

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

**Caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-
MG em eventos de El Niño-Oscilação Sul**

Cláudio Gomes da Silva

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS-MG EM EVENTOS DE EL
NIÑO-OSCILAÇÃO SUL**

CLÁUDIO GOMES DA SILVA

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação do Professor
Rafael Coll Delgado

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração em Meio Ambiente

Seropédica - RJ
Abril de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G586c Gomes da Silva, Claudio, 1982-
Caracterização física e ambiental da bacia
hidrográfica do rio Pandeiros-MG em eventos de El
Niño-Oscilação Sul / Claudio Gomes da Silva. - 2018.
60 f.

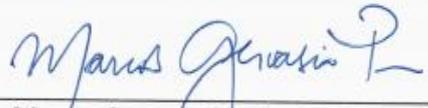
Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Coorientador: Rafael Coll Delgado.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, PGEAAmb, 2018.

1. Índice de vegetação. 2. Eventos climáticos. 3.
Geoprocessamento. 4. Séries temporais. 5.
Heterogeneidade física e ambiental. I. Gervasio
Pereira, Marcos , 1965-, orient. II. Coll Delgado,
Rafael, 1978-, coorient. III Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. PGEAAmb. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL**

CLÁUDIO GOMES DA SILVA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no curso Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração - Meio Ambiente.



Marcos Gervasio Pereira, Dr. UFRRJ
(Orientador)



Ana Paula Dias Turetta
Dra. em Ciências do Solo - Embrapa



Gilsonley Lopes dos Santos
Dr. em Ciências Ambientais e Florestais -UFRRJ

DEDICATÓRIA

*À Deus, minha mãe, Josefa Gomes, à Clarissa Fernandes,
aos orientadores: Marcos Gervasio e Rafael Coll Delgado,
aos familiares e amigos, em especial a
Pedro Lima e Gilsonley L. Santos.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e saúde para superar as dificuldades e obter êxito em mais essa conquista.

À minha querida mãe, a Sra Josefa Gomes, pedra fundamental de minha formação, pelo exemplo de vida e apoio incondicional sem o qual nada disso seria possível.

À Clarissa Gomes, minha companheira de todas as horas e toda sua família que se tornaram mais um pilar cujo apoio tornou-se fundamental para meu sucesso em mais essa etapa de minha vida.

Aos parentes e amigos que mesmo distantes torceram pelo meu sucesso.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Gervasio Pereira por acreditar na viabilidade desse estudo e por não medir esforços no fornecimento subsídio para o desenvolvimento do mesmo, meu mais sincero sentimento de gratidão e respeito pela pessoa que você é e pela sua história de vida.

Ao meu Co-orientador, Dr. Rafael Coll Delgado pelos conselhos, pela amizade, pela transparência e pela sinceridade principalmente nas horas de dificuldade, por me mostrar que muitas vezes a realidade era diferente do que eu imaginava em certos momentos.

Ao amigo Pedro Lima, meu irmão, com quem sempre pude contar nas horas de sufoco, serei eternamente grato, pois jamais terei condições de retribuir tudo o que você fez por mim durante esse tempo.

Ao Gilsonley Lopes dos Santos, minha sincera gratidão pelo apoio inestimável no desenvolvimento desse trabalho, por estar sempre disposto a me ajudar nos momentos de dificuldade, pelo companheirismo e pelos conselhos que me ajudaram a assimilar essa nova realidade.

Ao Carlos Magno Moreira, pela grandiosa contribuição para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Alisson Canabrava pela amizade e apoio, até mesmo nas horas inesperadas.

Aos companheiros e companheiras do alojamento da Pós-graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

À Nathália Mendes e Iris Cristiane Magistrali, pela amizade e acolhimento que me ajudaram muitas vezes a esquecer do quão distante estava de minha zona de conforto.

Aos colegas e a coordenação do LSRACA pelo apoio e fornecimento dos equipamentos utilizados no desenvolvimento desse projeto.

Aos companheiros da turma 2017/1 do PGEAAmb: Carlos José, Cátia Azevedo, Dayene Pereira, Gabriella Francisco, Igor Guimarães, João Brack, Leila Cristina, Sayonara Costa, Suelen da Costa, em especial à Tainara Ferrugem pela amizade, generosidade e pelo apoio nas horas de sufoco.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por viabilizar a realização de um sonho.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização morfométrica e avaliar a heterogeneidade física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, através de uma série temporal de 24 anos de observações do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), modelo digital de elevação e dados pluviométricos coletados nos 16 dias que antecederam a passagem do satélite Landsat 5 sobre a região estudada. Os valores médios da vegetação foram distribuídos espacialmente e relacionados com os dados de chuva e o evento El Niño-Oscilação Sul. Foram realizadas análises estatísticas não paramétricas e matriz de correlação com o objetivo de identificar variações espaciais e temporais na dinâmica da vegetação. O coeficiente de compactidade, fator de forma e circularidade foram 2,61, 0,48 e 0,39 respectivamente, indicando que a bacia possui formato alongado e baixo risco de enchentes. A partir do teste de Pettitt verificou-se que a vegetação no ano de 2000 apresentou o maior sinal, sendo influenciado pelo fenômeno La Niña, já a chuva apresentou maiores sinais em 1992 e 2011, períodos submetidos à influência do El Niño. A maior correlação encontrada entre a vegetação e temperatura oceânica ocorreu durante o episódio de La Niña ($r = 0,50$), durante o período de neutralidade houve maior correlação entre a chuva e a temperatura oceânica ($r = 0,44$), já a maior correlação encontrada entre chuva e vegetação foi observada durante o período de El Niño ($r = 0,80$). Os resultados indicam a existência de uma relação entre os eventos climáticos com alterações no regime hídrico e vegetação da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, influenciando diretamente a dinâmica do ecossistema.

Palavras-chave: Morfometria, Análise Espacial, Geotecnologias.

ABSTRACT

The objective of this study was to perform the morphometric characterization and to evaluate the physical and environmental heterogeneity of the Pandeiros river basin through a 24 - year time series of observations of the Normalized Difference Vegetation Index, digital elevation model and rainfall data collected in the 16 days which preceded the passage of Landsat 5 satellite over the studied region. The mean vegetation values were spatially distributed and related to the rainfall data and the El Niño-Southern Oscillation event. Non-parametric statistical analyzes and correlation matrix were used to identify spatial and temporal variations in vegetation dynamics. The coefficient of compactness, shape factor and circularity were 2.61, 0.48 and 0.39, indicating that the basin has an elongated shape and low flood risk. From the Pettitt test, it was verified that the vegetation in the year 2000 presented the biggest signal, being influenced by the La Niña phenomenon, whereas the rain presented the biggest signs in 1992 and 2011, periods under the influence of El Niño. The highest correlation found between vegetation and ocean temperature occurred during the La Niña episode ($r = 0.50$), during the neutrality period there was a higher correlation between rainfall and ocean temperature ($r = 0.44$), and the highest correlation found between rainfall and vegetation was observed during the El Niño period ($r = 0.80$). The results indicate the existence of a relationship between climatic events with changes in the water regime and vegetation of the Pandeiros river basin, directly influencing the ecosystem dynamics.

Keywords: morphometry, spatial analysis, geotechnologies.

LISTA DE ABREVIACÕES SIGLAS OU SÍMBOLOS

APA - Área de Preservação Ambiental

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

BHRP - bacia hidrográfica do rio Pandeiros

CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais

CIRES - Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences

CPC - Climate Prediction Center

CR - Coeficiente de Rugosidade

Dd - Densidade de drenagem

Dh - Densidade hidrográfica

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMC - Estação Meteorológica Convencional

ENOS - El Niño Oscilação Sul

EVI - Enhanced Vegetation Index

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC - Índice de Circularidade

IEF - Instituto Estadual de Florestas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar

Kc – Coeficiente de Compacidade

Kf - Fator Forma

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDEHC - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente consistente

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDC - Número de Dias de Chuva

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

RMSE - Root Mean Square Error

SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TM - Thematic Mapper

UTM - Universal Transversa de Mercator

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

USA - United States of America

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características morfométricas de bacias hidrográficas	9
Tabela 2: Informações sobre datas de aquisição das imagens do satélite Landsat-5 TM, órbita e ponto, selecionadas e utilizadas para realização do presente estudo	16
Tabela 3: Período e variações na temperatura do oceano, quentes (vermelho e negrito) relacionado a ocorrência de El Niño e frios (azul e itálico) relacionado a ocorrência de La Niña, com base em um limiar de +/- 0,5 oC para o Índice de Niño Oceânico	20
Tabela 4: Classificação do coeficiente Kc em bacias hidrográficas.....	25
Tabela 5: Classificação da Dd em bacias hidrográficas	26
Tabela 6: Classificação da Dh para bacias hidrográficas	27
Tabela 7: Características físicas das Bacias Hidrográficas do rio Pandeiros (BHRP).....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pântano localizado próximo à foz do rio Pandeiros, “o pantanal mineiro”	8
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.....	15
Figura 3: Níveis altimétricos da BHRP	29
Figura 4: Teste de Pettitt para os valores médios do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e chuva para bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BHRP).....	30
Figura 5: Variação do NDVI em função da chuva na bacia hidrográfica do rio Pandeiros....	31
Figura 6: Distribuição espacial do NDVI na bacia hidrográfica do rio Pandeiros no ano 2000	32
Figura 7: Matrizes de correlação entre dados referentes a ENOS, chuva e temperatura oceânica, a) La Niña, b) Neutralidade, c) El Niño	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cerrado	3
2.2 Índices de vegetação	4
2.3 Bacia Hidrográfica	5
2.3.1 Bacia hidrográfica do rio Pandeiros – MG	7
2.4 Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas	8
2.5 O Uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como Ferramenta para o Processamento Digital de Imagens.	10
2.5.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	12
2.6 Legislação	13
2.7 Conflitos gerados pelo atual modelo de ocupação do solo.	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Área de Estudo	14
3.2 Caracterização do Meio Físico	16
3.2.1 Clima	16
3.2.2 Geomorfologia	17
3.2.3 Geologia	17
3.2.4 Vegetação	18
3.2.5 Relevô	18
3.2.6 Solos	18
3.2.7 Orientação das vertentes	19
3.3 ENOS	19
3.4 Dados pluviométricos	19
3.5 Tendência da Vegetação e Chuva	20
3.5.1 Teste de Mann & Kendall	20
3.5.2 Teste de Pettitt das séries temporais de chuva e vegetação	22
3.5.3 Relação da vegetação com os fatores climáticos	23
3.5.4 Tratamento das imagens TM	23
3.5.5 Tratamento do Modelo Digital de Elevação	23
3.6 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica	23
3.6.1 Morfometria da bacia hidrográfica	23
3.6.2 Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC)	24
3.6.3 Coeficiente de Compacidade	24

3.6.4 Fator de Forma	25
3.6.5 Índice de circularidade	26
3.6.6 Declividade e altitude.....	26
3.6.7 Densidade de drenagem	26
3.6.8. Densidade hidrográfica	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Características Físicas da BHRP.....	27
5. CONCLUSÕES	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial por sua condição de nação detentora de grande riqueza hídrica, fato este que nos levou a um estado de comodismo em relação aos riscos dos efeitos das variações naturais sobre o desenvolvimento da sociedade. A sofisticação do cenário nacional e internacional atual exige um maior conhecimento técnico-científico sobre a variabilidade climática e os impactos sobre os recursos hídricos (TUCCI, 2002).

A degradação ambiental no Brasil é um problema que vem se agravando ao longo dos anos, principalmente nas regiões de Cerrado, tendo a supressão das florestas nativas como um dos principais objetivos a abertura de áreas para a exploração da agropecuária (COLLI et al., 2002). Essa prática tem transformado consideravelmente o perfil desse bioma, resultando em desmatamento excessivo, compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação da água subterrânea, e redução da biodiversidade, com reflexos sobre todo o ecossistema (CUNHA et al., 2008).

As alterações na cobertura vegetal e o uso da terra têm relação direta com os atuais processos de mudanças locais e globais, tais fenômenos também estão vinculados com outros fatores como segurança alimentar, saúde humana, urbanização, biodiversidade, refúgios ambientais, qualidade da água e do solo, taxas de sedimentação, entre outros processos (LOPEZ-GRANADOS, 2013).

Alterações no ecossistema ficam evidenciadas sobretudo em pequenas bacias cujos biomas possuem características diferentes da região na qual estão inseridos, conferindo-lhes uma condição de fragilidade considerável. O conhecimento das diferentes características florísticas e estruturais da vegetação de regeneração podem subsidiar a compreensão da dinâmica de comunidades e ajudar a prever a direção da sucessão ecológica, melhorando as práticas de gestão e restauração (ÁVILA et al., 2011; CORSINI et al., 2014).

Estudos de bacias hidrográficas urbanas e rurais tornaram-se indispensáveis na busca pelo equilíbrio entre a exploração de recursos naturais e sustentabilidade ambiental, o processo evolutivo de ocupação de tais áreas vem ocorrendo de maneira desordenada, impulsionado pelo crescimento acelerado da população, expansão das áreas agrícolas e intensa urbanização (PEREIRA et al., 2011).

A compreensão do padrão hídrico promove o desenvolvimento da gestão desses recursos, levando-se em conta as relações antrópicas, econômicas e socioambientais (ROCHA et al., 2014). Esses fatores, os quais compõem o tripé da sustentabilidade, passaram a ocupar

posição de destaque influenciando a tomada de decisões na resolução de questões relevantes para os estudos de sustentabilidade.

Para estudos de vegetação em grande escala, como no bioma Cerrado, é recomendável a utilização de imagens orbitais e aplicação de índices de vegetação, por auxiliarem no processo de distinção entre diferentes usos e coberturas do solo (MÜLLER et al., 2015). Zanzarini et al. (2013) apontam que estes índices são ligações de dados de duas ou mais bandas espectrais designadas com objetivo de aprimorar a associação desses dados com os parâmetros biofísicos da vegetação.

