



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ROSANE GOMES DA SILVA

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS DA VEGETAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO JEQUITINHONHA-MG**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

ROSANE GOMES DA SILVA

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS DA VEGETAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO JEQUITINHONHA-MG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Machado Dias

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586d Silva, Rosane Gomes da, 1991-
Detecção de tendências da vegetação na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha-MG / Rosane Gomes da Silva. - 2020.
105 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.
Coorientadores: José Eduardo Macedo Pezzopane, Henrique Machado Dias.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Sensoriamento remoto. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Pezzopane, José Eduardo Macedo. III. Dias, Henrique Machado. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630*38

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO JEQUITINHONHA-MG**

Rosane Gomes da Silva

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 17 de fevereiro de 2020.



Profª. Drª. Daiani Bernardo Pirovani (Examinadora externa)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo



Prof. Dr. Jéferson Luiz Ferrari (Examinador externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo



Prof. Dr. João Batista Esteves Pelúzio (Examinador externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo



Prof. Dr. Henrique Machado Dias (Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

E esta é a mensagem que dele ouvimos, e vos anunciamos: que Deus é luz, e não há nele trevas nenhuma. (1 João 1:5)

RESUMO

SILVA, Rosane Gomes. **Detecção de tendências da vegetação na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha-MG**. 2020. Tese (Doutorado em ciências florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Coorientadores: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane; Prof. Dr. Henrique Machado Dias.

O monitoramento e a avaliação das mudanças na condição da vegetação são importantes para a biodiversidade e sua relação com as atividades humanas, auxiliando no planejamento, priorização, gerenciamento e monitoramento da conservação da biodiversidade. Dados de sensoriamento remoto podem auxiliar neste tipo de estudo, pois fornecem longas séries temporais contínuas, disponibilidade de dados de produtos com base em diferentes sensores remotos e indicadores de capacidade fotossintética. O objetivo deste trabalho foi estudar as mudanças na vegetação, associadas à variabilidade do clima e às alterações no uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, entre os anos de 2001 e 2018. Foram utilizadas imagens de NDVI, precipitação e temperatura dos anos de 2001 a 2018 e imagens de uso e ocupação da terra de 2001 e 2018. Os seguintes métodos foram utilizados para analisar as tendências interanuais no vigor da vegetação e no comportamento da precipitação e temperatura, considerando uma significância estatística de 5%: Tendência monotônica de Mann Kendall, tendência linear e correlação linear. Posteriormente, foi realizada a correlação linear entre o NDVI, temperatura e precipitação, por meio de regressão linear múltipla. Por fim, foram identificadas as alterações no uso da terra na bacia, e quantificados os ganhos e perdas de área em cada uso, com ênfase para as mudanças mais acentuadas. Os resultados demonstraram que 79% da área apresentou uma tendência de diminuição no vigor da vegetação, enquanto 21% da área apresentou uma tendência de aumento no vigor da vegetação. Os principais usos da terra que representaram áreas com tendência de diminuição foram pastagem e formação florestal. Áreas com tendência de aumento foram representadas, principalmente, por floresta plantada. A correlação do NDVI com a temperatura indicou a melhor resposta para uma defasagem de três meses, e para a maior parte da bacia, a correlação esteve entre 0,4 e 0,6 (56%), seguida de áreas com correlação entre 0 e 0,4 (34%). Para a correlação entre NDVI e precipitação, essa defasagem foi de um mês e, a maior parte da bacia (46%), obteve

correlação entre 0,4 e 0,6. Cerca de 30% da área obteve correlação entre 0 e 0,4 e 23% entre 0,6 e 0,8. Apenas 1% da área apresentou correlação menor que 0. As análises da dinâmica no uso e cobertura da terra indicaram que ocorreu supressão da vegetação em áreas naturais, que foram substituídas, principalmente por áreas de florestas plantadas, pastagem e culturas agrícolas. Áreas classificadas como pastagem foram substituídas, em sua maioria, por Mosaico de agricultura e pastagem, classe que contempla áreas de pastagem. Assim, é possível considerar que a maior parte dessa área se manteve inalterada. A classe Floresta plantada foi a única em que efetivamente os ganhos em área foram superiores às perdas, e ocuparam principalmente áreas de formação savânica, formação florestal e formação campestre. Demais áreas em que foi observado aumento no vigor da vegetação, podem estar associadas à alteração nos estágios sucessionais da vegetação nativa na área de estudo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, série temporal, *greenness*, Mann Kendall, Mapbiomas.

ABSTRACT

SILVA, Rosane Gomes. **Detection of vegetation trends in the Jequitinhonha-MG river basin. 2020. Thesis** (Doctorate degree in forest sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane; Prof. Dr. Henrique Machado Dias.

Monitoring and evaluating changes in the condition of vegetation is important for biodiversity and its relationship to human activities, assisting in planning, prioritizing, managing and monitoring biodiversity conservation. Remote sensing data can assist in this type of study, as they provide long continuous time series, product data availability based on different remote sensors and photosynthetic capacity indicators. The objective of this study was to study changes in vegetation, associated with climate variability and changes in land use, in the Jequitinhonha River basin, between 2001 and 2018. NDVI, precipitation and temperature images were used from 2001 to 2018 and land use images from 2001 to 2018. The following methods were used to analyze the interannual trends in vegetation vigor and the behavior of precipitation and temperature, considering a statistical significance of 5%: Mann Kendall monotonic trend, linear trend and linear correlation. Subsequently, the linear correlation between NDVI, temperature and precipitation was performed, using multiple linear regression. Finally, changes in land use in the basin were identified, and the gains and losses of area in each use were quantified, with emphasis on the most accentuated changes. The results showed that 79% of the area showed a tendency to decrease in the greenness, while 21% of the area showed a tendency to increase in the greenness. The main land uses that represented areas with a decreasing trend were pasture and forest formation. Areas with an upward trend were represented mainly by planted forest. The correlation of NDVI with temperature indicated the best response for a lag of three months, and for most of the basin, the correlation was between 0.4 and 0.6 (56%), followed by areas with a correlation between 0 and 0.4 (34%). For the correlation between NDVI and precipitation, this lag was one month and, most of the basin (46%), obtained a correlation between 0.4 and 0.6. About 30% of the area obtained a correlation between 0 and 0.4 and 23% between 0.6 and 0.8. Only 1% of the area showed a correlation less than 0. The analysis of the dynamics in land use indicated that there was suppression of vegetation in natural areas, which were

replaced, mainly by areas of planted forests, pasture and agricultural crops. Areas classified as pasture were mostly replaced by Mosaic of agriculture and pasture, a class that includes pasture areas. Thus, it is possible to consider that most of this area has remained unchanged. The class Planted forest was the only one in which the gains in area were actually greater than the losses, and occupied mainly areas of savanna formation, forest formation and grassland. Other areas in which an increase in the greenness of the vegetation was observed may be associated with changes in the successional stages of native vegetation in the study area.

Keywords: Remote sensing, time series, greenness, Mann Kendall, Mapbiomas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Assinatura espectral para diferentes tipos de vegetação e solo19
- Figura 2. Correlação entre os dados de EVI do sensor MODIS e as variáveis climáticas RAD- Radiação (a), TMP- Temperatura (b), PRE-Precipitação (c), Climate- Coeficiente de determinação da correlação múltipla com as três variáveis climáticas (d), entre 2001 e 201426
- Figura 3. Padrões espaciais de tendência linear em dados anuais de EVI (a) e suas correlações parciais com três fatores climáticos, radiação total anual (b), RAD (c), temperatura média anual (d), precipitação total anual, (PRE), de 2001 a 2014. As áreas não vegetativas foram desconsideradas27
- Figura 4. Comparação entre a variabilidade mensal de PPBP na torre de fluxo GDK (os círculos negros) com PPB do sensor MODIS (linha sólida), de 2006 a 201028
- Figura 5. Valores de NDVI projetados para o futuro na região da reserva natural três rios, China28
- Figura 6. Correlação entre dados de NDVI e precipitação para a região do Sahel e Sul da África.....29
- Figura 7. Variabilidades do balanço hídrico (acima) e da precipitação (abaixo), entre 2001 e 2010, na bacia do rio Xingu31
- Figura 8. Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Fitofisionomias estão apresentadas num gradiente de maior biomassa (Formações Florestais à esquerda) para as de menor biomassa (Formações Savânicas e Campestres à direita).....34
- Figura 9. Taxas de desflorestamento anuais do bioma mata atlântica36

Figura 10. Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no estado de Minas Gerais, com ênfase na variação de altitude dentro da bacia	40
Figura 11. Unidades de planejamento e biomas na Bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha	41
Figura 12. Informações preenchidas para criação de arquivo de série temporal no software TerrSet	44
Figura 13. Estrutura geral da metodologia	55
Figura 14. Valores médios encontrados para o NDVI, a temperatura e a precipitação, e uso da terra atual para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha	57
Figura 15. Valores médios anuais observados para o NDVI	59
Figura 16. Biomas na área de estudo.....	60
Figura 17. Valores médios anuais observados para a precipitação	64
Figura 18. Valores médios anuais observados para a temperatura	66
Figura 19. Tendências Interanuais para o NDVI. a) Significância das tendências à 5%, b) Tendência Monotônica de Mann Kendall, c) Tendência Linear, d) Correlação Linear.....	67
Figura 20. Significância das tendências calculadas para o a temperatura (A) e precipitação (B) ($p < 0,05$).....	71
Figura 21. Tendência calculadas para a temperatura (A, B, C) e para a precipitação (D, E, F)	72
Figura 22. Perdas e Ganhos entre 2001 e 2018 (Eixo Y corresponde à área em km^2).....	74

Figura 23. Mudanças nas classes Pastagem e Mosaico de agricultura e pastagem entre 2001 e 2018.....	75
Figura 24. Mudanças na classe Floresta plantada, entre 2001 e 2018.....	76
Figura 25. Mudanças nas classes representativas de formações vegetais naturais.....	77
Figura 26. Correlação linear entre o NDVI e a temperatura, considerando uma defasagem de três meses.....	79
Figura 27. Correlação linear entre o NDVI e a precipitação, considerando uma defasagem de um mês	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características espectrais do sensor MODIS, para estudo da vegetação	24
Tabela 2 - Valores de confiabilidade para o NDVI, obtidos nas imagens Pixel Reliability	43
Tabela 3– Séries dependentes e independentes para a geração das modelagens lineares	53
Tabela 4 – Fisionomias vegetais encontradas nas classes de vegetação natural das imagens MapBiomas para a área de estudo.....	61
Tabela 5 – Usos da Terra e valores de NDVI observados	61
Tabela 6 – Tendência Monotônica de Mann Kendall de acordo com os usos da terra na bacia.....	69
Tabela 7 – Correlação entre NDVI e temperatura para cada uso da terra	81
Tabela 8 – Correlação entre NDVI e precipitação para cada uso da terra	84

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. O SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DA VEGETAÇÃO 17	
3.1.1. Sensores remotos	20
3.1.2. Índices de vegetação de sensoriamento remoto.....	22
3.1.3. Estudos da vegetação global utilizando dados MODIS.....	25
3.1.4. Variabilidade da vegetação de acordo com o clima	28
3.2. DIFERENTES ABORDAGENS NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO NATIVA	31
3.3. VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA.....	33
3.3.1. Cerrado	33
3.3.2. Mata atlântica	35
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1. ÁREA DE ESTUDO	40
4.2. DADOS UTILIZADOS	42
4.2.1. Imagens de índice de vegetação por diferença normalizada- NDVI	42
4.2.2. Imagens de precipitação do satélite TRMM	45
4.2.3. Imagens de temperatura do sensor MODIS.....	47
4.2.4. Dados de uso e cobertura da terra e de elevação do terreno	48
4.3. ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS INTERANUAIS NO VIGOR DA VEGETAÇÃO E NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA	50
4.4. DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA	52
4.5. CORRELAÇÃO ENTRE VEGETAÇÃO E CLIMA.....	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	56
5.2. TENDÊNCIAS INTERANUAIS	67
5.2.1. Tendências do NDVI.....	67
5.2.2. Tendências dos dados climáticos	71
5.3. DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA	73
5.4. CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO.....	79
6. CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1. INTRODUÇÃO

As áreas de florestas naturais apresentam grande relevância ambiental, pois auxiliam na regulação do balanço de energia, ciclo da água e ciclo biogeoquímico (JACKSON et al., 2008; LAW et al., 2002) e desempenham um papel essencial no equilíbrio dos gases de efeito estufa (GEE) (ACHARD et al., 2002; GULLISON et al., 2007; VIBRANS et al., 2013). O Brasil possui a maior cobertura de florestas tropicais do mundo, o que somado a suas características de extensão territorial, diversidade geográfica e climática, possibilita a existência de uma grande diversidade biológica, representando de 15 a 20% das espécies descritas em todo o planeta (LEWINSOHN; PRADO, 2000).

Para auxiliar no planejamento, priorização, gerenciamento e monitoramento da conservação da biodiversidade, tornam-se importantes estudos que avaliem as mudanças na condição da vegetação nativa, as quais apresentam relação com a biodiversidade e, também, com as atividades humanas (FERRIER, DRIELSMA, 2010; FRANKE et al., 2012; RAYMOND et al., 2011). Um monitoramento sistemático da dinâmica da vegetação global possibilita compreender os efeitos das alterações climáticas (ARNETH et al., 2010; FALKOWSKI et al., 2000), auxiliando nos processos de previsão, mitigação e adaptação a futuras mudanças climáticas globais (CRAMER et al., 2001; SITCH et al., 2008).

A condição da vegetação geralmente é proveniente de um estado regional ou de referência, para cada tipo específico de vegetação (PARKES et al., 2003). Dentre as principais abordagens para estudo de condições de vegetação, está a tecnologia de sensoriamento remoto. Os dados atuais de sensoriamento remoto constituem uma forma avançada de monitorar a dinâmica da vegetação superficial em relação às variações climáticas em diferentes escalas espaço-temporais, pois fornecem longas séries temporais contínuas, disponibilidade de dados de produtos com base em diferentes sensores remotos e indicadores de capacidade fotossintética (TUCKER et al., 2001). Associadas às ferramentas de modelagem do ambiente terrestre, possibilitam estudar a dinâmica de comportamento da vegetação em decorrência das características climáticas locais (CHEN et al., 2014; MASELLI, 2004; ROSEMBACK et al., 2013).

No estado de Minas Gerais, Brasil, pode ser destacada a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, devido sua extensão, que abrange aproximadamente 70 municípios (FERREIRA; SAADI, 2013). Essa área era originalmente coberta por vegetação

natural dos biomas cerrado e mata atlântica, com alta variabilidade de tipos vegetacionais e topografia e heterogeneidade de climas. Essa região, historicamente, tem sofrido com os efeitos das atividades antrópicas, como a exploração de áreas para fins agropecuários, garimpo, mineração e desflorestamentos para fins diversos (PTDRS, 2006). A agropecuária é uma atividade marcante nessa região, seguida da agricultura de subsistência e atividades silviculturais.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar as mudanças na vegetação, associadas à variabilidade do clima e às alterações no uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, entre os anos de 2001 e 2018.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar tendências interanuais da vegetação, precipitação e temperatura medidos em imagens de satélite na bacia do rio Jequitinhonha, entre 2001 e 2018;
- Analisar a dinâmica de alteração no uso e ocupação da terra na bacia do rio Jequitinhonha entre 2001 e 2018;
- Analisar a correlação entre o vigor da vegetação e dados climáticos de precipitação e temperatura;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DA VEGETAÇÃO

Uma das vantagens das abordagens de avaliação da condição de vegetação baseada em parcelas é a capacidade de avaliar condições mais detalhadas, porém, a avaliação de campo torna-se impraticável para grandes áreas (ZERGER et al., 2006). Coletas de campo requerem tempo e recursos consideráveis, portanto, geralmente têm pouca cobertura geográfica e são pouco repetidas. A área da medida *in-situ* é limitada à escala local e pode não abranger os intervalos regionais ou globais. Além disso, os resultados dessas pequenas regiões não são eficazes para prever as consequências globais das atividades humanas (HARWOOD et al., 2016).

Outra limitação das abordagens baseadas em parcela é que a frequência temporal de coletas na parcela é limitada pelo financiamento e acessibilidade do local. Assim, os modelos de processo e estatística que podem abranger regiões mais amplas, tornam-se necessários (MCNELLIE et al., 2015). Nesse caso, técnicas efetivas são necessárias para monitorar e mapear condições de vegetação de forma remota, sistemática e frequente em uma escala regional e global (LAWLEY et al., 2016). As imagens de sensoriamento remoto capturadas a partir de satélites ou tecnologias aéreas, produzem várias faixas de informações espaciais e temporais a baixo custo por área específica, o que faz com que este método tenha sido cada vez mais empregado (CUNNINGHAM et al., 2009).

Não é possível selecionar um sensor específico e considerá-lo útil para todos os tipos de avaliação da condição de vegetação. Uma variedade de atributos de vegetação pode ser avaliada utilizando sensoriamento remoto; no entanto, existem alguns pontos fracos no desempenho desta técnica, que só podem ser superados por meio do levantamento de campo. As abordagens que utilizam avaliação de campo e sensoriamento remoto juntos proporcionam maior precisão do que as técnicas separadas. Além disso, é possível a utilização de sensoriamento remoto e avaliação de campo ao mesmo tempo, por meio do uso de veículos aéreos não tripulados (Vants) (TEHRANY et al., 2017).

Geralmente, três tipos de sensores em satélites podem ser utilizados para mapear o uso ou cobertura da terra: Satélites de monitoramento ambiental (como o Landsat), satélites meteorológicos globais (por exemplo, MODIS) e satélites civis (por exemplo, Quickbird, RADAR) (LEWIS et al., 2001). As imagens de satélites são produzidas por várias resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas (JENSEN, 1986),

que podem ser usadas de acordo com a aplicação e o objetivo da análise (KUMAR et al., 2010).

A resolução espacial é a que indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor e depende, principalmente, do detector e da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto (MORAES, 2002). Ela baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definindo a sua área do campo de visada do instrumento (MOREIRA, 2011).

A resolução espectral está relacionada à largura espectral em que opera o sensor e, a resolução radiométrica é a que define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, a capacidade de detectar e registrar as diferenças entre os elementos que compõem a cena (MENESES, ALMEIDA; 2012). Para Moreira (2011), a resolução radiométrica refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiação espectral proveniente de dois ou mais campos de visada instantânea do sensor. Ele afirma ainda que, juntamente com esta característica associa-se o modo como esta energia é armazenada. Sendo essa energia gravada em bits, em sensores com alta sensibilidade radiométrica, associa-se um número maior de bits para o sistema de gravação.

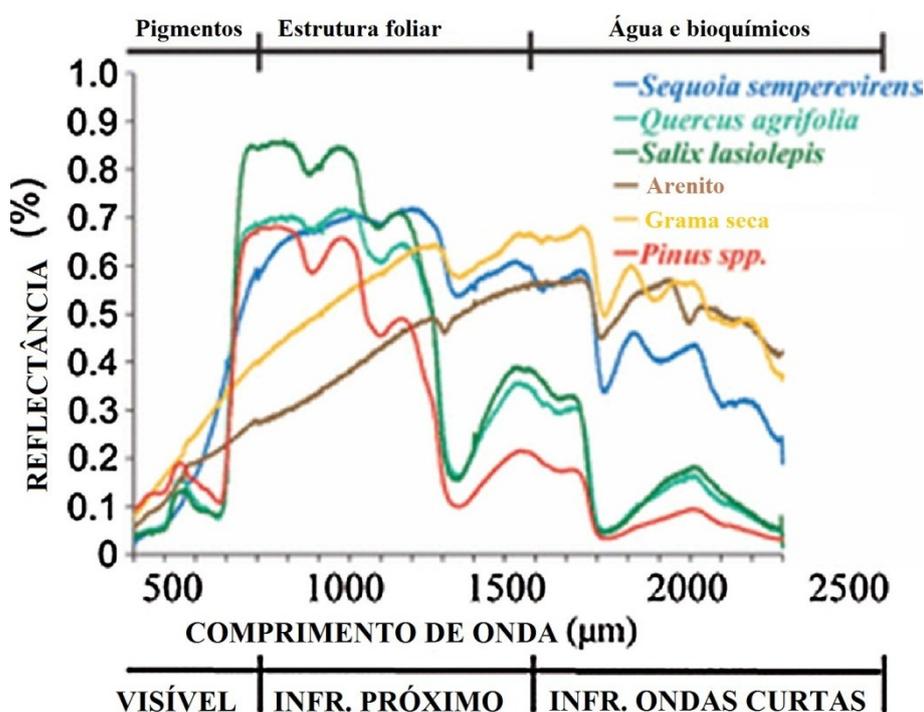
A resolução temporal está relacionada com a repetitividade em que o sistema sensor adquire informações do objeto, o intervalo de tempo em que o sensor obtém dados de uma mesma área (MENESES, ALMEIDA; 2012). De acordo com Moreira (2011), esta característica do sensor depende da sua resolução espacial, pois quanto maior a faixa de varredura, proporcional a resolução espacial, menor o tempo necessário para que o sensor obtenha dados de uma mesma área, e menor sua resolução temporal.

Os sensores remotos são dispositivos que detectam a energia eletromagnética proveniente de um objeto, sendo capazes de transformá-las em sinal elétrico e registrá-las, de forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos constituintes da superfície terrestre (MORAES, 2002). O sol é a principal fonte de energia no sistema solar e, principal fonte de energia eletromagnética captada pelos sensores no estudo da vegetação. A energia incidente é fracionada em partes, ou seja, absorvida, transmitida e refletida. As quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas das plantas diferem de uma espécie para outra, e também dentro da própria espécie, pois existem fatores ambientais que influenciam direta ou indiretamente nessa interação (MOREIRA, 2011).

A porção absorvida da energia solar pelos pigmentos contidos nas folhas corresponde a cerca de 50% do total de energia que chega até a planta. Essa energia participa dos processos de fotossíntese, fotoconversão, acelera reações como a fotooxidação das xantofilas, ou destrói estruturas de uma molécula. A outra parte da energia é refletida e uma terceira parte sofre o processo de transmissão (MOREIRA, 2011).

A Figura 1 permite observar as respostas espectrais de alguns tipos de vegetação e as diferenças entre as características bioquímicas e estruturais dessas plantas.

Figura 1. Assinatura espectral para diferentes tipos de vegetação e solo



Fonte: Adaptado de Ustin, Gamon (2010).

A dispersão entre o teor de água na folha e entre as folhas no dossel controla a reflectância do infravermelho próximo (HUNT, ROCK; 1989), de forma que as informações sobre a estrutura do tecido foliar e o índice da área foliar são muito úteis para esse tipo de análise. As espécies vegetais com paredes celulares mais espessas e as folhas mais compactas têm menor reflectância no infravermelho próximo devido a menor quantidade de espaços aéreos e menor conteúdo de água para dispersão de interfaces ar-água (USTIN, GAMON; 2010), pois em comprimentos de onda infravermelhos maiores que 1,5 µm, a reflectância da vegetação é determinada pela absorção de energia pela água (HUNT, ROCK; 1989). Além disso, várias técnicas foram desenvolvidas para medir pigmentos de clorofila, carotenóides e antocianinas

com base em suas características de absorção espectral e padrões fenológicos (FERET et al., 2008; USTIN et al., 2009).

A função fisiológica das folhas está altamente correlacionada com pigmentos foliares, de forma que alterações no conteúdo de pigmentos fornecem informações sobre o estado fisiológico da vegetação. Por exemplo, no caso do estresse, a clorofila tende a cair mais rapidamente do que os carotenóides (SIMS, GAMON; 2002). Neste contexto, a precisão aprimorada da tecnologia de sensoriamento remoto, possibilitou a extração de concentração de clorofila, carotenóides, bioquímicos, índice de área foliar, biomassa de folhagem, composição de pigmento, fração de detritos lenhosos, água e matéria seca da reflectância de combinações de bandas ou larguras de banda adequadas (FERET et al., 2008; TROMBETTI et al., 2008).

A utilização de fotografias aéreas com informações na faixa do infravermelho, possibilitou estudos da condição de saúde das plantas (JACKSON, 1986). A vegetação saudável reflete bandas de comprimento de onda do verde e menos da faixa do vermelho. Contudo; uma planta menos saudável reflete mais na banda vermelha e menos no comprimento de onda do verde, devido à redução da densidade foliar e à diminuição da densidade da clorofila (REID et al., 2016). Portanto, as variações na estrutura celular das folhas e a extensão da clorofila presentes nas plantas desempenham um papel importante na assinatura espectral das plantas. Apesar das vantagens da fotografia aérea, apresenta limitações para identificação das condições fisiológicas; consequentemente, limitando sua utilidade para os tipos de função da planta (PFTs) (TEHRANY et al., 2017).

3.1.1. Sensores remotos

Os sensores remotos podem ser classificados em passivos ou ativos. Os sensores passivos, como Landsat, Spot-5 e QuickBird, gravam informações das energias refletidas e emitidas e são freqüentemente usados em estudos de condições de vegetação. Os comprimentos de onda visíveis e infravermelhos são energias refletidas e os comprimentos de onda termais produzem a energia emitida. Os sensores de radar ativos, como RADARSAT, TerraSAR-X, emitem e obtêm um pulso de microondas em diferentes comprimentos de onda (por exemplo, X, C, S) e geram uma imagem usando a retrodifusão de radar (JENSEN, 1986).

Os sinais de radar podem passar pela cobertura da nuvem, operar 24h e não são afetados pelas circunstâncias climáticas. O *Shuttle Radar Topography Mission*

(SRTM) fornece dados de 30-90m de resolução, da elevação e topografia e tem sido usado em modelos de espécies e diversidade. Esses sensores também foram utilizados no mapeamento e modelagem da biodiversidade. Saatchi et al. (2008) usaram a integração de imagens de sensores e MODIS e SRTM, respectivamente, para mapear a diversidade das árvores na Bacia Amazônica.

TerraSAR-X e outros sensores ativos de alta resolução produzem conjuntos de dados multidimensionais que podem ser extraídos, como configuração de vegetação, biomassa e mapas *Land Use/Land Cover* (LULC) detalhados. Isso resulta em uma caracterização mais rica do meio ambiente e da biodiversidade do que os sensores de satélite passivos, porém, a desvantagem do RADAR é que pode ser facilmente afetado pela saturação de biomassa e pela umidade do solo (KATO et al., 2013).

Para a avaliação da condição da vegetação em uma área extensa, os dados de sensores passivos com resoluções espaciais pequenas (por exemplo, AVHRR, MODIS) ou médias (por exemplo, Landsat) são suficientes. Esses dados podem ser usados para mapear a produção primária, perturbação / recuperação (SMITH et al., 2008) e Uso e cobertura da terra em geral (CHEN et al., 2014). Os sensores MODIS e AVHRR produzem informações altamente confiáveis para a modelagem de classificação e diversidade de uso e cobertura da terra à níveis regional, continental e global. Além disso, eles produzem outras informações úteis para estudos de biodiversidade, como precipitação, temperatura e incêndios. Seis das sete bandas do sensor MODIS têm uma posição similar à do Landsat. A banda sete cobre toda a região do infravermelho de ondas curtas (SWIR) (USTIN, GAMON; 2010).

Os dados Landsat são os mais amplamente utilizados para a avaliação da biodiversidade devido ao seu acesso livre e alta resolução temporal e espacial (GILLESPIE et al., 2008). Foi amplamente utilizado nas classificações de uso e cobertura da terra (GAO, ZHANG; 2009), simulações de diversidade (DURO et al., 2014) e planejamento da conservação (ALEJANDRO, OMASA; 2007). As imagens de alta resolução, como hyperspectral, QuickBird e IKONOS, são apropriadas para regiões menores (MAHLEIN et al., 2012; ALLBED et al., 2014). Eles podem ser usados para mapear a vegetação a nível de espécies, copas de árvores em áreas florestais e para detectar doenças (WANG et al., 2004).

