

Para isso, foram coletadas as assinaturas temporais (perfil Z) de trinta pontos referentes a cobertura natural da terra para a classe cerrado. As subdivisões foram feitas depois de análise visual e com base na proposta metodológica de Ribeiro e Walter (1998), onde foram classificadas as coberturas naturais em formações florestais, savânicas e campestre.

Para isso, a subdivisão da classe cerrado obedeceu a ordem de dez pontos para a formação florestal (FF), dez pontos para formação savânica (FS) e dez pontos campestre (FC) (Tabela 2).

Afim de proporcionar uma maior precisão na coleta dos pontos para caracterização das assinaturas temporais (perfil Z) foi usado o *software* de visualização tridimensional do globo terrestre Google Earth versão 7.1, por meio da ferramenta de aproximação (Figura 7).

Tabela 1 - Tipo de fitofisionomia (formação florestal, savânica e campestre) e coordenadas geográficas.

Formação	Latitude	Longitude	Formação	Latitude	Longitude	Formação	Latitude	Longitude
Florestal	-15,605221	-47,210182	Savânica	-15,884003	-47,302657	Campestre	-15,514877	-47,106185
Florestal	-15,610206	-47,189903	Savânica	-15,885593	-47,287378	Campestre	-15,542713	-47,132295
Florestal	-15,657928	-47,160816	Savânica	-15,889636	-47,145899	Campestre	-15,558981	-47,178578
Florestal	-15,656153	-47,153225	Savânica	-15,772652	-47,160402	Campestre	-15,607624	-47,234976
Florestal	-15,796586	-47,312372	Savânica	-15,717436	-47,233806	Campestre	-15,677499	-47,162812
Florestal	-15,651215	-47,307860	Savânica	-15,733143	-47,106232	Campestre	-15,731441	-47,167536
Florestal	-15,609282	-47,317708	Savânica	-15,741996	-47,101897	Campestre	-15,765459	-47,199300
Florestal	-15,979347	-47,194064	Savânica	-15,731296	-47,115397	Campestre	-15,902524	-47,145724
Florestal	-15,987629	-47,211538	Savânica	-15,738044	-47,261110	Campestre	-15,861361	-47,294656
Florestal	-15,781822	-47,142669	Savânica	-15,777372	-47,298373	Campestre	-15,657537	-47,285869

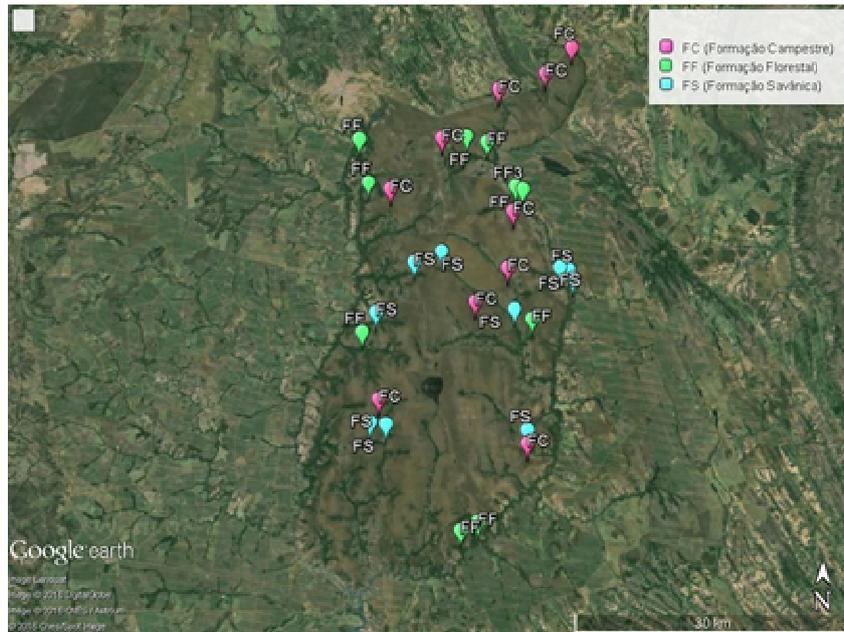


Figura 7 ó Localização dos pontos de coleta dos padrões temporais (perfil Z) de 30 da cobertura natural da terra em ambiente de cerrado, sendo dez pontos para formação florestal, dez pontos para formação savânica e dez pontos para formação campestre. Imagem Digital Globe 2016.

2.4. Resultados e Discussões

2.4.1 Resultado do tratamento de ruídos da série temporal NDVI

Os resultados mostraram uma redução na presença de ruídos na comparação entre as séries temporal original e tratada dos grupos analisados no intervalo de 2000 a 2010 (Figura 8). O filtro de mediana reduziu os ruídos, principalmente nas áreas de agricultura e cerrado que possuem maiores variações em seus de valores de NDVI.