As mudanças climáticas associadas às ações antrópicas vêm transformando consideravelmente o perfil do bioma Cerrado, resultando em desmatamentos, emissão de dióxido de carbono (CO₂), compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação da água subterrânea e redução da biodiversidade, com reflexos sobre todo o ecossistema (CUNHA et al., 2008; MORAIS et al., 2017). Uma das fitofisionomias do Cerrado mais impactadas pelas ações antrópicas são as veredas, cuja importância socioambiental deve ser levada em consideração, bem como a fragilidade desse ecossistema (DUNCK et al., 2017).

Estudos sobre a dinâmica da vegetação em algumas regiões do Brasil, associam os parâmetros biofísicos da vegetação com variáveis climáticas como a chuva e eventos climáticos como o El Niño, La Niña e sua fase Neutra. Em São Paulo, no município de Cunha, Santana et al. (2016) aplicaram o Enhanced Vegetation Index (EVI) e observaram o aumento deste índice nos períodos chuvosos, principalmente durante as passagens de sistemas frontais dentro do ambiente costeiro, além da ocorrência de diminuição do EVI em períodos secos.

Outros estudos recentes abordaram a importância do conhecimento climático como o El Niño e a La Niña na dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas, vulnerabilidade de chuvas e vegetação. No assentamento Alvorada (RS) os autores encontraram um maior escoamento superficial em evento de El Niño quando comparado com a La Niña (KROLOW et al., 2017).

Nas mesorregiões paraibanas do Sertão e Borborema, Almeida et al. (2017) investigaram a vulnerabilidade das chuvas em eventos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) forte, fraca e neutralidade, em que constaram que em eventos de forte intensidade de El Niño e La Niña, há tendência de chover abaixo e acima da média esperada. Além disso, os autores concluem que na fase fraca, tende a chover mais em anos de El Niño e não ocorre a redução

na fase de La Niña e que os anos mais secos ou mais chuvosos nem sempre coincidem com o fenômeno ENOS.

No estado de Minas Gerais, a dinâmica dos ecossistemas está sendo modificada pelos eventos climáticos que ocorrem a nível global, situação que se agrava devido às intervenções antropogênicas que ocorrem sobre indivíduos, populações e comunidades da flora e fauna e que, por conseguinte influencia a qualidade da vida humana (SILVA et al., 2016). Essas interferências na vegetação natural, associadas às variações nos regimes de chuvas, podem potencializar a ação de processos erosivos e condicionar deslizamento de encostas, provocando danos locais e regionais (SILVA et al., 2014).

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo examinar a heterogeneidade física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BHRP), norte de Minas gerais, por meio de uma série temporal de 24 anos de observações do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), modelo digital de elevação e dados pluviométricos de estação meteorológica convencional e reanálise dos 16 dias que antecederam a passagem do sensor Thematic Mapper (TM) em anos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cerrado

O Cerrado é constituído de maneira geral por árvores de porte variável que podem atingir vinte metros de altura, distribuídas entre arbustos e gramíneas, sua vegetação típica possui troncos e ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas, localiza-se principalmente na região do Planalto Central Brasileiro e suas características são similares às Savanas da África e da Austrália, o Cerrado brasileiro é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade: a flora tem 4.400 espécies exclusivas; a fauna apresenta 837 espécies de aves, 67 gêneros de mamíferos, 150 espécies de anfíbios e 120 de répteis (IBGE, 2004).

Boaventura (2007) considera o Cerrado como sendo o segundo maior domínio morfoclimático da América do Sul, possuindo um complexo vegetacional com várias tipologias; entre elas, a vegetação característica das Veredas. O termo Veredas, segundo Ferreira (2008), originou-se do latim “Veredus”, durante o império romano, em que o cavalo do correio era chamado de Vereda.

As regiões de Cerrado, antes estigmatizadas como áreas de baixo interesse econômico devido à dificuldade de se implantar agricultura de larga escala, tiveram durante muito tempo suas atividades agropecuárias associadas à monocultura canavieira de baixa produtividade e à agropecuária extensiva, esse cenário mudou drasticamente após o desenvolvimento de

tecnologias que minimizassem as restrições nessas áreas, sendo estas desenvolvidas por várias instituições públicas de pesquisa, dentre as quais se destaca a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (MIRANDA et al., 2011).

Apesar do inquestionável sucesso e da importância econômica e social que se obteve com a implantação dos novos métodos que possibilitaram o desenvolvimento agrícola de alta produtividade nas regiões de Cerrado, a dinâmica e as formas de ocupação das fronteiras foram alvos de críticas e controvérsias, as quais envolvem impactos ambientais, econômicos, distributivos e políticos (GARCIA et al., 2016).

Um dos graves problemas observados por essa ocupação desordenada das florestas de Cerrado é a sua fragmentação, causada pelas atividades antrópicas que provocam o isolamento das espécies de suas populações, as quais também são divididas e, assim, a genética e a demografia remanescentes se alteram, mas em geral as consequências demográficas da fragmentação são mais críticas que as genéticas (VENTICINQUE, 1999). O ritmo acelerado de conversão de áreas naturais para sistemas agrícolas é altamente preocupante, e as consequências para a conservação e manejo de pragas ainda não são totalmente compreendidos (SOARES et al., 2018).

É imperativo que se promova ações que fomentem o uso sustentável da biodiversidade do Cerrado, melhorando seu aproveitamento para a conservação dos recursos naturais, dentre eles a água, que é um dos elementos mais importantes para a manutenção da vida, soma-se a isto a conservação dos solos e da própria biodiversidade, uma vez que a valorização dessa biodiversidade vem a ser um forte motivo para preservá-la (AFONSO et al., 2009 e SILVA NETO et al., 2013).

2.2 Índices de vegetação

A utilização de sensoriamento remoto como ferramenta para monitoramento de florestas mostrou-se viável, devido ao seu baixo custo e pelo fato de fornecer uma oportunidade para o mapeamento de mudanças florestais em grandes áreas (DEVRIES et al., 2015). Nas abordagens baseadas em sensoriamento remoto, os índices de vegetação têm sido usados para detectar e analisar a heterogeneidade espacial através da utilização de semivariogramas (GARRIGUES et al., 2006).

Lillesand et al. (1994) definem índices de vegetação, como relações entre bandas espectrais, em geral na forma de diferenças e razões, que são utilizadas com o objetivo de aumentar a discriminação espectral entre objetos. Esse índice é obtido através da aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores remotos

(JENSEN, 1986). Geralmente utilizam-se as bandas espectrais da faixa do vermelho e infravermelho próximo para a realização desse processo (PONZONI et al., 2009).

Devido a sua importância, os índices de vegetação tornaram-se parâmetros biofísicos estudados largamente por cientistas desde a década de 60 através do uso de sensoriamento remoto, a realização desses processos envolvem a utilização de medidas radiométricas adimensionais as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde a partir de dados como porcentagem de cobertura verde, índice da área foliar, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida entre outros (JENSEN, 1986; EPIPHANIO et al., 1996).

A partir da utilização de índices de vegetação podem-se obter perfis temporais de vegetação distintos o que facilita a discriminação dos diferentes tipos de vegetação de uma determinada área em imagens obtidas por meio de sensores orbitais (RISSO et al., 2012). A utilização de índices de vegetação para monitoramento ambiental se justifica por sua simplicidade e estreita relação com variáveis de interesse ecológico, como mudança de cobertura e propagação de perturbações em múltiplas escalas (ZURLINI et al., 2006).

Dentre os índices de vegetação aplicados em sensoriamento remoto, o NDVI se destaca por ser o mais utilizado, sendo assim existe um grande número de estudos realizados em diversas áreas, dentre elas estimativa de produtividade e monitoramento de vegetação (FONTANA, et al., 2000; COHEN et al., 2003). O NDVI apresenta grande sensibilidade à presença de clorofila além de outros pigmentos que absorvem radiação eletromagnética (RISSO et al., 2012).

2.3 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica pode ser definida como sendo um conjunto de áreas com declividade no sentido de uma determinada seção transversal de um curso de água, tendo suas áreas medidas em uma projeção horizontal (GARCEZ, et al., 1988). Uma bacia hidrográfica também pode ser definida como um meio físico passível da ação do ciclo hidrológico, onde ocorre entrada de água por meio da precipitação e contribuição de fontes subterrâneas, a saída da água desse sistema ocorre por meio do escoamento superficial bem como pela infiltração promovendo a recarga de aquíferos, além da evaporação e evapotranspiração (CHOW et al., 1988; LIMA, 2008; ADAMI et al., 2011).

Os limites de uma bacia são definidos pela linha divisória de águas, podem ser determinados pelas estruturas geológicas ou erosão, ou seja, as linhas que unem os pontos de maior altitude separam a bacia das bacias vizinhas (WISLER et al., 1964). A quantidade de água captada pelo escoamento superficial na bacia de drenagem, conjuntamente com o fluxo

de água intersticial e subterrânea, determina a intensidade de vazão ou descarga de um rio (Mosley et al., 1992).

Para Christofolletti, (1974) além da quantidade de água captada pelos cursos d'água e o tamanho da bacia, outros fatores relevantes na determinação da intensidade de vazão de uma bacia hidrográfica são a precipitação total e de seu regime e as perdas devido à evaporação, a transpiração e a infiltração.

Devido à grande importância do papel que a bacia hidrográfica exerce sob o ciclo hidrológico, o Brasil estabeleceu, por intermédio da Lei Federal nº 9.433/97, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SILVA, 2008). Por isso Rocha et al. (2014) ressaltam que, antes de se explorar um manancial hídrico faz-se necessário a realização de estudos sistemáticos que subsidiem a elaboração de planos que visem minimizar os impactos das ações antrópicas através de estratégias de gerenciamento sobre as bacias hidrográficas.

De acordo com Porto et al. (2008) a preocupação com os problemas relacionados ao uso da água no Brasil, culminou com a execução de várias experiências baseadas na gestão de bacias hidrográficas a partir da década de 1980. Nesse sentido, o estado do Espírito Santo tornou-se pioneiro através da constituição do Consórcio Intermunicipal das bacias dos rios Santa Maria da Vitória-Jucu, cujo objetivo foi arbitrar a negociação entre usuários, num período de grande estiagem ocorrida no Estado (RABELO, 2011).

Para Peres et al. (2012) ações efetivas como por exemplo a formação de consórcios para o desenvolvimento regional e a atuação dos comitês de bacias exerceram papel importante, de caráter ambiental para elaboração de políticas públicas relacionadas à preservação dos recursos hídricos que foi institucionalizada pela Lei 9.455/1997 e pela criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Silva Neto et al. (2013) ressaltam que a gestão de recursos hídricos no Brasil precisa ser praticada segundo efetivamente os preceitos da Lei 9433, sendo realizada de maneira integrada, participativa e descentralizada com base na unidade de planejamento da bacia hidrográfica, através de seus comitês, pois estes são eleitos democraticamente pelos vários usuários da água, este fato por si só tornaria mais eficiente o planejamento e a aplicação de ações para o uso eficiente da água numa determinada bacia.

A realização do planejamento regional tendo como base as bacias hidrográficas norteia os usos das águas, adequando-os para a gestão territorial. Nesse sentido, o recorte regional por meio de bacias hidrográficas constitui um campo fértil para o segmento do modelo de governança e controle social, essa abordagem representa uma nova forma de gestão e planejamento das políticas ambientais. Os mecanismos de planejamento que adotam as bacias hidrográficas como escala de ação consideram, entre outros parâmetros, os arranjos espaciais da estrutura geológica e morfogenética da paisagem, além dos usos sociais pelo fato desses revelarem os padrões de ocupação territorial e de desenvolvimento (PERES et al., 2012).

Ocorreram muitos avanços no que diz respeito à preocupação ambiental em relação às políticas territoriais, esta é uma das principais fronteiras do confronto entre os agentes que atuam na regulamentação do uso e ocupação dos espaços e a população que ocupa as áreas a serem regulamentadas, apresentando situações de conflito. A implementação de uma gestão e planejamento integrados ambiental lida com um desses desafios, a construção de interfaces e articulações entre as ferramentas e os níveis da política ambiental com as políticas municipais e regionais (PERES et al., 2012).

2.3.1 Bacia hidrográfica do rio Pandeiros – MG

A Área de Proteção Ambiental do rio Pandeiros tornou-se uma Unidade de Conservação de uso sustentável criada através da Lei 11.901 de 01/09/1995. Abrangendo áreas de interesse ecológico situadas na bacia hidrográfica do rio que leva o mesmo nome, cuja extensão é de aproximadamente de 145 km (NUNES et al, 2009). Está localizada na região Norte de Minas Gerais, ocupando parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho. Essa região integra a bacia do rio São Francisco e sua administração está sob responsabilidade do Instituto Estadual de Florestas (IEF) -MG, que atua na elaboração de projetos, na gestão e fiscalização (BETHONICO, 2009a). A região apresentar grande variedade de corpos hídricos além de uma diversificada quantidade de formações vegetais, tais como: Mata de Galeria, de Veredas, sendo um ambiente de Cerrado (FONSECA et al., 2011).

Apesar da diversidade natural, um dos principais problemas que atingem a BHRP é o avanço desordenado das áreas destinadas às atividades agrícolas. Esse tipo de ocupação desordenada afeta locais de grande importância para conservação daquela bacia hidrográfica, um dos principais transtornos provocados por essas atividades degradatórias é o aporte das nascentes dos rios, grande parte da área que deveria ser destinada ao uso sustentável, está ocupada por atividades de produção responsáveis por desencadear a destruição do ambiente natural (FONSECA et al., 2011).