A cana do reino (*Arundo donax*) foi mapeada no sul do Texas, usando imagens QuickBird com precisão de mais de 80% (EVERITT et al., 2005). Outro estudo mostrou que as espécies invasoras foram detectadas por dados hiperespectrais com precisão de 78% devido à sua fenologia de foliar diferenciável (RAMSEY et al., 2005). Foram

identificadas sete espécies diferentes de árvores de carvalho, faia, pinheiro escocês, pinheiro e alperce com 86% de precisão na Bélgica, usando imagens de satélite de alta resolução (CARLEER, WOLFF; 2004). Utilizando imagens hiperespectrais, pode-se obter maior separabilidade de assinaturas espectrais e estrutura espacial da vegetação (SCHIMEL et al., 2013).

A estrutura e a área da vegetação, alturas e outras informações também podem ser obtidas utilizando tecnologias de sensoriamento remoto mais avançadas, como RADAR ou LiDAR (WASSER et al., 2013). Os dados LiDAR podem detectar as copas de árvores individuais. A parte do espectro de microondas (2 mm a 70 cm) é utilizada na análise por RADAR. LiDAR, no entanto, é capaz de emitir dois pulsos Infravermelho Próximo (NIR) e verde, com base na finalidade da captura de dados; NIR (1064nm ou 1535nm) para aplicações terrestres e a região verde (550nm), para aplicações de água. O uso de LiDAR aumenta o número de classes de vegetação que podem ser reconhecidas remotamente e, conseqüentemente, fornece novos conhecimentos sobre os estudos de tipos funcionais de vegetação (CHEN et al., 2006).

3.1.2. Índices de vegetação de sensoriamento remoto

O monitoramento da vegetação por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geralmente é realizado utilizando índices de vegetação, que são operações matemáticas elaboradas com o objetivo de avaliar a contribuição espectral do verde das plantas em observações multiespectrais (TUCKER, 1979; TUCKER e SELLERS, 1986; GOWARD et al., 1994; TIESZEN et al., 1997).

Os índices de vegetação são frequentemente empregados para medir a cobertura, vigor e densidade da vegetação. Os mais comumente utilizados em sensoriamento remoto são o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), Índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Modificado (MSAVI) e o Índice de Vegetação Ajustada ao Solo Transformado (TSAVI), sendo cada índice é apropriado para aplicação específica em uma circunstância específica (KUMAR et al., 2015).

Segundo Jensen (1949), um índice de vegetação ideal é aquele que consegue maximizar a sensibilidade aos parâmetros biofísicos das plantas, além de normalizar efeitos externos e internos em relação ao dossel, devendo ser acoplável à parâmetros biofísicos mensuráveis, seja a biomassa, o Índice de Área Foliar (IAF) ou Fração da

Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida Pela Vegetação (FAPAR), para fins de validação e controle da qualidade.

De acordo com Moreira (2011), o índice de vegetação mais empregado para avaliar o vigor da cobertura vegetal é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que foi desenvolvido por Rouse et al. (1974), sendo calculado pela Equação 1:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{VER}}}{\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{VER}}} \quad (1)$$

Em que, ρ_{IVP} representa a reflectância na região do infravermelho próximo e ρ_{VER} representa a reflectância na região do vermelho. O NDVI traduz o contraste gerado pela absorção de pigmentos vermelhos pela clorofila e a alta reflectância do mesófilo na faixa do infravermelho próximo (BANNARI et al., 1995). Na prática, este índice é um indicativo da atividade fotossintética da planta e está relacionado ao IAF e à FAPAR (BANNARI et al., 1995; MA, VEROUSTRAETE; 2006).

O sensor AVHRR a bordo da série de satélites de órbitas polares NOAA, produz o registro contínuo mais longo de dados de NDVI, desde julho de 1981 (TUCKER et al., 2005), como o GIMMS (Geração de modelagem e estudos de mapeamento de inventário global) (PINZON, TUCKER; 2014) e LTDR (Land Long Term Data Record) (PEDELTY et al., 2007). Com base em sensores mais novos e avançados, vários conjuntos de dados NDVI de prazo moderado, como SPOT-VGT (Système Pour l'Observation de la Terre VEGETATION; 1998-2014) (MAISONGRANDE et al., 2004), e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (2000-presente) (HUETE et al., 2002) foram disponibilizados.

Ao combinar os conjuntos de dados MODIS (2000-presente) de longo prazo LTDR (1981-1999) e de prazo moderado (2000-presente), o Laboratório de Índice de Vegetação e Fenologia construiu um novo conjunto de dados global NDVI VIP3 (DIDAN, 2010; MARSHALL et al., 2016). No entanto, um estudo de avaliação recente mostrou que, exceto o MODIS, todos os conjuntos de dados NDVI acima mencionados foram comprometidos com inconsistência temporal para análise de tendências devido a diferenças de sensores e mudanças de sensores entre plataformas (TARNAVSKY et al., 2008).

O sensor MODIS possui elevada resolução temporal e espectral, associadas à uma extensa faixa de obtenção de dados. O MODIS é um dos principais sensores a bordo

do satélite Terra, lançado em dezembro de 1999, e do satélite Aqua, lançado em 2002. Estes satélites fazem parte de um programa da National Aeronautics and Space Administration (NASA) de longo prazo, visando pesquisas e análises da terra, dos oceanos, da atmosfera e suas interações (NASA, 2017). Segundo Justice et al. (2002), o objetivo desse programa é determinar as mudanças que estão ocorrendo no planeta Terra e quais as consequências das mesmas.

O MODIS possui uma largura de faixa de visualização de 2.330 km, imageando toda a superfície da Terra a cada um ou dois dias (dependendo da posição geográfica). Possui órbita polar, e encontra-se a uma altitude de 705 km, com uma resolução radiométrica de 12 bits. Possui 36 bandas espectrais e adquire dados em três resoluções espaciais: 250 m (bandas 1 e 2), 500 m (bandas de 3 a 7) e 1000 m (bandas de 8 a 36). Quanto ao tempo de geração de produtos, pode ser diário, 8 dias, 16 dias, mensal, trimestral e anual (NASA, 2017). Para o estudo da vegetação, a faixa espectral utilizada corresponde aos comprimentos de onda entre 0,620 e 2,155 μm , conforme Tabela 1.

O dado bruto do sensor MODIS não é disponibilizado para os usuários, mas em contrapartida 44 produtos são gerados por meio da combinação entre as bandas, sendo destinados a diversos estudos e em diferentes níveis de processamento.

Tabela 1 – Características espectrais do sensor MODIS, para estudo da vegetação

Banda	Largura da banda (μm)	Faixa do espectro
1	0,620-0,670	Visível
2	0,841-0,876	Infravermelho próximo
3	0,459-0,479	Visível
4	0,545-0,565	Visível
5	1,230-1,250	Infravermelho próximo
6	1,628-1,652	Infravermelho médio
7	2,105-2,155	Infravermelho médio

Fonte: adaptado de NASA, 2017.

Os sensores MODIS têm uma vida projetada de seis anos, mas eles estão em operação desde 1999 e 2002, respectivamente. O produto de NDVI do sensor Modis não sofre o problema da inconsistência de dados de sensores múltiplos como para os outros conjuntos de dados NDVI de longo prazo. Apesar de ser referido como o "índice de continuidade" das séries temporais NDVI baseadas em AVHRR, apresenta um

sistema de navegação avançado e sensibilidade radiométrica melhorada, considerado superior ao NDVI baseado em AVHRR. Além disso, o Índice de Vegetação Avançada (EVI) também pode ser obtido do sensor MODIS, e reduz ainda mais a contaminação do fundo atmosférico e do solo remanescente, melhorando a sensibilidade a áreas densamente vegetativas (HUETE et al., 2002). É calculado pela equação 2:

$$EVI = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_{VER}}{\rho_{IVP} + (C_1 * \rho_{VER} - C_2 * \rho_{AZL}) + L} \quad (2)$$

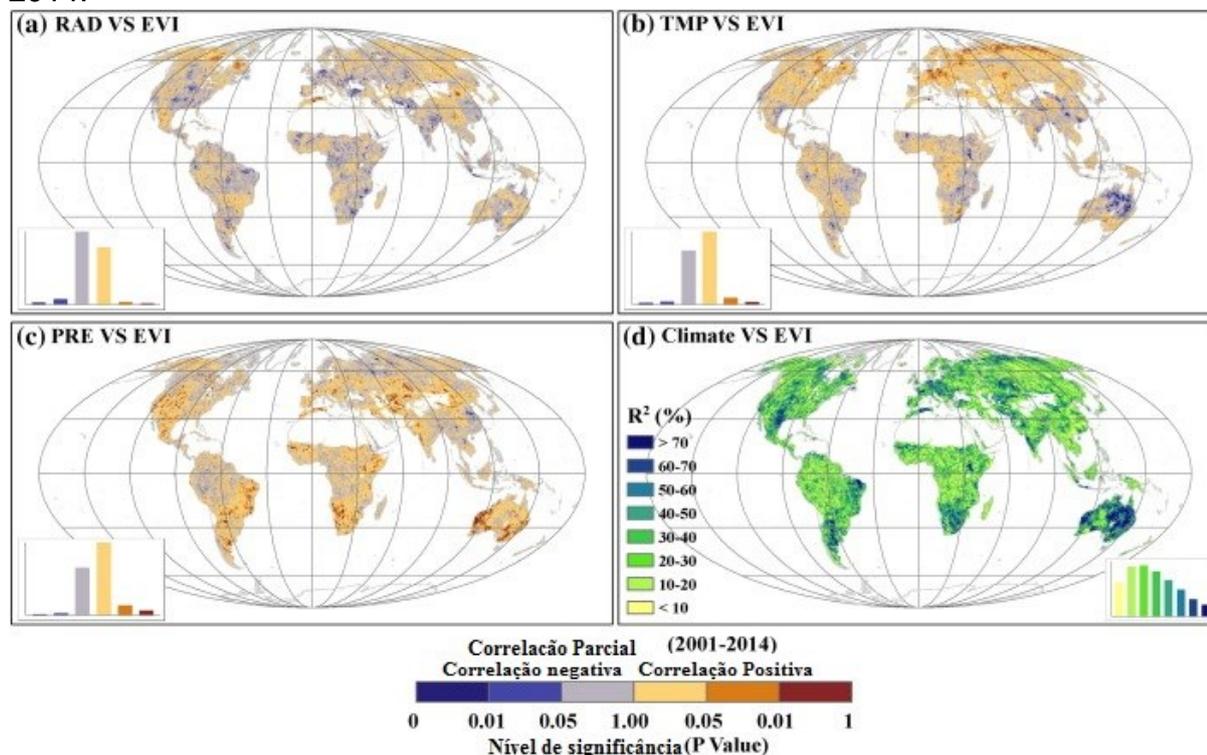
Onde: ρ_{IVP} representa a reflectância na região do Infravermelho próximo, ρ_{VER} representa a reflectância na região do vermelho e ρ_{AZL} representa a reflectância na região do azul, C_1 e C_2 são coeficientes de ajuste para os efeitos de aerossóis na atmosfera, L é o fator de ajuste do solo e G é o fator de ganho ajustado.

3.1.3. Estudos da vegetação global utilizando dados MODIS

As tendências de comportamento da vegetação foram estudadas em diversos ambientes em todo o mundo por meio de dados de sensoriamento remoto obtidos do sensor MODIS. Diversos autores encontraram respostas positivas de desenvolvimento da vegetação de acordo com as alterações climáticas, enquanto outros encontraram respostas negativas, a depender da região do planeta e as condições climáticas ideais para cada tipo de vegetação. Além disso, alguns trabalhos ousaram estudar o comportamento dos dados de vegetação numa escala mais grosseira e à nível global.

Zhang et al. (2017) realizaram um trabalho de avaliação dos dados de índices de vegetação do sensor MODIS, no qual puderam identificar as tendências atuais experimentadas pela vegetação em todo o mundo. Foram geradas correlações entre os dados EVI (representativos da vegetação) e climáticos (radiação, temperatura e precipitação). Globalmente, 12,0% da área vegetativa apresentou correlação parcial significativa ($P < 0,05$) entre EVI anual e precipitação total (Figura 2c), seguida da temperatura média (10,1%, Figura 2b) e radiação total (7,9%; Figura 2a). Em geral, de acordo com a análise de correlação múltipla (Figura 2d), as variações climáticas explicaram mais de 50% das variações anuais de verdura em 19,7% da área vegetal mundial, que se localizaram principalmente nas regiões semi-áridas e boreais.

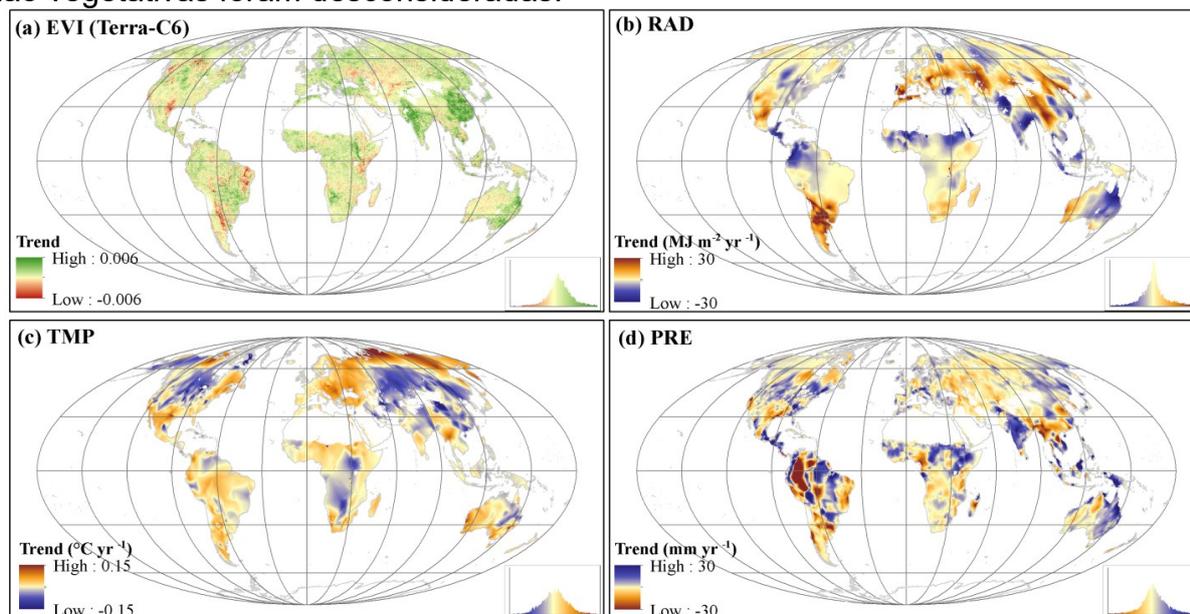
Figura 2. Correlação entre os dados de EVI do sensor MODIS e as variáveis climáticas RAD- Radiação (a), TMP- Temperatura (b), PRE- Precipitação (c), Climate- Coeficiente de determinação da correlação múltipla com as três variáveis climáticas (d), entre 2001 e 2014.



Fonte: Adaptado de Zhang et al., 2017.

As tendências ecológicas na Índia, sudeste da Austrália, América Central e Sudão do Sul (Figura 3a) foram geralmente associadas a uma tendência positiva da precipitação (Figura 3d). Por outro lado, as tendências negativas no oeste da Ásia, no leste do Brasil, no sudoeste dos EUA e na Argentina (Figura 3a) estiveram relacionadas a uma tendência de seca nessas regiões (Figura 3d). As tendências positivas em altas latitudes (por exemplo, o Norte da Eurásia (Figura 3a) relacionaram-se às tendências crescentes de temperatura e radiação (Figura 3b, c). Curiosamente, verificou-se uma diminuição da radiação solar que atinge a superfície terrestre, porém a tendência de seca foi associada à substancial ecologização no centro e sul da China (Figura 3).

Figura 3. Padrões espaciais de tendência linear em dados anuais de EVI (a) e suas correlações parciais com três fatores climáticos, radiação total anual (b), RAD (c), temperatura média anual (d), precipitação total anual, (PRE), de 2001 a 2014. As áreas não vegetativas foram desconsideradas.

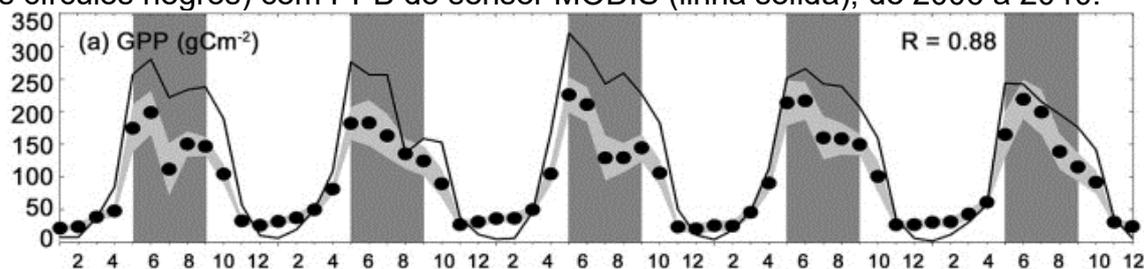


Fonte: Zhang et al., 2017.

Shim et al. (2014) compararam os dados de Produtividade Primária Bruta (PPB) do sensor MODIS com as medições baseadas no solo, na Coreia. Como as medidas do fluxo de torre com um tipo de floresta totalmente homogêneo cobrindo uma escala MODIS na Coreia são raras, foram considerados tipos de vegetação individuais para calcular valores representativos correspondentes à grade MODIS, o que permitiu uma comparação de PPB entre medições de solo e remoção de dados baseados na mesma área de amostragem. A comparação foi realizada apenas para a época de crescimento, uma vez que o PPB está principalmente associado à fotossíntese da biomassa, e a região apresenta tendências sazonais.

De acordo com os resultados, os dados mensais de PPB do MODIS superestimaram as medidas obtidas pela torre, em cerca de 15% a 34%, porém foram bastante correlacionados (Figura 4), com a variabilidade mensal na torre durante a estação de crescimento. Além disso, os dados MODIS representaram parcialmente a redução acentuada da PPB durante a monção de verão asiática (junho-setembro), quando a precipitação intensiva reduz consideravelmente a radiação solar e perturba o ecossistema da floresta.

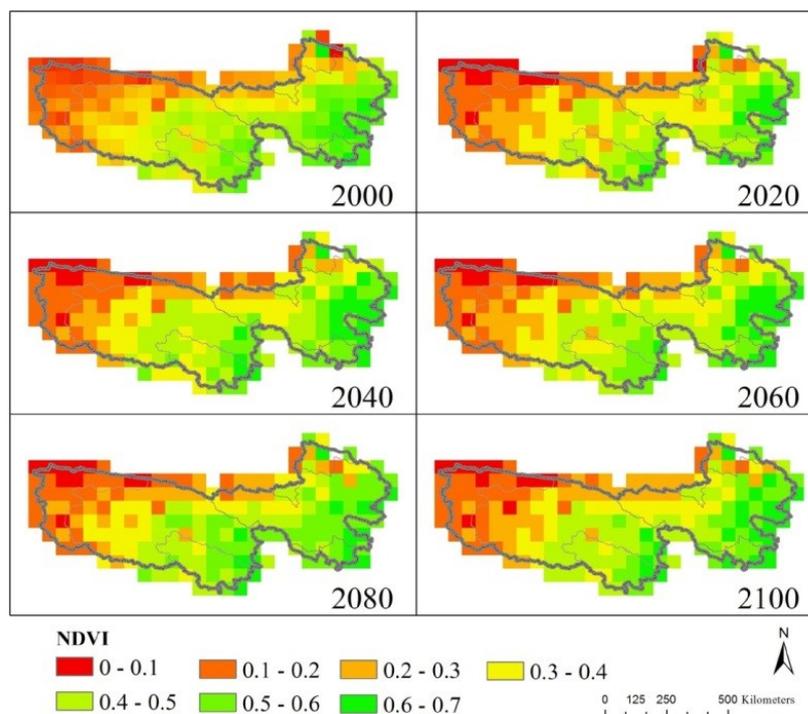
Figura 4. Comparação entre a variabilidade mensal de PPBP na torre de fluxo GDK (os círculos negros) com PPB do sensor MODIS (linha sólida), de 2006 a 2010.



Fonte: Shim et al. (2014).

Zheng et al. (2017) estudaram a resposta da vegetação às condições climáticas, utilizando como dados, imagens de NDVI para a região da reserva natural de Três Rios, na China e dados de temperatura e precipitação também obtidos de produtos de sensoriamento remoto. As mudanças projetadas indicaram, de modo geral, um aumento nos valores de NDVI, porém as tendências não foram significativas considerando a estação de crescimento (Figura 5).

Figura 5. Valores de NDVI projetados para o futuro na região da reserva natural três rios, China.



Fonte: Zheng et al. (2017).

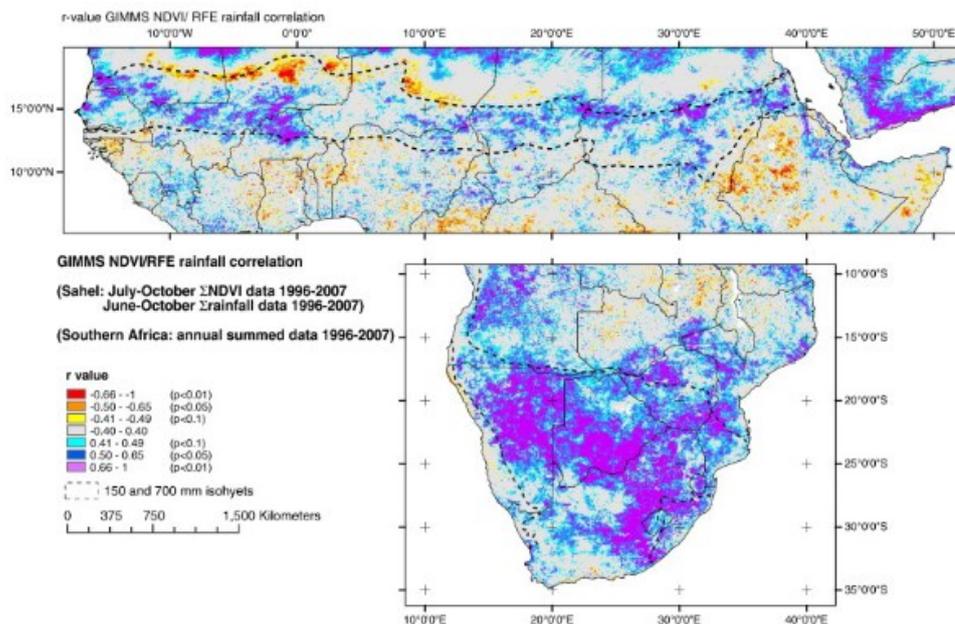
3.1.4. Variabilidade da vegetação de acordo com o clima

A precipitação é entendida como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI, TUCCI; 1993). Quando na forma líquida, é

denominada precipitação pluviométrica ou simplesmente chuva, geralmente medida em termos de volume de água precipitada por unidade de área (GARCEZ, ALVAREZ; 1988). A quantidade e a distribuição de chuva que cai anualmente em certa área, é de relevante importância, considerada como um dos principais fatores na classificação do clima, e que define regiões áridas, semiáridas, úmidas e superúmidas (REICHARDT, 1990). São vários os trabalhos que estudaram a variabilidade da precipitação pluviométrica em diversos lugares, e associaram-na às alterações observadas na resposta da vegetação.

Fensholt e Rasmussen (2011), por exemplo, correlacionaram as tendências de comportamento de dados de NDVI do sensor AVHRR/ NOAA com a variabilidade da precipitação pluviométrica estimada pelos sensores GPCP e RFE/ NOAA, na região do Sahel-Sudão, África. Os dados incluíram séries temporais do período de 1982 a 2007, com variação temporal de 16 dias. As análises geraram resultados espacializados para toda a área de estudo, em que foi possível observar valores de correlação que variaram em sua maioria, entre 0,4 e 1 (Figura 6).

Figura 6. Correlação entre dados de NDVI e precipitação para a região do Sahel e Sul da África.



Fonte: Fensholt, Rasmussen; 2011.

Kundu et al. (2017) utilizaram o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para estudar os impactos das mudanças climáticas e alterações no uso do solo, no balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Narmada, na Índia. Foram utilizados dados climáticos de precipitação, temperatura, umidade, horas de sol e radiação solar do

período de 1985 a 2000; além de dados do satélite LandSat de uso do solo e do Modelo Digital de Elevação do sensor Aster (GDEM) de 1990 a 2012. A metodologia incluiu processos de modelagem futura do uso do solo, modelagem futura dos valores de precipitação e temperatura, e a implementação desses dados no SWAT, contemplando etapas de calibração do modelo e geração das mudanças futuras no balanço hídrico climatológico. Dentre os principais resultados, autores encontraram que, devido aos impactos combinados das alterações do clima e do uso da terra, haverá um aumento no rendimento e diminuição da água evapotranspirada na área de estudo.

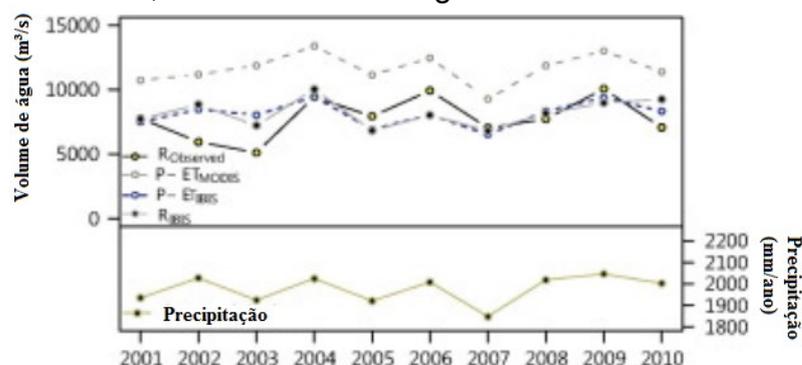
Leta et al. (2016) avaliaram os impactos das mudanças climáticas (precipitação, temperatura e concentração de CO₂) no balanço hídrico, na bacia hidrográfica de Heeia, no Havaí, utilizando o modelo SWAT. O processo envolveu o tratamento das variáveis climáticas de entrada, calibração e avaliação do modelo por meio de análise de sensibilidade considerando 26 parâmetros, assim como a geração dos cenários futuros de mudança climática e do balanço hídrico. Os resultados indicaram que o fluxo de base foi o componente mais afetado negativamente às mudanças climáticas em comparação com outros orçamentos de água.

Ospina-Noreña et al. (2017) analisaram o comportamento do balanço hídrico para condições atuais e futuras (2050 e 2070) de clima em uma região árida na Colômbia. Para isso foram obtidos dados hidrológicos, climáticos e de estudos ambientais. A análise incluiu parâmetros como evapotranspiração potencial e atual, umidade do solo, armazenamento, déficit de água e excesso, escoamento, períodos de recarga e uso de água. Os resultados indicaram uma diminuição da precipitação (2,4 e 11,0%) e um aumento da temperatura anual de cerca de 1,7 °C com o modelo HadGEM2 para o período 2041-2060 e 3,7 ° C com o modelo GFDL-CM3 para o período 2061-2080. O déficit projetado foi cerca de 18,8% ao ano para 2050 e 41,9 % ao ano para 2070.

Panday et al. (2015) estimaram as mudanças no balanço hídrico na bacia do rio Xingu, na Amazônia oriental- Brasil, devidas ao desmatamento e às alterações climáticas previstas. Foi utilizado o modelo *Integrated Biosphere Simulator* (IBIS) para as simulações do balanço hídrico, levando em consideração a variação histórica do uso do solo, precipitação e evapotranspiração; utilizando dados hidrológicos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) de 1972 a 1980 e dados de vegetação e evapotranspiração do sensor MODIS de 2001 a 2010. Foram gerados cenários considerando os efeitos, separadamente, do desmatamento e das alterações climáticas.