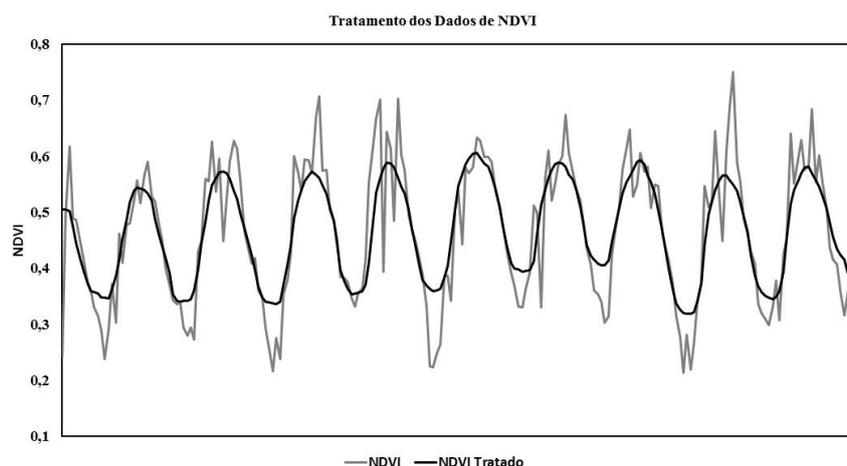


Figura 8 - Demonstração da variação entre os dados originais e tratados, resultando na otimização da qualidade dos dados.

O tratamento permitiu a confecção de uma série temporal tratada com valores suavizados, notados a partir da diferença entre os picos de elevação amostral dos dados originais e os tratados (Figura 8). Foi possível observar que os dados tratados possuem menor variação 0,0073 do que os dados originais 0,1500 evidenciando a eficiência do tratamento dos ruídos. Esse processo permitiu uma melhora significativa na qualidade dos dados para melhor caracterização das áreas de uso e cobertura da terra.

2.4.2 Resultados da caracterização temporal da cobertura da terra da base SIEG

Por meio das assinaturas temporais de NDVI, foi possível caracterizar os contrastes fisionômicos da vegetação fotossinteticamente ativa e não ativa nas áreas de agricultura, pastagem, urbana e cerrado (Figura 9).

As áreas de agricultura apresentaram uma variação em seu índice de vegetação durante o período analisado de 0,786 a 0,224. Os maiores valores de NDVI estão entre 0,759 a 0,786 encontrados nos meses de dezembro a março, nos anos de 2002-2004 e 2007-2009. Os menores valores de NDVI encontrados entre 0,224 a 0,303 foram nos meses junho a setembro entre os anos de 2000-2002 e 2004-2007.

Em áreas de pastagem o NDVI apresentou uma variação semelhante com as áreas de agricultura, com valor máximo 0,640 e valor mínimo 0,287. Os maiores valores de NDVI, entre 0,617 e 0,640 foram encontrados nos meses de janeiro a abril nos anos de 2004-2007 e 2008-2009. Os menores valores do índice de vegetação entre 0,287 e 0,321 foram encontrados nos meses de julho a outubro, nos anos de 2000, 2002-2003 e 2007-2008.

A área urbana apresentou valores de NDVI que variam entre 0,574 a 0,188. Os maiores valores de vegetação fotossinteticamente ativa, entre 0,541 e 0,574, foram encontrados nos meses de janeiro a março, nos anos de 2002-2004 e 2008-2009 e os menores de valores 0,188 a 0,215 indicando a vegetação fotossinteticamente não ativa foram encontrados nos meses de julho, agosto e setembro, nos anos de 2001-2000 e 2007.

Para a vegetação de cerrado, os valores de NDVI variam entre 0,878 e 0,256. Os maiores valores de NDVI foram 0,579 a 0,878. Os valores foram encontrados nos meses de janeiro a fevereiro, nos anos de 2003-2004 e 2007-2008. Os menores valores 0,256 a 0,276 encontrados nos meses de agosto a setembro, nos anos de 2002-2003 e 2007 (Tabela 2).