O rio Pandeiros é considerado o principal berçário do rio São Francisco, por isso tornou-se uma Área de Preservação Ambiental (APA) com a inclusão da área de pântano (Figura 1), que foi transformado em Refúgio de Vida Silvestre através do Decreto nº 43.910, de 05/11/2004, com 6.102,75 ha.



Figura 1: Pântano localizado próximo à foz do rio Pandeiros, “o pantanal mineiro”

Fonte: IEF – MG, 2013

O objetivo da criação da APA Pandeiros foi preservar uma área de procriação de peixes. Além da beleza cênica do local, o rio Pandeiros possui importância decisiva para o ecossistema da região, sendo responsável por 70% da reprodução dos peixes que vivem no rio São Francisco entre as barragens de Três Marias-MG e Sobradinho-BA (BETHONICO, 2009a).

2.4 Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é um procedimento realizado a partir da integração de informações de relevo em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e pode ser feito de forma manual ou automático cujas informações de relevo são representadas por uma estrutura numérica de dados correspondentes à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidos através da utilização de softwares específicos por meio da interpolação de

curvas de nível que podem ser extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos (CARDOSO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

O procedimento de caracterização de bacias tem como objetivo descrever parâmetros morfológicos (Tabela 1) e seus processos, visando diagnosticar mudanças, com ou sem interferências antropogênicas (FERREIRA et al., 2015). Tonello (2005) destaca a importância que as características morfométricas de uma bacia possuem como o relevante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, por exemplo, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evaporação e os escoamentos superficial e subsuperficial.

Tabela 1: Características morfométricas de bacias hidrográficas

Característica Morfométrica	Parâmetro Morfométrico
Geométricas	Área Total
	Perímetro Total
	Coeficiente de Compacidade (Kc)
	Fator Forma (Kf)
	Índice de Circularidade (IC)
Geomorfológicas	Declividade mínima
	Declividade média
	Declividade máxima
	Altitude mínima
	Altitude média
	Altitude máxima
	Coeficiente de rugosidade (CR)
Rede de drenagem	Comprimento do rio principal
	Comprimento total dos cursos d'água
	Densidade de drenagem (Dd)
	Ordem dos cursos d'água da bacia
	Densidade hidrográfica (Dh)

Fonte: Adaptado de TONELLO (2006); SOUZA et al., (2013)

Para Teodoro et al. (2007) a realização da caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos que são executados em análises hidrológicas ou ambientais e tem como principal objetivo promover o conhecimento dos elementos que influenciam a dinâmica ambiental local e regional.

Salimena et al. (2013) definem a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica com sendo o ponto de partida para estudos referentes à dinâmica ambiental da mesma, possibilitando o melhor gerenciamento e aproveitamento de seus recursos naturais.

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu padrão hidrológico haja vista que existe uma estreita relação entre o ciclo hidrológico e esses elementos (VILLELA et al., 1975).

Para Valeriano et al. (2006) a utilização de MDE em SIG para coleta de informações relacionadas às bacias hidrográficas, trás com sigo vantagens, como os recursos digitais (velocidade, repetibilidade e integração com outras bases de dados), soma-se a isto, a redução de intervenções manuais, subjetividade e a possibilidade de representação paramétrica. Os MDE's produzidos a partir de informações de sensoriamento remoto, tal como Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), têm ganhado relevância por advirem de uma técnica rápida e acurada de coletar dados topográficos (RABUS et al., 2003).

Nesse contexto, o gerenciamento dos recursos hídricos através das imagens orbitais mostrou-se uma ferramenta extremamente importante, como exemplo de dados orbitais que podem ser muito utilizados para o trabalho em bacias hidrográficas, pode-se citar os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtidos através de satélites e são procedentes de levantamentos realizados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e outros organismos internacionais, que abrangem mais de 80% do globo terrestre (SILVA NETO et al., 2013).

2.5 O Uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como Ferramenta para o Processamento Digital de Imagens.

Os primeiros estudos realizados quando se pretende planejar o ambiente de uma determinada área, são aqueles relacionados à Geomorfologia da superfície, objeto de estudo, já que o relevo exerce influência marcante no cotidiano humano, uma vez que suas formas, padrões e declividades interferem de forma decisiva nas construções humanas, como estradas, hidroelétricas, na rotação de culturas, em fim, toda atividade humana será influenciada direta ou indiretamente pelo relevo (LEITE et al., 2012). Estudos de geomorfologia realizados em ambiente SIG se destacam principalmente pela confiabilidade e baixo custo (CAMARA, et al., 2006).

Os SIGs são, há muito tempo utilizados como ferramentas para manipular grandes volumes de dados, integrar imagens orbitais, apresentando potencial para realizar uma diversidade de análises com eficiência em curto espaço de tempo e a custos baixos, entretanto, existem deficiências apresentadas pelas raríssimas bases de dados digitais existentes, como por exemplo: as escalas são muito pequenas dificultam a realização de muitos trabalhos importantes nessa área (CALIJURI et al., 2007).

O uso de técnicas de SIG para a seleção de áreas de estudo, em especial aquelas que auxiliam a tomada de decisão com uma abordagem flexível na avaliação de diferentes critérios, permite a realização de avaliações complexas e precisas em vastas extensões territoriais, com sensível ganho de tempo e de qualidade no que diz respeito aos resultados, no entanto, a eficiência do método dependerá da atualização e da qualidade do banco de dados utilizado para a realização das análises, tais informações nem sempre estão disponíveis nos municípios brasileiros, exigindo-se levantamento prévio de dados e cautela na avaliação dos resultados (BOHNENBERGER et al., 2018).

As análises feitas dentro de um SIG possibilitam não apenas uma melhoria na visualização das características do local estudado, mas também os cálculos de áreas, perímetros e distâncias das áreas de interesse além de fornecer informações obtidas por sensores remotos (orbital e aéreo), bem como interpretações de modelo digital do terreno podem ser incluídas, ampliando assim o espectro de variáveis analisadas (DAVIS et al., 1991).

A realização do mapeamento preditivo de vegetação tornou-se possível através da disponibilidade de mapas digitais de topografia e outras variáveis ambientais (solos, geologia e variáveis climáticas) associadas à utilização de softwares de SIG para a utilização desses dados (FRANKLIN, 1995). Tendo em vista que estas tecnologias podem gerar informações rápidas e repetitivas de grande porção da superfície da Terra, integrando dados de diversas fontes, contribuindo, sobremaneira, para o conhecimento dos ecossistemas enquanto suas dimensões e fenômenos (LEITE et al., 2012). Sendo assim, os SIGs representam uma ferramenta extremamente útil para o planejamento das ações de gestão de determinadas áreas (HASENACK et al., 2000).

Em estudo no município do Rio de Janeiro, Goulart et al. (2015) avaliaram a relação entre três índices de vegetação com a chuva e verificaram que o melhor índice, dentre os analisados, foi o NDVI. Os autores destacaram também, a importância de se fazer estudos a respeito dos padrões da vegetação em relação à chuva para outras regiões do Brasil.

Nesse contexto, as técnicas de monitoramento da vegetação avançaram nas últimas duas décadas, especialmente em conjunto com o desenvolvimento de mapeamento de vegetação baseada em sensoriamento remoto e análise de informação geográfica digital, aliadas a uma série de métodos estatísticos, toda essa tecnologia está sendo largamente utilizada para desenvolver e implementar modelos de acompanhamento da dinâmica da vegetação (FRANKLIN, 1995; SILVA NETO et al., 2013).

Nesta perspectiva, conhecer as formas e a modelagem das unidades de relevo configura-se como critério decisivo para a realização positiva das atividades humanas, principalmente, quando se almeja uma solução harmoniosa para o binômio desenvolvimento sócio-econômico e manutenção dos ambientes naturais (LEITE et al., 2012).

2.5.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

A determinação de algumas características como, por exemplo o fator topográfico pode ser efetuado a partir de mapas de declividade e de comprimento de rampa obtidos por meio de SIG, gerando mapas de declividade facilmente a partir de um MDE, mas os mapas de comprimento de rampa exigem certas operações para serem obtidos (ROCHA et al., 1996).

Segundo Oliveira et al. (2012) a consistência geomorfológica e hidrológica de um MDE será alcançada quando a matriz representar fidedignamente as feições do relevo, como divisores da bacia hidrográfica, talwegues e pedoformas côncavas e convexas, e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada.

Hasenack et al. (2000) salientam que a utilização de MDE possibilita gerar várias informações bastante objetivas sobre as diversas unidades espaciais sem que, com isso haja uma elevação dos custos com os trabalhos de campo destinados a essa finalidade, destaca também, a importância da correta estruturação da base de dados pois dela depende o sucesso da realização do projeto.

Oliveira et al. (2012) destacam outra vantagem da utilização do Modelo Digital de Elevação pois, independentemente da magnitude do evento chuvoso, o algoritmo de fluxo em um SIG estabelece uma rede de fluxo unidimensional, conectando cada célula com outras células da bacia hidrográfica no MDE até o exutório, em que se encontra todo o escoamento superficial gerado no interior da bacia hidrográfica.

Para Valeriano (2002) a realização do geoprocessamento de MDE promove a geração de imagens necessárias para a execução de análises de conectividade, cujo desenvolvimento pode favorecer a modelagem do comprimento de rampa e de outros fenômenos associados por meio de funções de SIG.

A representação da superfície através do MDE possibilita, além da visualização tridimensional, também a extração de informações empregadas na modelagem hidrológica, dentre as quais pode-se citar: direção de fluxo do escoamento superficial, rede de drenagem, divisores da bacia hidrográfica, declividade e orientação das vertentes (JENSON et al., 1988).

Os métodos utilizados para obtenção de direção de fluxo de uma bacia hidrográfica baseados no MDE podem ser classificados genericamente em: concentrados, também

chamados de direção única ou de oito direções, que consideram o encaminhamento de toda a água para apenas uma célula adjacente; e dispersivos ou de múltipla direção, que transferem a água para uma ou mais células adjacentes (OLIVEIRA et al., 2012).

2.6 Legislação

A legislação ambiental brasileira foi submetida à consideráveis avanços nos últimos anos, hoje existe no cenário nacional um amplo aparato normativo que demonstra a tutela jurídica do meio ambiente em nosso país, a Constituição Federal promulgada em 1988, preconiza que compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas (TRINDADE, 2012).

Os instrumentos de política ambiental, empregados no mundo, são classificados em quatro categorias, as quais são: instrumentos regulatórios, cuja ordem é do tipo comando e controle; instrumentos de incentivos econômicos, de mercado ou de incentivo; instrumentos de cooperação e acordos voluntários; e instrumentos de informação (MARGULIS, 1996). Sendo assim, no primeiro grupo podem ser classificadas as políticas voltadas para a identificação dos problemas ambientais específicos. O segundo grupo abrange as políticas que aproveitam o vínculo positivo entre desenvolvimento e ambiente, e tem como função corrigir ou prevenir possíveis falhas, promovendo o acesso a recursos e tecnologias e fomentando o aumento equitativo da renda (NEUMANN et al., 2002).

A política de recursos hídricos constitui parte fundamental da política ambiental e devido a sua grande importância, necessita que haja um esforço cooperativo além de uma gestão integrada, voltadas para sua efetiva implementação, levando-se em conta a natureza do bem ambiental a ser protegido e os interesses que devem ser resguardados (IRIGARAY et al., 2003)

De acordo com Trindade (2012) a implementação de uma política ambiental efetiva consiste em transformar as políticas públicas formuladas em programas operacionais e colocar tais programas em andamento. Esta etapa é crucial, pois o impacto efetivo das políticas, sobre os problemas nos quais se pretende atuar, depende, em grande medida, da forma como elas são implementadas, em especial de como a estrutura burocrática e o sistema institucional convencional respondem às novas tarefas a eles designadas. Nesse contexto, segundo Kettelhut et al. (1998), os comitês de bacias, amparados pela Lei n.º 9433/97, destacam-se como órgãos reguladores, cujo caráter descentralizado, participativo e democrático, confere à sociedade civil e os usuários dos recursos hídricos tem um papel importante nas decisões tomadas.

2.7 Conflitos gerados pelo atual modelo de ocupação do solo.

A preocupação com os impactos provocados pelas ações antropogênicas sobre o meio ambiente faz parte de uma temática antiga sendo mencionada desde as antigas civilizações (SANTOS, 2007). Entretanto foi após a revolução industrial e da época das grandes descobertas no campo da história natural que os conflitos existentes na relação homem-ambiente tornaram-se mais evidentes (CARMO, 2016).

No Brasil, a dinâmica de ocupação dos espaços gera situações conflituosas, entre elas a crescente necessidade de geração de bens de consumo e a preservação do meio ambiente e os conflitos relacionados à situação sócio-econômica de pequenas comunidades que buscam a sobrevivência na extração dos recursos naturais, situação que se agrava em áreas de proteção ambiental, tais conflitos envolvem moradores locais, governo e empresas, formando um jogo de poder no interior de um espaço (BETHONICO et al., 2009).

O processo de ocupação de Minas Gerais se deu por um modelo de desenvolvimento ligado à utilização intensiva e inadequada dos recursos naturais o que comprometeu consideravelmente sua biodiversidade, áreas naturais do estado sofreram profundas alterações em consequência das intensas e contínuas ações antrópicas, algumas delas talvez irreversíveis (AZEVEDO et al., 2009).