Os resultados para o cenário desconsiderando alterações no uso da terra, indicaram que as mudanças simuladas no armazenamento de água no solo estiveram fortemente relacionadas à precipitação, com coeficiente de correlação $r = 0,92$. O balanço hídrico (correspondente à precipitação menos a evapotranspiração) apresentou padrões de variabilidade muito semelhantes à variabilidade da precipitação, com coeficiente de correlação de 0,9, seguindo de perto a precipitação anual, apenas com magnitude diferente (Figura 7).

Figura 7. Variabilidades do balanço hídrico (acima) e da precipitação (abaixo), entre 2001 e 2010, na bacia do rio Xingu.



Fonte: Panday et al. (2015).

3.2. DIFERENTES ABORDAGENS NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO NATIVA

Respostas da biodiversidade às mudanças de uso da terra e climáticas tem sido cada vez mais exploradas para o planejamento da conservação, com ferramentas de decisão que estão sendo desenvolvidas para incorporar tais previsões (HANNAH et al., 2007; PRESSEY et al., 2007). O planejamento de conservação em si pode ser realizado através de várias abordagens, como geração, priorização e classificação ideais (BALL et al., 2009), avaliação de cenários interativos (FERRIER, DRIELSMA; 2010) ou avaliação de tipos de habitat (DRIELSMA et al., 2007; MOILANEN et al., 2009).

A seleção dos atributos de vegetação e o método apropriado para medir esses atributos são os principais desafios em qualquer processo de monitoramento (OLIVER, 2002). Realizar uma avaliação abrangente da condição de vegetação para cada espécie, considerando todos os atributos de vegetação em todas as escalas espaciais e temporais, não é viável, pois este processo requer alto custo e esforço, e em alguns casos os locais não são acessíveis. Aumentar o número de atributos de vegetação na análise não aumentará necessariamente a qualidade da avaliação. Por

outro lado, pode diminuir a precisão dos resultados e aumentar o custo (LINDENMAYER, LIKENS; 2010). Sendo assim, os pesquisadores costumam selecionar subconjuntos de indicadores da condição de vegetação em vez de usar diversos atributos de vegetação na avaliação da sua condição.

Embora a seleção de indicadores seja muito importante no monitoramento da vegetação, não existe um padrão específico para isso. Assim, em alguns casos, a escolha errada dos atributos da vegetação leva a um alto custo financeiro e resultados não fiáveis (FAILING, GREGORY; 2003). De acordo com Ustin, Gamon (2010), os fatores mais influentes na seleção de atributos vegetais são: as escalas espacial e temporal; objetivo da avaliação; acessibilidade e disponibilidade; despesas; possibilidade de replicação; e relevância ecológica. Existem três classificações gerais para os atributos da vegetação: estrutural, funcional e composicional (NOSS, 1990; OLIVER, 2002).

O arranjo físico da vegetação caracteriza a estrutura de vegetação (SOUZA et al., 2013), incluindo a altura da vegetação, número de camadas de vegetação (estratos), densidade de vegetação e cobertura de folhagem. Alguns dos atributos estruturais mudam muito lentamente ao longo do tempo, enquanto os outros podem enfrentar mudanças rápidas (FENSHAM et al., 2002). O tipo funcional da planta (PFT) utiliza características estruturais e biológicas para categorizar espécies em resposta a circunstâncias ambientais (como balanço hídrico e evapotranspiração) ou com base em suas influências nos ecossistemas (GILLISON, 2016). A composição está relacionada com a identidade e variedade de elementos em uma coleção, e inclui listas de espécies e medidas de diversidade de espécies e diversidade genética (NOSS, 1990).

Os atributos estruturais, funcionais e de composição não recebem pesos iguais na maioria das avaliações. Mensurar e interpretar os fatores estruturais, como a densidade da árvore, por exemplo, é mais fácil em comparação com os componentes funcionais, como a produtividade primária líquida (MOORE et al., 2006). Os atributos de composição (por exemplo, riqueza) são ainda mais complexos para serem medidos considerando sua natureza multidimensional e a exigência de obtenção de dados de longo prazo (LAWLEY et al., 2016).

Medir todos os atributos funcionais de forma abrangente no nível de parcela torna-se um desafio, já que muitas funções ocorrem em escalas mais amplas. No entanto, este é um problema em todos os atributos. Existem vários atributos de vegetação que podem ser medidos por várias técnicas, como a cobertura vegetal, altura da copa /

árvore , área foliar, estratos, densidade, extensão, proporção de vegetação fotossintética / não fotossintética, solo, riscos naturais (seca, inundação, fogo), ervas daninhas, regeneração, vegetação do sub-bosque, cobertura da folhagem, vizinhança, distância ao núcleo e potencial de persistência (WHITE et al., 2012).

A importância da escala espacial em relação à avaliação da condição da vegetação nativa (especialmente, avaliação de áreas grandes) tem sido reconhecida como um desafio (GILLESPIE et al., 2008). A informação sobre a condição de vegetação pode ser coletada no nível de parcela ou para regiões inteiras que usam sensoriamento remoto (LAWLEY et al., 2016). A maioria dos métodos baseados em parcelas são baseados em quadraturas, onde os atributos composicionais, estruturais e funcionais são mensurados em detalhes (por exemplo, parcela de 1 ha). Por outro lado, a escala em que o sensoriamento remoto pode mapear os atributos da vegetação é limitada de acordo sensor utilizado (TEHRANY et al., 2017).

3.3. VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Bioma pode ser definido como uma área do espaço geográfico, que tem como características a uniformidade de um macroclima definido, de uma determinada fitofisionomia ou formação vegetal, de uma fauna e outros organismos vivos associados, e de condições ambientais, como a altitude, solo, alagamentos, fogo, salinidade, entre outros; que lhe conferem uma estrutura e uma funcionalidade peculiares, constituindo uma ecologia própria (COUTINHO, 2006). A vegetação é tida como um dos componentes mais importantes da biota e seu estado de conservação e continuidade definem a existência ou não de habitats para as espécies, a manutenção de serviços ambientais e o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência das populações humanas (BRASIL, 2016). Na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha são encontrados os biomas Cerrado e Mata Atlântica, de acordo com o IBGE (2012).

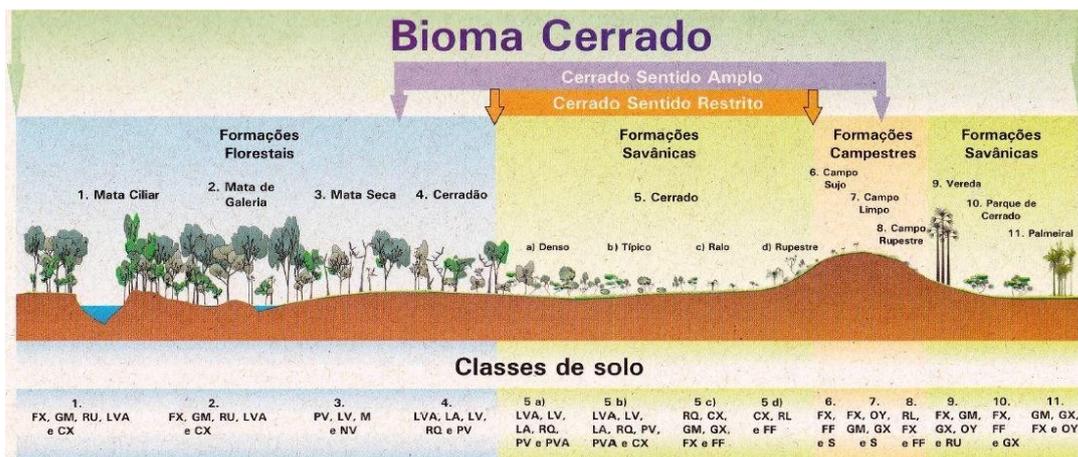
3.3.1. Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km², cerca de 24% do território nacional. Considerado como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, apresenta abundância de espécies endêmicas e sofre uma enorme perda de habitat. Do ponto de vista da diversidade biológica, o

Cerrado brasileiro é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas. As unidades de conservação representam cerca de 8% do seu território, sendo 3% de proteção integral e 5% de uso sustentável (BRASIL, 2016).

O Cerrado possui variações em suas fisionomias, como é possível observar na (Figura 8).

Figura 8. Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Fitofisionomias estão apresentadas num gradiente de maior biomassa (Formações Florestais à esquerda) para as de menor biomassa (Formações Savânicas e Campestres à direita).



Fonte: RIBEIRO; WALTER (2008).

Ribeiro e Walter (2008) apresentam uma classificação fitofisionômica para o Cerrado, dividida em formações paisagísticas:

Formações Florestais: São as formações que englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas com formação de dossel contínuo. **Mata de Galeria:** Contempla a vegetação florestal que acompanha os rios, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso d'água. **Mata Ciliar:** Por Mata Ciliar entende-se a vegetação florestal que acompanha os rios, em que a vegetação arbórea não forma galerias. **Mata Seca:** Incluem as formações florestais no bioma Cerrado que não possuem associação com cursos de água, caracterizadas por diversos níveis de caducifolia durante a estação seca. **Cerradão:** O Cerradão é a formação florestal do bioma Cerrado com características esclerofilas.

Formações Savânicas: As Formações Savânicas do Cerrado englobam quatro tipos fitofisionômicos principais: o Cerrado sentido restrito, o Parque de Cerrado, o Palmeiral e a Vereda. De acordo com a densidade (estrutura) arbóreo-arbustiva, ou com o ambiente em que se encontra, o Cerrado sentido restrito apresenta quatro subtipos: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre. O

Cerrado sentido restrito caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (Xilopódeos), que permite a rebrota após a queima ou corte.

Parque de Cerrado: O Parque de Cerrado é uma formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, algumas vezes imperceptíveis e outras com muito destaque, que são conhecidas como “murundus” ou “monchões”. Palmeiral: A formação savânica caracterizada pela presença única de espécie de palmeira arbórea é denominada de palmeiral. Nesta fitofisionomia praticamente não há destaque das árvores dicotiledôneas, embora elas possam ocorrer com frequência baixa.

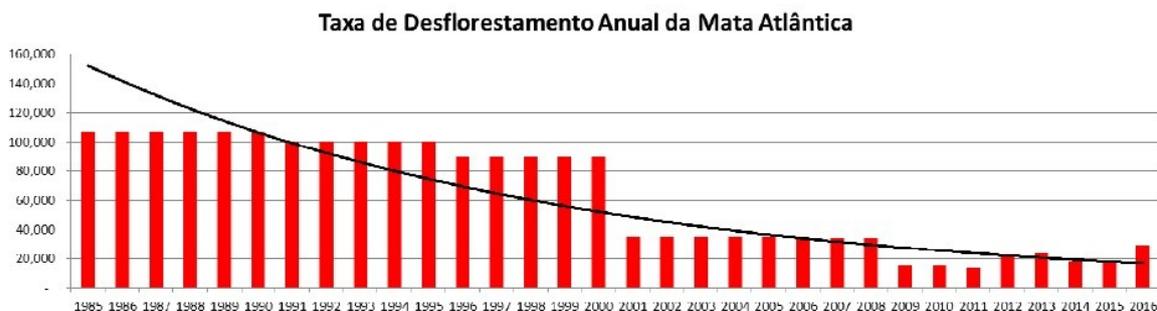
3.3.2. Mata atlântica

A expressão Mata Atlântica foi proposta inicialmente como uma definição para as matas costeiras perenifólias higrófilas, encontradas sobre serras ou não, por vezes em baixas altitudes e até um pouco acima do nível do mar (WAPPAEUS, 1884). A área que ocupa é uma faixa territorial que vai desde o Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul (COSTA et al., 2014), abrangendo 17 estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

Inicialmente, correspondia a uma área territorial de aproximadamente 1.290.000 km² ou cerca de 12% do território brasileiro (VARJABEDIAN, 2010). Porém, considerando os fragmentos acima de 3 ha, hoje restam apenas 12,5% da cobertura florestal original, sendo que apenas 8,5% dos remanescentes em bom estado de conservação encontram-se em área superior a 100 ha.

Ainda, de acordo com o Atlas de remanescente florestais da mata atlântica, para o ano de 2017 (de 2015 a 2016) apresentou uma taxa de aumento do desmatamento de 57,7% em relação ao período anterior. Para os anos de 1985 a 2011 ocorreu uma diminuição nas taxas de desmatamento no bioma, houve um aumento entre 2010 e 2012, uma diminuição em 2013 com relação a 2012, e novamente um aumento de 2014 até a atualidade. A figura 9 permite a visualização gráfica das taxas de desflorestamento entre 1985 e 2016.

Figura 9. Taxas de desflorestamento anuais do bioma mata atlântica



Fonte: SOS Mata Atlântica, 2017

De encontro à essas afirmações, estudo recente sobre a vegetação natural restante nos *hotspots* de biodiversidade, identificou que a região de mata atlântica brasileira apresenta áreas com no máximo 10% de vegetação intacta, sendo que a maior parte apresenta percentual menor que 5% (SLOAN et al., 2014).

Devido a sua grande extensão, a Mata Atlântica abriga diversas formações, diversificando um conjunto de ecossistemas florestais, os quais apresentam composições florísticas diferenciadas de acordo com as condições climáticas da região onde ocorrem, caracterizando suas diferentes fisionomias florestais (RIZZINI, 1997; KLEIN, 1984; MORI, 1989).

A nomenclatura adotada para cada fisionomia ou sistema vegetal varia conforme diferentes autores e o país de origem. No Brasil, as fisionomias ecológicas são tropicais, com pequenas áreas subtropicais, e as nomenclaturas atualmente aceitas foram equalizadas por Veloso em 1991, como uma proposta de universalização da terminologia. Diversas classificações já foram adotadas no Brasil, a saber: Classificação de Martius, Classificação de Gonzaga de Campos, Classificação de Alberto J. Sampaio, classificação de Lindalvo Bezerra dos Santos, classificação de Aroldo de Azevedo, classificação de Edgar Kuhlmann, classificação de Andrade Lima e Veloso, classificação do projeto RADAM, classificação de Rizzini, classificação de George Eiten.

Assim, a lei 11.428/2006 leva em consideração as seguintes fisionomias florestais que compõe o bioma Mata Atlântica: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; savana, savana-estépica, estepe, brejos interioranos e encraves florestais do

nordeste. Essas fisionomias foram descritas por Veloso et al. (1992) e pela mencionada lei, conforme se segue.

Floresta Ombrófila densa: O termo Floresta Ombrófila Densa, substituiu Pluvial (de origem latina) por Ombrófila (de origem grega), ambos com significado “amigo das chuvas”, sendo os termos densa e aberta empregados como divisão das florestas dentro do espaço intertropical. O tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, assim como lianas lenhosas e epífitos em abundância que o diferenciam das outras classes de formações. Sua característica ecológica principal são os ambientes ombrófilos que marcam a região florística florestal. A característica ombrotérmica da floresta ombrófila densa está relacionada aos fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (em média 25°C) e alta precipitação regularmente distribuída durante o ano, com no máximo 60 dias secos. Dominam nos ambientes desta floresta, os latossolos e os podzólicos de baixa fertilidade natural.

Floresta Ombrófila Mista: Esta floresta, que também é conhecida como mata de araucária ou pinheiral, é um tipo de vegetação do planalto meridional, onde ocorria com maior frequência, apresentando disjunções florísticas em refúgios situados na Serra do Mar e da Mantiqueira. A composição florística é caracterizada por gêneros primitivos como *Drymis* e *Araucaria* (Australásicos) e *Podocarpus* (Afroasiático).

Floresta Ombrófila Aberta: Este tipo de vegetação apresenta faciações florísticas que alteram a fisionomia ecológica da floresta ombrófila densa, com a existência de clareiras e gradientes climáticos com mais de 60 dias secos. Os terrenos areníticos são revestidos por comunidades florestais, com palmeiras e bambus, além das comunidades com sororoca e cipó que revestem preferencialmente as depressões do embasamento pré-cambriano e encostas do relevo de planaltos.

Floresta Estacional Semidecidual: Caracteriza-se pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15 °C. É constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfitos), ou pêlos, e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais. Entre 20 e 50% das árvores no conjunto florestal são caducifólias. Nas áreas tropicais é composta por mesofanerófitos em solos areníticos distróficos. Nas áreas subtropicais é composta por macrofanerófitos em solos basálticos eutróficos.

Floresta Estacional Decidual: Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa seguida de longo período seco, que ocorre como disjunções florestais com estrato dominante macro ou mesofanerófito, onde mais de 50% dos indivíduos é caducifólio, perdendo suas folhas no período desfavorável. Além disso, características semelhantes são observadas na borda do planalto meridional, onde encontra-se uma disjunção que apresenta o dossel emergente completamente caducifólio.

Campo de altitude: Vegetação típica de ambientes montano (500-2000m) e alto-montano (acima 2000m), com estrutura arbustiva e/ou herbácea, que ocorre geralmente nos cumes litólicos das serras com altitudes elevadas, predominando em clima subtropical ou temperado. Caracteriza-se por uma ruptura na sequência natural das espécies presentes nas formações fisionômicas circunvizinhas. As comunidades florísticas próprias dessa vegetação são caracterizadas por endemismos.

Manguezal: Vegetação com influência flúvio-marinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Amapá e Santa Catarina. Nesse ambiente halófito, desenvolve-se uma flora especializada, dominada por gramíneas (*Spartina*) e amarilidáceas (*Crinum*), que lhe conferem uma fisionomia herbácea, e por espécies arbóreas dos gêneros *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*. De acordo com a dominância de cada gênero, o manguezal pode ser classificado em mangue vermelho (*Rhizophora*), mangue branco (*Laguncularia*) e mangue siriúba (*Avicennia*), os dois primeiros colonizando os locais mais baixos e o último, locais mais altos e mais afastados da influência das marés.

Restinga: Vegetação que recebe influência marinha, presente ao longo do litoral brasileiro, também considerada comunidade edáfica, apresenta maior dependência do solo do que do clima. Ocorre em mosaico em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, podendo apresentar estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo.

Campos salinos: Encontrados em algumas planícies, quando a água do mar fica represada pelos terraços dos rios e a área salobra é densamente povoada por Gramineae do gênero *Spartina* e pela *Salicornia portulacoides*.

Áreas aluviais: São as comunidades vegetais das planícies aluviais que sofrem influência das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou das depressões alagáveis todos os anos. As comunidades vegetais vão desde a pantanosa criptofídica (hidrófitos) até terraços alagáveis temporariamente dos terófitos, geófitos e caméfitos. Nas planícies alagáveis melhor drenadas ocorrem comunidades campestres e nos

terraços mais enxutos dominam nanofanerófitos dos gêneros *Acacia* e *Mimosa*, assim como famílias pioneiras, tais como: *Solanaceae*, *Compositae*, *Myrtaceae*, entre outras.

Áreas de tensão ecológica: São as áreas entre duas ou mais regiões ecológicas ou tipos de vegetação, em que ocorrem comunidades indiferenciadas, onde as floras se interpenetram constituindo as transições florísticas (Écotoño) ou contatos edáficos (Encraves).

Brejo Interiorano: Mancha de floresta que ocorre no nordeste do País, em elevações e platôs onde ventos úmidos condensam o excesso de vapor e criam um ambiente de maior umidade. É também chamado de brejo de altitude.

Encrave Florestal do Nordeste: Floresta tropical baixa, xerófita, latifoliada e decídua, que ocorre em caatinga florestal, ou mata semi-úmida decídua, higrófila e mesófila com camada arbórea fechada, influenciada pela maior umidade do ar e maior quantidade de chuvas nas encostas das montanhas.

Savana: É definida como uma vegetação de clima estacional, com mais ou menos seis meses secos, apresentando uma fitosionomia ecológica semelhante à observada na África e Ásia.

Savana estépica: Este termo foi originalmente usado para designar uma vegetação tropical de características estépicas próximo à zona Holártica Africana. Apresenta dupla estacionalidade climática, com um período de seca fisiológica e um período chuvoso.

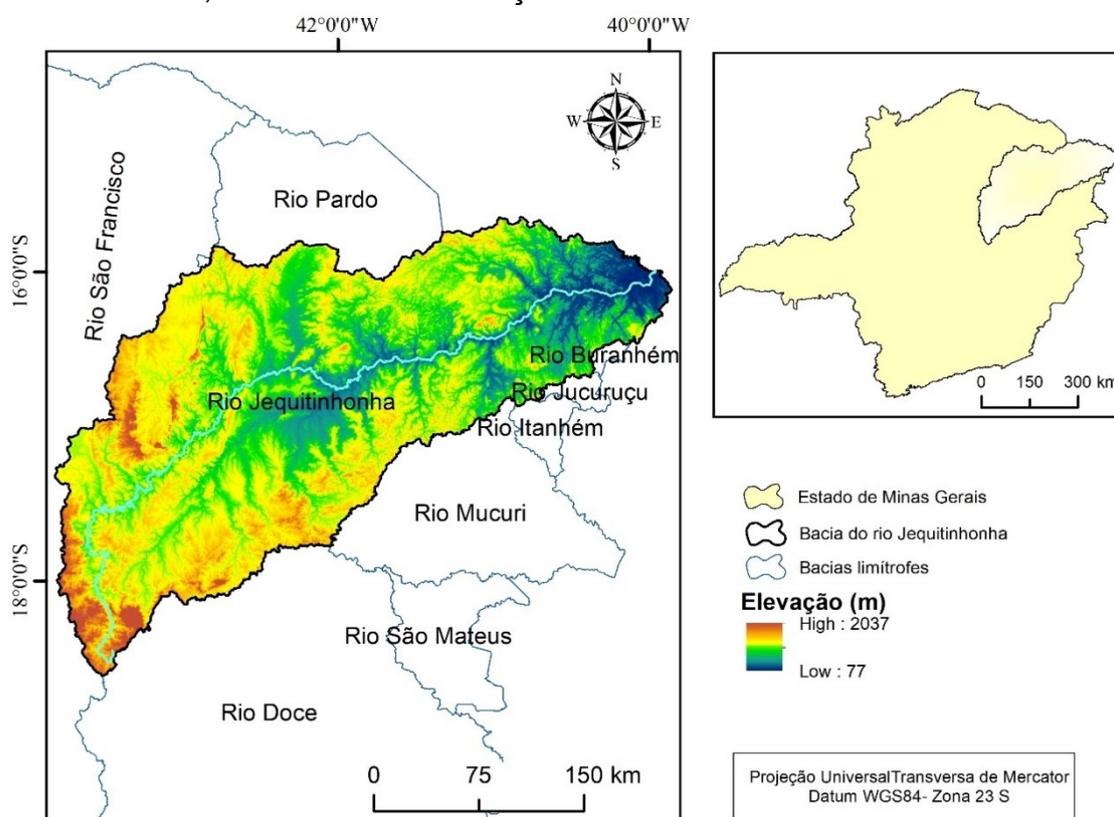
Estepe: Neste ambiente, as plantas são submetidas à uma dupla estacionalidade, com influência do frio das frentes polares e de uma época seca mais curta, com déficit hídrico. Sua fitofisionomia assemelha-se aos campos de áreas frias temperadas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, em sua parte pertencente ao estado de Minas Gerais, com 66319 km² de área. Limita-se a norte com a bacia do rio Pardo, a sul com a bacia do rio Doce, a sudeste com a bacia do rio Mucuri e outras pequenas bacias (Sucuruçu, Itanhém, Buranhém e Peruípe). A oeste limita-se com a bacia do rio São Francisco e à leste atravessa o limite entre Minas Gerais e Bahia no município de Salto da Divisa e segue rumo ao Oceano Atlântico (FERREIRA, 2011), conforme observado por meio da Figura 10.

Figura 10. Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no estado de Minas Gerais, com ênfase na variação de altitude dentro da bacia.



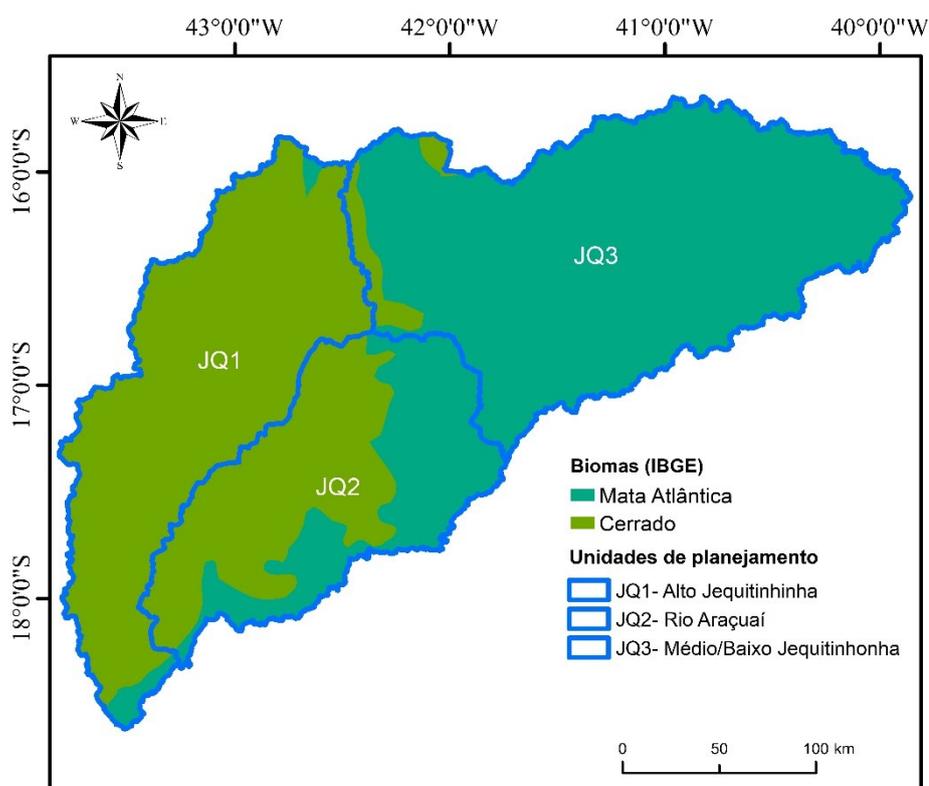
Fonte: A autora.

O rio Jequitinhonha nasce na Serra do Espinhaço, no município do Serro, Minas Gerais, uma altitude aproximada de 1.300 metros. Amaral et al., (2004), caracterizam a presença da Floresta Tropical Caducifólia no Alto e Médio Jequitinhonha, dando destaque às Formações Rupestres, em elevadas altitudes, com fisionomia própria e frequentemente associadas a afloramentos rochosos, principalmente no contexto da

Serra do Espinhaço. As condições ambientais extremas e a grande heterogeneidade espacial proporcionam a enorme diversidade que caracteriza essa formação vegetal e elevado número de espécies (RAPINI *et al.*, 2008).

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha é subdividida em três regiões de planejamento. A Figura 11 apresenta a divisão dessas regiões no mapa, assim como a classificação dos biomas, de acordo com o IBGE.

Figura 11. Unidades de planejamento e biomas na Bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha.



Fonte: A autora.

Quanto ao clima, a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha possui características que variam do clima semiárido a úmido, com totais pluviométricos anuais compreendidos entre 600 e mais de 1.600 mm, concentrados em seis meses do ano (outubro a março). A temperatura média situa-se entre 21 a 24°C, na sua maior parte e a evapotranspiração potencial entre 800 e 1.200 mm (FERREIRA; SILVA, 2012). De acordo com a classificação climática de Köppen, Sá Júnior (2009) menciona que, dentre as mesorregiões de Minas Gerais, a do Jequitinhonha é a que apresenta os maiores contrastes climáticos, sendo a única a apresentar todas as cinco classes climáticas observadas no estado. No entanto, há uma maior representatividade da classe Aw (Clima tropical de savana com estação seca de inverno), com

aproximadamente 77% da área total da mesorregião. As outras classificações são Am (Clima tropical de monção), BSh (Clima de estepe quente), Cwa (Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (Clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente).

