

JOSÉ CARLOS DE SOUZA

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO**

Sorocaba

2017

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*



unesp
Sorocaba

JOSÉ CARLOS DE SOUZA

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO**

Tese de doutorado apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço

Sorocaba
2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Souza, José Carlos de.

Metodologia para avaliação ambiental em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto / José Carlos de Souza, 2017.

95 f.: il.

Orientador: Roberto Wagner Lourenço.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2017.

1. Avaliação paisagística. 2. Bacias hidrográficas. 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Sensoriamento remoto. 5. Geoprocessamento. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: **Metodologia para Avaliação Ambiental em Bacias Hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.**

AUTOR: JOSÉ CARLOS DE SOUZA

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENCO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENCO
Ciências Ambientais / UNESP Sorocaba


Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS
Ciências Ambientais / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba


Prof. Dr. PAULO SÉRGIO TONELLO
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP – Sorocaba


Profa. Dra. KELLY CRISTINA TONELLO
Departamento de Engenharia Florestal / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS


Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
Coordenadoria do Curso de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Sorocaba, 18 de agosto de 2017

DEDICATÓRIA

*A minha querida mãe “Dona Deja”, aos meus irmãos
Carlinho, Tonho, Zael, Bete e Cássio e aos sobrinhos,
entusiastas e incentivadores na realização de meus projetos;*

E ao Anderson pela contribuição e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir minha existência;

Ao professor Roberto Wagner Lourenço “o China” por ter aceitado o convite da orientação, ter contribuído na construção da proposta e ter acreditado em minha capacidade em desenvolvê-la;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Unesp-Sorocaba, por ter me dado a oportunidade de cursar o doutorado;

À Universidade Estadual de Goiás por ter concedido a licença para qualificação;

Ao professor Antônio Cesar Germano Martins por ter contribuído nos procedimentos da pesquisa;

Aos professores do Programa que tive contato direto por meio das disciplinas e que contribuíram com o meu crescimento acadêmico;

Aos professores que aceitaram participar da banca de avaliação na qualificação e defesa;

As técnicas de laboratório, Leticia, Suzan e Giovana pela importante contribuição;

Ao amigo Elfany pela parceria e disposição em ajudar sempre;

Aos queridos(as) Jocy, Cintia, Dani, Diego, Naia e Jomil pela amizade e contribuições em campo e laboratório;

A todos muito obrigado.

RESUMO

A espacialização de dados ambientais através de técnicas de geoprocessamento e o monitoramento do comportamento espectral da vegetação por meio de imagens orbitais são instrumentos importantes nos estudos ambientais de análise da paisagem, em especial os aplicados a bacias hidrográficas. O objetivo da presente pesquisa foi desenvolver uma metodologia de avaliação ambiental aplicada à bacia hidrográfica, através da estimativa de parâmetros biofísicos, gerados por imagens Landsat 8 e determinação de parâmetros físico-químicos dos solos. O estudo foi aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Una, localizada em Ibiúna, no Estado de São Paulo, Brasil. Foram estimados o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI; o índice de vegetação ajustado do solo – SAVI; o índice de água por diferença normalizada – NDWI e o índice de ressecamento da vegetação por temperatura – TVDI. O estudo foi desenvolvido utilizando imagens do satélite Landsat 8 datadas de janeiro (período úmido) e agosto (período seco) do ano de 2015. O processamento digital das imagens foi realizado no *software* ArcGis 10.3. Foram geradas matrizes de correlação com base na combinação pixel a pixel para os índices NDVI, SAVI e NDWI utilizando o *software* Matlab para a análise espacial e temporal da cobertura vegetal. Além disso, foram coletados amostras de solo para determinação dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico total – COT e levantamento *in situ*, dos teores de umidade e pH da área de estudo. Os resultados levantados foram interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância - IQD. Os índices estimados apresentaram padrão espacial com forte relação com a sazonalidade climática, com ênfase ao regime de chuvas. Os resultados obtidos mostraram uma redução dos índices NDVI e SAVI, em 87,5% e 92% respectivamente, do período úmido para o seco. No NDWI foi identificado perda em conteúdo de água na vegetação em 73,03% dos pixels. As reduções nos valores dos pixels, nos três índices analisados, evidenciam a influência direta das condições climáticas no vigor e no teor de umidade da vegetação. O TVDI também apresentou influência da sazonalidade climática. No mês de janeiro predominaram valores entre 0.2 e 0.4, indicando umidade normal, e em agosto predominaram valores entre 0.4 e 0.8, indicando condições ligeiramente seca ou estresse hídrico moderado. O TVDI se mostrou adequado para avaliar o déficit hídrico em diferentes coberturas do solo, com potencial para monitorar as perdas de umidade do solo e da vegetação. A umidade do solo, com medição *in loco*, registrou valores maiores nos meses com maior total de chuva, em todas as amostras, com exceção de algumas áreas agrícolas que ocorriam irrigação por aspersão, no período seco. Os solos apresentaram fraca acidez em todas as amostras, registrando pequena variação do pH entre os períodos, indicando condições de menor acidez no período de estiagem. Os teores de COT e matéria orgânica dos solos, indicaram as áreas de pastagens com teores mais elevados e as culturas temporárias com teores mais reduzidos, em relação aos demais tipos de cobertura do solo da bacia. A prática de cultivo e o processo de intemperismo explicam a redução nos teores de TOC e MO nos solos de culturas temporárias. Já as pastagens com suas estruturas radiculares, explicam a potencialização no armazenamento do carbono. As imagens Landsat 8 se mostraram eficientes na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e as técnicas de geoprocessamento contribuíram substancialmente nas análises espaciais, se apresentando como ferramentas indispensáveis em estudos ambientais aplicados a bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Índices de vegetação, Paisagem, Uso do solo e cobertura vegetal, Sazonalidade climática, SIG.