A bacia do rio Pandeiros enfrenta vários problemas que persistem mesmo após a implantação da APA, dentre os quais pode-se citar a caça e a pesca predatória, a ocupação desordenada das margens do rio por atividades agropecuárias, a degradação das matas ciliares e de topo, além da produção de carvão de eucalipto (IEF, 2006). Muitos impactos ambientais causados em toda a extensão da APA estão refletidos no pântano, entre eles o assoreamento, principalmente devido à degradação das veredas e da vegetação ciliar (AZEVEDO et al., 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental do rio Pandeiros no Norte de Minas Gerais, Brasil, compreendendo os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marino, zona Universal Transversa de Mercator (UTM) 23S (Figura 2). A APA do rio Pandeiros inclui toda bacia hidrográfica deste rio, cuja área total é de 393.060 ha, sendo um importante afluente à margem esquerda do rio São Francisco. A região se encontra na área de transição entre o Cerrado e Caatinga (floresta seca de esfoliação) e possui uma variedade de

fitofisionômica: Mata Ciliar, Mata Seca, Cerrado Sensu Stricto e Vereda (NUNES et al., 2009).

A área de pântano se encontra a 48 km de distância do município de Januária e é o local em que ocorre o fenômeno da piracema, período em que os peixes se deslocam do rio São Francisco e sobem o rio Pandeiros em busca de águas calmas e em condições que favoreçam a desova (BETHONICO et al., 2009b).

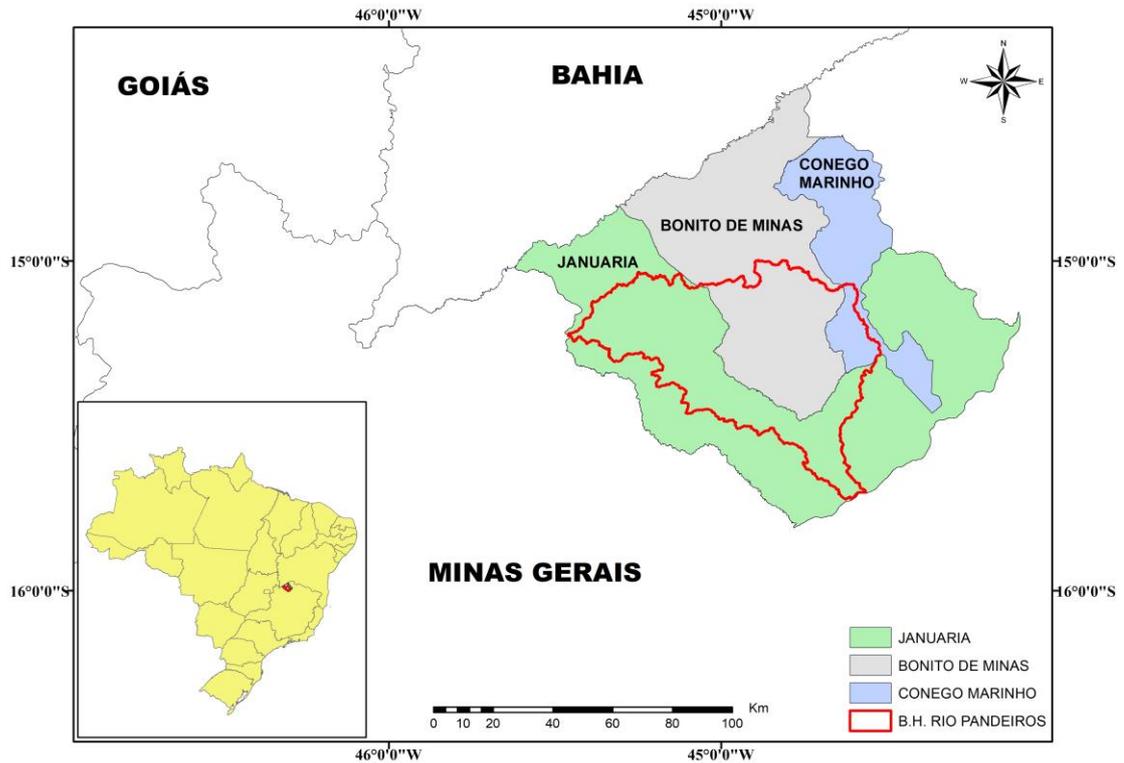


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo

Os dados obtidos pelo imageamento orbital, que foram utilizados para determinar as diferentes características da vegetação da área de estudo, compreendem imagens do sensor Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite Landsat-5. A órbita utilizada foi 219 e os pontos foram 071 e 072, com a resolução espacial de 30 x 30 m (Tabela 2). Os anos de 1984, 1989, 2002 e 2010 não foram considerados no estudo devido a presença de nuvens na área de estudo problemas que afetaram a qualidade imagens impedindo a utilização das mesmas no presente trabalho.

Tabela 2: Informações sobre datas de aquisição das imagens do satélite Landsat-5 TM, órbita e ponto, selecionadas e utilizadas para realização do estudo

Ano	Órbita/Ponto	Data									
1985	219-070	02/07/1985	1992	219-070	22/08/1992	1998	219-070	09/08/1998	2005	219-070	06/05/2005
	219-071	29/04/1985		219-071	22/08/1992		219-071	23/08/1998		219-071	06/05/2005
1986	219-070	26/11/1986	1993	219-070	24/07/1993	1999	219-070	22/05/1999	2006	219-070	28/07/2006
	219-071	26/11/1986		219-071	08/09/1993		219-071	25/07/1999		219-071	26/06/2006
1987	219-070	22/06/1987	1994	219-070	24/05/1994	2000	219-070	12/08/2000	2007	219-070	15/07/2007
	219-071	22/06/1987		219-071	24/05/1994		219-071	09/06/2000		219-071	15/07/2007
1988	219-070	07/05/1988	1995	219-070	18/10/1995	2001	219-070	28/06/2001	2008	219-070	15/06/2008
	219-071	07/05/1988		219-071	16/09/1995		219-071	25/04/2001		219-071	02/08/2008
1990	219-070	16/07/1990	1996	219-070	30/06/1996	2003	219-070	18/06/2003	2009	219-070	04/07/2009
	219-071	16/07/1990		219-071	29/05/1996		219-071	18/06/2003		219-071	04/07/2009
1991	219-070	03/07/1991	1997	219-070	19/07/1997	2004	219-070	07/06/2004	2011	219-070	24/06/2011
	219-071	01/06/1991		219-071	19/07/1997		219-071	23/08/2004		219-071	24/06/2011

O georreferenciamento das imagens orbitais foi realizado no software ArcGIS 10.5, a partir de pontos controles obtidos nas imagens ortorretificadas disponíveis no IBGE através do sitio <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/imagens-do-territorio/imagens-corrigidas.html>, com o Root Mean Square Error (RMSE) menor que 20%.

O RMSE representa a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados, calculado pela equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (1)$$

em que:

E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente;

n é o número de observações.

3.2 Caracterização do Meio Físico

3.2.1 Clima

De acordo com Köppen o clima é tropical úmido e seco do tipo Aw, com estações bem definidas de invernos secos e verões chuvosos, e a média anual de temperatura e chuva são de 26.8° C e 920 mm e, respectivamente. Devido à concentração do período chuvoso em apenas quatro meses do ano, o clima da região é considerado do tipo semiárido com índice pluviométrico variando de 900 a 11200 mm (ALVARES et al., 2013; INMET, 2016).

A classificação dos tipos climáticos realizada por Köppen-Geiger leva em consideração a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação, onde cada grande tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas e suas combinações denotam seus tipos e subtipos (ALVARES et al., 2013).

3.2.2 Geomorfologia

A formação das paisagens que compõem a região iniciou-se a mais de 450 M.a., com constantes adaptações de plantas e animais e a movimentação dos continentes, com a separação da África e da América do Sul, contribuiu para a paisagem com a formação do cráton do rio São Francisco. A BHRP está inserida nas formações geológicas de origem metassedimentar do norte de Minas Gerais, destacando-se as formações do Grupo Bambuí, Urucuaia e Areado (BETHONICO, 2009a).

A posição geográfica da bacia do rio São Francisco é considerada estratégica, por estabelecer uma ligação natural entre as regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, devido a esse importante papel, o mesmo passou a ser conhecido desde a época da colonização como o rio da integração nacional (SANTOS, 1985; CAMELO FILHO, 2011).

3.2.3 Geologia

A bacia do São Francisco equivale ao Cratón do São Francisco, a qual se encontra recoberta pelo embasamento homônimo. Com relação ao médio São Francisco, na geomorfologia se destacam os domínios: Cratóns, Depósitos Sedimentares, Cinturões Orogênicos e Bacias e Coberturas Sedimentares (ALMEIDA, 1977). Na região possui um conjunto de bacias e coberturas sedimentares do Fanerozóico que se desenvolveram sobre as rochas do embasamento cristalino as quais formam o Cratón do São Francisco. Nobre-Lopez, (2002) afirma que o embasamento do Cráton do São Francisco compreende terrenos indeformados e deformados, de médio a alto grau metamórfico de idade Arqueana, representados principalmente por rochas graníticas e gnáissicas do Complexo Januária.

De acordo com Chimpliganond (2013), recobrando o embasamento, ocorrem as rochas do Grupo Bambuí, do Supergrupo São Francisco, formadas por sedimentares marinhas e continentais. Na bacia do rio Pandeiros estão presentes duas Formações desse Grupo: Fácies Lagoa do Jacaré (calcário e siltito) e o Supergrupo Paraopeba (arcóseo, argilito, calcarenito, dolimito, folhelho, marga, ritmito e siltito), a Formação Lagoa do Jacaré é composta por calcários cinza escuro, em estratos paralelos e presença de estratificação cruzada. O Supergrupo Paraopeba é formado pelas Formações Sete Lagoas e Santa Helena, que são

sequências pelítico-carbonáticas não metaforfizadas do Proterozóico (OLIVEIRA et al., 2017).

3.2.4 Vegetação

A região norte do estado de Minas Gerais na qual está inserida a BHRP apresenta uma vegetação adaptada a um clima severo, com baixa precipitação anual, distribuída em um curto período do ano, expressando assim uma condição de sobrevivência ligada à escassez hídrica (RIBEIRO et al., 1998). Esta região está localizada em uma área ecotonal, em sua parte norte e nordeste, pertence aos domínios das Caatingas e transita para o Cerrado, ao sul e a oeste (BRANDÃO, 1994).

De acordo com informações do (NUNES et al., 2009) a APA Pandeiros está inserida no bioma Cerrado, sendo possível observar a ocorrência de todas as suas diferentes fitofisionomias, dentre as quais as Veredas são consideradas as mais importantes, pois diversas espécies, inclusive o homem, dependem das Veredas para sua sobrevivência, a coleta dos frutos do buriti (*Mauritia flexuosa*), espécie de palmeira característica das Veredas, é fonte de sustento e renda das populações locais.

3.2.5 Relevô

No relevô BHRP predomina uma extensa superfície suave ondulada, tal superfície constitui parte integrante do planalto modelado sobre arenitos cretáceos do Grupo Areado e que recobre as rochas Proterozóicas do Grupo Bambuí, o Grupo Areado, originário do Cretáceo Inferior, deposita-se diretamente sobre as rochas do Grupo Bambuí, constituído por conglomerados arenosos em sua base, arenitos conglomeráticos com quartzito e quartzo faceto-ventefactos e por arenitos de matriz silicosa, de cor róseo-avermelhado (GERAIS-CETEC, 1981).

Fonseca et al. (2011) destacam que devido às depressões relativas ocorrentes no interior da BHRP, é comum o afloramento do lençol freático, o que leva as formações vegetais dessas regiões a apresentarem aspecto encharcado devido à ocorrência de solos hidromórficos.

3.2.6 Solos

Nas regiões de veredas, que são áreas de nascentes localizadas em vales rasos, com vertentes côncavas e suaves, os tipos de solos predominantes são: Gleissolos, Planossolos e Organossolos (DRUMMOND et al., 2005). A região da bacia BHRP como um todo é composta por Neossolos, Cambissolos, Latossolos e Gleissolos (NUNES et al., 2008).

3.2.7 Orientação das vertentes

O rio Pandeiros desempenha um papel de extrema importância, tendo em vista que esse manancial nasce exatamente na região noroeste da bacia, na vertente direita da chamada serra do Gibão, em que é conhecido pelo nome de córrego Suçuarana, e corre no sentido sudeste até desaguar no rio São Francisco (FONSECA et al., 2011).

A região onde se insere a BHRP possui predominância de terreno cujo relevo varia de plano a suave ondulado (3-8%), principalmente na porção Centro-Sul cuja declividade se processa gradualmente a partir das maiores cotas - chapadões de topos planos posicionados na região Noroeste, até as cotas de menor elevação, justapostas seguindo a direção sudeste, de aspecto moderadamente abrupto (FONSECA et al., 2011). As altitudes encontradas na BHRP variaram de 446,63 m nas regiões mais planas a 858,15 m nos pontos mais altos, com uma média de 652,39 m.

3.3 ENOS

As informações de ocorrência do ENOS foram obtidas na base de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration/ Climate Prediction Center - NOAA/CPC (NOAA-CPC, 2017). Na Tabela 3, encontram-se os anos de El Niño, La Niña e Neutro, classificados como quente (vermelho) e frio (azul) com base em um limite de +/-5 °C da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (NOAA/CPC, 2017).

3.4 Dados pluviométricos

Para obtenção dos dados pluviométricos, foram utilizados dados médios dos 16 dias anteriores à passagem do satélite, de acordo com o método proposto por Delgado et al. (2012) e Goulart et al. (2015). Os dados de chuva foram fornecidos pela estação meteorológica localizada no município de Januária, MG (Código OMM: 83386), estes são relativos ao período de 1985 a 2011. As falhas dos dados da referida estação foram preenchidas por meio da reanálise de dados com o auxílio do software GrADS 1.9 (Grid Analysis and Display System), os dados de reanálise da chuva do NCEP/NCAR foram fornecidos pelo NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, por meio do sítio <http://www.cdc.noaa.gov>. Estes dados compreendem o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2011 e possuem resolução horizontal de 2,5.