4.2. DADOS UTILIZADOS

4.2.1. Imagens de índice de vegetação por diferença normalizada- NDVI

Foram utilizadas imagens de NDVI obtidas pelo sensor MODIS, a bordo do satélite terra, correspondentes ao produto MOD13Q1, versão 006. Foram necessários dois quadrantes para abranger toda a área de estudo (h13v10 e h14v10) e consideradas todas as imagens disponíveis no período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2018, totalizando 414 imagens para cada quadrante e 828 imagens no total. O ano 2000 não foi utilizado, pois não apresenta a série completa de imagens, iniciando apenas em fevereiro. A resolução espacial das imagens é de 250 m e resolução radiométrica de 12 bits, correspondendo a 4096 níveis de cinza na imagem.

As imagens MODIS são disponibilizadas na projeção sinusoidal e referenciadas para o Norte dos Estados Unidos, sendo necessárias as correções da projeção e sistema de referência. Além disso, o formato do download das imagens corresponde à um arquivo compactado de imagens (hdf) e foram necessários dois quadrantes diferentes para compor a cena da área de estudo, fazendo-se necessário proceder com o processo de mosaicagem. Para isso, foi utilizado o software Heg Tools, que é de acesso livre com download disponível no site da NASA. Inicializado o aplicativo, os dados preenchidos foram: As imagens de entrada, o local de saída dos dados, o formato dos dados de saída como GeoTiff, sistema de coordenadas geográficas e projeção UTM.

Após realizada essa etapa, as imagens foram importadas para o software ArcGis 10.3, onde foi realizado o recorte da área de estudo, tendo como base arquivo vetorial em formato shape, representativo da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha. Esse arquivo foi obtido no site do Instituto Pristino, de Minas Gerais.

As imagens de NDVI do sensor MODIS apresentam valores válidos variando entre -3000 e 10000, pois os valores do índice (que variam de -1 a +1) são multiplicados por 10000, a fim de diminuir o peso das imagens e o tempo necessário para seu processamento. Além disso, as imagens correspondem à uma composição de máximo

valor, em que cada pixel representa o valor máximo de NDVI observado no período de 16 dias. Dessa forma, efeitos de nuvens e ruídos, que apresentam valores mais baixos nas imagens, são mínimos e pode-se considerar que as imagens MODIS apresentam boa qualidade e um bom nível de pré-processamento. No entanto, correções nas imagens ainda são necessárias. Devido à isso, o produto MOD13Q1 compreende as imagens que contém as informações de qualidade do dado e que são utilizadas para correções que se fizerem necessárias.

O produto é composto por sete imagens, a saber: imagem NDVI, imagem EVI, imagem de qualidade VI Quality, imagem de confiabilidade Pixel Reliability e as imagens da reflectância referentes às bandas utilizadas para geração do NDVI e EVI (Bandas 1, 2 e 3). As imagens de qualidade VI Quality e de confiabilidade Pixel Reliability são utilizadas para a extração dos pixels espúrios nas imagens NDVI e EVI, resultados de ruídos e/ou presença de nuvens. Os valores e significados das imagens de confiabilidade Pixel Reliability variam conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de confiabilidade para o NDVI, obtidos nas imagens Pixel Reliability

VALOR DO PIXEL	QUALIDADE	DESCRIÇÃO
-1	Sem dado	Não processado
0	Dado bom	Pode ser usado com confiança
1	Dado marginal	Outra informação de qualidade deve ser consultada
2	Neve/ gelo	Alvo coberto por gelo ou neve
3	Nuvem	Não há visibilidade, por causa da cobertura por nuvens

Fonte: Didan et al., 2015, adaptado pela autora.

Quanto aos valores de qualidade das imagens VI Quality, Moraes e Rocha (2011), encontraram a partir das combinações dos valores em bits disponibilizados pela NASA, que o intervalo válido a considerar como pixels desejáveis é de 4 a 37.572. O objetivo dessas imagens é eliminar pixels com presença de nuvens, assegurando a qualidade e consistência dos dados.

As imagens Pixel reliability e VI Quality foram utilizadas para extração dos pixels indesejados das imagens de índices de vegetação. Foram criadas máscaras das imagens de confiabilidade Pixel reliability, adotando-se o valor NoData para os valores a serem excluídos (-1,2 e 3) e o valor 0 para os valores confiáveis (0 e 1). Para as

imagens VI Quality, os valores confiáveis estavam entre 4 e 37572 e os demais valores foram excluídos. Cada máscara resultante foi somada às imagens NDVI da data correspondente, para extração dos pixels espúrios, que receberam valor NoData.

Após essa etapa, as imagens foram exportadas, em formato img para o software TerrSet. Foi criado um arquivo de série temporal para o grupo de imagens de NDVI, a qual consiste em um par de arquivos: Um arquivo de varredura contendo as imagens da série de tempo, em formato rgf e um arquivo de documentação que descreve as características temporais da série, em formato tsf.

A figura 12 pode auxiliar na compreensão de como são acopladas as informações da série temporal. Foram preenchidas as informações do dia e hora de obtenção da primeira e da última imagens da série; a resolução temporal de obtenção das imagens (opção: series type) e o dia juliano correspondente à cada data de imagem da série temporal.

Figura 12. Informações preenchidas para criação de arquivo de série temporal no software TerrSet.

The screenshot shows the 'Create / edit time series files' dialog box. The 'Create from an RGF' option is selected. The file name is 'NDVI-tese'. The title is 'NDVI'. The units are empty. The series type is 'Image'. The start date is 2001-01-01 and the end date is 2018-12-19. The series type is '16-day'. A table shows Julian days and legend captions for samples from 1 to 177.

Julian day :	Legend caption :
1	Jan-1
17	Jan-2
33	Feb-1
49	Feb-2
65	Mar-1
81	Mar-2
97	Apr-1
113	Apr-2
129	May-1
145	May-2
161	Jun-1
177	Jun-2

Fonte: A autora

Com o intuito de preencher os dados faltantes nas imagens representativas da série temporal (Valores NoData, referentes aos pixels espúrios), foram utilizadas etapas sucessivas de interpolação. Primeiramente, procedeu-se com a interpolação espacial, na qual os valores dos pixels são preenchidos de acordo com os valores médios dos pixels vizinhos, em janelas 3 x 3. Esse método só preenche o valor do pixel caso a maioria dos seus vizinhos possua um valor válido.

Então, utilizou-se o método de interpolação linear, no qual o preenchimento do valor do pixel baseia-se nos valores médios do mesmo pixel em imagens anteriores e posteriores à data a ser preenchida. O preenchimento é realizado de forma linear, porém só são preenchidos dados até uma lacuna máxima permitida. Por fim, foi utilizado o método de interpolação por média temporal ou climatologia. Por meio desse método, os valores em falta são preenchidos de acordo com uma mediana a longo prazo dos valores das imagens da série temporal.

Chen et al. (2014) ao utilizarem dados de NDVI do satélite NOAA, produto GIMMS para estudar tendências de comportamento da vegetação, procederam de forma análoga, ao eliminarem os pixels sinalizados como neve ou nuvens nas imagens e posteriormente utilizarem técnicas de interpolação para preenchimento das lacunas.

Após esses processos, foi gerada uma segunda série temporal para os dados de NDVI, para utilização em etapa posterior de correlação com dados de precipitação e temperatura que apresentam resolução temporal mensal. Para isso, foi utilizado o gerador de séries temporais agregadas do software terrset, que permite gerar automaticamente uma série temporal com menor resolução temporal a partir de uma série já criada. Assim, foi obtida uma série temporal com resolução mensal para as imagens de NDVI.

4.2.2. Imagens de precipitação do satélite TRMM

Foram utilizadas imagens de estimativa de precipitação obtidas por meio do satélite TRMM, na versão 7 do produto B343. Este produto produz estimativas de precipitação em grades de $0,25^\circ$ de resolução espacial, sendo os valores fornecidos em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ e com resolução temporal mensal.

Para estudo da precipitação na região tropical, o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) apresenta-se como uma alternativa que têm sido cada vez mais utilizada. Foi desenvolvido pela NASA, em parceria com a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) e lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo de

monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, permitindo verificar como esta influencia no clima global (KUMMEROW et al., 2000).

O satélite possui os seguintes instrumentos a bordo: Imageador de Microondas (TMI), Radar de Precipitação (PR), Radiômetro no Visível e no Infravermelho (VIRS), Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens (CERES), e Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS) (LINARES, 2012). Segundo Collischonn (2006), o imageador de microondas é o principal sensor de medição de precipitação, obtida por meio da lei inversa de Planck, e correlação com temperatura de topo de nuvem. Para tornar as estimativas mais precisas é utilizado o radar de precipitação, que é capaz de detectar taxas de precipitação muito baixas, da ordem de 0,7 mm.

As propriedades medidas pelos instrumentos TMI, PR e VIRS são, respectivamente, temperatura, potência e radiância. A partir de combinações sucessivas entre essas medidas e seu cruzamento com produtos de outros satélites, são obtidas as estimativas referentes à precipitação. Para refinar as medições, existe um programa de validação em campo, por meio de radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical (COLLISCHONN, 2006). Os produtos de estimativa de chuva resultantes da missão TRMM são processados pelo TRMM Science Data and Information System (TSDIS) e disponibilizados operacionalmente pelo Gooddard Distributed Active Archive System (DAAC) (LINARES, 2012).

Com o intuito de correlacionar esses dados aos índices de vegetação, foi realizado download das imagens correspondentes ao período de 2001 a 2018. Assim, foram obtidas 216 imagens referentes à taxa de precipitação média observada para cada mês em estudo. De acordo com a NASA (2015), o algoritmo 3B43 tem como objetivo estimar a melhor taxa de precipitação em um mês, de acordo com um erro quadrado médio (RSM). É resultado de uma combinação da fusão de alta qualidade de dados a cada 3 horas/IR com a precipitação acumulada mensal global do centro de climatologia (GPCC) com auxílio de pluviômetros.

Após download dos dados em formato netCDF, esses foram importados para o software ArcGis 10.3, onde inicialmente foi feita reamostragem dos pixels, para converter a resolução espacial para 250 x 250 m (Resolução do sensor MODIS). As imagens foram reprojatadas para o sistema de referência WGS 84 e projeção UTM, e foram recortadas a partir do arquivo vetorial em formato shape representativo da área de estudo. Para obtenção da precipitação acumulada mensal, em mm, foi necessário a multiplicação do valor disponibilizado pelo número de horas de cada mês.

As imagens pré-processadas foram exportadas em formato img para o software TerrSet, onde foi elaborado o arquivo de série temporal, similarmente ao que foi feito para a série temporal de NDVI.

4.2.3. Imagens de temperatura do sensor MODIS

A temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai de determinado alvo, sendo de extrema importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. Segundo Steinke et al., 2010, a melhor faixa que permite uma maior transmissão da energia emitida da Terra que alcança o sensor na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético é o intervalo de 8,0 a 14,0 μm .

Para estudo da temperatura da superfície, foram utilizadas imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, referentes ao produto MOD11C3, versão 006. Foi considerada a mesma faixa de tempo das demais imagens do estudo, entre janeiro de 2001 e dezembro de 2018, totalizando 216 imagens.

O produto MOD11C3 Versão 6 fornece valores mensais de Temperatura e Emissividade da Superfície Terrestre em uma grade de modelagem climática de 0,05 graus (5.600 metros no equador), obtidos por meio das bandas 31 e 32 do sensor, referentes a faixa do infravermelho médio ou termal, nas faixas de 10,78 μm a 11,28 μm e 11,77 μm a 12,27 μm , respectivamente. Os valores de temperatura no produto MOD11C3 são obtidos por meio da média entre os valores diários do produto MOD11C1 (NASA, 2017).

As imagens são disponibilizadas na projeção sinusoidal e referenciadas para o Norte dos Estados Unidos, sendo necessárias as correções da projeção, e sistema de referência. Para isso, foi utilizado o software Heg Tools, da mesma forma que para as imagens MODIS de NDVI. Inicializado o aplicativo, os dados preenchidos foram: As imagens de entrada, o local de saída dos dados, o formato dos dados de saída como GeoTiff, sistema de coordenadas geográfica e projeção UTM.

As imagens foram importadas para o software ArcGis 10.3, onde os valores foram corrigidos, primeiramente para a unidade kelvin e, após, para graus Celsius. Para obtenção das imagens com valores de temperatura em kelvin, a equação utilizada foi a seguinte (Equação 3):

$$T(K) = T(MOD11C3) \times 0,02 \quad (3)$$

Em que $T(K)$ representa a temperatura dada em kelvin, $T(\text{MOD11C3})$ a temperatura obtida pelo produto MOD11C3 do sensor MODIS e 0,02 um fator de multiplicação.

Feito isso, foram obtidas as imagens em graus Celsius, procedendo-se da seguinte forma (Equação 4):

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(K) - 273,15 \quad (4)$$

Em que $T(^{\circ}\text{C})$ representa a temperatura calculada em graus celsius.

Posteriormente, as imagens foram recortadas, com base no arquivo vetorial representativo da área de estudo e reamostradas para um tamanho de pixel de 250 m. Em seguida, foram exportadas em formato img para o software TerrSet, onde foi gerado um arquivo de série temporal de temperatura, analogamente ao que foi feito para as séries temporais de NDVI e precipitação.

4.2.4. Dados de uso e cobertura da terra e de elevação do terreno

Dados de uso e cobertura da terra foram utilizados com o objetivo de estudar as alterações na área de estudo, no período de tempo estudado, e compreender de que forma essas alterações possam se relacionar aos resultados observados por meio do uso das imagens de satélite.

Para isso, foram obtidas imagens de uso e cobertura da terra para os anos de 2001 e 2018 para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, fornecidas pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil- MapBiomias. Este projeto envolve especialistas em biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, Sistema de Informações geográficas- SIG e ciência da computação, e utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine, disponibilizando mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil para os anos de 1985 à 2018. O Google Earth Engine é uma plataforma de armazenamento online para o processamento de imagens de Sensoriamento Remoto, sem custos e com uma série de dados de todo o mundo (HOROWITZ, 2015).

Todos os produtos do MapBiomias são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites Landsat, com resolução espacial aproximada de 30 m. Todo processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina

(machine learning), que operam por meio da plataforma Google Earth Engine, com a utilização das 556 cartas de 1 x 1,5° (lat/long) do IBGE em todas as etapas de processamento.

A avaliação da qualidade do mapeamento é obtida por meio da análise de acurácia. Além de estimar a taxa de acerto geral, a análise de acurácia também estima taxas de acerto e de erro para cada classe mapeada. O número de pixels na base de dados de referência foi pré-determinado por técnicas de amostragem estatística, sendo para cada ano, para cada pixel da base de dados de referência, realizada avaliação por técnicos treinados em interpretação visual de imagens Landsat. A avaliação da acurácia foi realizada usando métricas que compararam a classe mapeada com a classe avaliada pelos técnicos na base de dados de referência. Em cada ano, esta análise foi feita a partir da tabulação cruzada das frequências amostrais das classes mapeadas e reais (MAPBIOMAS, 2019).

Além disso, foi utilizada imagem de Modelo Digital de Elevação do satélite *Shuttle Radar Topography Mission*- SRTM, com resolução espacial de 90 metros, obtida e corrigida em 2004 pelo laboratório de geoprocessamento da UFRGS. Foi efetuado download da imagem de Modelo Digital de Elevação- MDE abrangendo todo o estado de Minas Gerais, sendo necessário realizar o recorte para a área de estudo, no software ArcGIS 10.3. Posteriormente, a imagem foi exportada em formato tif para o software TerrSet.

A missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi realizada em conjunto pela agência espacial norte-americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais alemã *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLG) e italiana *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI) em fevereiro de 2000, para mapear o relevo da área continental da Terra com interferometria de radar de abertura sintética (InSAR), entre 60° de latitude norte e 54° de latitude sul, abrangendo aproximadamente 80% das áreas emersas do planeta (GROHMANN et al., 2008).

Os princípios da InSAR foram desenvolvidos no início dos anos 1980 (ZEBKER; GOLDSTEIN, 1986). A altitude de um ponto na superfície terrestre pode ser determinada medindo-se a diferença de fase entre reflexões de um mesmo sinal de radar captado por dois receptores distantes (RABUS et al., 2003). No caso do SRTM, os canais principais de transmissão e recepção foram posicionados na área de carga

do ônibus espacial Endeavour, e as antenas secundárias (somente recepção) foram alocadas na extremidade de um mastro retrátil de 60 m de comprimento.

Torna-se importante salientar que o resultado das técnicas empregadas na missão SRTM é a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), uma vez que os sinais de radar são refletidos pelos alvos atingidos, por exemplo, pelo dossel das árvores em áreas de floresta densa e não pelo terreno subjacente. Os termos Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Numérico de Terreno (MNT) são os utilizados quando o modelo é produzido a partir de valores de altitude do nível do solo, a exemplo dos mapas topográficos (curvas de nível), levantamentos por GPS ou por altimetria a laser (LiDAR)- (GROHMANN et al., 2008).

4.3. ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS INTERANUAIS NO VIGOR DA VEGETAÇÃO E NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Foram utilizados três métodos para analisar as tendências interanuais no vigor da vegetação e no comportamento da precipitação e temperatura. Tendências interanuais se referem à um comportamento que se repete ao longo dos anos, ou seja, dentro de um mesmo ano a vegetação, por exemplo, apresenta uma tendência de comportamento que varia com as estações do ano, e que se repete ao longo dos anos.

O vigor da vegetação foi estudado por meio do NDVI, pois este índice apresenta relação direta com o comportamento espectral da planta, visto que uma planta sadia reflete mais a radiação no espectro do infravermelho próximo e absorve mais nas regiões do visível.

A precipitação foi estudada por meio de dados do satélite TRMM, de estimativa de precipitação. Para a temperatura, foram utilizados dados do sensor MODIS, de temperatura da superfície, do produto MOD11C3.

Primeiramente, foi utilizado o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945), para avaliar a presença de uma tendência monotônica. Segundo (LI; GUO, 2012), a tendência estatística é avaliada considerando que um valor negativo indica uma tendência de queda e um valor positivo indica uma tendência de aumento; um valor 0 indica que os dados não mostram tendência.

As tendências temporais no conjunto de dados foram analisadas, pixel por pixel, aplicando a técnica de tendência monotônica de Mann-Kendall, tratando cada pixel no espaço como uma série temporal unidimensional de ciclos de 16 dias. Para este

modelo de tendência foram estimados o coeficiente de Mann-Kendall tau (τ) através da Equação 5 (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$\tau = 2s/[n(n-1)] \quad (5)$$

Onde τ é Mann-Kendall Tau, s é o sinal e n é o número de elementos da série temporal.

$$\text{sinal}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_i - x_j) < 0, \\ 0, & \text{if } (x_i - x_j) = 0, \\ -1, & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Onde x_i e x_j são valores estimados da sequência.

Os valores de τ variam de -1 a 1. O valor de τ mede o grau em que uma tendência está aumentando ou diminuindo monotonicamente. Um valor positivo representa uma tendência crescente e um valor negativo representa uma tendência decrescente. O teste de tendência de Mann-Kendall consiste em (1) classificar os dados de acordo com a data, (2) computar as diferenças entre pares entre todas as medições para um determinado ano em relação às medições do anterior e (3) contar o número de valores positivos e negativos. A soma desses valores e o sinal da soma indicam, respectivamente, a força e a direção de uma tendência (BEURS et al., 2009; XU et al., 2007).

Os resultados do teste de significância de Mann-Kendall são considerados uma avaliação canônica da significância. Assim, se τ é positivo com significância $\alpha < 0,05$, a tendência está aumentando, enquanto um valor negativo de τ com significância $\alpha < 0,05$ indica que a tendência está diminuindo. Se a significância $\alpha > 0,05$, nenhuma conclusão pode ser tirada em relação à tendência, independentemente do valor de τ .

Além disso, foi estudada a correlação linear de Pearson para avaliar o grau de relação linear entre cada série de índices de vegetação e uma série linear (correlação linear). Este coeficiente varia entre os valores "-1" e "1"; o valor "0" está associado à ausência de relacionamento linear, o valor "1" a um relacionamento linear perfeito e o valor "-1" a um relacionamento linear perfeito invertido (EASTMAN et al., 2009).

Foi utilizado, ainda, um modelo de regressão linear simples (tendência linear), onde o tempo é a variável independente e o índice de vegetação, ou temperatura, ou precipitação, é a variável dependente. Esta técnica representa uma maneira simples de analisar e descobrir as tendências de longo prazo nos dados, em que os valores de interseção e declive resultantes relatados em um nível de pixel podem ser

facilmente comparados, uma vez que se relacionam com o mesmo modelo (FENSHOLT; RASMUSSEN, 2011).

Esses três métodos são importantes para análise de tendências em séries temporais, pois tornam possível estudar se existe tendência na série temporal e a sua direção (Mann-Kendall), se essa tendência é persistente, expressa pela correlação linear e a intensidade da tendência, obtida por meio da tendência linear.

4.4. DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA

Foram analisadas as alterações no uso e cobertura da terra entre os anos de 2001 e 2018. O objetivo foi identificar como o uso e cobertura da terra pode estar relacionado às alterações identificadas por meio das tendências no índice de vegetação NDVI na área de estudo.

Para isso foram utilizadas duas imagens de uso e cobertura da terra, de 2001 (anterior) e 2018 (posterior), fornecidas pelo projeto MapBiomass, com resolução espacial de 30 m. Foi utilizada imagem de elevação do satélite *Shuttle Radar Topography Mission*- SRTM, com resolução espacial de 90 metros, como uma informação adicional às imagens MapBiomass. Os processamentos foram efetuados no software TerrSet, em módulo específico para estudo de mudanças no uso e cobertura da terra (*Land Change Modeler*- LCM).

Foram identificadas as alterações no uso da terra na bacia, e quantificados os ganhos e perdas de área em cada uso, com ênfase para as mudanças mais acentuadas.

4.5. CORRELAÇÃO ENTRE VEGETAÇÃO E CLIMA

Foi realizada a correlação linear entre as séries mensais de NDVI, temperatura e precipitação, correspondentes ao período de janeiro de 2001 a dezembro de 2018.

As correlações foram processadas por meio da ferramenta de modelagem linear, no módulo ETM, no *software* TerrSet. Esta metodologia utiliza etapas de regressão linear múltipla e gera mapas que expressam os coeficientes de correlação R e R². As equações de regressão linear múltipla serão geradas conforme demonstrado na equação abaixo (Equação 7):

$$C = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n \quad (7)$$

Em que:

C : Modelagem linear dos dados;

X_1, \dots, X_n : Dados da série temporal em questão, considerados como dependentes;

β_0 : Constante de regressão;

β_1, \dots, β_n : Dados da série temporal em questão, considerados como independentes.

As séries de dados consideradas como dependentes e independentes foram conforme descrito por meio da Tabela 3. Esse procedimento foi realizado para diferentes defasagens de tempo, com intuito de verificar em qual defasagem há maior correlação entre as séries temporais. A defasagem na qual houve maior correlação entre os dados, foi considerada para as etapas posteriores de processamento.

Tabela 3 – Séries dependentes e independentes para a geração das modelagens lineares

Séries dependentes		Séries independentes	
Produto	Informação	Produto	Informação
MOD13Q1	Índice de Vegetação	3B43 TRMM	Precipitação
MOD13Q1	Índice de Vegetação	MOD11C3	Temperatura

Fonte: a autora.

As relações funcionais entre a dinâmica da vegetação e a temperatura serão expressas, inicialmente, utilizando a equação 8 (ZHOU et al.; 2006):

$$\frac{dV}{dT} = k_t T_f = k_t \frac{(T - T_a)}{T_a} \quad (8)$$

Em que:

$\frac{dV}{dT}$: Valor relativo à vegetação;

T_f : Mudança na temperatura;

k_t : Constante determinada utilizando os dados de vegetação estudados e os dados globais das mudanças climáticas.

A resposta da cobertura vegetal de acordo com a precipitação anual em um dado ano t pode ser expressa pela equação 9 (ZHOU et al.; 2006):

$$\frac{dV}{dP} = V_P = \pm k_P P_f = \pm k_P \frac{(P - P_a)^m}{P_a} \quad (9)$$

Em que:

V_P : Taxa de mudança da vegetação;

k_P e m : Constantes determinada utilizando os dados de vegetação estudados;

P_f : Mudança relativa na precipitação anual em relação à média de longo prazo;

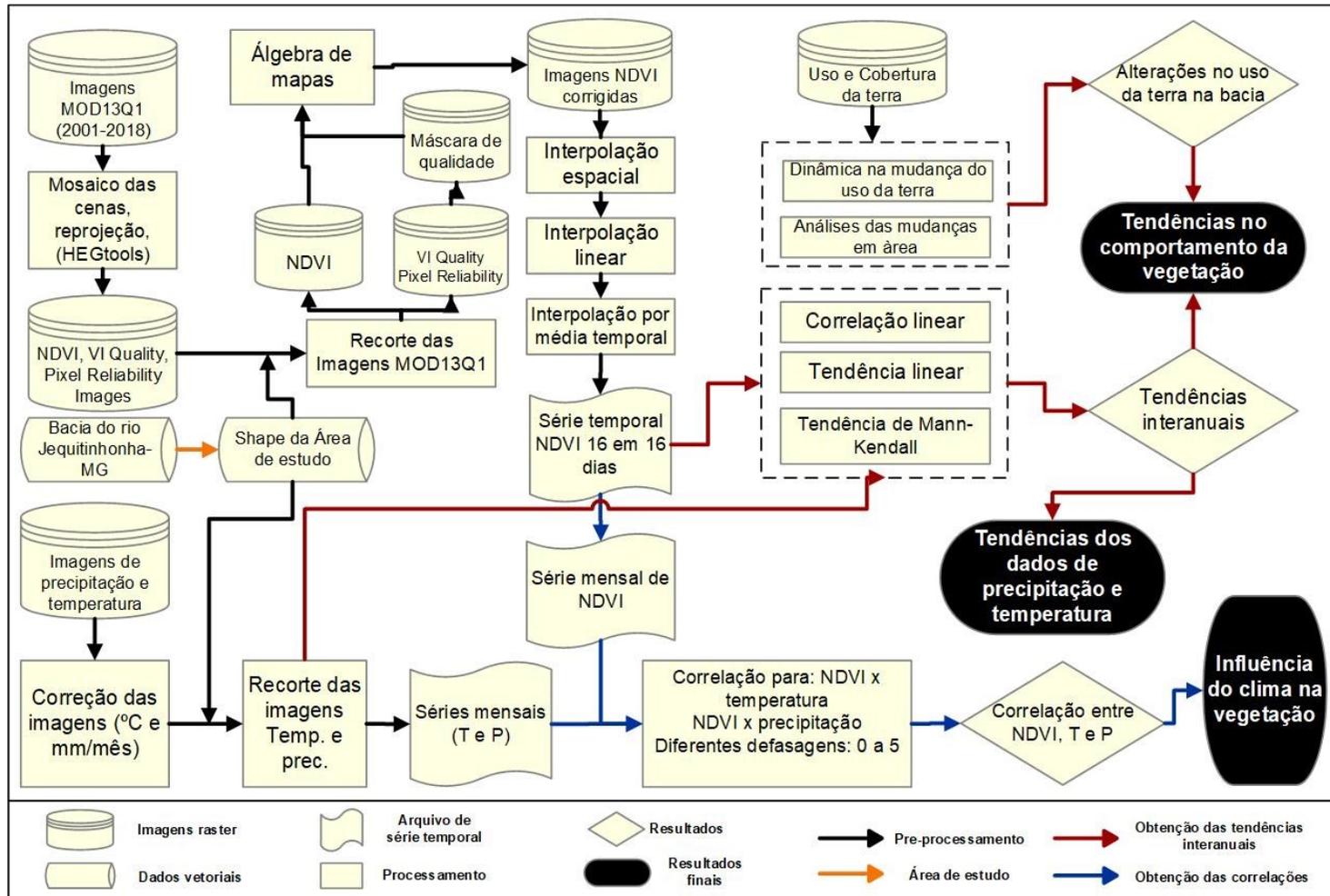
P : Precipitação anual;

P_a : Precipitação a longo prazo;

Obs.: Se $P > P_a$, $+k_P$ é utilizado; se $P < P_a$, $-k_P$ é utilizado.