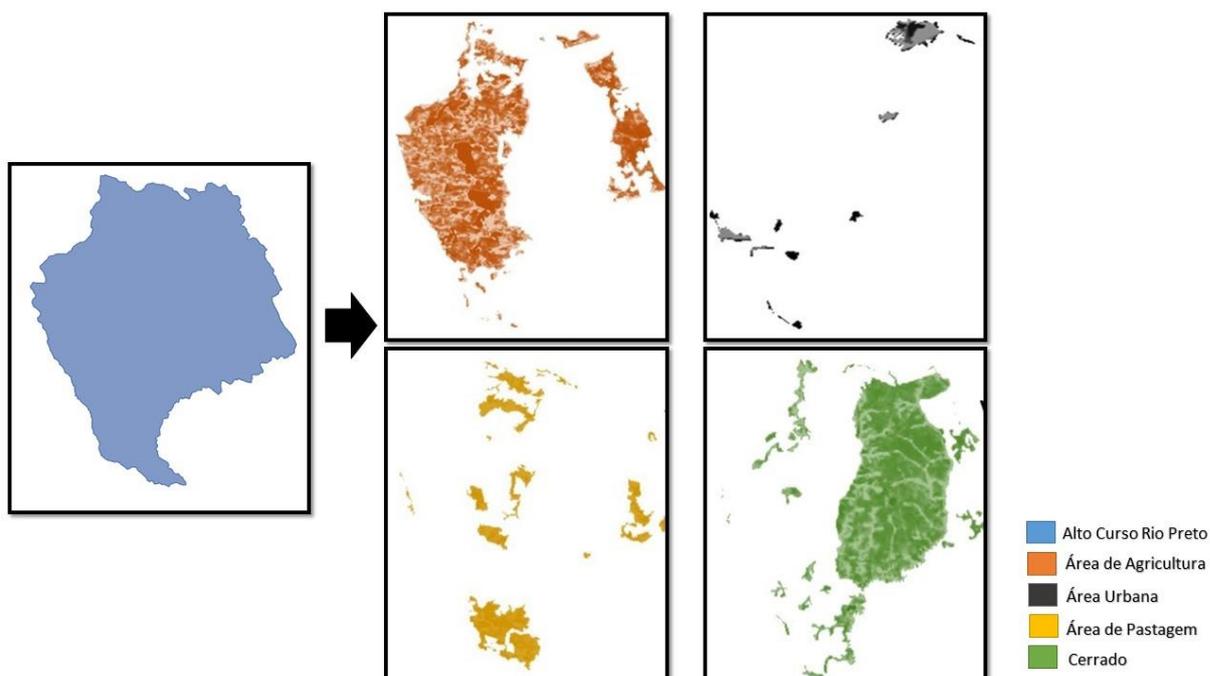


Figura 9 - Divisão do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto em áreas conforme classificação do uso da terra da base SIEG (2000-2010).

Tabela 2 - Variação absoluta de NDVI para as áreas de agricultura, de pastagem, urbana e cerrado da base SIEG.

Variação Absoluta de NDVI (2000-2010)

	Área de Agricultura	Área de Pastagem	Área urbana	Cerrado
Máximo	0,786	0,640	0,574	0,878
Mínimo	0,224	0,287	0,188	0,256
Variação Absoluta	0,562	0,353	0,386	0,622

As áreas naturais de cerrado apresentaram maior variação absoluta de NDVI (0,622) evidenciado pela diferenciação entre os períodos de seca e chuva e a proporção de vegetação fotossinteticamente ativa e não ativa no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Preto. As áreas antrópicas representadas por área de agricultura, urbana e de pastagem apresentaram relativa variação de NDVI evidenciados pelo uso agrícola do alto da bacia, pelo desenvolvimento de sua área urbana consolidada e pela baixa refletância espectral.

2.4.3. Resultados das séries temporais para a subdivisão da cobertura vegetal natural

Com base nos dados referentes a coleta dos pontos foi possível elucidar o comportamento sazonal das formações florestais, savânicas e campestres, por meio da subdivisão da cobertura vegetal, tendo como referência o campo de instrução militar da cidade de Formosa-GO.

Em relação às formações naturais e com base nos pontos coletados os valores de NDVI variaram conforme cada tipo de formação fitofisionômica. Para formação florestal as maiores classes de valores das séries temporais estavam entre (0,878) e (0,818), evidenciado pela predominância de espécies arbóreas com dossel contínuo com maior refletância.

Na formação savânica os valores de NDVI entre (0,695) e (0,631), evidenciam a presença vegetação arbórea e arbustiva sem a presença de dossel contínuo, com árvores concentradas em locais específicos. Para a formação campestre foi observado os maiores valores de NDVI entre (0,576) e (0,523), evidenciado pela presença de arbustos com espécies menos desenvolvidas (Figura 10).