Tabela 3: Período e variações na temperatura do oceano, quentes (vermelho e negrito) relacionado a ocorrência de El Niño e frios (azul e itálico) relacionado a ocorrência de La Niña, com base em um limiar de +/- 0,5 oC para o Índice de Niño Oceânico

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	<i>-0.8</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.1</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.7</i>	<i>-1.8</i>
1989	<i>-1.6</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.1</i>	<i>-0.9</i>	<i>-0.6</i>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	<i>-0.5</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.9</i>	<i>-1.0</i>	<i>-0.9</i>
1996	<i>-0.9</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.6</i>	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	<i>-0.7</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.3</i>	<i>-1.4</i>
1999	<i>-1.4</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.0</i>	<i>-0.9</i>	<i>-0.9</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.1</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.6</i>
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	<i>-0.7</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.3</i>	<i>-1.4</i>
1999	<i>-1.4</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.0</i>	<i>-0.9</i>	<i>-0.9</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.1</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.6</i>
2000	<i>-1.6</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.1</i>	<i>-0.9</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.6</i>	<i>-0.5</i>	<i>-0.6</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.8</i>	<i>-0.8</i>
2001	<i>-0.7</i>	<i>-0.5</i>	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1
2003	0.9	0.7	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
2004	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
2005	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0	-0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	<i>-0.6</i>	<i>-0.9</i>	<i>-1.1</i>	<i>-1.3</i>	<i>-1.3</i>
2008	<i>-1.4</i>	<i>-1.3</i>	<i>-1.1</i>	<i>-0.9</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.5</i>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	<i>-0.9</i>	<i>-1.2</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.5</i>	<i>-1.4</i>	<i>-1.4</i>
2011	<i>-1.3</i>	<i>-1.0</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.5</i>	-0.4	-0.3	-0.3	<i>-0.6</i>	<i>-0.8</i>	<i>-0.9</i>	<i>-1.0</i>	<i>-0.9</i>

Fonte: NOAA-CPC (2017)

3.5 Tendência da Vegetação e Chuva

3.5.1 Teste de Mann & Kendall

Para realização da análise de tendência da série de vegetação e chuva, foram considerados dados coincidentes com os 16 dias anteriores às datas de captura das imagens pelo sensor TM, a bordo do satélite Landsat 5, seguindo o método proposto por Goulart et al., (2015), Delgado et al., (2012), os quais foram submetidos ao teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), tal teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória).

Considerando uma série temporal de Y_i de n termos ($1 \leq i \leq n$); a estatística de teste é dada por:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{signal}(Y_j - Y_i) \quad (02)$$

em que: $\text{signal}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{signal}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{signal}(x) = -1$ para $x < 0$.

Para séries com grande número de termos (n), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S apresenta uma distribuição normal com média zero e variância:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (03)$$

A partir da análise estatística Z toma-se a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 , ou seja, pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa (de existência de tendência nos dados). O sinal da estatística Z indica se a tendência é crescente ($Z > 0$) ou decrescente ($Z < 0$).

Testando a significância estatística de S para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta poderá ser rejeitada para grandes valores da estatística Z , que é dada por:

$$Z = \begin{cases} S - 1/[\text{Var}(S)]^{1/2} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ S + 1/[\text{Var}(S)]^{1/2} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (04)$$

Para o teste de Mann-Kendall foi adotado nível de significância $\alpha = 0,05 = 5\%$. Se a probabilidade p do teste for menor que o nível α , $p < \alpha$, existe uma tendência significativa enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante. Para amostras em que não há tendências, o valor de Z é próximo de zero (FERRARI et al., 2012; DELGADO et al., 2012; MANN, 1945; KENDALL, 1975).

3.5.2 Teste de Pettitt das séries temporais de chuva e vegetação

O teste de Pettitt (1979) é um teste não-paramétrico, que permite identificar o ano de ocorrência de mudança abrupta na média das séries temporais de precipitação. Utiliza uma versão do teste de Mann-Whintney, na qual verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T pertence a mesma população. A estatística do $U_{i,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=t}^T \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (05)$$

para $t = 2, \dots, T$

Em que: $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{i,T}$ foi então calculada para os valores de $1 < t < T$, e assim a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt que corresponder ao máximo em valor absoluto de $U_{i,T}$ é estimada como o ano onde ocorre a mudança e se escreve como:

$$k(t) = \text{Max}_{1 < t < T} |U_{t,T}| \quad (06)$$

Esta estatística localiza o ponto em que houver uma mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$p \cong 2 \exp\{-6k(t)^2/(T^3 + T^2)\} \quad (07)$$

O ponto de mudança brusca é o t em que ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de k poderão ser calculados pela equação:

$$K_{\text{crit}} = \pm \sqrt{\frac{\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (08)$$

3.5.3 Relação da vegetação com os fatores climáticos

Os dados de chuva diários foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional (EMC) de Januária - MG código OMM: 83386, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET cujos valores são referentes ao período que compreende os anos de 1985 e 2011. Posteriormente, foi realizada uma Análise de Regressão Linear Simples para avaliar a dependência da série temporal do NDVI em função das séries diárias de chuva e a significância dos coeficientes de correlação. Foi realizada também uma análise multivariada de componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas no programa R 3.2.1.

3.5.4 Tratamento das imagens TM

Para o processamento das imagens, foi empregado o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algoritm) proposto por (Bastiaanssen et al., 1998), utilizando o software ERDAS IMAGINE 2015. Nesse processo, uma série de sequências e processamentos baseados nas metodologias: Rouse et al. (1973), Allen et al. (2007) e Chander et al. (2009).

3.5.5 Tratamento do Modelo Digital de Elevação

O software ArcGIS 10.5 foi utilizado para o trabalho de dados vetoriais das bacias hidrográficas como: cálculo de área, declividade, perímetro, comprimento, banco de dados e mapas seguindo a metodologia proposta por Silva et al. (2014). A geração automática de bacia hidrográfica foi realizada através da utilização de imagens de 30 m de resolução obtidas no site TOPODATA/SRTM e foram obtidas por meio do site: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> essa tarefa foi executada através da extensão ArcHydro do software Arcgis 10.5. com a realização do processamento dos dados de topografia da imagem ASTER da área de estudo. Para a delimitação da bacia hidrográfica a partir de um MDE no formato RASTER foram geradas as seguintes informações: a) preenchimento de depressões, b) direção de fluxo, c) fluxo acumulado o, d) definição da rede de drenagem no formato RASTER, e) segmentação da drenagem e a delimitação da bacia.

3.6 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica

3.6.1 Morfometria da bacia hidrográfica

O procedimento de caracterização morfométrica da bacia hidrográfica da bacia do rio Pandeiros seguiu o método proposto por Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2014) e foi realizado através de dados obtidos através do software ArcGIS 10.5 foi utilizado para o trabalho de dados vetoriais da bacia hidrográfica como: cálculo de área, declividade, perímetro, comprimento, banco de dados e mapas. A geração automática de bacia hidrográfica

foi realizada através da utilização de imagens de 30 m de resolução obtidas no site TOPODATA/SRTM obtidas por meio do sitio: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Após a delimitação da área da bacia, foi possível a obtenção de diferentes características físicas, como: área da bacia, perímetro, largura média da bacia, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, rede de drenagem, comprimento do rio principal, comprimento axial, declividade, altitude, densidade de drenagem e número de drenos.

3.6.2 Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC)

Para obtenção do modelo digital de elevação, procedeu-se ao pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem com o objetivo de obter-se a área de abrangência da BHRP. Considera-se área da bacia, toda região drenada pelo sistema pluvial que se encontra entre seus divisores topográficos tornando-se um elemento básico para o calculo de vários índices morfométricos (TONELLO, 2005).

Através da extensão Arc Hydro Tools do ArcGIS 10.5, foi realizado o processamento dos dados de topografia da imagem SRTM da área de estudo. Para a delimitação da bacia hidrográfica a partir de um MDE no formato *raster* foram geradas as seguintes informações: a) preenchimento de depressões, b) direção de fluxo, c) fluxo acumulado o, d) definição da rede de drenagem no formato *raster*, e e) segmentação da drenagem e a delimitação da bacia.

Para a geração de um Modelo Digital de Elevação que represente com segurança a realidade da bacia hidrográfica, os softwares de SIG necessitam que os dados digitais de entrada tenham qualidade e estrutura aceitáveis. Por isso, foram gerados arquivos individuais contendo os limites da área de trabalho, a hidrografia digital conectada e orientada no sentido do escoamento superficial e dados de altimetria. Posteriormente, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), finalizando com o pós-processamento para geração do MDEHC.

A geração do MDEHC teve por objetivo eliminar as depressões espúrias, ou seja, células cercadas por outras com maiores valores de elevação, remanescentes ou que foram introduzidas no MDE durante o processo de imposição da rede de drenagem.

3.6.3 Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. De acordo com Villela et al., (1975) o coeficiente de compacidade é um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho.

Sendo assim, quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade. O Kc foi determinado baseado na seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (09)$$

Sendo: Kc o coeficiente de compacidade, P o perímetro

(m) e A a área de drenagem (m²).

A Tabela 4 apresenta os valores do Kc e as características da bacia hidrográfica de acordo com a variação dos mesmos.

Tabela 4: Classificação do coeficiente Kc em bacias hidrográficas

Kc	Característica da bacia
1,00 - 1,25	Bacia com alta propensão a enchentes Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
1,25 - 1,50	enchentes
>1,50	Bacia sujeita a grandes enchentes

Fonte: Adaptado de BELTRAME (1994)

3.6.4 Fator de Forma

Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão).

A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o padrão hidrológico da bacia. Segundo Villela et al., (1975) uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. O fator de forma (F) foi determinado, utilizando-se a seguinte equação:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (10)$$

Sendo o F: fator de forma, A a área de drenagem (m²) e L o comprimento do eixo da bacia (m).

3.6.5 Índice de circularidade

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (11)$$

Em que IC é o índice de circularidade, A a área de drenagem (m²) e P o perímetro (m).

3.6.6 Declividade e altitude

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) foi utilizado como entrada para a geração do mapa de declividade e da altitude. A imagem de declividade gerada foi do tipo contínua, por apresentar valores reais. As classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, sugeridos pela Embrapa (1979).

3.6.7 Densidade de drenagem

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo, assim, o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede – sejam eles perenes, intermitentes ou temporários – e a área total da bacia.

O índice foi determinado utilizando a equação:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (12)$$

Sendo Dd a densidade de drenagem (km/km²), L_t comprimento total de todos os canais (km) e A, área de drenagem (km²).

Os valores de Dd para bacias hidrográficas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação da Dd em bacias hidrográficas

Dd (km/km ²)	Classificação da Drenagem
<0,5	Pobre
0,5-1,5	Regular
1,5-2,5	Boa
2,5-3,5	Muito Boa
>3,5	Excepcionalmente Bem Drenada

Fonte: Adaptado de BELTRAME (1994)

3.6.8. Densidade hidrográfica

A Densidade hidrográfica (Dh) é a relação entre o número de rios ou canais e a área de uma bacia com o objetivo de expressar a grandeza hidrográfica da mesma. Foi determinada a partir da equação apresentada por CHRISTOFOLETTI (1969) e classificada de acordo com LOLLO (1995).

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (13)$$

em que: Dh = Densidade hidrográfica;

N = Número de rios ou canais;

A = Área da bacia em km².

Na Tabela 6 constam os valores relativos a Dh para bacias hidrográficas.

Tabela 6: Classificação da Dh para bacias hidrográficas

Dh (canais/km ²)	Classificação
<3	Baixa
3-7	Média
7-15	Alta
>15	Muito Alta

Fonte: Adaptado de LOLO (1995)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características Físicas da BHRP

A Tabela 7 Apresenta os valores relacionados às características morfométricas da BHRP obtidos através do processamento dos dados SRTM da área. O processo de caracterização foi conduzido de acordo com (TONELLO, 2005; SOUZA et al., 2013), que propõem a divisão das características morfométricas em parâmetros.

Tabela 7: Características físicas da bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BHRP)

Característica física BHRP	
Característica	Valor
Área (km ²)	3937,08
Perímetro (km)	585,12
Largura média (km)	48,64
Densidade de drenagem (Dd) (km km ⁻²)	0,70
Densidade hidrológica (Dh)	0,59
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,61
Fator de forma (Kf)	0,48
Índice de circularidade (IC)	0,39
Rede de drenagem (km)	2764,71
Comprimento do rio principal (km)	159,80
Comprimento axial (km)	100,94
Altitude maior (m)	858,15
Altitude menor (m)	446,63
Altitude média (m)	652,39
Número de drenos	2327,00

Com base nos valores apresentados na Tabela 7 pode-se concluir que a BHRP encontra-se em uma região com relevo cuja classe predominante é suave ondulado, com elevações que variam de 446,63 m a 858,15 m de altitude.

Os índices calculados de coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf) e índice de circularidade (IC) com valores de 2,61, 0,48 e 0,39, respectivamente, indicam que a BHRP possui formato alongado. Tais valores sugerem também, que o fato do formato da bacia hidrográfica aproximar-se do circular, considerado ideal, resulta em menores riscos de enchentes.

Entretanto, a ocorrência de eventos de cheias não pode ser descartada na BHRP, pois as perturbações geradas pelas atividades antrópicas associadas a eventos de chuvas, acima da normalidade para aquela região, podem levar a ocorrência de cheias. Ao estudar a bacia hidrográfica do Rio Preto, Olszewski et al. (2011) constataram que a mesma possui forma alongada e alta densidade de drenagem, sendo assim, em condições normais de pluviosidade, espera-se menor ocorrência de cheias. Entretanto a realização de desmatamentos frequentes é um dos fatores que podem causar cheias naquela bacia hidrográfica.