A Figura 13 ilustra de forma esquemática e simplificada todas as etapas metodológicas descritas.

Figura 13. Estrutura geral da metodologia.



Fonte: A autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

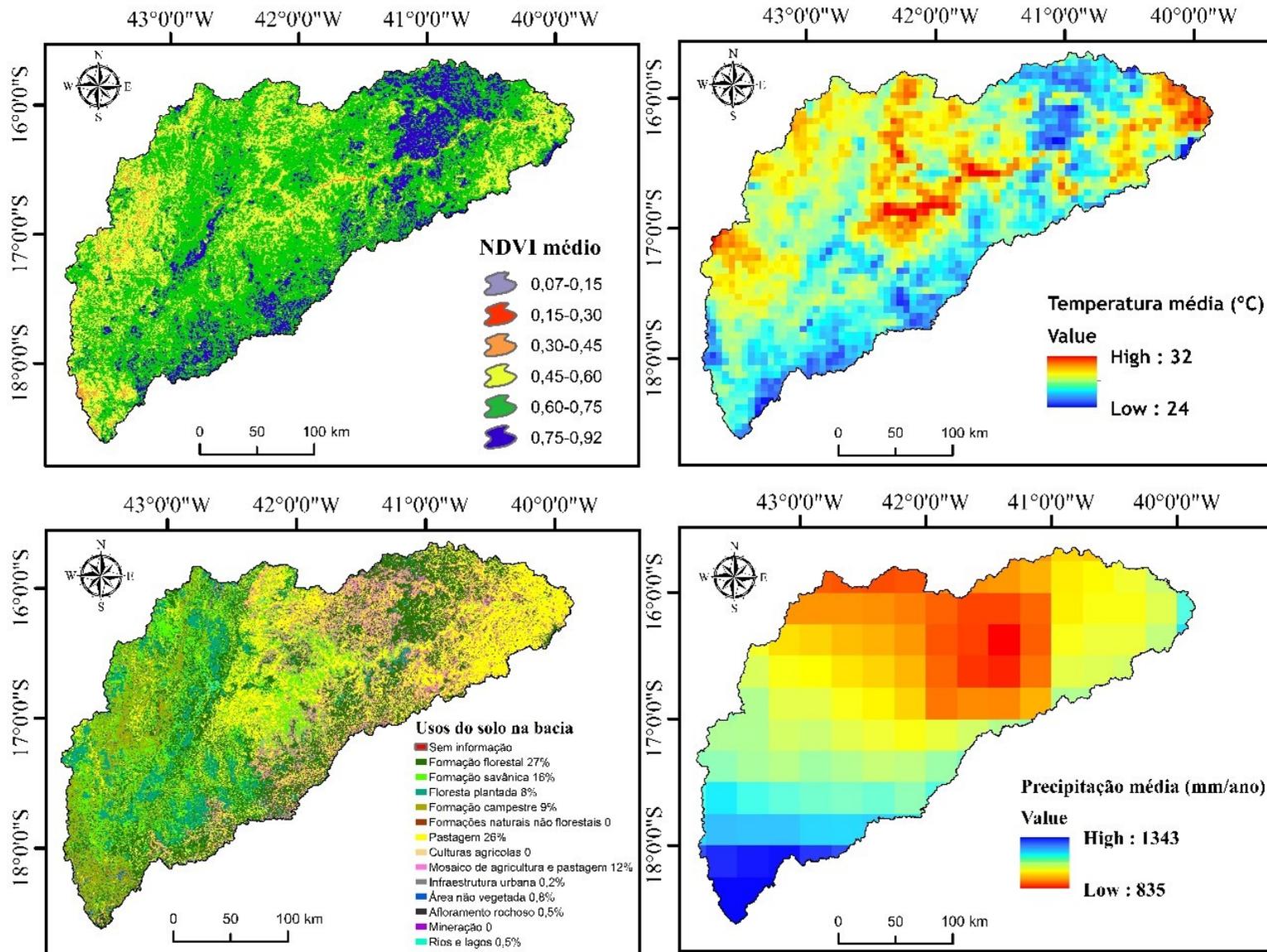
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para os 18 anos considerados neste estudo, os valores médios encontrados para o NDVI, a precipitação e temperatura podem ser visualizados por meio da Figura 14. Além disso, o uso e cobertura da terra atual também é mostrado.

Os valores de NDVI variaram consideravelmente na área de estudo, com predominância de áreas com valores acima de 0,45 e o valor máximo de 0,92. Quanto à temperatura média observada, situou-se entre 24 °C e 32 °C, e precipitação anual entre 835 mm e 1343 mm, o que evidenciou a grande variabilidade climática existente nesta região. Dados do Atlas pluviométrico do Brasil (CPRM, 2018) gerado a partir de dados de estações meteorológicas (1977 a 2006) na bacia do rio Jequitinhonha utilizando interpolador IDW, indicaram que os valores médios encontraram-se entre 800 e 1300 milímetros anuais.

O dado de temperatura utilizado, representa a temperatura da superfície, ou seja, depende essencialmente da cobertura da terra e como ocorre a interação da energia em cada tipo de superfície. Por este motivo, os valores médios geralmente são maiores que valores de temperatura do ar, conforme pôde ser observado.

Figura 14. Valores médios encontrados para o NDVI, a temperatura e a precipitação, e uso da terra atual para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha.



É possível observar os usos da terra na bacia, sendo as classes de maior representatividade: Formação florestal, correspondente à 27% da área, pastagem (26%), Formação savânica (16%), mosaico de agricultura e pastagem (12%), formação campestre (9%) e floresta plantada (8%). A distribuição dessas classes não é homogênea, mas cada tipo de uso predomina em determinada porção da bacia hidrográfica.

Áreas com presença de formação florestal ocorrem em toda a extensão da bacia, porém, apresentam maior concentração em sua parte norte. Nessas áreas, visualmente é possível observar a correspondência com maiores valores de NDVI, associadas à menores temperaturas da superfície e a precipitação que atinge 960 mm anuais.

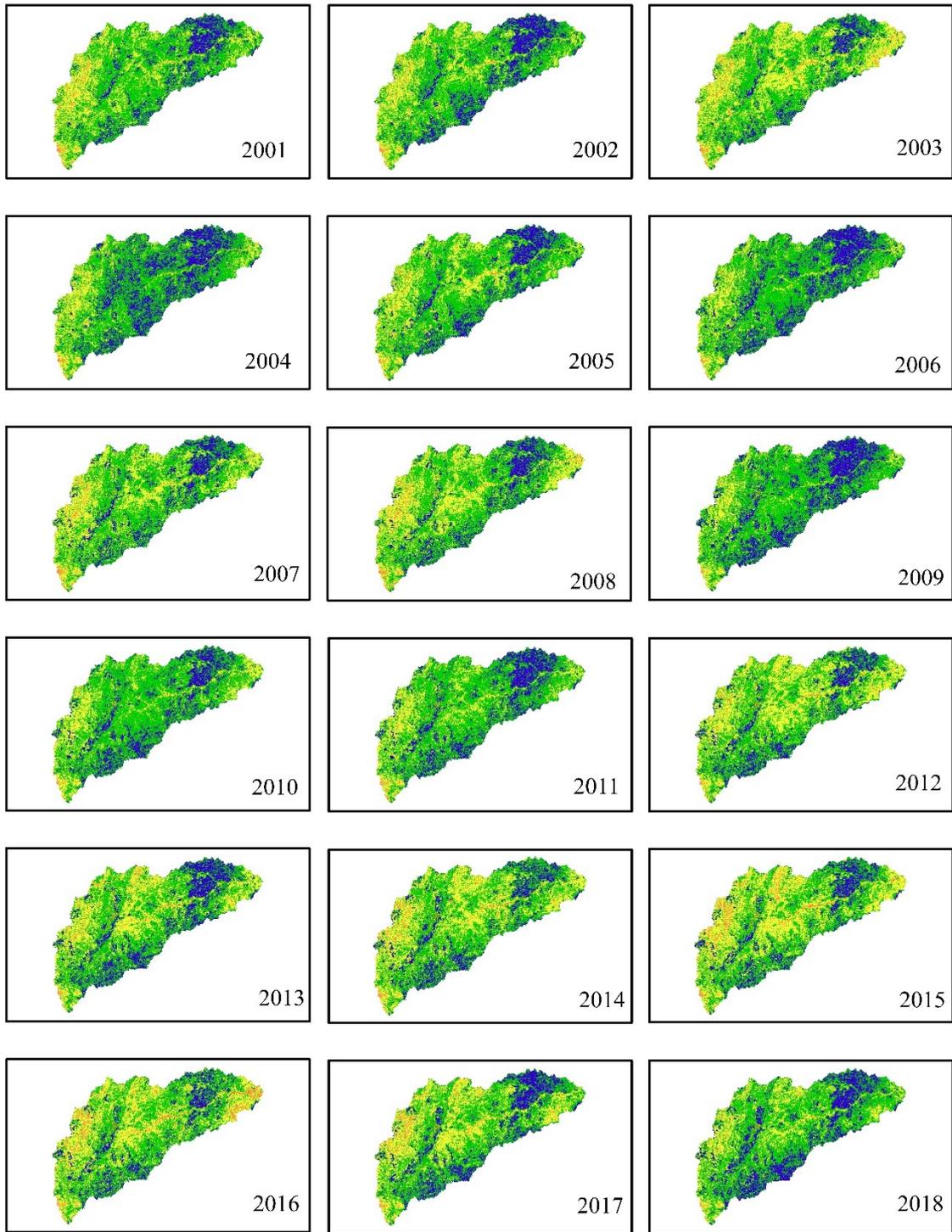
Áreas de pastagens são predominantes nas regiões mais à leste e central da bacia, assim como os mosaicos de agricultura e pastagem. Formação campestre e formação savânica somente são encontradas na porção mais à oeste da bacia. Já as áreas de floresta plantada situam-se, predominantemente, na porção mais à oeste da bacia.

Os valores médios anuais observados para o NDVI no período estudado, são apresentados na Figura 15. Os valores variaram entre 0,07 e 0,92 e foram classificados em seis faixas de valores, a fim de facilitar sua visualização e interpretação.

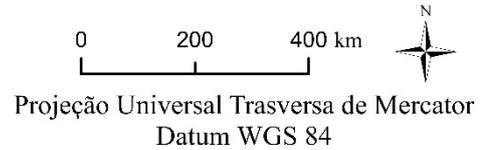
Primeiramente, é possível inferir sobre o comportamento espacial do dado de NDVI que os valores mais elevados, entre 0,75 e 0,92 representados pela cor azul nos mapas, podem ser observados predominantemente na região mais ao norte da bacia. É possível observar que a maior parte da bacia apresenta valores de NDVI nas faixas entre 0,60 e 0,75 e entre 0,45 e 0,60 representadas pelas cores verde e amarelo, respectivamente. Poucos pixels foram representativos de valores de NDVI abaixo de 0,45.

Com relação às variações interanuais que podem ser observadas visualmente, pode-se constatar que maiores valores de NDVI foram encontrados nos anos de 2004, 2006, 2009 e 2018, principalmente. Os menores valores de NDVI foram encontrados nos anos de 2003, 2012, 2014 e 2016; com oscilações de ano para ano entre áreas com aumento e diminuição nos valores do índice.

Figura 15. Valores médios anuais observados para o NDVI



NDVI médio anual

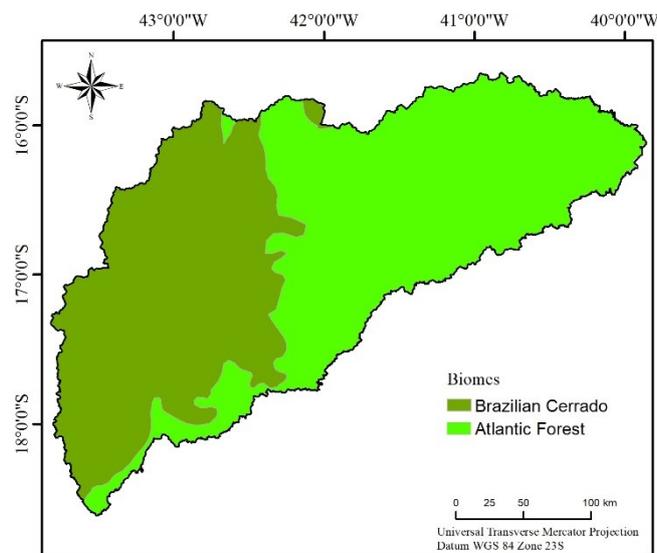


Fonte: A autora.

Dessa forma, não é possível visualizar algum tipo de comportamento padronizado apenas por meio da observação das médias anuais do NDVI. Além disso, foi possível constatar que os maiores valores foram encontrados em regiões representativas do bioma mata atlântica, a qual apresenta-se na região do baixo Jequitinhonha e em transição com a região do médio Jequitinhonha.

A figura 16 ilustra a espacialização dos biomas presentes nessa bacia, de acordo com classificação do IBGE (2012). A tabela 4 complementa essas informações, ao especificar os tipos vegetacionais por biomas, considerados pelo MapBiomas para elaboração das classes.

Figura 16. Biomas na área de estudo.



Fonte: A autora

Uma análise mais detalhada dos valores de NDVI por classes de uso da terra foi realizada, considerando os valores médios entre todas as imagens estudadas, tendo como base imagem representativa do uso e cobertura do solo do ano de 2018. Foram considerados os usos da terra com representatividade de mais de 1% em relação à área da bacia. Por meio da Tabela 5, é possível observar os valores em porcentagem das variações de NDVI para cada uso da terra.

Tabela 4 – Fisionomias vegetais encontradas nas classes de vegetação natural das imagens MapBiomas para a área de estudo.

Classe	Bioma	Fisionomias abrangidas (IBGE)
Formação florestal	Cerrado	Floresta ombrófila aberta, Floresta Estacional decidual montana, Savana florestada
	Mata atlântica	Floresta ombrófila densa, Floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual
Formação savânica	Cerrado	Savana arborizada
	Mata atlântica	Savana florestada, savana estépica florestada
Formação campestre	Cerrado	Parque, Gramíneo-lenhosa
	Mata atlântica	Gramíneo-lenhosa

Fonte: MapBiomas: Coletion 4, 2019.

Tabela 5 – Usos da Terra e valores de NDVI observados

Uso da terra	Valor do NDVI médio observado entre 2001 e 2018	Porcentagem em relação ao uso da terra
Formação florestal	0,6 – 0,7	33%
	0,7 – 0,8	50%
	0,8 – 0,9	10%
Formação savânica	0,5 – 0,6	25%
	0,6 – 0,7	62%
	0,7 – 0,8	10%
Floresta plantada	0,5 – 0,6	7%
	0,6 – 0,7	31%
	0,7 – 0,8	57%
Formação campestre	0,4 – 0,5	27%
	0,5 – 0,6	49%
	0,6 – 0,7	20%
Pastagem	0,5 – 0,6	42%
	0,6 – 0,7	41%
	0,7 – 0,8	11%
Mosaico de agricultura e pastagem	0,5 – 0,6	10%
	0,6 – 0,7	51%
	0,7 – 0,8	37%

Fonte: A autora.

Foram tabelados os valores que corresponderam à pelo menos 90% de cada uso da terra. Como pode ser observado, os valores de NDVI para as classes consideradas situou-se predominantemente entre 0,4 e 0,9. Valores superiores à 0,8 apenas foram observados em área de formação florestal nativa, em sua maioria correspondente à áreas de domínio do bioma mata atlântica. Por outro lado, valores menores que 0,5 apenas foram expressivos para a classe “Formação campestre”. Valores situados entre 0,5 e 0,8 foram observados para todas as classes.

As classes de uso do solo que abrangeram coberturas de floresta, seja natural ou plantada, apresentaram áreas de 50% e 57%, respectivamente, com valores de NDVI entre 0,7 e 0,8. A classe de uso com cobertura de vegetação savânica, apresentou maior representatividade do NDVI na faixa entre 0,6 e 0,7, correspondendo à 62%. Área de formação campestre, onde encontra-se vegetação gramíneo-lenhosa, principalmente, apresentou 49% de sua área com NDVI entre 0,5 e 0,6. Áreas de pastagem apresentam valores entre 0,5 e 0,6 para 42% de sua área e entre 0,6 e 0,7 para 41% de sua área. Já as áreas classificadas como mosaico de agricultura e pastagem, tiveram 51% de sua extensão com valores de NDVI entre 0,6 e 0,7.

Os resultados obtidos estiveram de acordo com outros autores, pois os maiores valores de NDVI estiveram associados à áreas de florestas e menores valores associados à vegetações mais arbustivas ou gramíneas, assim como Chu et al. (2019), para a bacia do rio Amur-Heilongjiang, na região nordeste da China; Lamchin et al. (2016), em uma área protegida de Hognó Khaan, na Mongólia, e Wang et al., 2005, em estudo da vegetação na floresta de Hesse, França.

No Brasil, padrões da vegetação em área natural de cerrado foram estudados por Carvalho Júnior et al. (2008), com valores de NDVI/ MODIS variando entre 0,35 e 0,6. No entanto, os autores realizaram uma análise de variabilidade em diferentes períodos do ano, de forma que um valor médio anual esteve na faixa de 0,475. A faixa de valores de NDVI que encontramos em área de cerrado esteve, principalmente entre 0,4 e 0,7, valores menores principalmente para classes de formação campestre e formação savânica e maiores valores associados à áreas de florestas, que compreendem principalmente floresta ombrófila aberta, floresta estacional decidual e tipos de savana florestada.

Outros tipos de vegetação do cerrado, foram estudados por Giraldeili e Conceição Filho (2006), que consideraram três tipologias diferentes em região de cerrado

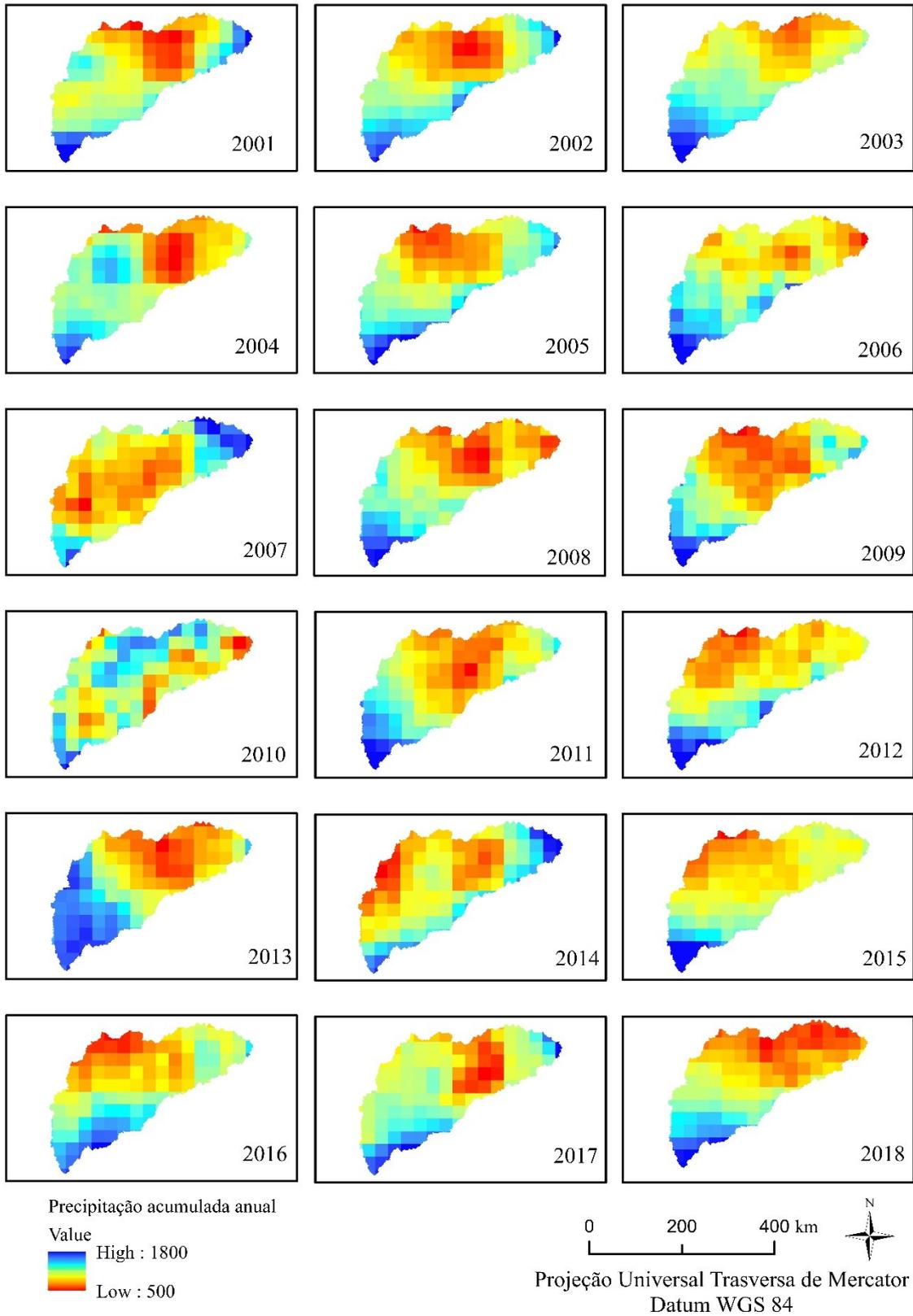
(campo sujo, cerrado strictu sensu e mata ciliar), no estado do Mato Grosso do Sul. Os resultados indicaram variações entre 0,22 e 0,24 para a tipologia campo sujo, entre 0,367 e 0,373 para cerrado, e entre 0,43 e 0,48 para matas ciliares.

Em áreas pertencentes à mata atlântica, na área de estudo, são encontrados vegetação de tipos de formação florestal (Floresta ombrófila densa, Floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual), e poucas áreas com formação savânica, que é predominantemente florestada e de formação campestre, com vegetação gramíneo-lenhosa. Em acordo com essas informações, foi possível observar os maiores valores de NDVI médio, entre 0,6 e 0,8, com algumas áreas chegando à 0,9 nessas áreas. Apesar dos valores mais elevados, é preciso considerar a diversidade vegetacional existente nessa porção, variando de vegetação mais densa à tipos de vegetação com características de caducifólia. Por exemplo, Nora e Santos (2010) analisaram áreas de floresta estacional decídua e floresta ombrófila mista no bioma mata atlântica, encontrando para floresta estacional decídua valores entre 0,7 e 0,9 e para a floresta ombrófila mista valores entre 0,8 e 0,9.

Tomasella et al. (2018), estudaram a desertificação no nordeste brasileiro, utilizando imagens MOD13Q1 para o período entre 2000 e 2016. Valores inferiores a 0,3 foram associados à solos descobertos com presença de vegetação herbácea-graminoide, enquanto valores entre 0,3 e 0,4 foram associados a tipos de vegetação em transição de gramíneas e culturas herbáceas a vegetação arbórea e esparsa. Valores superiores a 0,4 foram encontrados em pontos com presença de vegetação densa, seja de sub-arbustos (0,425-0,484), arbustos (0,484-0,617) ou árvores (>0,617).

Os valores anuais encontrados para a precipitação são ilustrados nos mapas da Figura 17.

Figura 17. Valores médios anuais observados para a precipitação



Fonte: A autora.

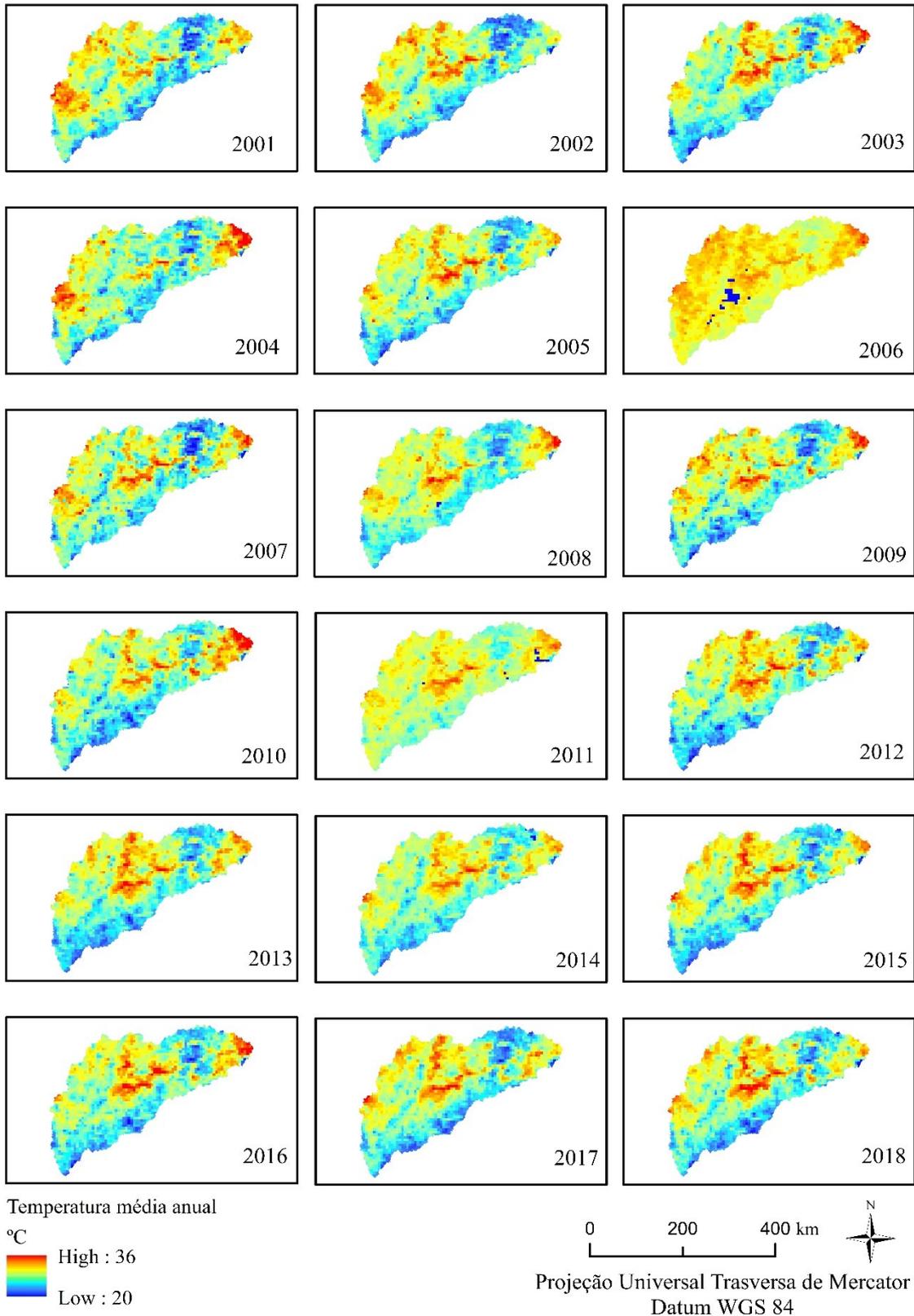
É possível observar que na região em estudo, a precipitação variou entre 500 e 1800 mm anuais no período de 2001 a 2018, com menores valores geralmente encontrados na região central da bacia, representativa do médio Jequitinhonha e pertencente à região de semiárido brasileiro. Valores mais elevados foram encontrados, principalmente, na extremidade sul da bacia, pertencente à região do alto Jequitinhonha, caracterizada pelas áreas com maiores altitudes da bacia.