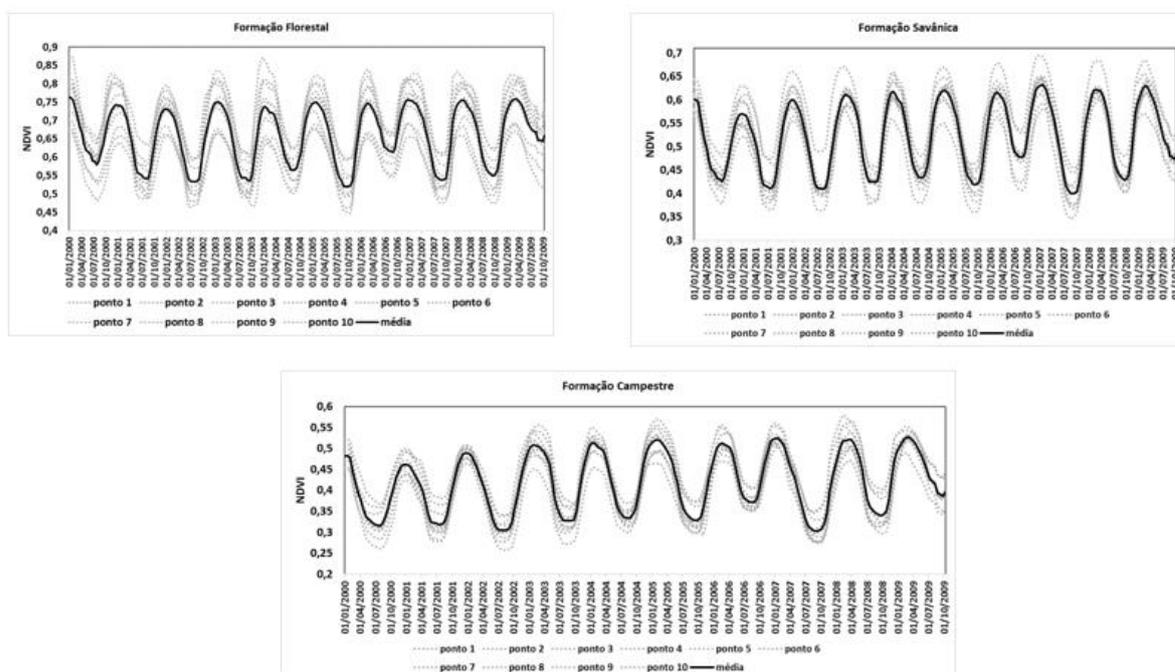


Figura 10 - Médias dos comportamentos temporais (perfil Z) das formações florestal, savânica e campestre, referentes aos trinta pontos de coleta obtidos por meio Google Earth®, dentro da Área do Campo de Instrução Militar de Formosa, inserido dentro do curso da bacia hidrográfica do Rio Preto. Legenda: Média = linhas pretas; Pontos de coleta = linhas pontilhadas

2.5. Conclusão

Os perfis temporais permitiram evidenciar os comportamentos dos índices de vegetação em relação às áreas estudadas. A aplicação do filtro de mediana e a transformação inversa da fração mínima de ruído (FMR) proporcionou ganhos significativos na determinação do comportamento temporal nas áreas estudadas de forma simples e objetiva. Nas regiões antrópicas a área de agricultura teve maior variação de seu conteúdo de biomassa em comparação a área urbana e a pastagem. Nas formações naturais de cerrado a formação florestal apresentou maior índice de vegetação no período analisado, evidenciado pelo dossel contínuo. Por meio da abordagem multitemporal com o sensor MODIS foi possível mapear e analisar a dinâmica da vegetação no alto curso do Rio Preto.

Considerando a importância das atividades humanas e da vegetação, espera-se que o trabalho tenha contribuído para facilitar as atividades de monitoramento e gestão dos recursos naturais. O desafio é compreender as complexas relações entre sociedade e ambiente, entendendo os problemas e contribuindo com soluções adequadas para o controle dos recursos naturais. Nesse contexto é importante o desenvolvimento de trabalhos futuros para integrar o ordenamento territorial e planejamento das atividades humanas com foco no desenvolvimento de um monitoramento ambiental efetivo e nas formas corretas de uso da cobertura da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. Sensor MODIS: uma abordagem geral. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*, São José dos Campos, São Paulo, 2003, p. 3.

ASNER GP. 1998. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64: 234-253.

BRANNSTROM, C. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implication for land-use policy. *Land Use Policy*, 25, 2008, p.579-595.

CARVALHO A.P.F. Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de Cerrado e sua relação com os espectros de refletância. Dissertação de mestrado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 2005, 126 p.