Rocha et al. (2014) usaram MDE a partir de dados SRTM para realizar a caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim-Açu, no estado de Sergipe e concluíram que a utilização dessa tecnologia fornece subsídios importantes para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

A partir da do processamento em ambiente SIG da imagem SRTM adquirida através do Projeto TOPODADA, foi possível gerar o mapa com os níveis altimétricos da BHRP (Figura 3), onde as menores altitudes são observadas na região sul da bacia, cujos valores variam entre 446 e 540m, região extremamente importante, pois é nessa área de pântano que se encontra a região conhecida como “pantanal mineiro”. As regiões da BHRP que apresentaram maiores altitudes estão localizadas no centro, nordeste e no planalto localizado a noroeste, dentro da área da bacia hidrográfica próximo ao município de Chapada Gaúcha e seus valores variam de 753 a 856m.

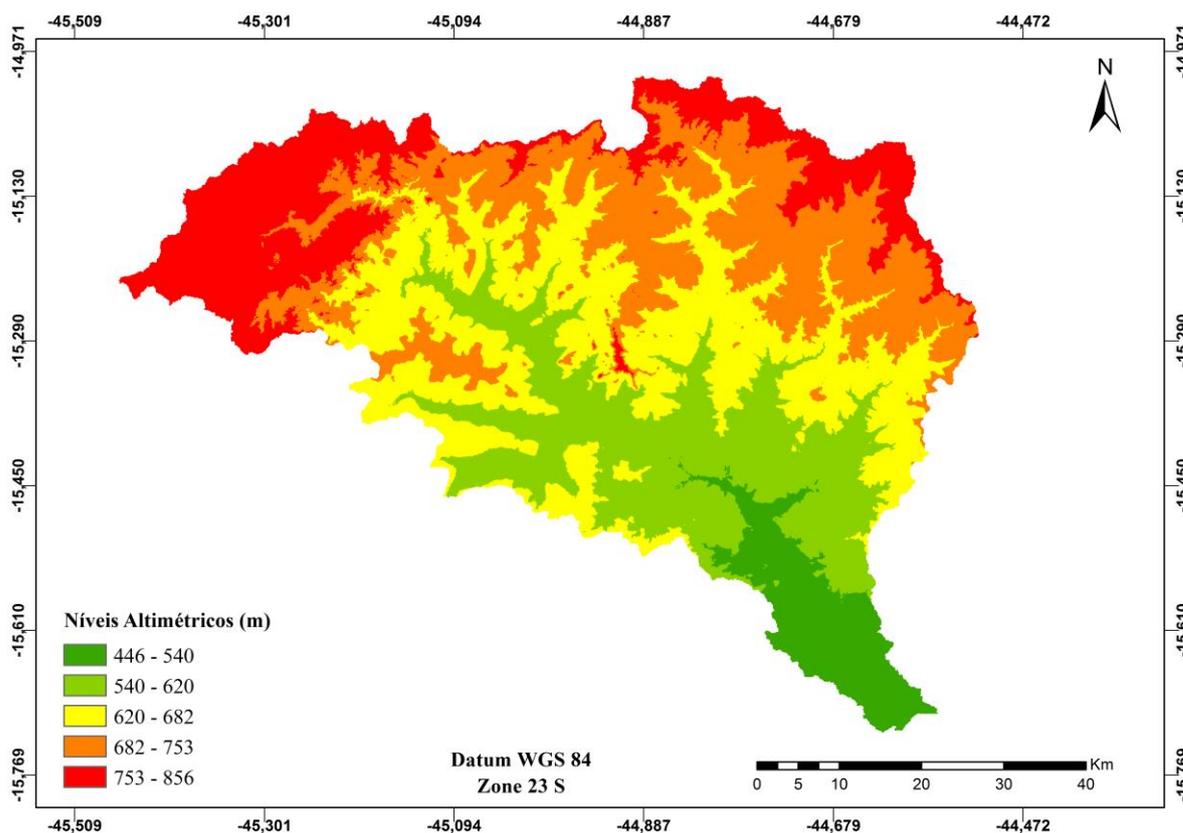


Figura 3: Níveis altimétricos da BHRP

O primeiro mapeamento geomorfológico na região da BHRP foi realizado por Rodrigues (2012) cujo o método utilizada associou a litologia, representada por dois grandes domínios, o das rochas sedimentares dos Grupos Areado e Urucuia, formadas por arenitos do Cretáceo, e o das carbonáticas pertencentes ao Grupo Bambuí, do Neoproterozóico, e sua

influência na evolução do relevo. Já Oliveira et al. (2017) realizaram uma delimitação geomorfológica dentro dos limites da BIRP identificando seis grandes domínios geomorfológicos na bacia, cada um desses domínios possui fatores biofísicos diferentes, com dinâmicas hídricas próprias que conferem características específicas em cada um deles.

De acordo com o teste de Pettitt o sinal do NDVI foi considerado forte, apresentando o valor de 55 nos dados referentes ao ano de 2000, período em que, de acordo com informações obtidas por meio de análise da Tabela 3, foi submetido à forte influência do fenômeno climático La Niña. Já a chuva apresentou valores discrepantes nos anos de 1992 e 2011 (56 e 72), períodos influenciados pelo El Niño (Figura 4).

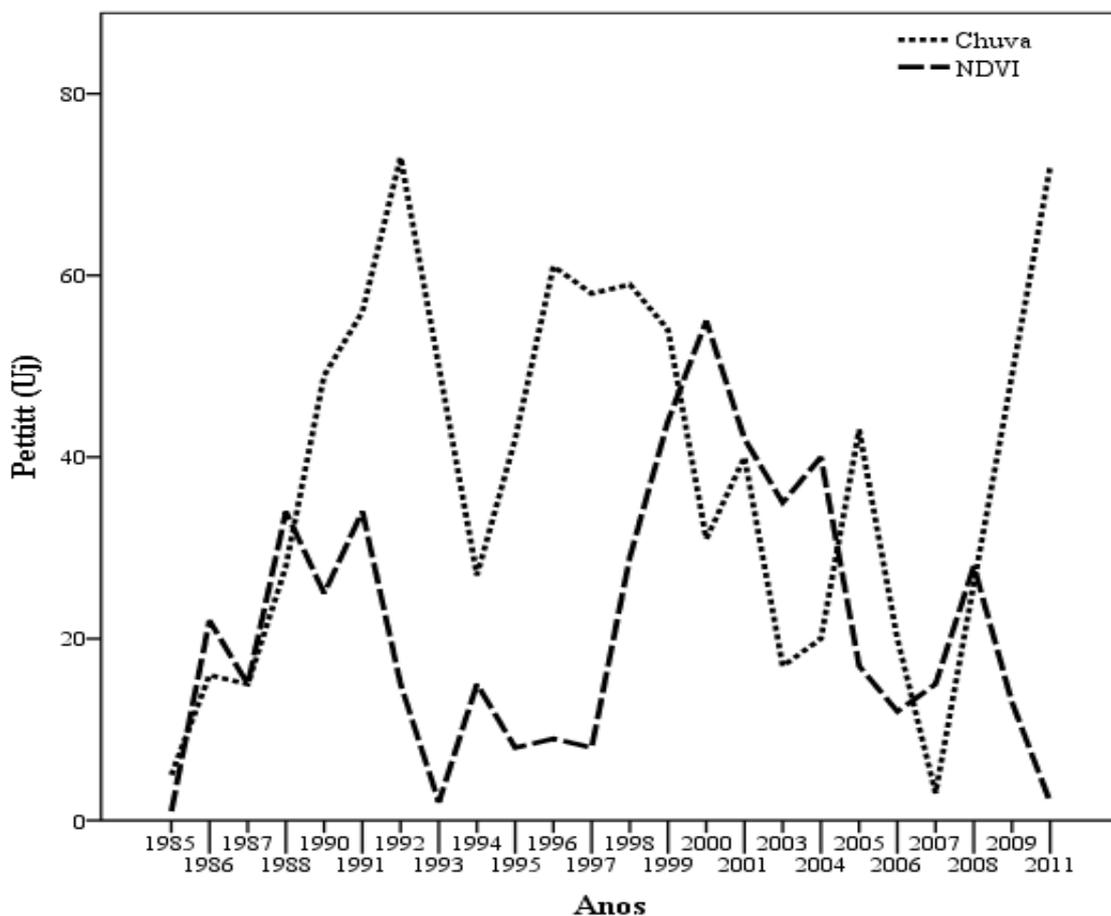


Figura 4: Teste de Pettitt para os valores médios do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e chuva para bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BHRP)

Observa-se na Figura 5 que há um padrão similar entre os dois parâmetros analisados, ou seja, o aumento da chuva resulta em maiores valores dos índices de vegetação, o que pode ser constatado através da análise do ano de 2005 o qual apresentou os maiores valores de NDVI (0,42) e chuva (49,2 mm). Entretanto, no ano de 1994 verificou-se o aumento no valor

do NDVI (0,38) mesmo sem a ocorrência de chuvas nos 16 dias que antecederam a passagem do satélite sobre a região.

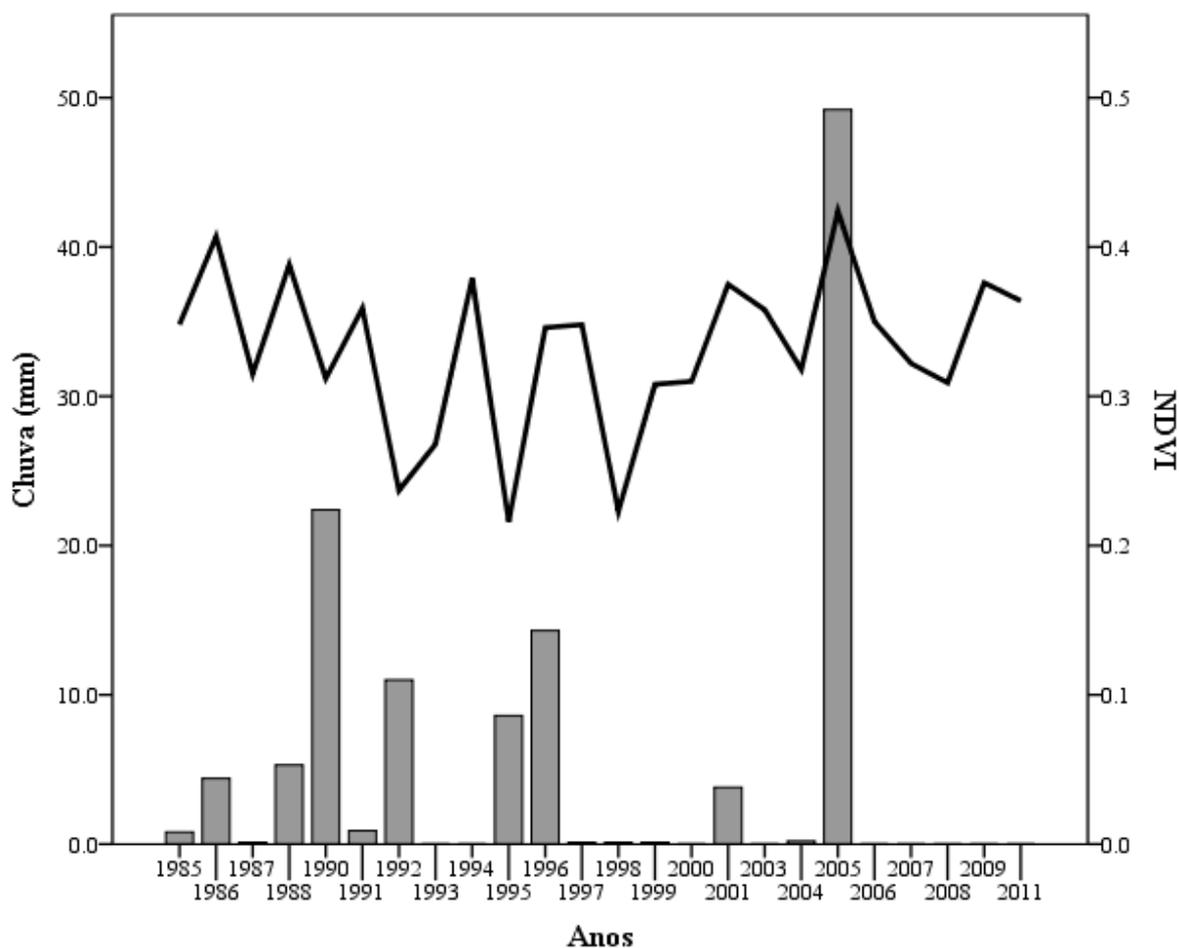


Figura 5: Variação do NDVI em função da chuva na bacia hidrográfica do rio Pandeiros

Segundo Oliveira et al. (2016), durante o estudo da influência dos fenômenos de ENOS na dinâmica do clima brasileiro, observou-se que variações de temperatura da superfície do Oceano Atlântico Sul (TSM) está associado ao número de dias de chuva (NDC) abaixo da média, enquanto as variações TSM negativas estão associadas ao NDC acima da média. De acordo com este mesmo trabalho, as variações TSM não causam efeitos evidentes no NDC do estado de Mato Grosso.

Na Figura 6 verifica-se que os menores valores encontrados de NDVI estão a Noroeste da imagem com valores próximos a -1 representando regiões de rios e lagos. Os maiores valores são encontrados na parte Oeste, e regiões Sul-Central com valores oscilando entre 0,42 a 0,83, sendo estes representados por pastagens e florestas.

A discrepância observada nos valores de NDVI referente a área estudada tem relação direta com o fenômeno climático La Niña que ocorreu entre os anos de 1998 a 2001 o que pode ser observado através da análise da Tabela 3. Este evento ocorre devido ao aumento da intensidade dos ventos alísios provocando a ressurgência, que é o afloramento das águas mais frias do Oceano Pacífico, favorecendo uma diminuição da temperatura da sua superfície (GLANTZ, 2002). Essa modificação na dinâmica do clima interfere na formação das massas de ar que chegam com menor frequência e intensidade naquela região, tal anomalia teve seu auge no ano 2000 (Figura 6).