Os valores de temperaturas médias anuais para a bacia em estudo variaram entre 20 °C e 36°C (Figura 18). É importante salientar que este dado representa a temperatura da superfície, que diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai de determinado alvo, relacionada às interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. Assim sendo, espera-se que este dado tenha relação direta com os usos da terra e tipos de vegetação presentes na área.

É possível observar valores mais elevados de temperatura nas regiões centrais da bacia e na sua extremidade norte. Essas regiões são caracterizadas ou pelas áreas de baixas altitudes da bacia, ou áreas de transição entre os biomas cerrado e mata atlântica. As regiões com altitudes mais elevadas apresentaram os menores valores médios de temperatura, localizados na extremidade inferior da bacia hidrográfica.

Visualmente não é possível realizar inferências sobre as variações observadas ao longo dos anos, sendo possível notar uma maior homogeneidade nos valores observados para os anos de 2006 e 2011.

Figura 18. Valores médios anuais observados para a temperatura.



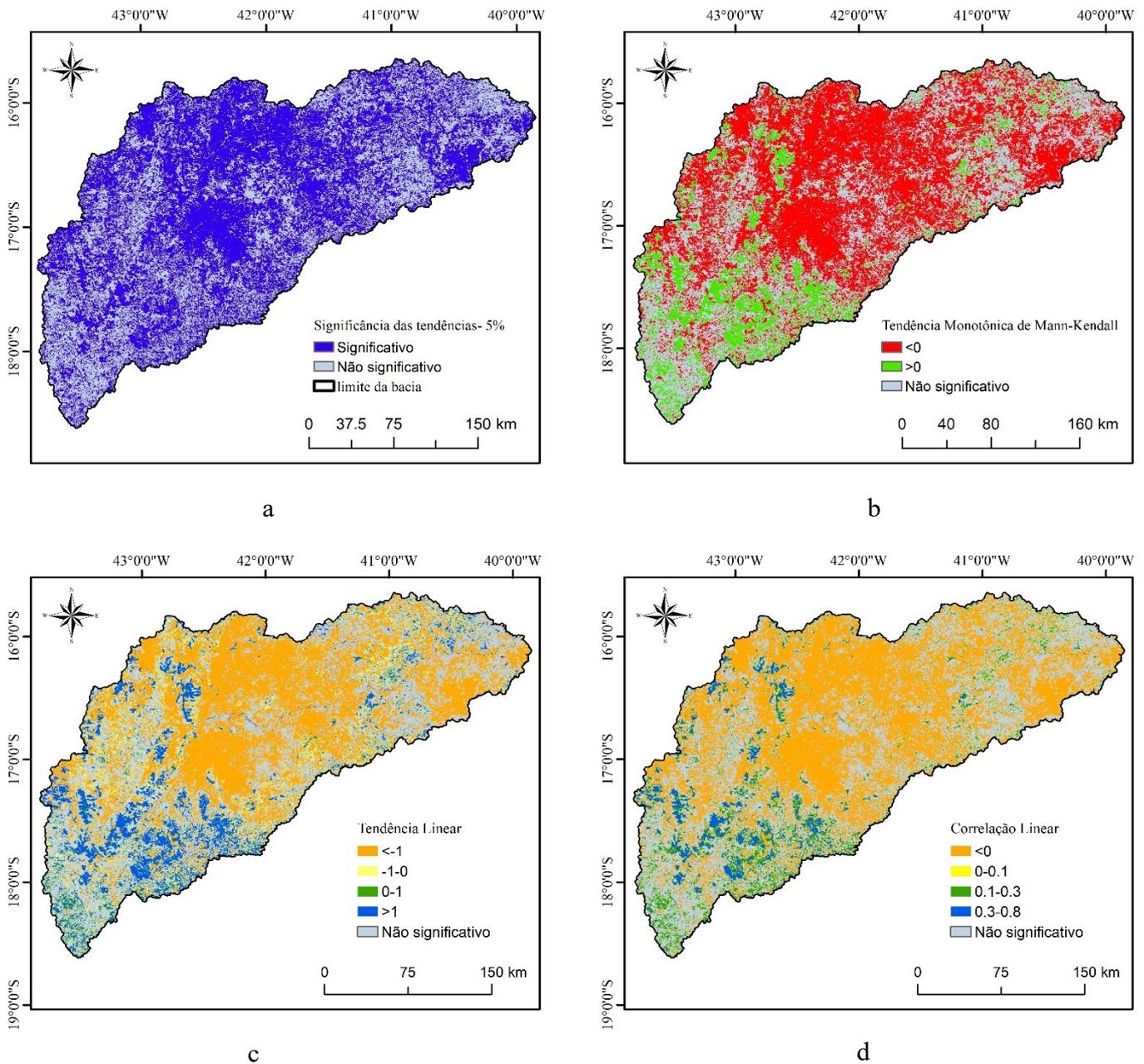
Fonte: A autora.

5.2. TENDÊNCIAS INTERANUAIS

5.2.1. Tendências do NDVI

Os resultados das tendências para o índice de vegetação encontram-se na figura 19. A análise de significância das tendências interanuais para o NDVI revelou que em, aproximadamente, 60% da área da bacia os resultados foram significativos considerando uma probabilidade estatística de 95% de acerto (Figura 19 a).

Figura 19. Tendências Interanuais para o NDVI. a) Significância das tendências à 5%, b) Tendência Monotônica de Mann Kendall, c) Tendência Linear, d) Correlação Linear



Fonte: A autora.

Para a área em que as tendências foram consideradas significativas, considerando a tendência de Mann Kendall (Figura 19b), aproximadamente 79% apresentou uma tendência de diminuição no vigor da vegetação (representado pela cor vermelha no mapa), enquanto 21% da área apresentou uma tendência de aumento no vigor da vegetação.

A tendência linear é a resposta de uma regressão linear simples, e relaciona-se à intensidade da tendência. Neste caso, quanto maiores os valores observados na tendência, maior a intensidade em que ela ocorreu. É possível observar, por meio da figura 19 c, que na maior parte da área o valor para a tendência linear foi negativo, representado pelas cores laranja (68%) e amarelo (11%). Essas tendências de diminuição foram, em sua maioria, de grande intensidade, com valores menores que -1. Os valores positivos para esta tendência, são representados em verde (6%) e azul (15%). Uma análise mais apurada possibilitou constatar que, dentre as áreas com tendência linear maior que 1, 45% abrange a classe de floresta plantada. Aproximadamente 70% desta classe obteve uma tendência linear maior que 1. Isso indica que, nessas áreas a tendência é de aumento no vigor vegetativo e de forma mais intensa, o que pode ser devido à uma expansão das áreas de plantio florestal.

Por meio da figura 19 d, é possível analisar o mapa da correlação linear gerada para o NDVI. Este método de tendência é gerado a partir de uma correlação linear entre os dados de NDVI e uma série perfeitamente linear, sendo um indicativo de quanto essa série se aproxima de uma série linear. Seu resultado, portanto, expressa uma tendência de que pode se esperar o mesmo comportamento ao longo dos anos seguintes, quando próximo de 1.

A classe de uso e cobertura da terra que apresentou maior correlação linear foi floresta plantada, com aproximadamente 40% de área com correlação entre 0,3 e 0,8 e, aproximadamente 32% de área com correlação entre 0,1 e 0,3. Por outro lado, a classe formação florestal apresentou menores valores de correlação linear, sendo 80% menor que 0 e apenas 3% entre 0,3 e 0,8. Esse resultado indica que, apesar das tendências negativas observadas em áreas de formação florestal, não há indícios de persistência desta tendência.

Por meio do confronto dos mapas de tendência e usos da terra, foi possível determinar as tendências de aumento e diminuição no vigor da vegetação para cada uso da terra atual na bacia (Tabela 6).

Tabela 6 – Tendência Monotônica de Mann Kendall de acordo com os usos da terra na bacia.

Uso da terra	Tendência de aumento no vigor (% de área)	Tendência de diminuição no vigor (% de área)
Formação florestal	21	79
Formação savânica	18	82
Floresta plantada	75	25
Formação campestre	30	70
Pastagem	5	95
Mosaico de agricultura e pastagem	14	86

Fonte: A autora.

Os usos da terra mais expressivos da bacia, de floresta plantada que cobre 27% da área e de pastagem, que cobre 26% da área, foram os que representaram a maior parte de área com tendência de diminuição no vigor vegetativo. Em 79% das áreas cobertas por formações florestais naturais, a tendência do vigor da vegetação foi de diminuição ao longo dos anos, enquanto para as áreas de pastagem esse valor chegou a 95%. É importante salientar que, essa diminuição se refere ao vigor vegetativo, medido por meio da resposta espectral da vegetação e relacionada à sua taxa fotossintética e produção de biomassa. Logo, para esta análise foram consideradas alterações medidas em áreas que atualmente são cobertas por cada uso considerado.

Demais áreas de formação vegetal natural, tais como formações savânicas e formações campestres, obtiveram elevadas porcentagens de área com tendências de decréscimo, correspondendo a 82% e 72%, respectivamente. Áreas classificadas como mosaico entre agricultura e pastagem, tiveram 86% de sua extensão com tendências negativas. Apenas a área classificada como floresta plantada, obteve maior porcentagem de tendência de aumento no vigor vegetativo, o que representou 75% de sua extensão.

As tendências analisadas foram importantes para encontrar alterações nos padrões do NDVI ao longo dos anos de 2001 e 2018. Com as particularidades encontradas em cada região terrestre, cada tipo de vegetação pode apresentar uma tendência de comportamento diferente, conforme relatado por estudos de Zhang et al. (2014), em Jiangxi, China, que encontraram uma tendência de diminuição nos valores de NDVI no período considerado e uma variação espacial em que o NDVI em regiões próximas à áreas urbanas foi menor em comparação com áreas mais ao centro das florestas. Os autores argumentaram que o processo de fragmentação, relacionado à alterações no uso da terra, foi o principal responsável pela tendência na diminuição do NDVI.

Dubovyk et al. (2015), estudaram a dinâmica da vegetação em uma extensa área no sul da África, utilizando séries temporais de dados de EVI do sensor MODIS, entre os anos 2000 e 2013. Foi evidenciada diminuição nos valores de EVI em 2002-2004 e em 2012-2013, que refletiram as condições de seca que ocorreram durante esse período. Zheng et al. (2017) estudaram a resposta da vegetação às condições climáticas, utilizando imagens de NDVI para a região da reserva natural de Três Rios, na China e dados de temperatura e precipitação também obtidos de produtos de sensoriamento remoto. As mudanças projetadas indicaram, de modo geral, um aumento nos valores de NDVI.

Para a bacia do rio Jequitinhonha, foi possível observar que, a maior porção das áreas vegetadas naturais na bacia, vêm sofrendo algum tipo de processo de degradação, que ocasiona numa diminuição no seu vigor vegetativo, considerando um nível de significância de 5%. Nessas áreas, a intensidade da tendência foi pequena e com comportamento não linear. As classes com maior porcentagem de áreas com tendência de diminuição no vigor foram as de pastagem, formação savânica e formação florestal.

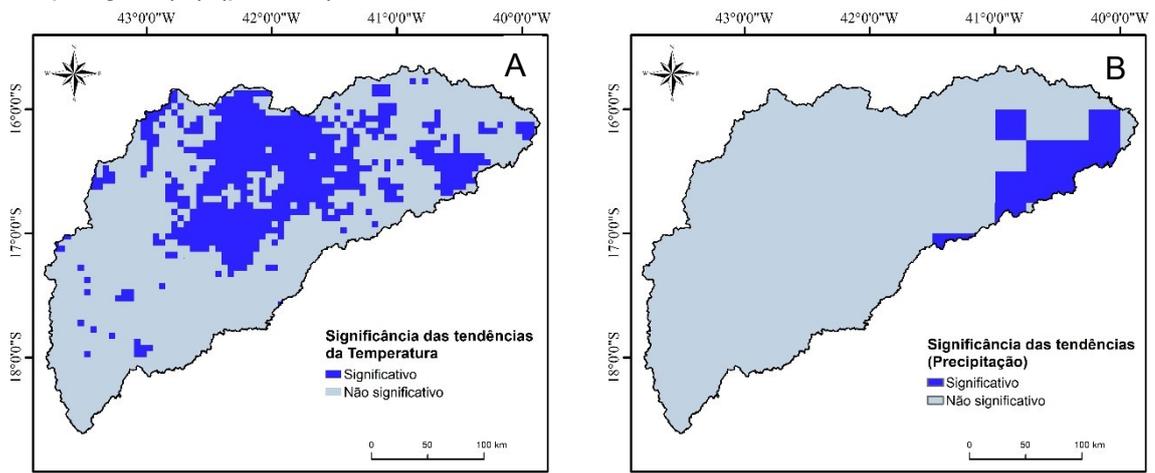
Por outro lado, o aumento no vigor vegetativo encontrado para as áreas de floresta plantada pode estar associado ao manejo e tratamentos culturais, como fornecimento de nutrientes, utilização de clones resistentes, que proporcionem elevada produtividade da vegetação (WILCKEN et al., 2008).

5.2.2. Tendências dos dados climáticos

Foram geradas as tendências interanuais para os dados climáticos de precipitação e temperatura, a fim de identificar algum tipo de alteração, considerando um nível de significância de 5%.

A figura 20 mostra a significância das tendências calculadas.

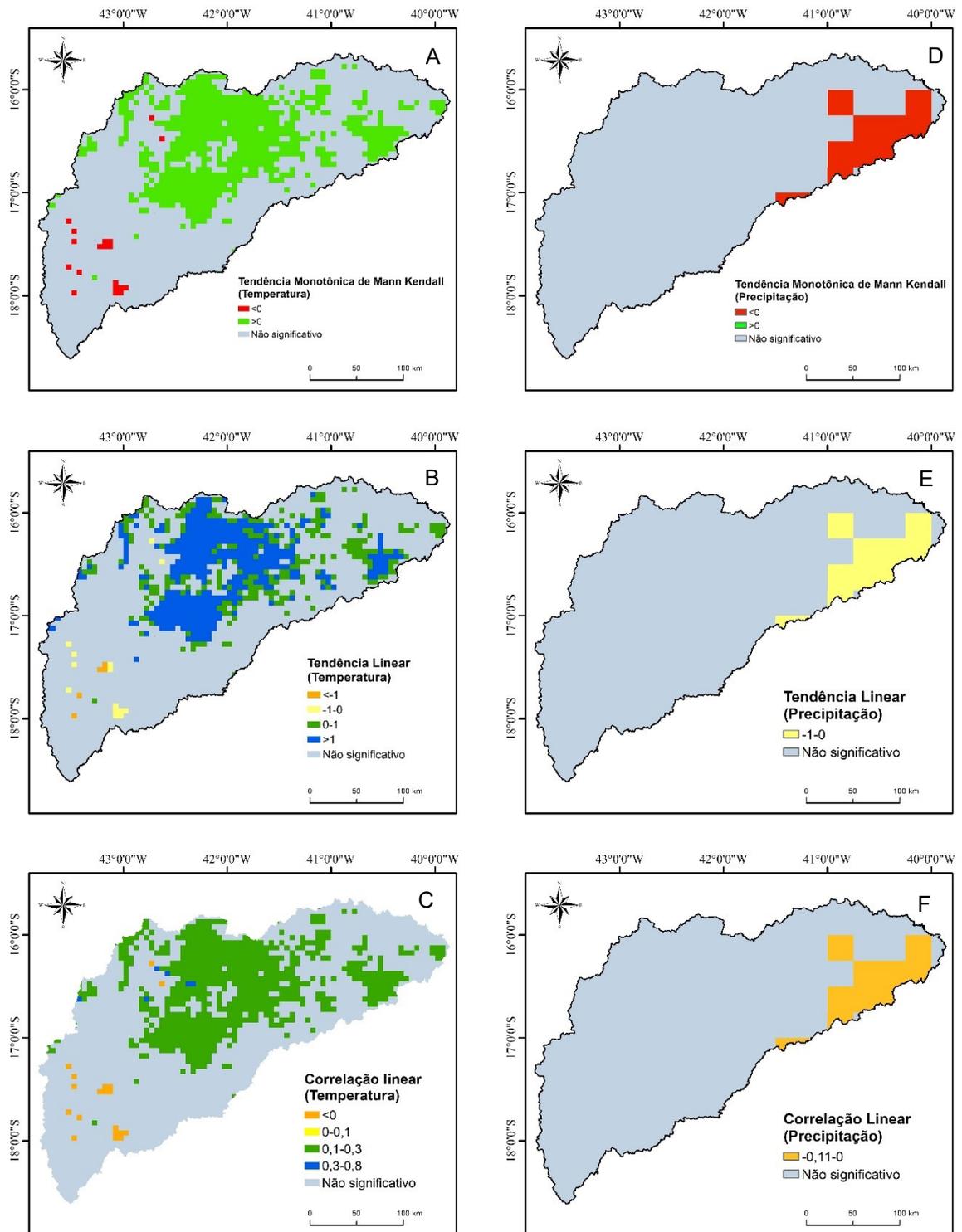
Figura 20. Significância das tendências calculadas para o a temperatura (A) e precipitação (B) ($p < 0,05$).



Fonte: A autora.

Para a temperatura, aproximadamente 30% da área apresentou tendências significativas, enquanto para a precipitação esse valor foi de 8% da área. As tendências calculadas podem ser observadas por meio da Figura 21.

Figura 21. Tendência calculadas para a temperatura (A, B, C) e para a precipitação (D, E, F).



Fonte: A autora.

É possível observar uma tendência predominante de aumento da temperatura, em sua maioria com alta intensidade expressa pela tendência linear, e uma correlação linear positiva, mas com valores baixos (entre 0,1 e 0,3). Isso indica que existe a

tendência no aumento da temperatura, porém esta não ocorreu de forma linear ao longo dos anos. A área em que essa tendência ocorreu corresponde à, aproximadamente, 30% da bacia ou quase 20.000 km² de área territorial.

Os municípios com mais de 50% da sua área apresentando aumento nas tendências da temperatura são 21: Salinas, Santa Cruz de Salinas, Comercinho, Medina, Itaobim, Itinga, Araçuaí, Jenipapo de Minas, Chapada do Norte, José Gonçalves de Minas, Leme do Prado, Berilo, Francisco Badaró, Virgem da Lapa, Padre Carvalho, Rubelita, Coronel Murta, Taiobeiras, Rubim, Rio do Prado e Santo Antônio do Jacinto. Nestes municípios, as médias de temperatura da superfície nos anos estudados estiveram entre 26 °C e 31 °C.

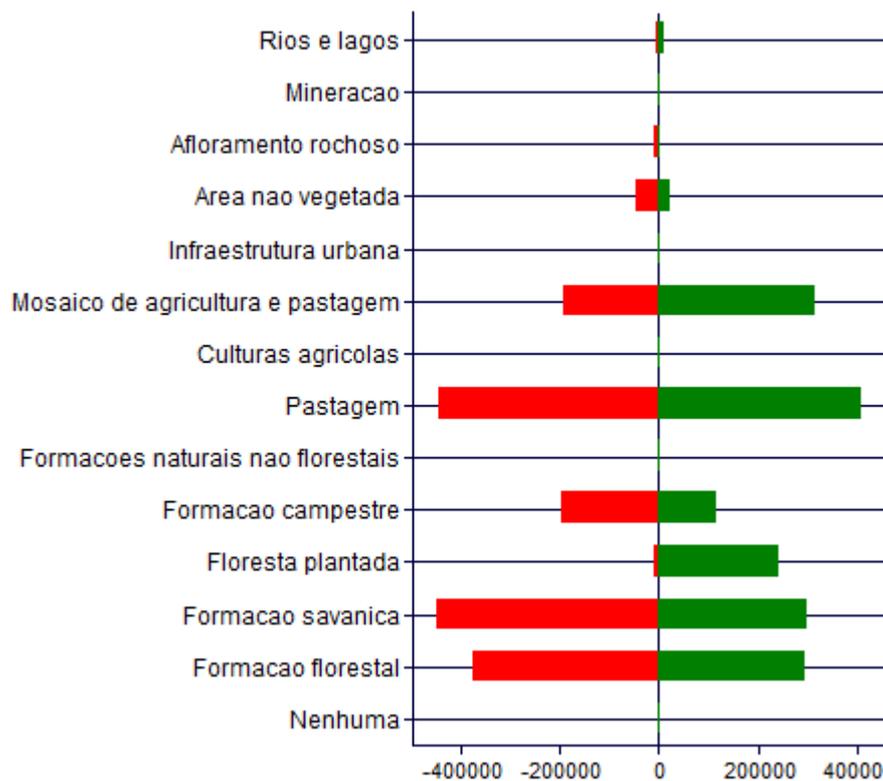
Com relação à precipitação, em 8% da bacia ou 5.300 km² da sua área, as tendências foram significativas a 5% e a tendência constatada foi de diminuição. No entanto, por meio da tendência linear foi possível constatar que é uma tendência de baixa intensidade e com correlação linear próxima de 0, indicando que não é uma tendência que deva persistir nos próximos anos. Os municípios com pelo menos 50% de seu território abrangidos por essa tendência são 8: Salto da Divisa, Santa Maria do Salto, Jacinto, Santo Antônio do Jacinto, Rubim, Rio do Prado, Felisburgo, Joáima. A média da precipitação ao longo dos 18 anos em estudo esteve entre 960 e 1.030 mm nesses municípios.

5.3. DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA

As alterações no uso e cobertura da terra observadas entre os anos de 2001 e 2018, podem ser exemplificadas por meio da Figura 22.

É possível observar pelo gráfico que, para cada uso da terra foram calculadas as áreas de perdas (em vermelho) e de ganhos (em verde). Todos os usos da terra com área expressiva dentro da bacia, sofreram alterações, seja com ganhos e perdas para outros usos da terra. Os usos em que a perda foi maior foram: Formação savânica (-4488 km² de perda e 2985 km² de ganho), Pastagem (-4437 km² de perda e 4106 km² de ganho), Formação florestal (-3750 km² de perda e 2947 km² de ganho), e formação campestre (1952 km² de perda e 1182 de ganho). Os usos em que o ganho foi maior, foram: Floresta plantada (2415 km² de ganho e -87 km² de perda) e mosaico de agricultura e pastagem (3163 km² de ganho e -1930 km² de perda).

Figura 22. Perdas e Ganhos entre 2001 e 2018 (Eixo Y corresponde à área em km²).



Fonte: A autora

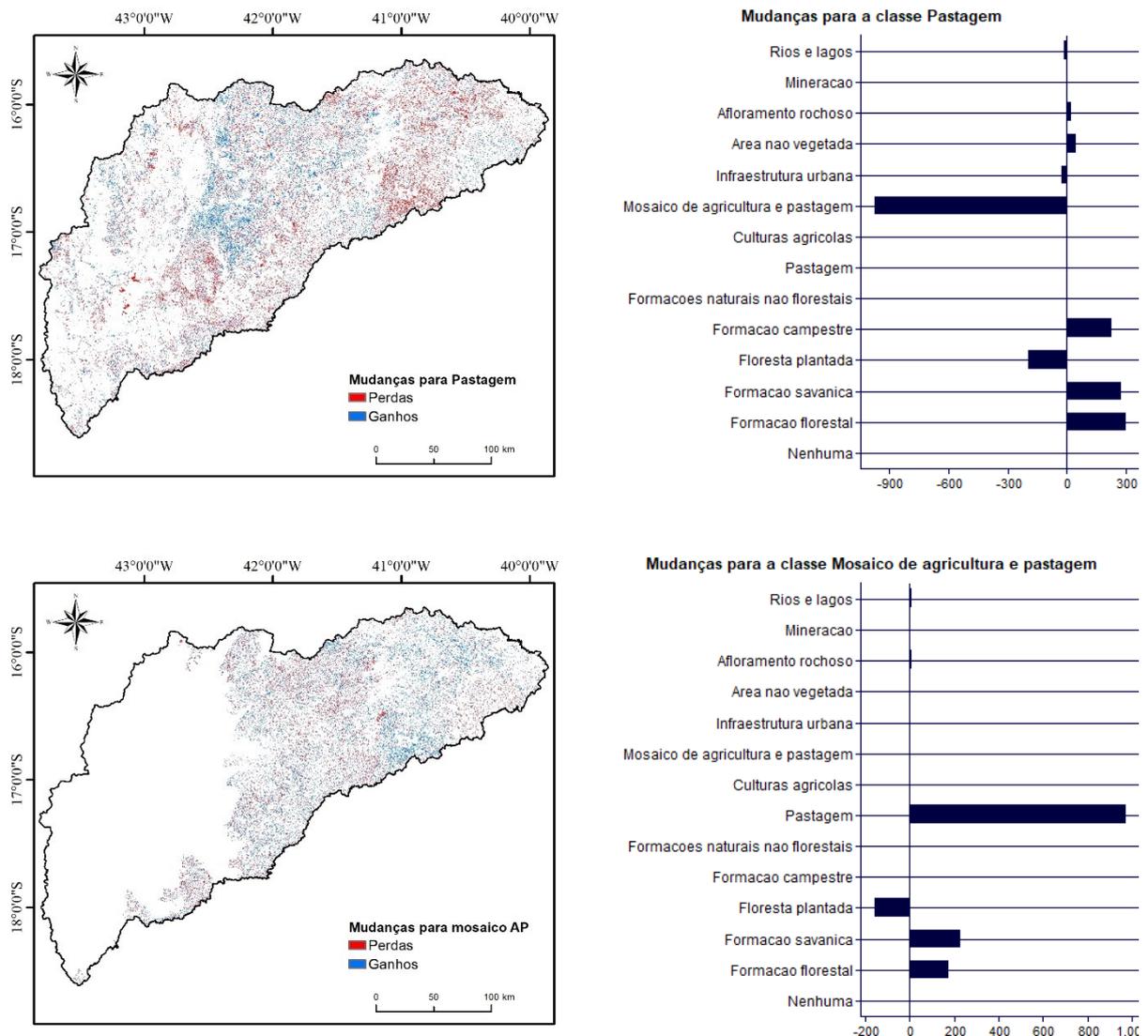
Foi possível observar que todas as classes correspondentes às formações vegetacionais naturais sofreram uma diminuição nas suas áreas, enquanto as classes que aumentaram suas áreas no período considerado foram as classes de floresta plantada e mosaico de agricultura e pastagem. Foi realizada a análise das alterações por uso da terra, a fim de perceber como se deu a dinâmica dessas alterações. Essas análises foram elaboradas considerando os ganhos ou perdas para cada classe, ou seja, o quantitativo de área líquida final.

A Figura 23 mostra os resultados para as classes Pastagem e Mosaico entre agricultura e pastagem. É possível observar os resultados espacializados, de onde ocorreram os ganhos e perdas de área dentro da bacia, e o gráfico com os valores numéricos das alterações (em km²) e os principais usos que foram substituídos ou que substituíram os usos representados.

Percebe-se que, o principal uso responsável pela diminuição de áreas classificadas como pastagem foi Mosaico de agricultura e pastagem (valor líquido de -976 km²), o que aparece representado no primeiro gráfico como perda para a classe

de pastagem e no segundo gráfico como ganho para a classe Mosaico entre agricultura e pastagem. Considerando que a classe Mosaico de agricultura e pastagem, contempla áreas de pastagem, pode ser que na verdade a maior parte dessa área manteve-se inalterada. Uma pequena área de pastagem foi substituída por floresta plantada (-198 km²). Os usos que deram lugar às pastagens, de 2001 para 2018, foram principalmente das formações vegetacionais naturais, sejam eles Formação florestal (302 km²), Formação savânica (278 km²) e Formação campestre (227 km²).