CARVALHO JUNIOR, O.A.; HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F. Identificação regional da floresta estacional decídua na bacia do rio Paranã a partir da análise

multitemporal de imagens MODIS. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(3), 2006, p.319-332.

CARVALHO JUNIOR, O.A. Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising MODIS temporal signatures. *Revista Brasileira de Geofísica*, 30(2), 2012, p.147-157.

COUTO JUNIOR, A.F. Tratamento de ruído e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. *Revista Árvore*, 35(3), 2011, p.699-705.

COUTO JUNIOR, A.F., CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S. Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e Milho *Zea mays* L.) em sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Cartografia*, 64(3), 2012, p.405-418.

COUTO JUNIOR, A.F., CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para a caracterização fenológica do algodão. *Revista Brasileira de Cartografia*, 65(1), 2013a, p.199-210.

COUTO JUNIOR, A.F. Phenological characterization of coffee crop (*Coffea arabica* L.) from MODIS time series. *Revista Brasileira de Geofísica*, 31(4), 2013b, p.569-578.

COUTO JUNIOR, A.F. Characterization of the agriculture occupation in the Cerrado biome using MODIS time series. *Revista Brasileira de Geofísica*, 31(3), 2013, p.393-402.

EITEN G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*, 38(2): 201-341.

GALFORD, G. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2008. 576-587.

GIRI, C.; ZHU, Z.; REED, B. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, 94, 2005. 123-132.

HANSEN, M.C.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.S.; CARROLL, M. Estimation of tree cover using MODIS data at global, continental and regional/local scales. *International Journal of Remote Sensing*, 26, n. 19, 2005. 4359-4380.

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

KANG S, RUNNING S.W, LIM J, ZHAO M, PARK C. & LOEHMAN R. 2003. A regional phenology model for detecting onset of greenness in temperate mixed forests,

Korea: An application of MODIS leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 86:232-242.

LAWRENCE, D.M.; SLINGO, J.M. An annual cycle of vegetation in a G.C.M. Part II: global impacts on climate and hydrology. *Climate Dynamics*, 22, 2004. 10-122.

MARTÍNEZ, B.; GILABERT, M. A. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. *Journal Elsevier, Remote Sensing of Environment*, v. 113, 2009, p. 1823-1842.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. *Cerrado: Ecologia e Flora*, vol. 1, capítulo 6, 2008, p. 152-199.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, v.80, p.223-230, 1997.

SAKAMOTO T., YOKOZAWA M., TORITANI H., SHIBAYAMA M, ISHITSUKA N. & OHNO H.A. 2005. Crop detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 96:366-374.

SALA, O. E.; CHAPAIN, F. S.; ARMESTO J. J.; BERLOW E.; BLOOMFIELD J.; DIRZO R.; HUBER-SANWALD E.; HUENNEKE L.F.; JACKSON R. B.; KINZIG A.; LEEMANS R.; LODGE D. M.; MOONEY H. A.; POFF N. L. R.; SYKES M.T.; WALKER B. H.; WALKER M.; WALL D. H. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science Compass Review*, vol. 287, 2000.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, v.10, p. 89-1003, 1989.

SILVA, F. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33, 2006. 536-548.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *Bioscience*, v.52, p.225-233, 2002.

SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DE GOIÁS (SIEG). *Governo do Estado de Goiás*, uso do solo. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acessado em: abril. 2016.

STEFFEN, W. Will Steffen, Katherine R.; ROCKSTRÖM J.; SARAH E. C.; INGO F.; BENNETT E.M.; BIGGS R.; CARPENTERS.R; VRIES W.; WIT C.A.; FOLKE C.; GERTEN D.; HEINKE J.; MACE G.M.; PERSSON L.M.; RAMANATHAN V.; REYERS B.; SÖRLIN S. Planetary boundaries: Guiding human development on a

changing planet. *Science*, online ISSN 1095-9203, published in December, by the American Association for the Advancement of Science, New York, USA, 2015.

VERBUG, P. Landscape level analysis of the spatial and temporal complexity of land-use change. In: DEFRIES, R.; ASNER, G.; HOUGHTON, R. *Ecosystems and Land Use Change*. 2004. p. 217-230.

VERMOTE E., E.L SALEOUS N., & JUSTICE C. 2002. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2):97-111.

VITOUSEK P.M., MOONEY H.A., LUBCHENCO J., MELILLO J.M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277:494-499.

ZHANG X., FRIEDL M.A, STRAHLER A.H, HODGES J.C.F, GAO F, REED B.C. & HUETE A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84:471-475.

WEIER, J.; HERRING, D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Earth Observatory. *National Aeronautic Space Administration* (NASA), 2000. Disponível em: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php. Acessado em: abril, 2016.