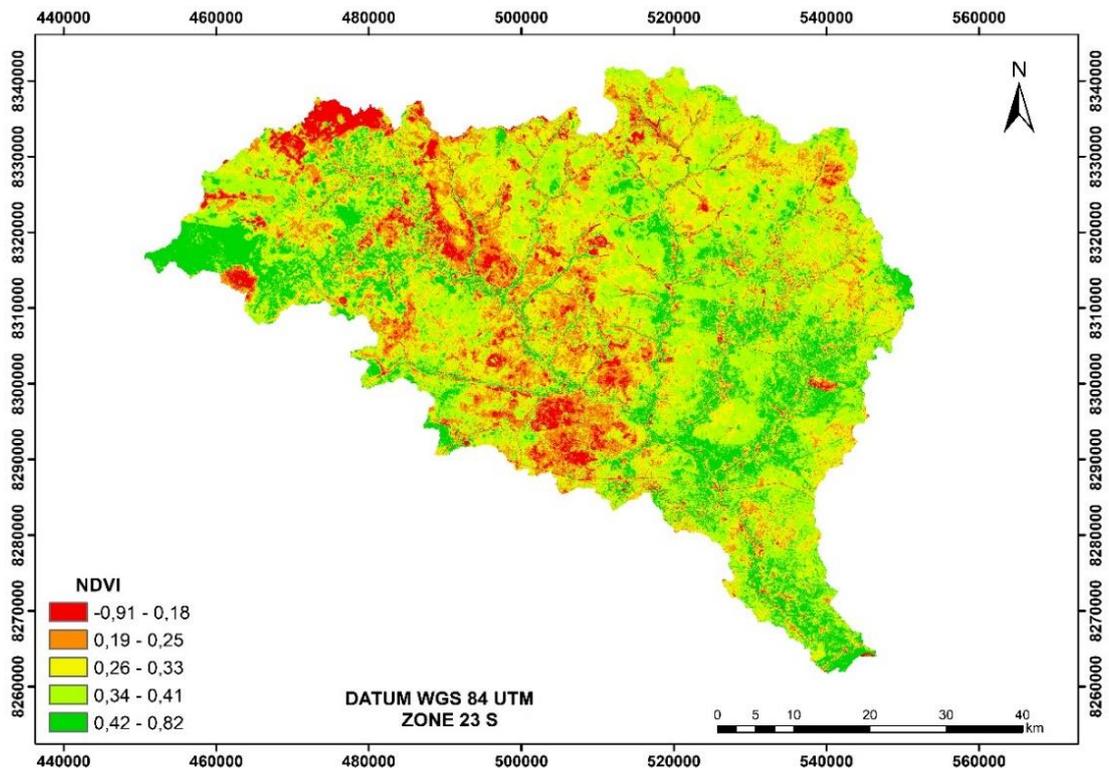


Figura 6. Distribuição espacial do NDVI na bacia hidrográfica do rio Pandeiros no ano 2000

Paredes et al. (2016) estudaram a relação entre longos períodos de secas fortes, curtos períodos de seca muito intensas e a ocorrência de ENOS durante o trimestre de novembro a janeiro no período de 1948 a 2010, na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Segundo os autores, os padrões de anomalias atmosféricas foram melhor correlacionados com fortes secas naquela região do que os padrões de anomalias oceânicas.

Na Figura 7a é apresentada a análise dos dados nos períodos de ocorrência do fenômeno climático La Niña, os parâmetros que apresentam maior correlação foram NDVI e temperatura da superfície oceânica cujo valor de correlação foi $r = 0,50$. No caso de períodos de neutralidade climática os parâmetros que apresentaram maior correlação foram a chuva e a

temperatura da superfície oceânica com $r = 0,44$, sendo este o índice de correlação mais baixo entre os três fatores analisados (Figura 7b), já no caso dos períodos sob a influência do fenômeno climático El Niño, houve uma maior correlação entre os parâmetros NDVI e chuva cuja correlação foi de $r = 0,80$, sendo este, o valor mais expressivo entre as correlações realizadas (Figura 7c).

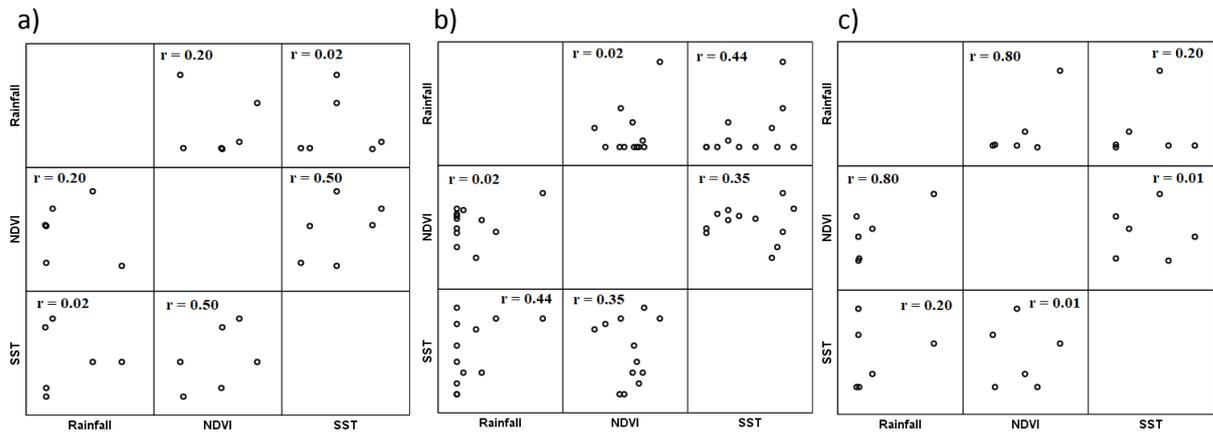


Figura 7: Matrizes de correlação entre dados referentes a ENOS, chuva e temperatura oceânica, a) La Niña, b) Neutralidade, c) El Niño

De acordo com estudos realizados por Santos et al. (2017), os valores do NDVI tendem a aumentar em períodos com altos valores de chuva, principalmente em áreas protegidas das ações antrópicas, este fato ocorre devido ao aumento da densidade e vigor da vegetação verde, que diminuem consideravelmente em anos de baixos índices pluviométricos.

Marques et al. (2005) associaram a temperatura na superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico e o NDVI no estado do Rio Grande do Sul, cujos valores variaram de acordo com o período do ano e da região do estado. O NDVI apresentou correlação mais expressiva com a temperatura na superfície do oceano Pacífico Equatorial durante o verão, enquanto para o período de inverno e primavera esse padrão foi verificado para a temperatura na superfície do oceano Atlântico Subtropical.

5. CONCLUSÕES

A BHRP apresenta encontra-se em uma região cuja probabilidade de ocorrência de enchentes é pequena devido aos fatores climáticos como o baixo índice pluviométrico, associados ao relevo pouco acidentado, além da textura do solo, predominantemente arenosa. Entretanto jamais deve-se descartar a possibilidade de ocorrências de cheias naquela bacia, principalmente por ocasião de precipitações pluviométricas volumosas de baixa recorrência para os padrões climático daquela região.

Os resultados obtidos nesse estudo apontam a existência de uma relação entre eventos de ENOS com alterações no regime hídrico e conseqüentemente no NDVI da BHRP influenciando diretamente a dinâmica daquele ecossistema. Tais fenômenos têm seus efeitos potencializados devido às mudanças climáticas a nível global e agravadas pela expansão desordenada das atividades agropecuárias desenvolvidas dentro dos limites da bacia.

Outro fator que deve ser considerado é a ameaça que as atividades antropogênicas representam para a existência do pântano localizado próximo à foz do rio Pandeiros, pois o excesso de solo que se desprende das margens devido ao processo erosivo acaba se depositando no leito do pântano provocado a redução da sua área ao longo do tempo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a realização de uma análise da complexidade da dinâmica da BHRP bem como sua interação com os fenômenos climáticos ENOS além da interferência causada pelas alterações de temperatura do oceano. Entretanto vale salientar que se trata de um ecossistema extremamente sensível cujo equilíbrio encontra-se seriamente ameaçado principalmente pelas ações antrópicas. Por tanto, torna-se imperativo que haja uma união de esforços por parte do poder público e da sociedade civil organizada com o objetivo de desenvolver mecanismos que impeçam o avanço dos processos de degradação que ocorrem na bacia hidrográfica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M.; ALCÂNTARA, E.; FREITAS, R. M.; OLIVEIRA, C. G.; SOUZA, A. F.; STECH, J. L.; RUDORFF, B. F. T. Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO). **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Inpe, v.15, p.1349-1356, 2011.
- AFONSO, S. R.; ANGELO, H. Mercado dos produtos florestais não-madeireiros do Cerrado brasileiro. **Revista Ciência Florestal**. v.19, n.3, p.317-328. Santa Maria, 2009.
- ALCANTARA, E. H.; AMORIM, A. J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. **Caminhos da Geografia**, v.7, n.14, p.70 – 77, Uberlândia, 2005.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.133, n.395, p.380-394, 2007.
- ALMEIDA F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências** v.7, 1977.
- ALMEIDA, H. A.; MEDEIROS, E. A. Variabilidade no regime pluvial em duas mesorregiões da Paraíba e sua relação com o fenômeno EL Niño Oscilação Sul. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n. 3, p. 177-185, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. D.; MELLO, J. D.; SILVA, A. D. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, v.35, p.1801-1810, 2011.
- AZEVEDO, I. F. P.; NUNES, Y. R. F.; VELOSO, M. D. M.; NEVES, W. V.; FERNANDES, G. W. Preservação estratégica para recuperar o São Francisco. **Scientific American. Brasil**, v.7, p.74-79, 2009.
- BASTIAANSEN, W. G.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A Remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of hydrology**, v.212, p.198-212, 1998.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 112 p, 1994.
- BETHONICO, M. B. D. M. (2009). **Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG: espaço, território e atores**. (Tese de Doutorado em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- BETHONICO, M. B. D. M. "Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no Norte de Minas Gerais." **Revista Acta Geografica** v.3, n.5, p.23-38, 2009.
- BETHONICO, M. B. D. M.; CUNHA, S. B. D. Gestão sustentável de unidades de conservação: o caso da APA estadual do rio Pandeiros, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v.11, n.22, p.104-127, Rio de Janeiro, 2009.

BOAVENTURA, R. S. **Veredas: berço das águas**. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 264 p, 2007.

BOHNENBERGER, J. C.; PIMENTA, J. F. P.; ABREU, M. V. S.; COMINI, U. B.; CALIJURI, M. L.; MORAES, A. P.; PEREIRA, I. S. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente Construído**, v.18, n.1, p.299-311, Porto Alegre, 2018.

BRANDÃO, M. Área Mineira do Polígono das Secas/ Cobertura vegetal. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte/MG, v. 17, n. 181, p. 5-9, Belo horizonte, 1994.

BRASIL, L. S. I. E. **Produto Meta 1 – Projeto de revisão metodológica dos processos normativos de identificação das áreas da União com o emprego de imagens de sensoriamento (radar e óptico) na detecção das áreas inundáveis para as áreas definidas**. 2017. Disponível em: <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/patrimonio-da-uniao/programa-de-modernizacao/linha-do-tempo/06-ted-unb_produto_1-6-imagens-de-sensoriamento-remoto-radar-e-optico.pdf>. Acesso em: 12/02/17.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P; SANTIAGO, A. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; LUGÃO, W. G.; ALVES, J. E. M. Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape – SP. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.3, p.247-251, Rio de Janeiro, 2007.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Fundamentos de Geoprocessamento**. INPE, (1996) livro on-line Disponível em: <<http://www.dpi.INPE.br/>>. Acesso em: 23 de abril de 2018.

CAMELO FILHO, J. V. A dinâmica política, econômica e social do rio São Francisco e do seu vale. **Revista do Departamento de Geografia**, v.17, p.83-93, 2011.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248. Rio de Janeiro, 2006.

CARMO, A. B. (2016). **Avaliação de Impacto Ambiental em empreendimentos costeiros e marinhos no Brasil: análise dos procedimentos e aspectos institucionais e políticos**. (Tese de Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote sensing of environment**, v.113, n.5, p.893-903, 2009.

CHIMPLIGANOND, C. N. (2013) **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas Itacarambi, Minas Gerais: causas e características**. (Tese de Doutorado) Departamento de geologia, Universidade de Brasília, Brasília, D. F.

CHOW, V. T.; MAIDMENTE, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. McGrawHill, New York, 572p., 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v.9, n.18, p.35-64, 1969.

COHEN, W. B.; MAIERSPERGER, T. K.; GOWER S. T.; TURNER, D. P. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.561-571. Campina Grande, 2003.

COLLI, G. R.; BASTOS, R. P.; ARAÚJO, A. F. B. **The character and dynamics of the Cerrado herpetofauna**. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). *The Cerrados of Brazil. Ecology and natural history of a Neotropical Savanna*. p. 223-241. Columbia University Press, New York. 2002.

CORSINI, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J. M. D.; MACHADO, E. L. M. Diversity and similarity of native forest fragments located in the northeast region of Minas Gerais. **Cerne**, v.20, n.1, p.1-10, 2014.

CUNHA, N. R. D. S.; LIMA, J. E. D.; GOMES, M. F. D. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.46, n.2, p.291-323, 2008.

DAVIS, F. W.; SIMONETT, D. S. **GIS and remote sensing**. In Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W., editors, *Geographical information systems*. Harlow: Longman, v.1, principles. 191-213, 1991.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.2, p.369-380, 2012.

DEVRIES, B.; VERBESSELT, J.; KOOISTRA, L.; HEROLD, M. Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 161, p. 107-121, 2015.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. M., SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. O. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Fundação Biodiversitas, v. 2, 2005.