Figura 23. Mudanças nas classes Pastagem e Mosaico de agricultura e pastagem entre 2001 e 2018.



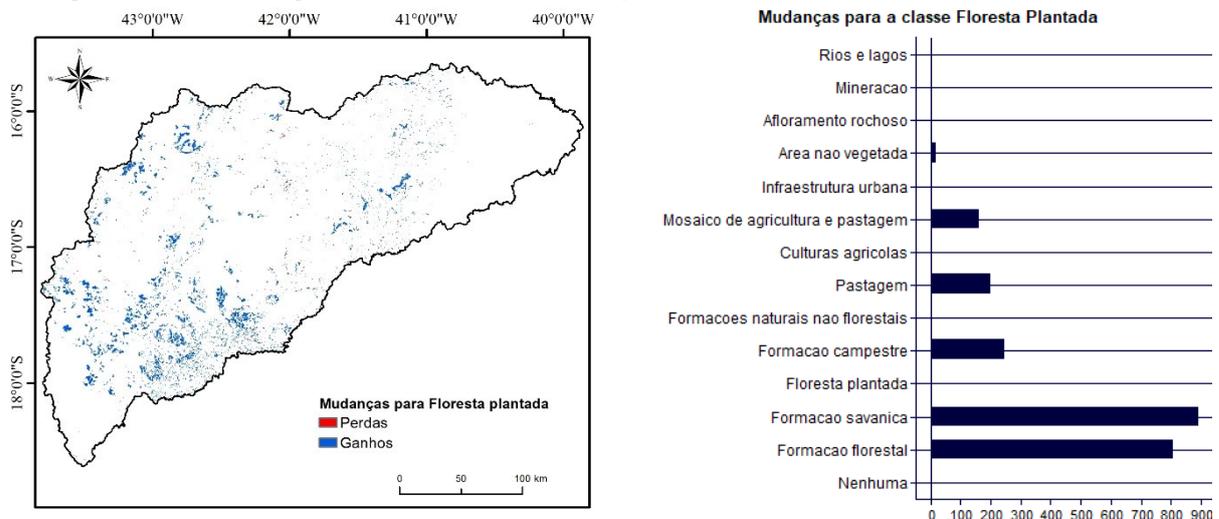
Fonte: A autora.

A classe Mosaico de agricultura e pastagem perdeu áreas apenas para a classe Floresta plantada (-160 km²) e ganhou espaço onde antes havia Formação savânica (226 km²) e formação florestal (177 km²).

Este resultado demonstra que, para o avanço de áreas de pastagens e agricultura na região, áreas naturais foram desmatadas. Ainda, é possível observar que uma parte desta área foi substituída por áreas de florestas plantadas (358 km² somando as duas classes).

A Figura 24 mostra as mudanças para a classe Floresta plantada, a única em que efetivamente é possível considerar que os ganhos em área foram superiores às perdas (que foram mínimas).

Figura 24. Mudanças na classe Floresta plantada, entre 2001 e 2018.

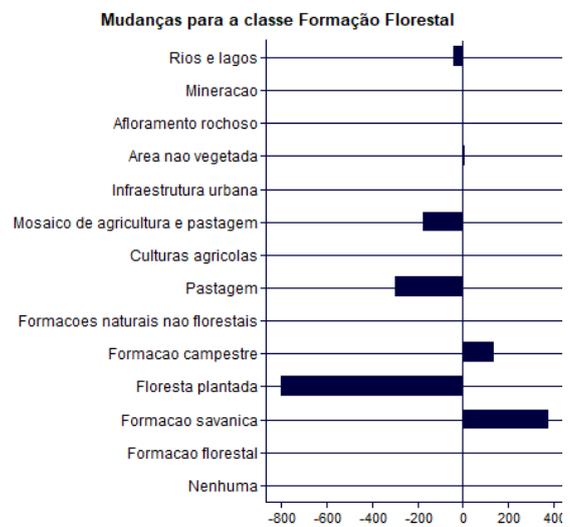
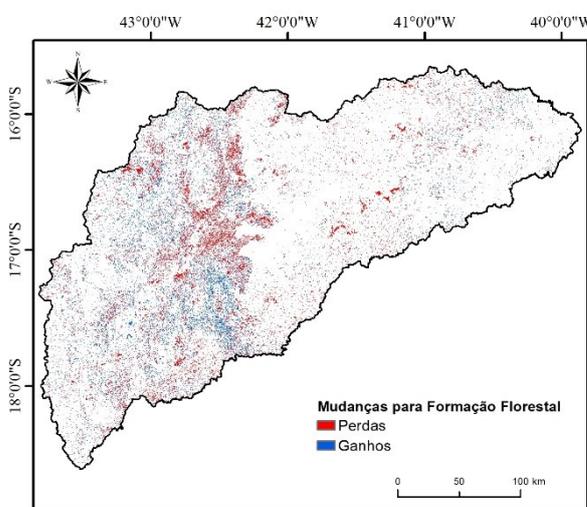
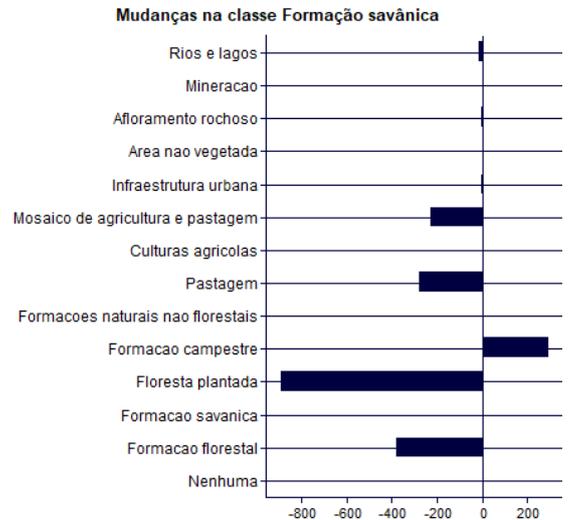
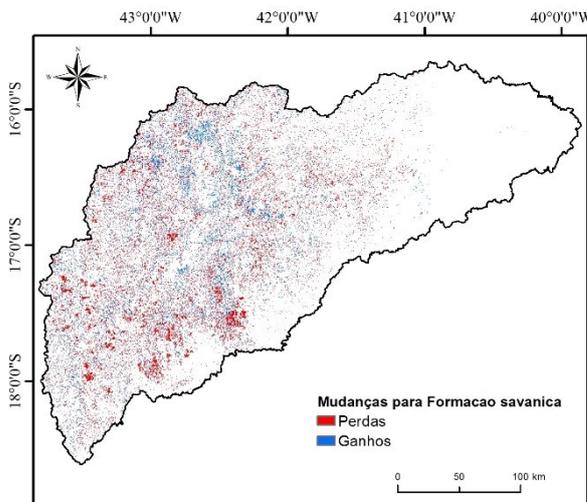
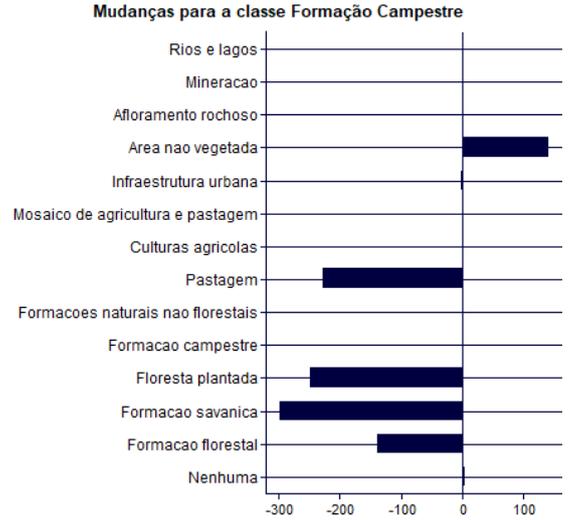
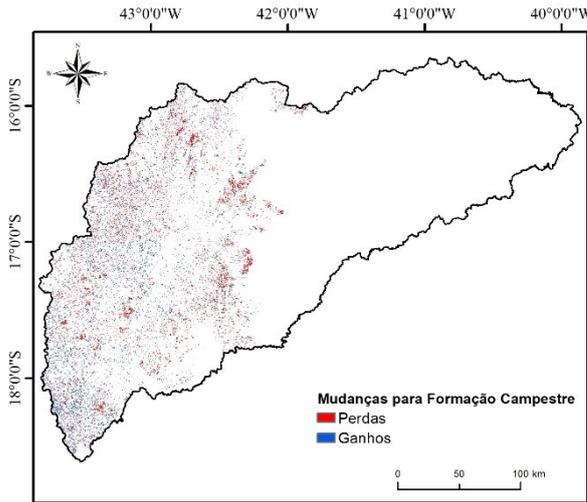


Fonte: A autora.

As principais áreas que foram substituídas por este uso foram: Formação savânica (894 km²), formação florestal (805 km²), formação campestre (248 km²), pastagem (198 km²) e Mosaico de agricultura e pastagem (160 km²). Este resultado evidencia que, para a ampliação de áreas de floresta plantada na bacia, áreas naturais extensas foram desmatadas, principalmente áreas de cerrado, conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 24.

Por fim, por meio da Figura 25 é possível analisar os resultados para as demais classes de uso e cobertura da terra, correspondentes às classes de Formações vegetais naturais: Formação campestre, Formação savânica e Formação florestal.

Figura 25. Mudanças nas classes representativas de formações vegetais naturais.



Fonte: A autora.

Primeiramente, estes resultados reiteram as afirmações anteriores. Áreas de pastagem, agricultura e floresta plantada juntas, foram responsáveis pela diminuição de, aproximadamente, 3157 km² de áreas com cobertura vegetal natural. Para a classe Formação florestal, estes foram os únicos usos responsáveis pelas perdas em área, sendo a classe floresta plantada responsável por uma perda de 805 km² dos 1284 km² perdidos.

As demais alterações observadas, revelam que áreas antes não vegetadas conseguiram recuperar-se e dar lugar à áreas de formação campestre, uma área correspondente à 141 km². Novas áreas de formação savânica, pertencente ao cerrado, foram ocupadas onde antes havia formação campestre, o que correspondeu à uma extensão de 296 km². Áreas de formação florestal obtiveram ganhos em áreas antes classificadas como formação campestre (139 km²) e formação savânica (380 km²).

Esses resultados podem ser devidos à dinâmica em áreas naturais em diferentes estágios de sucessão. Neste sentido, pode-se considerar que a formação campestre possa dar lugar à formações savânicas, quando em estágios sucessionais mais avançados. Assim como, as áreas de florestas podem ser observadas em estágios sucessionais mais avançados após formações savânicas.

Por meio dos mapas, é possível observar que as perdas são representadas por áreas maiores e regiões mais definidas, enquanto as áreas de ganhos encontram-se mais espaçadas e indefinidas na área de estudo.

Com relação às tendências calculadas para o NDVI, foi possível constatar que grande parte da área em que foi observada tendência de aumento, houve ganhos de áreas por floresta plantada, por formação florestal ou áreas antes sem vegetação que, atualmente, são recobertas por áreas de formação campestre. No entanto, a maior parte da bacia obteve uma tendência negativa do NDVI, mesmo nas regiões em que as alterações mencionadas também ocorreram.

É possível que, não somente a substituição de áreas naturais, mas a sua fragmentação, exerçam grande influência no vigor da vegetação constatado por meio do NDVI. Além disso, mesmo que não sejam consideradas significativas estatisticamente, alterações na temperatura e precipitação podem influenciar no comportamento desse índice.

França (2018) estudou o potencial de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, levando em consideração variáveis como relevo, clima,

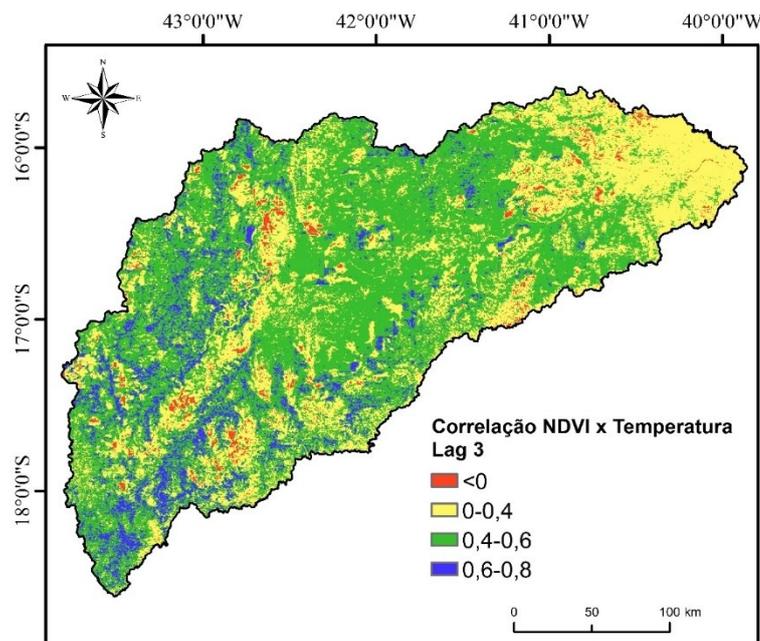
hidrografia, tipos de solo. Os resultados apontaram que a região com maior fragilidade dentro da bacia, classificada como extremamente alta- 5 numa escala de 1 a 5, localiza-se na região do alto Jequitinhonha. Essa área coincide com grande parte da área em que foi observada a substituição de áreas vegetais naturais por floresta plantada.

5.4. CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Foi calculada a correlação linear entre o NDVI (representativo do vigor da vegetação) e os dados de temperatura e de precipitação. Foram consideradas diferentes defasagens, visto que a resposta da vegetação à temperatura ou à precipitação não é imediata.

Para a correlação entre NDVI e temperatura, os melhores resultados foram obtidos considerando uma defasagem de três meses. Os resultados podem ser observados por meio da Figura 26.

Figura 26. Correlação linear entre o NDVI e a temperatura, considerando uma defasagem de três meses.



Fonte: A autora.

Para a maior parte da bacia, a correlação esteve entre 0,4 e 0,6 (56%), seguida de áreas com correlação entre 0 e 0,4 (34%). Algumas regiões obtiveram correlações entre 0,6 e 0,8 (8%), e uma menor porção da bacia obteve correlação menor que 0 (2%). Considerando que o valor máximo possível para a correlação entre os dados é de 1, pode-se inferir que os valores de correlação observados foram expressivos. A defasagem de três meses indicou que a melhor resposta da vegetação à temperatura se deu após três meses de alguma alteração nesse dado.

Sabe-se que a vegetação, de modo geral, depende da quantidade de radiação, a qual relaciona-se com a temperatura. A energia é utilizada pela planta e a biomassa que é produzida expressa o vigor da vegetação, medido pelo NDVI. Uma defasagem de três meses pode indicar que o pico de produção de biomassa ocorre após três meses de uma temperatura mais elevada, pois trata-se de uma correlação linear, em que quanto maior o valor da temperatura, maior o valor de NDVI. Isso não significa que a vegetação começa a responder à temperatura apenas após três meses, apenas que antes deste tempo as correlações calculadas foram menores. Por exemplo, considerando uma defasagem de um mês, as correlações chegaram à valores de 0,54 em algumas áreas e, para uma defasagem de dois meses, puderam ser obtidas correlações de até 0,76.

Além disso, o valor da correlação indica que a temperatura tem importância no crescimento da vegetação, no entanto, não é o único fator a ser considerado. Cada tipo de vegetação apresenta uma resposta diferente às variações no clima e esse é o motivo essencial de se realizar este tipo de estudo para novas áreas.

Qian et al. (2019) estudaram a relação entre o comportamento da vegetação e variáveis climáticas, na província de Shaanxi, na China. Os resultados evidenciaram tendência de aumento no NDVI, impulsionado pelo aumento na temperatura em cerca de 1 °C na temperatura média diária, aumento da precipitação e, em algumas áreas, pelo reflorestamento.

Ju et al. (2016) estudaram tendências no vigor da vegetação no Canadá e no Alasca entre 1984 e 2012, utilizando dados do satélite LandSat. Foi encontrada uma tendência de aumento no vigor da vegetação, principalmente na tundra do oeste do Alasca, ao longo da costa norte do Canadá e no nordeste do Canadá; sendo mais intenso e extenso no Quebec e no Labrador. Essa tendência foi associada ao aumento da temperatura em região de clima tipicamente mais frio.

Os dados de temperatura do produto MOD11C3 representam dados de temperatura da superfície, os quais são influenciados pela cobertura da terra existente em determinada região. A Tabela 7 resume os principais resultados das correlações entre NDVI e temperatura para os diferentes usos da terra encontrados na área de estudo.

Tabela 7 – Correlação entre NDVI e temperatura para cada uso da terra.

Uso da terra	Correlação NDVI x Temperatura (% área do uso)			
	<0	0-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
Formação florestal	2	41	48	9
Formação savânica	0	15	72	13
Floresta plantada	16	72	11	1
Formação campestre	0	16	70	14
Pastagem	1	34	58	7
Mosaico de agricultura e pastagem	1	26	67	6

Fonte: A autora.

Pode-se observar que, para a maioria dos usos da terra classificados na região, a correlação esteve, predominantemente, na faixa de 0,4 a 0,6. Apenas para a classe de floresta plantada, a maior parte (72%) obteve correlação entre 0 e 0,4. Isso indica que, outros fatores (além da temperatura) contribuem mais para o ganho de biomassa desse uso da terra, em relação aos demais usos da terra.

As classes formação savânica e formação campestre foram as que obtiveram maiores correlações com a temperatura. Esse tipo de vegetação, caracterizado por vegetação gramíneo-lenhosa e de menor porte, podem apresentar maior tolerância à temperaturas mais elevadas e maior gasto de energia.

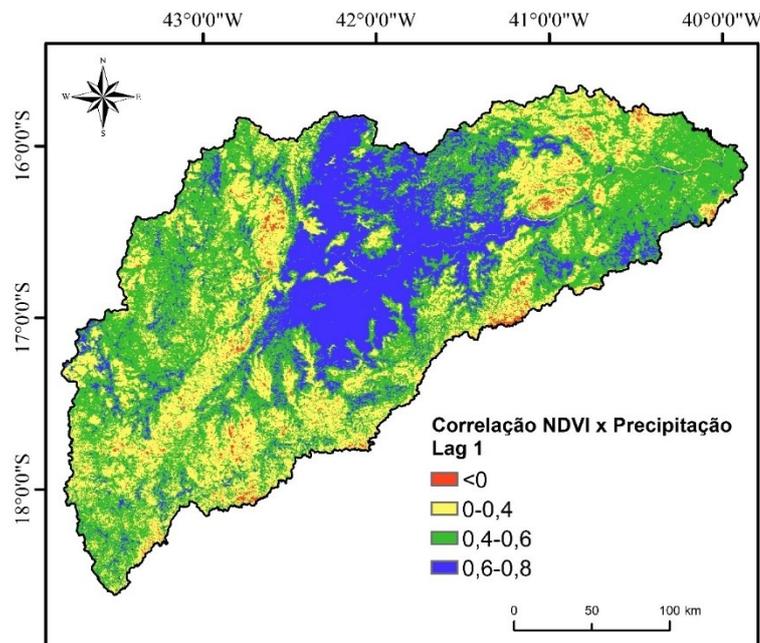
Áreas de pastagem e mosaicos entre agricultura e pastagem apresentaram 58% e 67%, respectivamente, de correlação entre 0,4 e 0,6 com a temperatura. As pastagens são tipos de vegetação que, embora exóticas, apresentam

comportamento semelhante ao das gramíneas, portanto, onde espera-se maior fluxo de calor. Áreas de agricultura são manejadas para fins de produção, no entanto, as culturas não foram especificadas na classificação realizada pelo MapBiomas, o que não permite realizar maiores discussões a cerca dos resultados.

Áreas de formação florestal obtiveram maiores valores na faixa de 0,4 a 0,6 (48%), porém com expressivas áreas na faixa entre 0 e 0,4 (41%). Isso indica que este tipo de vegetação apresenta sua produção de biomassa menos dependente da temperatura, quando comparado com outros tipos de cobertura (exceto de floresta plantada). Além disso, outros fatores podem exercer maior correlação com o vigor da vegetação nessas áreas.

Já para a correlação entre NDVI e precipitação, os maiores valores foram encontrados para uma defasagem de um mês. O resultado pode ser visualizado por meio da Figura 27.

Figura 27. Correlação linear entre o NDVI e a precipitação, considerando uma defasagem de um mês.



Fonte: A autora.

Foi possível observar que a maior parte da bacia, correspondente à 46%, obteve correlação do NDVI com a precipitação, entre 0,4 e 0,6. Cerca de 30% da área obteve correlação entre 0 e 0,4 e 23% com correlação entre 0,6 e 0,8. Apenas 1% da área apresentou correlação menor que 0. É importante notar que, as áreas com mais

elevada correlação, entre 0,6 e 0,8 encontram-se, em sua maioria, localizadas na porção central da bacia e de forma mais bem delimitada, com relação às outras faixas de valores.

Essa região é classificada pelo IBGE como região de transição dos biomas cerrado e mata atlântica. Ainda, de acordo com o MapBiomas, essa região é coberta predominantemente por pastagens, havendo ocorrência de formação savânica. No entanto, existem registros de ocorrência do bioma caatinga nessa região, mencionado em trabalhos publicados (VELOSO et al., 1991; RIBEIRO, 2007) e pelo próprio IBGE (1997), em diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha.

Algumas hipóteses podem ser levantadas, como por exemplo, algum tipo de confusão deste tipo de vegetação com áreas de pastagens classificadas pelo projeto MapBiomas e equívocos existentes na classificação de biomas realizada pelo IBGE. Nas discussões aqui apresentadas, priorizou-se considerar as informações contidas nos arquivos obtidos para essa pesquisa.

De modo geral, deve-se considerar que nessa bacia hidrográfica, a correlação do NDVI com a precipitação é bastante elevada, e a defasagem de apenas um mês indica que o uso da água da chuva pela vegetação é importante na produção de biomassa.

A Tabela 8 oferece resultados mais detalhados das correlações obtidas para cada uso e cobertura da terra. Pode-se observar que, as classes que se mostraram mais dependentes da chuva foram pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, formação savânica e formação campestre, em que as porcentagens de área com correlações acima de 0,4 chegaram à 90%, 80%, 79% e 73%, respectivamente. Conforme comentado anteriormente, não se deve descartar a possibilidade de que, dentre as regiões classificadas como pastagem, podem ser encontradas formações do bioma caatinga.

De qualquer modo, deve-se considerar que essa região contempla tipos de vegetação adaptados para passarem por períodos de seca, quando perdem suas folhas e, assim, apresentam baixos valores de NDVI. A precipitação torna-se a principal fonte de água para essas plantas, que respondem rapidamente em forma de produção de biomassa vegetal.

No caso da formação florestal, 52% da área apresentou correlações acima de 0,4, sendo 45% entre 0,4 e 0,6 e 7% entre 0,6 e 0,8. Ainda, 46% da área apresentou correlação entre 0 e 0,4. Isso pressupõe que esse tipo de vegetação é dependente

da água da chuva, porém provavelmente consiga acessar este recurso de outra forma, além da precipitação. É provável que suas raízes tenham a capacidade de captar água armazenada em camadas mais profundas do solo, em relação aos usos que obtiveram menores valores de correlação.

Por fim, a classe floresta plantada apresentou baixa correlação com a precipitação, em que apenas 8% da área apresentou correlação superior a 0,4 e 85% da área esteve entre 0 e 0,4. Esse resultado torna-se, ainda, importante para entender os resultados obtidos pelas tendências interanuais. Foi observado que em 75% da área com floresta plantada, as correlações foram positivas. Essa vegetação mostra-se pouco dependente das alterações de fatores climáticos como a precipitação, o que favoreceu seu estabelecimento na região, conforme relatado por Oliveira, Menegasse, Duarte (2002).

Tabela 8 – Correlação entre NDVI e precipitação para cada uso da terra.

Uso do solo	Correlação NDVI x Precipitação (% área do uso)			
	<0	0-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
Formação florestal	2	46	45	7
Formação savânica	0	21	49	30
Floresta plantada	7	85	7	1
Formação campestre	0	27	69	4
Pastagem	1	9	48	42
Mosaico de agricultura e pastagem	1	19	50	30

Fonte: A autora.

Foi possível inferir, ainda, que quando ocorre a diminuição da precipitação, os efeitos são sentidos pela vegetação local, visto que a correlação calculada é linear. No entanto, não foi constatada tendência de diminuição na precipitação de forma significativa para 92% da área. Acredita-se que, mesmo que a diminuição nos volumes de chuva não seja significativa estatisticamente, é suficiente para influenciar

no vigor vegetativo das plantas. Além disso, outros fatores podem exercer importante influência neste comportamento observado para a vegetação.

Jiang et al. (2017), estudaram características espaciais e temporais das relações entre o verdor da vegetação e as variáveis climáticas precipitação e temperatura, na Ásia Central, utilizando o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) para o período entre 1984 e 2013. Os resultados mostraram que o vigor da vegetação diminuiu significativamente para os arbustos e a vegetação rala, em comparação com os outros tipos de vegetação. Os autores concluíram que a precipitação é o principal fator responsável por essas respostas da vegetação na região do estudo. Os valores máximos da correlação chegaram a 0,87.

Fensholt e Rasmussen (2011) correlacionaram as tendências de comportamento de dados de NDVI do sensor AVHRR/ NOAA com a variabilidade da precipitação pluviométrica estimada pelos sensores GPCP e RFE/ NOAA, na região do Sahel-Sudão, África. Os dados incluíram séries temporais do período de 1982 a 2007, com variação temporal de 16 dias. As análises geraram resultados espacializados para toda a área de estudo, em que foi possível observar valores de correlação que variaram em sua maioria, entre 0,4 e 1.

Fabricante et al. (2009) analisaram a variação do NDVI e sua correlação com a variação da precipitação pluviométrica, entre os anos de 1981 e 2000. De acordo com os resultados encontrados, a produtividade da vegetação foi influenciada pela precipitação, com pelo menos alguns meses de atraso para toda a área de estudo. Além disso, estas correlações foram pequenas, com valores de no máximo 0,57.

6. CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa, foi possível concluir:

Ocorreram alterações na vegetação na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha entre 2001 e 2018. Algumas áreas com vegetação natural foram convertidas em áreas de agricultura, pastagem e floresta plantada, esta última responsável pela maior porcentagem de alteração.

As tendências da vegetação foram significativas a 5% em 60% da área de estudo, e mostraram uma diminuição no vigor da vegetação em cerca de 79% da bacia.

As classes de vegetação natural foram as que apresentaram maior tendência na diminuição no vigor vegetativo, enquanto áreas de floresta plantada apresentaram predominância de tendência de aumento no vigor vegetativo.

Elevadas correlações entre o NDVI e variáveis climáticas foram observadas, com defasagem de três meses para a temperatura e de um mês para a precipitação.

Este tipo de estudo pode ser ampliado à diferentes regiões no mundo, a fim de auxiliar na compreensão e gestão da vegetação em bacias hidrográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIB, H. J.; MAYZUX, P.; GALLEGU, J.; RICHARDS, T. et al., 2002. **World atlas of biodiversity**: Bekerley. 2002.

ALEJANDRO, M.; OMASA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear spectral mixture analysis of landsat ETM data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 62, p. 309-324. 2007.

ALLBED, A.; KUMAR, L.; ALDAKHEEL, Y. Y. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. **Geoderma**, v. 230, p. 1-8. 2014.