DUNCK, B.; RUWER, D. T.; FELISBERTO, S. A. **Eunotiaceae Kützing (Bacillariophyceae) perifíticas de áreas úmidas do Cerrado (veredas) no Brasil**. Iheringia. Série Botânica, v.71, n.3, p.283-295, 2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EIPHANIO, J. C.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.6, p.445-454. Brasília, 1996.

FERRARI, A. L.; DA SILVA VECCHIA, F. A.; DE OLIVEIRA COLABONE, R. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, n. 1, 2012.

FERREIRA, I. M. Cerrado: classificação geomorfológica da vereda. **Simpósio Nacional do Cerrado**, 9., 2008, Planaltina. Anais... Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FERREIRA, R. G.; MOURA, M. C. O.; CASTRO² F. S. Uso de plataforma sig na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio pancas – Brasil. **Nativa, Sinop**, v.3, n.3, p. 210-216, Colatina, E. S., 2015.

FONSECA, D. S. R.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A.; FIGUEIREDO, F. P. Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, v.1, n.1, p.1-20, Montes Claros, 2011.

FONTANA, D. C.; WEBER, E.; DUCATI, J.; FIGUEIREDO, D.; BERLATO, M.; BERGAMASCHI, H. **A case study for crop monitoring and harvest forecast in south Brazil**. International Symposium on Remote Sensing For Enviroment, 28, 2000, Cape Town. INCRSE, p.91-94, 2000.

FRANKLIN, J. Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. **Progress in physical geography**. v.19, n.4, p.474-499, 1995.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. Revista e Atualizada. Ed. Edgard Blücher, 2ed. 291p. São Paulo, 1988.

GARCIA, J. R.; BUAINAIN, A. M. Dinâmica de ocupação do Cerrado nordestino pela agricultura: 1990 e 2012. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. v.54, n.2, Brasília, 2016.

GARRIGUES, S.; ALLARD, D.; BARET, F. E.; WEISS, M. Quantifying spatial heterogeneity at the landscape scale using variogram models. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 1, p. 81-96, 2006.

GERAIS-CETEC, C. T. M. **Contribuição aos estudos sobre a evolução das veredas**. In: **Características geomorfológicas**. In: **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais**. Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro, Vol. 2: Recursos Naturais. Belo Horizonte. CETEC, 1981.

GLANTZ, M. H. **La Niña and its impacts**. United Nations Univ. Press, Tokyo, 2002.

GOULART, A. C. O.; DELGADO R. C.; JÚNIOR, J. F. O.; GOIS, G.; SANTOS, E. O. Vegetation indexes and rain time-spectrum relationship in the city of Rio de Janeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.3, p.277-283, 2015.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Derivação de novas informações cadastrais para o planejamento urbano através de Sistemas de Informação Geográfica**. UFRGS–Centro de Ecologia, Centro de Recursos Idrisi, 2000.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 27 dez. 2017.

IEF. **APA Estadual do Rio Pandeiros**. Januária: Instituto Estadual de Florestas, 2006. 3f. Mimeografado.

IRIGARAY, Carlos Teodoro José Huguency. **A gestão sustentável dos recursos hídricos no Brasil: um direito humano fundamental?** Tese (Programa de Pós-Graduação em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba-SC. 2003. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84727/196380.pdf?sequence=1>
Acesso em: 12 jan. 2018

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing a remote sensing perspective**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogr. Eng. Rem. Sens.*, n.54, p.1593-1600, 1988.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London, 1975.

KETTELHUT, J. T. S.; AMORE, L.; LEEUWESTEIN, J. M. A experiência brasileira de implementação de comitês de bacias hidrográficas. **Simpósio Internacional Sobre Gestão de Recursos Hídricos**. Gramado, 1998.

KROLOW, I. R. C.; PELLEGRINI, A.; ALVAREZ, J. R.; KROLOW, D. V.; TROIAN, A.; SANTOS, D. R.; REICHERT, J. M. Fenômenos El Niño e La Niña em duas bacias hidrográficas na mesorregião centro ocidental Rio-Grandense: assentamento Alvorada. **Revista Nera**, v. 20, n. 37, p. 294-316, 2017.

LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Mapeamento morfoestrutural e morfoescultural na região de cerrado no Norte de Minas Gerais. **Revista Sociedade & Natureza**, v.24, n.1, p. 115-126, 2012.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750p.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. ESALQ/USP: Piracicaba, 2.ed. 2008, 245p.

LOLLO, J. A. (1995) **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. (Tese de Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LÓPEZ-GRANADOS, E.; MENDOZA, M. E.; GONZÁLEZ, D. I. Linking geomorphologic knowledge, RS and GIS techniques for analyzing land cover and land use change: a multitemporal study in the Cointzio watershed, Mexico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.8, n.1, p.18-37, 2013.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 245-259, 1945.

MARGULIS, S. (1996) **A Regulamentação Ambiental: Instrumentos e Implementação**. Texto Para Discussão Nº 437, IPEA/DIPES, Rio de Janeiro, 1996.

MARQUES, J. R. Q.; FONTANA, D. C.; MELLO, R. W. Estudo da correlação entre a temperatura da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico e o NDVI, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.520-526, 2005.

MIRANDA, R. S. e GOMES, R. A. Dinâmicas agrárias e conflitos socioambientais no Sul do Maranhão. In: **Congresso Internacional das Alas**, 28, 2011, Recife. Anais... Recife: Ed. da UFPE, 2011.

- MORAIS, V. A.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S. Spatial distribution of the litter carbon stock in the Cerrado biome in Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v.41, n.5, p.580-589, 2017.
- MOREIRA, A. A.; SOARES, V. P.; Ribeiro, J. C.; SILVA, E.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: XI SBSR, 2003, Belo Horizonte, MG. **Anais.... INPE**, 2003. p. 1381-1389.
- MOSLEY, M. P.; MCKERCHAR, A. I. Streamflow. In: Handbook of hydrology. Maidment, D. R.(ed.), **McGraw-Hill Inc**, 1992. Cap. 8 , p:8.1-8.39.
- MÜLLER, H.; RUFIN, P.; GRIFFITHS, P.; SIQUEIRA, A. F. B.; HOSTERT, P. Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape. **Remote Sensing of Environment**, v.156, n.1, p.490-499, 2015.
- NAIME, U. J. **Solos da área mineira do polígono das secas**. Informe agropecuário -Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 1980.
- NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. D. M.; SOUZA, R. A.; FERNANDES, G. W. **Pandeiros: o pantanal mineiro**. Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 4-17, 2009.
- SILVA NETO, A. F.; GUIMARÃES, C. L.; ARAÚJO, J. S.; ARAÚJO, J. S. Geotecnologias para caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, INPE, Brasil, 2013.
- NEUMANN, P.; S., LOCH C. Legislação ambiental, desenvolvimento rural e práticas agrícolas. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.243-249. Santa Maria, 2002.
- NOAA/CPC - **National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>>. Acesso em 13/07/2017.
- NOBRE-LOPES, J., (2002). **Diagenesis of the dolomites hosting Zn/Ag mineral deposits in the Bambui Group at Januaria Region-MG**. PhD Thesis, University of Campinas, Campinas, São Paulo, Brazil, 183 p.
- NUNES, W. A. G. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; RUIZ, H.A.; BEIRIGO, R. M.; BONCOMPANI, A. L. P. Características químicas de solos da Região de Janaúba, MG, irrigados com água de poços tubulares e do rio Gorutuba. **R. Bras. Ci. Solo**, n.32, p.227-236, 2008.
- OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v.14, n.8, Campina Grande, 2010.
- OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; Neto, G. K.; Silva, M. A.; ARAÚJO, E. F. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.4, p.1259-1267 El Dourado do Sul, 2012.

OLIVEIRA, N. L.; MARCUZZO, F. F. N. Correlação da temperatura na parte sul do Oceano Atlântico com NDC em Mato Grosso. **GEographia**, v.18, n.36, p.183-206, 2016.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros - MG. **XVII Simpósio Brasileiro de Geociência Aplicada**. v.1, p.6253-6262 Campinas – SP, 2017.

OLSZEWSKI, N.; FERNANDES FILHO, E. I.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.485-492, 2011.

PAREDES, T. F.; CASTILLO, B. L.; BARBOSA A. H.; GUEVARA, E. Main features of large scale oceanic atmospheric circulation related to strongest droughts during rainy season in Brazilian São Francisco River Basin. **International Journal of Climatology**, v.36, n.12, p.4102-4117, 2016.

PEREIRA, A. P. S.; VASCO, A. N. D.; BRITTO, F. B.; JÚNIOR, M.; VIEIRA, A.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, E. M. D. S. Estudo da diversidade da comunidade tecamebiana (protozoa: rhizopoda) na sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim-SE. **Rev. Scientia Plena**, v.7, n.4, p.1-9, 2011.

PERES, R. B.; ALMEIDA, C. E. Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v.14, n.2, p.71, São Paulo, 2012.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point detection. **Applied Statistics**, v.28, p.126–135. 1979.

PINTO, L. V. A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Lavras, mg e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, v.11, n.1, p.49-60, Lavras, 2005.

PORTO. M. F. A; PORTO. R. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, v.22, n.63, São Paulo, 2008.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 128p. São José dos Campos, 2009.

RABELO, D. L. **Por uma genealogia em que a Educação Ambiental é potência na formação dos membros de comitês de bacias hidrográficas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; 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, n.4. p.241-262, 2003.

RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUSA-SILVA, J. C. **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: 899p. Embrapa, 2001.

RISSO, J., RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M., SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação e áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1317-1326, Brasília, 2012.

- ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solo. In: **I SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI**, p.3-6, Campinas-SP, 1996.
- ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; Almeida, C. A. P.; NETO, E. L. M.; NETTO, A. O. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Rev. Ambient. Água** v.9, n.2, p.276-287. Taubaté, 2014.
- RODRIGUES, B. H. M. (2012). **Análise da dinâmica de evolução do relevo e das condições geomorfológicas associadas à ocorrência de veredas no norte de Minas Gerais**. 132p. (Dissertação Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, v.1 p.309-317, 1973.
- SALIMENA, F. R. G.; MATOZINHOS, C. N.; ABREU, N. L. D.; RIBEIRO, J. H. C.; SOUZA, F. S. D.; NETO, L. M. **Phanerogamic flora of Serra Negra, Minas Gerais, Brazil**. *Rodriguésia*, v.64, n.2, p.311-320, 2013.
- SANTANA, M. F.; DELGADO, R. C.; JÚNIOR, J. F. O.; DE GOIS, G.; TEODORO, P. E. Variabilidade da Mata Atlântica baseado no índice EVI e variáveis climáticas em Cunha-SP, Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n.1, p.37-44, 2016.
- SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; TORRES, J. L. R. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the Cerrado, Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, v.33 n.1, p.169-176, 2017.
- SANTOS, R. F. Livro **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Ed. Oficina de Textos—São Paulo, v.184, 2007.
- SANTOS, R. M. (1985) **O Rascunho da Nação: formação, auge e ruptura da economia colonial**. (Tese de Doutorado). Universidade de Campinas - UNICAMP.
- SILVA, E. R.; DELGADO, R. C.; DE SOUZA L. P.; DA SILVA, I. S. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18 n.7, p.706–711, 2014.
- SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N.; CARPEGIANE, F. E.; SILVA, I. D. C.; ARAÚJO, M. L. S.; GUTERRES, C. E.; SANTOS, J. S.; RIBEIRO, C. V.; BEZERRA, D. S.; NERES, R. L. Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 330-336, 2016.
- SILVA, S. D. M. (2008). **Avaliação ambiental estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH**. (Tese de Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- SOARES, P. L.; CORDEIRO, E. M. G.; SANTOS, F. N. S.; Omoto, C.; CORREA, A. S. The reunion of two lineages of the Neotropical brown stink bug on soybean lands in the heart of Brazil. **Springer Nature, Scientific Reports**. V.8 n.2496, 2018.
- SOARES, V. P., SILVA, E., RIBEIRO, P. E. Á., BARROSO, W. R., RIBEIRO, C. A. A. S., SILVA, N. D. S. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p.891-897, out./nov. 2008.

- SOUZA, R. S. **Economia política do meio ambiente**. Pelotas: Educat, 1998. 162p.
- SOUZA, S. O.; VALE, C. C.; NASCIMENTO, F. H. Bacia do rio peruípe (ba): ensaio de classificação morfométrica por meio de dados SRTM. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.14, n.47,2013.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade de Araraquara, Centro Universitário de Araraquara, 2007.
- TONELLO, C. K. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas , Guanhães, MG**. (2005) 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.859-857, 2006.
- TRINDADE, A. F. S. **A política estadual de meio ambiente e os resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem qualitativa em seis diferentes experiências em minas gerais**. (Dissertação de Mestrado) apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Belo Horizonte – 2012.
- TUCCI, C.E.M., 2002. **Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos**, 150 p. Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasil.
- VALERIANO, M. M. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com Sistema de Informação Geográfica. **Acta Scientiarum** v.24, n.5, p.1541-1551, Maringá, 2002.
- VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D.; MENDES Jr., J. N.; LIMA, D. J. **Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data**. *Computers & Geosciences*, v.32, p.1169-1181. 2006.
- VENTICINQUE, E. M. **Fragmentos florestais e coexistência de populações de Anelosimus exi-mius (Araneae: Theridiidae) (Simon 1891) sob o enfoque de um modelo espacial de metapopulações**. Tese de Doutorado, UNESP, Botucatu. 1999.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. In: Hidrologia aplicada. McGraw-Hill, 245 p. São Paulo, 1975.
- WISLER, C. D.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1964. 484 p.
- ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.6, p.608-614, 2013.
- ZURLINI, G. et al. Disturbance patterns in a socio-ecological system at multiple scales. **Ecological Complexity**, v.3, n.2, p.119-128. Lavras, 2006.