AMARAL, F. C. S.; SANTOS, H. G.; AGLIO, M. L.D.; DUARDE, M. N.; PEREIRA, N.R.; OLIVEIRA, R. P.; JÚNIOR, W. C. Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, n. 63, 95p., 2004.

ARNETH, A.; HARRISON, S. P.; ZAEHLE, S.; TSIGARIDIS, K.; MENON, S.; BARTLEIN, P. J.; FEICHTER, J.; KORHOLA, A.; KULMALA, M.; O'DONNELL, D. Terrestrial biogeochemical feedbacks in the climate system. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 8, p. 525–532. 2010.

BALL, I. R.; POSSINGHAM, H. P.; WATTS, M. Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritization. A. Moilanen, H. Possingham, K. Wilson (Eds.), **Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools**, Oxford University Press, Oxford, p. 185-195. 2009.

BANNARI, A., MORIN, D., BONN, F., HUETE, A. R. "A review of vegetation indices". **Remote Sensing Reviews**, v. 13, p. 95-120, 1995.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS. p. 177-241. 1993.

BEURS, K.M. ; WRIGHT, C.K. ; HENEBRY, G.M. Dual scale trend analysis for evaluating climatic and anthropogenic effects on the vegetated land surface in

Russia and Kazakhstan **Environment Research Letters**, v. 4, n. 045012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045012>, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomass brasileiros**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomass> >. Acesso em: 12 mar. 2016.

CARLEER, A.; WOLFF, E. Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 70, p. 135-140. 2004.

CARVALHO JÚNIOR, O.A. DE, SAMPAIO, C. DA S., SILVA, N.C. DA, COUTO JÚNIOR, A.F., GOMES, R.A.T., CARVALHO, A.P.F. DE, SHIMABUKURO, Y.E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 26, n. 505–517. 2008.

CHEN, B., XU, G., COOPS, N. C., CIAIS, P., INNES, J. L., WANG, G., MYNENI, R. B., WANG, T., KRZYZANOWSKI, J., LI, Q., CAO, L., LIU, Y. Changes in vegetation photosynthetic activity trends across the Asia–Pacific region over the last three decades. **Remote Sensing of Environment**. v. 144, p. 28–41. 2014.

CHEN, Q.; BALDOCCHI, D.; GONG, P.; KELLY, M. Isolating individual trees in a savanna woodland using small footprint lidar data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, p. 923-932. 2006.

CHU, H., VENEVSKY, S., WU, C., WANG, M. (2019). NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. **Science of the Total Environment**, 650, 2051–2062. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.115>. 2019.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satellite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

COSTA, C. C.; GOMES, L. J.; ALMEIDA, A. P. Seleção de indicadores de sustentabilidade em fragmentos florestais de Mata Atlântica na Bacia Hidrográfica

do Rio Poxim - SE por meio do geoprocessamento. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.18 n.1, p.209-219, 2014.

COUTINHO, Leopoldo Magno. O conceito de bioma. **Acta botanica brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Atlas pluviométrico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>>. Acesso em: nov. 2018.

CRAMER, W.; BONDEAU, A.; WOODWARD, F. I.; PRENTICE, I. C.; BETTS, R. A.; BROVKIN, V.; COX, P. M.; FISHER, V.; FOLEY, J. A.; FRIEND, A. D. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. **Global Change Biology**, v. 7, n. 4, p. 357–373. 2001.

CUNNINGHAM, S.; MACNALLY, R.; READ, J.; BAKER, P.; WHITE, M.; THOMSON, J. ET al. A robust technique for mapping vegetation condition across a major river system. **Ecosystems**, v. 12, p. 207-219. 2009.

DIDAN, K. **Multi-satellite earth science data record for studying global vegetation trends and changes**. Paper Presented at Proceedings of the 2010 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, USA. 2010.

DIDAN, K.; MUNOZ, A. B.; SOLANO, R.; HUETE, A. **MODIS Vegetation Index User's Guide** (MOD13 Series) Version 3.00, 2015.

DRIELSMA, M.; MANION, G.; FERRIER, S. The spatial links tool: automated mapping of habitat linkages in variegated landscapes. **Ecological Modelling**, v. 200, pp. 403-411. 2007.

DUBOVYK, O., LANDMANN, T., ERASMUS, B. F. N., TEWES, A., SCHELLBERG, J. Monitoring vegetation dynamics with medium resolution MODIS-EVI time series at sub-regional scale in southern Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 38, p. 175–183. 2015.

DURO, D. C.; GIRARD, J.; KING, D. J.; FAHRIG, L.; MITCHELL, S.; LINDSAY, K. Predicting species diversity in agricultural environments using Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 144, p. 214-225. 2014.

EASTMAN, R. J., SANGERMANO, F., GHIMIRE, B., ZHU, H., CHEN, H., NEETI, N., CAI, Y., MACHADO, E.A., CREMA, S.C. Seasonal trend analysis of image time series. *Int. J. Remote Sensing*. v. 30, p. 2721–2726. 2009.

EVERITT, J. H.; YANG, C.; DELOACH, C. Remote sensing of giant reed with QuickBird satellite imagery. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 43, p. 81-85. 2005.

FABRICANTE, I., OESTERHELD, M., PARUELO, J. M. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. **Journal of Arid Environment**. v. 73, p. 745–753. 2009.

FAILING, L.; GREGORY, R. Ten common mistakes in designing biodiversity indicators for forest policy. **Journal of Environmental Management**, v. 68, p. 121-132. 2003.

FALKOWSKI, P.; SCHOLLES, R.; BOYLE, E.; CANADELL, J.; CANFIELD, D.; ELSER, J.; GRUBER, N.; HIBBARD, K.; HÖGGER, P. ; LINDER, S. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. **Science**, v. 290, n. 5490, p. 291–296. 2000.

FENSHAM, R.; FAIRFAX, R.; HOLMAN, J.; WHITEHEAD, P. Quantitative assessment of vegetation structural attributes from aerial photography. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 2293-2317. 2002.

FENSHOLT, R., RASMUSSEN, K. Analysis of trends in the Sahelian “rain-use efficiency” using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data. **Remote Sensing of Environment**. v. 115, p. 438–451. 2011.

FERET, J. B.; FRANÇOIS, C.; ASNER, G. P.; GITELSON, A. A.; MARTIN, R. E.; BIDEL, L. P. PROSPECT-4 and 5: Advances in the leaf optical properties model

separating photosynthetic pigments. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3030-3043. 2008.

FERREIRA, V. O. F.; SAADI, A. **Paisagens Culturais da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais**. *Observatorium*, v.5, n.14, p.2-26, 2013.

FERREIRA, V. O. **Unidades de Paisagem da bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais, subsídios para a gestão de recursos hídricos**. *Caminhos de Geografia*, v.12, n.37, p. 239-257, 2011.

FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. **O Clima da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: Subsídios para a Gestão de Recursos Hídricos**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. V.2, p. 303-319, 2012.

FERRIER, S.; DRIELSMA, M. Synthesis of pattern and process in biodiversity conservation assessment: A flexible whole-landscape modelling framework. **Diversity and Distributions**, n. 16, p. 386-402. 2010.

FRANÇA, L. C. J. **Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil**. 116 f. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2018.

FRANKE, J.; KEUCK, V.; SIEGERT, F. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. **Journal for Nature Conservation**, v. 20, p. 125-134. 2012.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica 2015-2016**. São Paulo, 2017.

GAO, Y.; ZHANG, W. LULC classification and topographic correction of Landsat-7 ETM+ imagery in the Yangjia River Watershed: The influence of DEM resolution. **Sensors**, v. 9, p. 1980-1995. 2009.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ed. São Paulo: Blucher, 291p. 1988.

GILLESPIE, T. W.; FOODY, G. M.; ROCCHINI, D.; GIORGI, A. P.; SAATCHI, S. Measuring and modelling biodiversity from space. **Progress in Physical Geography**, v. 32, p. 203-221. 2008.

GILLISON, A. N. **Vegetation functional types and traits at multiple scales**. Vegetation structure and function at multiple spatial, temporal and conceptual scales. Springer, p. 53-97. 2016.

GIRALDELLI, G. R.; CONCEIÇÃO, A.; FILHO, P. Relação entre as variáveis estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos de habitat de cerrado na fazenda Diamante, Coxim, MS. **Anais: 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal**. Inpe: São José dos Campos. p. 341-350. 2006.

GOWARD, S. N.; WARING, R. H.; DYE, D. G.; YANG, J. Ecological remote sensing at OTTER: Macroscale satellite observations. **Ecological applications**, v. 4, n. 2, p. 322- 343, 1994.

GROHMANN, Carlos Henrique; RICCOMINI, Claudio; DOS SANTOS STEINER, Samar. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

GULLISON, R.E., FRUMHOFF, P.C., CANADELL, J.G., FIELD, C.B., NEPSTAD, D.C., HAYHOE, K., AVISSAR, R., CURRAN, L.M., FRIEDLINGSTEIN, P., JONES, C.D., NOBRE, C., HOUGHTON, R.A., NEPSTAD, D.A., GITZ, V., CIAIS, P., LAURANCE, W.F., STERN, N., NABUURS, G.J., WERF, G.R. VAN DER, SABINE, C.L., SCHOLZE, M., KNORR, W., ARNELL, N.W., PRENTICE, I.C., COX, P.M., KAUPPI, P.E., CHOMITZ, K., MOUTINHO, P., SCHWARTZMAN, S., SOARES-FILHO, B.D., 2007. **Environment**. Tropical forests and climate policy. Science 316, 985–6. doi:10.1126/science.1136163. 2007.

HANNAH, L., MIDGLEY, G.F., ANDELMAN, S., ARAÚJO, M.B., HUGHES, G.O., MARTINEZ-MEYER, E., PEARSON, R.G., WILLIAMS, P.H. Protected area needs in a changing climate Frontiers. **Ecology Environmental**, v. 5, p. 131–138, 2007.

HARWOOD, T. D.; DONOHUE, R. J.; WILLIAMS, K. J.; FERRIER, S.; MCVICAR, T. R.; NEWELL, G.; WHITE, M. Habitat Condition Assessment System: a new way to assess the condition of natural habitats for terrestrial biodiversity across whole regions using remote sensing data. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 9, p. 1050-1059. 2016.

HOROWITZ, Franklin G. MODIS daily land surface temperature estimates in Google Earth Engine as an aid in geothermal energy siting. In: **Melbourne–Australia: Proceedings World Geothermal Congress**. 2015.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E., GAO, X., FERREIRA, L. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**. v. 83, p. 195–213. 2002.

HUNT, E. R.; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, p. 43-54. 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

INSTITUTO PRISTINO. Atlas Digital Geoambiental. Disponível em: <https://www.institutopristino.org.br/atlas>. Acesso em jul 2018.

JACKSON, R. B.; RANDERSON, J. T.; CANADELL, J. G.; ANDERSON, R. G.; AVISSAR, R.; BALDOCCHI, D. D.; BONAN, S. P. Protecting climate with forests. **Environment Research Letters**, v. 3, p. 044006, 2008.

JACKSON, R. D. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. **Annual Review of Phytopathology**, v. 24, p. 265-287. 1986.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective**. University of South Carolina, Columbus. 1986.

JENSEN, J.R. 1949. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2ed por: EPHIPHANIO, J.C.; FORMAGGIO,

A.R.; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S. São José dos Campos-SP: Parêntese, 598p, 2009.

JIANG, L., JIAPAER, G., BAO, A., GUO, H., NDAYISABA, F. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia. **Science of the Total Environment**. v. 599–600, p. 967–980. 2017.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 3 –15, 2002.

KATO, A.; WATANABE, M.; MORGENROTH, J.; GOMEZ, C. **Field tree measurement using terrestrial laser for radar remote sensing**. Synthetic aperture radar (AP SAR), 2013 asia-Pacific conference on, IEEE, p. 119-121. 2013.

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Measures**. Charles Griffin, London (1975), p. 20p

KLEIN, R.M. Aspectos dinâmicos da vegetação do Sul do Brasil. **Sellowia**, v. 36, p. 5-54, 1984.

KUMAR, L.; SINHA, P.; BROWN, J. F.; RAMSEY, R. D.; RIGGE, M.; STAM, C. A. Characterization, mapping, and monitoring of rangelands: Methods and approaches. **Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing**, p. 309. 2015.

KUMAR, L.; SKIDMORE, A. K.; MUTANGA, O. Leaf level experiments to discriminate between eucalyptus species using high spectral resolution reflectance data: Use of derivatives, ratios and vegetation indices. **Geocarto International**, v. 25, p. 327-344. 2010.

KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. T. C.; STOCKER, E.; ADLER, R. F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T. HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W. S.; ZIPSER, E.; SMITH, E. A.; WILHEIT, T. T.; NORTH, G. KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. The Status of

the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, p. 1965-1982, 2000.

KUNDU, S., KHARE, D., MONDAL, A. Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. **Ecological Engineering**. n. 105, p. 42–57. 2017.

LAMCHIN, M., LEE, J. Y., LEE, W. K., LEE, E. J., KIM, M., LIM, C. H., CHOI, H. A., KIM, S. R. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. **Advances in Space Research**, v. 57, n. 1, p. 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>. 2016.

LAW, B.; FALGE, E.; GU, L. V.; BALDOCCHI, D.; BAKWIN, P.; BERBIGIER, P.; DAVIS, K.; DOLMAN, A.; FALK, M.; FUENTES, J. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, n. 1, p. 97–120. 2002.

LAWLEY, V.; LEWIS, M.; CLARKE, K.; OSTENDORF, B. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 1273-1283. 2016.

LETA, O. T., EL-KADI, A. I., DULAI, H., GHAZAL, K. A. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. **Journal of hydrology: Regional Studies**. v. 8, p. 182–197. 2016.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/doc/estarte.doc>, acesso em 2015.

LEWIS, M.; JOOSTE, V.; GASPARIS, A. A. Discrimination of arid vegetation with airborne multispectral scanner hyperspectral imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, p. 1471-1479. 2001.

LI, Z., GUO, X., 2012. Detecting Climate Effects on Vegetation in Northern Mixed Prairie Using NOAA AVHRR 1-km Time-Series NDVI Data. **Remote Sensing**. n. 4, p. 120–134.

LINARES, J. A. H. **Análise multitemporal de imagens MODIS dos Parques Nacionais do Cerrado: EVI como uma das ferramentas para seleção de áreas de conservação.** 2012. 104 f. Dissertação (mestrado em geografia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

LINDENMAYER, D. B.; LIKENS, G. E. **Effective ecological monitoring.** CSIRO publishing. 2010.

MA, M.; VEROUSTRAETE, F. Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China. **Advances in Space Research**, v. 37, p. 835-840, 2006.

MAHLEIN, A. K.; STEINER, U.; HILLNHUTTER, C.; DEHNE, H. W.; OERKE, E. C. Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases. **Plant Methods**, v. 8, p. 1. 2012.

MANN, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, p. 245-259.

MAPBIOMAS- Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em out. 2019.

MARSHALL, M.; OKUTO, E.; KANG, Y.; OPIYO, E.; AHMED; M. Global assessment of Vegetation Index and Phenology Lab (VIP) and Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) version 3 products. **Biogeosciences**, v. 13, n. 3, p. 625–639. 2016.

MASELLI, F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. **Remote Sensing of Environment**. v. 89, p. 423–433. 2004.

MCNELLIE, M. J.; OLIVER, I.; GIBBONS, P. Pitfalls and possible solutions for using geo-referenced site data to inform vegetation models. **Ecological Informatics**, v. 30, p. 230-234. 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília, 2012. 276 pg.

MOILANEN, A.; WILSON, K.A.; POSSINGHAM, H. **Spatial conservation prioritization: Quantitative methods and computational tools.** Oxford University Press. 2009.

MOORE, M. M.; CASEY, C. A.; BAKKER, J. D.; SPRINGER, J. D.; FULE, P. Z.; COVINGTON, W.W. Herbaceous vegetation responses (1992–2004) to restoration treatments in a ponderosa pine forest. **Rangeland Ecology and Management**, v. 59, p. 135-144. 2006.

MORAES, E. C.; **Fundamentos do sensoriamento remoto.** INPE. São José dos Campos, 2002. 23 pg.

MORAES, R. A.; ROCHA, J. V. Imagens de coeficiente de qualidade (Quality) e de confiabilidade (Reliability) para seleção de pixels em imagens de NDVI do sensor MODIS para monitoramento da canade- açúcar no estado de São Paulo. **Anais: SBSR...2011.** Curitiba, Paraná. p. 0547-0552.

MOREIRA, M. A.. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4 ed. Viçosa, MG, 2011. 422 pg.

MORI, S. A. Eastern, Extra-Amazonian Brazil. In: CAMPBELL, D.G.; HAMMOND, H.D. (Eds.). **Floristic Inventory of Tropical Countries: The Status of Plant Systematics, Collections, and Vegetation, plus Recommendation for the Future.** New York: The New York Botanical Garden. p. 427-454, 1989.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. n. 403: p. 853-858.

NASA – **National Aeronautics and Space Administration.** Disponível em <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Acesso em: nov. 2015.

NASA – **National Aeronautics and Space Administration.** Disponível em <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Acesso em: nov. 2017.

NORA, D.; SANTOS, E. L. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma mata atlântica com base em índices de vegetação. **Perspectiva**, v. 34, n. 125, p. 41-51. 2010.

NOSS, R. F. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. **Conservation Biology**, v. 4, p. 355-364. 1990.

OLIVEIRA, F. R.; MENEGASSE, L. N.; DUARTE, U. Impacto ambiental do eucalipto na recarga de água subterrânea em área de cerrado, no médio vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.

OLIVER, I. An expert panel-based approach to the assessment of vegetation condition within the context of biodiversity conservation: Stage 1: The identification of condition indicators. **Ecological Indicators**, n. 2, p. 223-237. 2002.

OSPINA-NOREÑA, J. E., DOMÍNGUEZ-RAMÍREZ, C. A., VEGA-RODRIGUEZ, E. E., DARGHAN-CONTRERAS, A. E., RODRIGUEZ-MOLANO, L. E. Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. **Atmósfera**, v. 30, p. 63–76. 2017.

PANDAY, P. K., COE, M. T., MACEDO, M. N., LEFEBVRE, P., CASTANHO, A. D. A. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. **Journal of hydrology**. v. 523, p. 822–829. 2015.

PARKES, D.; NEWELL, G.; CHEAL, D. Assessing the quality of native vegetation: The ‘habitat hectares’ approach. **Ecological Management and Restoration**, v. 4, p. 29-38. 2003.

PEDELTY, J.; DEVADIGA, S.; MASUOKA, E.; BROWN, M.; PINZON, J.; TUCKER, C.; ROY, D.; JU, J.; VERMOTE, E.; PRINCE, S. Generating a long-term land data record from the AVHRR and MODIS instruments, paper presented at Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007, **IEEE International**. 2007.

PINZON, J. E.; TUCKER, C. J. A non-stationary 1981–2012 AVHRR NDVI3g time series. **Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p. 6929–6960. 2014.

PRESSEY, R.L., CABEZA, M., WATTS, M.E., COWLING, R.M., WILSON, K.A. Conservation planning in a changing world. **Trends Ecology Evolution**, 2007.

PTDRS – **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Alto Jequitinhonha**. Grupo Gestor Territorial (CIAT). 290 p., 2006. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio005.pdf . Acesso em: 11/2019.

QIAN, C.; SHAO, L.; HOU, X.; ZHANG, B.; CHEN, W.; XIA, X. Detection and attribution of vegetation greening trend across distinct local landscapes under China's Grain to Green Program: A case study in Shaanxi Province. **Catena**, v. 183, p. 104182, 2019.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, p.241-262. 2003.

RAMSEY, E.; RANGOONWALA, A.; NELSON, G.; EHRLICH, R.; MARTELLA, K. Generation and validation of characteristic spectra from EO1 Hyperion image data for detecting the occurrence of the invasive species, Chinese tallow. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, p. 1611-1636. 2005.

RAPINI, A.; RIBEIRO, P. L.; LAMBERT, S.; PIRANI, J. R. A flora dos campos rupestres da Cadeira do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, n.1-2, 2008.

RAYMOND, C. M.; BROWN, G.; ROBINSON, G. M. The influence of place attachment, and moral and normative concerns on the conservation of native vegetation: A test of two behavioural models. **Journal of Environmental Psychology**, v. 31, p. 323-335. 2011.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole LTDA. São Paulo, Brasil. 188 p, 1990.

REID, A. M.; CHAPMAN, W. K.; PRESCOTT, C. E.; NIJLAND, W. Using excess greenness and green chromatic coordinate colour indices from aerial images to

assess lodgepole pine vigour, mortality and disease occurrence. **Forest Ecology and Management**, v. 374, p. 146-153. 2016.

RIBEIRO, E. M. **Feiras de Jequitinhonha**. Mercados, Cultura e Trabalho de Famílias Rurais no Semiárido de Minas Gerais. Coleção BNB Projetos Sociais. Fortaleza: EDUFLA/Banco do Nordeste do Brasil, 2007, p. 246.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In.: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA. v. 1, p. 152-212. 2008.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, p.747. 1997.

ROSEMBACK, R., FERREIRA, N.J., SHIMABUKURO, Y.E., CONFORTE, J.C., Analysis of the dynamics of vegetation cover in brazil south region data from modis / terra. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2013.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **CollegeStation**: Texas A&M University, 1974. 87 p.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. 101p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola, Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2009.

SAATCHI, S.; BUERMANN, W.; TER STEEGE, H.; MORI, S.; SMITH, T. B. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2000-2017. 2008.

SCHIMEL, D. S.; ASNER, G. P.; MOORCROFT, P. Observing changing ecological diversity in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, pp. 129-137. 2013.

SHIM, C., HONG, J., HONG, J., KIM, Y., KANG, M., THAKURI, B. M., KIM, Y., CHUN, J. Evaluation of MODIS GPP over a complex ecosystem in East Asia: A case study at Gwangneung flux tower in Korea. **Advances in Space Research**, v. 54, p. 2296–2308. 2014.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337-354. 2002.

SITCH, S.; HUNTINGFORD, C.; GEDNEY, N.; LEVY, P.; LOMAS, M.; PIAO, S.; BETTS, R.; CIAIS, P.; COX, P.; FRIEDLINGSTEIN, P. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). **Global Change Biology**, v. 14, n. 9, p. 2015–2039. 2008.

SLOAN, S.; JENKINS, C. N.; JOPPA, L. N.; DAVID, L. A.; GAVEAU, W. F. L. Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. **Biological Conservation**, v. 177, p. 12–24, 1 set. 2014.

SMITH, A.; GREENBERG, J. A.; VIERLING, L. A. Introduction to special section on remote characterization of vegetation structure: New methods and applications to landscape-regional-global scale processes. **Biogeosciences**, p. 113. 2008.

SOUZA, A. F.; RAMOS, N. P.; PIZO, M. A.; HUBEL, I.; CROSSETTI, L. O. Afforestation effects on vegetation structure and diversity of grasslands in southern Brazil: the first years. **Journal for Nature Conservation**, v. 21, p. 56-62. 2013.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 37-56, 2010.

TARNAVSKY, E.; GARRIGUES, S.; BROWN, M. E. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 2, p. 535–549. 2008.

TEHRANY, M. S., KUMAR, L., DRIELSMA, M. J. Review of native vegetation condition assessment concepts, methods and future trends. **Journal for Nature Conservation**. v. 40, p. 12–23. 2017.

TIESZEN, L. L.; REED, B. C.; BLISS, N. B.; WYLIE, B. K; DEJONG, D. D. NDVI, C3 and C4 production, and distributions in Great Plains grassland land cover classes. **Ecological Application**, v. 7, p. 59–78, 1997.

TOMASELLA, J., SILVA PINTO VIEIRA, R. M., BARBOSA, A. A., RODRIGUEZ, D. A., OLIVEIRA SANTANA, M., SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 73, p. 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>. 2018.

TROMBETTI, M.; RIANO, D.; RUBIO, M.; CHENG, Y.; USTIN, S. Multi-temporal vegetation canopy water content retrieval and interpretation using artificial neural networks for the continental USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 203-215. 2008.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127–150, 1979.

TUCKER, C. J.; PINZON, J. E.; BROWN, M. E.; SLAYBACK, D. A.; PAK, E. W.; MAHONEY, R.; VERMOTE, E. F.; EL SALEOUS, N. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 20, p. 4485–4498. 2005.

TUCKER, C. J., SLAYBACK, D.A., PINZON, J.E., LOS, S.O., MYNENI, R.B., TAYLOR, M.G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **Int. J. Biometeorol.** v. 45, p. 184–190. doi:10.1007/s00484-001-0109-8. 2001.

TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p. 1395–1416, 1986.

USTIN, S. L.; GAMON, J. A. Remote sensing of plant functional types. **New Phytologist**, v.186, p. 795-816. 2010.

USTIN, S. L.; GITELSON, A. A.; JACQUEMOUD, S.; SCHAEPMAN, M.; ASNER, G. P.; GAMON, J. A. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 67-77. 2009.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: Retrocesso ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 147–160, 2010.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L R.; LIMA, J. C A. 1991. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). Rio de Janeiro. 1991.

VELOSO, H.P. Sistema fitogeográfico. In IBGE (Ed). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série: Manuais Técnicos em Geociências, Rio de Janeiro: IBGE, v.1, p. 8-38, 1992.

VIBRANS, A. C., MCROBERTS, R. E., MOSER, P., NICOLETTI, A. L. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. **Remote Sensing of Environment**. v. 130, p. 87–95. doi:10.1016/j.rse.2012.10.023. 2013.

WANG, L.; SOUSA, W. P.; GONG, P.; BIGING, G. S. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 432-440. 2004.

WANG, Q., ADIKU, S., TENHUNEN, J., GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**. v. 94, p. 244–255. 2005.

WAPPAEUS, **Geographia do Império do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, 1884.

WASSER, L.; DAY, R.; CHASMER, L.; TAYLOR, A. Influence of vegetation structure on lidar-derived canopy height and fractional cover in forested riparian

buffers during leaf-off and leaf-on conditions. **Public library of science**, v. 8, p. 54776. 2013.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em nov. 2019.

WHITE, A.; SPARROW, B.; LEITCH, E.; FOULKES, J.; FLITTON, R.; LOWE, A.J. **AUSPLOTS rangelands survey protocols manual**. University of Adelaide Press. 2012.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FERREIRA FILHO, P. J.; POGETTO, M. H. F. A. **Guia prático de manejo de plantações de eucalipto**. Botucatu: FEPAF, 2008.

XU, Z. X. , LI, J. Y., LIU, C. M. Long term analysis for major climate variables in the yellow river basin. **Hydrology Processes.**, n. 21, p. 1935-1948. 2007.

ZEBKER, H. A. ; GOLDSTEIN, R. M. Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. **Journal of Geophysical Research**, v.91, p.4993-4999. 1986.

ZERGER, A.; GIBBONS, P.; JONES, S.; DOYLE, S.; SEDDON, J.; BRIGGS, S. V. et al. Spatially modelling native vegetation condition. **Ecological Management and Restoration**, v. 7, p. 37-44. 2006.

ZHANG, J., ZHANG, L., XU, C., LIU, W., QI, Y., WO, X. Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data — A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. **Acta Ecologica Sinica**, 34, 7–12. 2014.

ZHANG, Y., SONG, C., BAND, L. E., SUN, G., LI, J. Reanalysis of global terrestrial vegetation trends from MODIS products: Browning or greening? **Remote Sensing of Environment**, 191, 145–155. 2017.

ZHENG, Y., HAN, J., HUANG, YUEFEI, FASSNACHT, S. R., XIE, S., LV, E., CHEN, M. Vegetation response to climate conditions based on NDVI simulations using stepwise cluster analysis for the Three-River Headwaters region of China. **Ecological Indicators**. 2017.

ZHOU, Z. C.; SHANGGUAN Z. P., ZHAO D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China. **Ecological Modelling**, n.198, v. 1-2, p. 263-268, 2006.