ABSTRACT

The spatialization of environmental data through geoprocessing techniques and the monitoring of vegetation spectral behavior through orbital images are important tools in environmental studies of landscape analysis, in special those applied to watershed. The objective of the present research was to develop an environmental assessment methodology applied to the watershed, through the estimation of biophysical parameters, generated by Landsat 8 images and determination of chemical-physical parameters of the soils. The study was applied in the Una Watershed, located in Ibiúna, in the State of São Paulo, Brazil. Were estimated the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI; The Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI; Normalized Difference Water Index - NDWI and the Temperature Vegetation Dryness Index - TVDI. The study was developed using Landsat 8 satellite images dated January (wet period) and August (dry period) of the year 2015. The digital process of images was performed in ArcGis 10.3 software. Correlation matrices were generated based on the pixel by pixel combination for the NDVI, SAVI and NDWI indexes using the Matlab software for the spatial and temporal analysis of the vegetation cover. In addition, soil samples were collected to determine the organic matter and total organic carbon (TOC) and survey in loco of soil moisture content and pH of the study area. The results obtained were interpolated by the Inverse Distance Weighting - IDW. The estimated indices presented a spatial pattern with strong relation with climatic seasonality, with emphasis on the rainfall regime. The results showed a reduction of the NDVI and SAVI indices, in 87.5% and 92%, respectively, from the wet to the dry period. In the NDWI, loss of water content in the vegetation was detected in 73.03% of the pixels. The reductions in the values of the pixels, in the three indices analyzed, show the direct influence of the climatic conditions on the vigor and the moisture content of the vegetation. TVDI also had an influence of climatic seasonality. In January values between 0.2 and 0.4 predominated, indicating normal humidity, and in August, values between 0.4 and 0.8 were predominant, indicating conditions slightly dry or moderate water stress. The TVDI proved to be suitable to evaluate the water deficit in different soil coverages, with potential to monitor soil and vegetation moisture losses. Soil moisture, with in loco measurement, recorded higher values in the months with the highest total rainfall, in all samples, except for some agricultural areas that were irrigated by sprinkling in the dry period. Soils presented low acidity in all samples, registering a small pH variation between the periods, indicating conditions of lower acidity in the dry season. The TOC and organic matter contents of the soils indicated the pasture areas with higher contents and the temporary crops with lower levels, in relation to the other types of soil cover in the watershed. The cultivation practice and the weathering process explain the reduction in TOC and OM contents in soils of temporary crops. On the other hand, pastures with their root structures explain the potential of carbon storage. Landsat 8 images were efficient in estimating biophysical parameters of the vegetation and geoprocessing techniques contributed substantially to spatial analysis, presenting themselves as indispensable tools in environmental studies applied to watersheds.

Keywords: Vegetation indexes, Landscape, Soil use and vegetation cover, Climatic seasonality, GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa.	8
Figura 2 - Relação espacial entre Ts e NDVI.....	11
Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una.....	14
Figura 4 - Mapa da grade pontos de amostragem.....	15
Figura 5 - [A]: aparelho medidor de umidade e pH do solo e	19
Figura 6 - [A]: preparação da amostras; [B]: amostras em erlenmayer peneiradas e pesadas e pesadas e [C]: amostras em repouso com soluções de dicromato, ácido sulfúrico e ácido ortofosfórico.	21
Figura 7 - Titulação com uso do titulador digital.	21
Figura 8 - [A] resíduos acondicionados em bandejas; [B] indicador de pH antes da correção da acidez; [C] adição do hidróxido de cálcio e [D] indicador de pH depois da correção da acidez.	24
Figura 9 - Médias mensais de precipitação de Ibiúna (1984 - 2014).	25
Figura 10 - Histogramas do NDVI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.....	26
Figura 11 - NDVI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.....	27
Figura 12 - Distribuição percentual do NDVI por classes para os meses de janeiro e agosto.	28
Figura 13 - SAVI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.....	32
Figura 14 - Distribuição percentual do SAVI por classes para os meses de janeiro e agosto.	33
Figura 15 - Histogramas do SAVI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.....	35
Figura 16 - NDWI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.	37
Figura 17 - Distribuição percentual do NDWI por classes para os meses de janeiro e agosto.....	38
Figura 18 - Histogramas do NDWI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.	40
Figura 19 - Mapa de uso e cobertura do solo e gráfico com percentual de área por classe.	43
Figura 20 - [A] pastagem, [B] plantação de Pinus, [C] Planície alagada, [D] Fragmento florestal e [E] cultivo de alface.....	44
Figura 21 - Espacialização dos teores de COT e MO por interpolação.	46
Figura 22 - Gráfico de médias dos valores de COT e MO em g/kg^{-1} por classe de uso e cobertura do solo.	48

Figura 23 - Espacialização por interpolação dos valores de pH dos períodos úmido e seco da bacia do Rio Una.....	51
Figura 24 - Histogramas dos valores de pH do período úmido (A) e período seco (B).....	52
Figura 25 - Médias dos valores de pH por classe de uso e cobertura do solo para os períodos úmido e seco.	53
Figura 26 - Temperatura média máxima e mínima - Ibiúna (1996-2011).....	54
Figura 27 - Imagens índice de Ts dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.	55
Figura 28 - Histogramas de Ts para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.	56
Figura 29 - Dispersão entre Ts e NDVI para os meses de Janeiro (A) e Agosto (B).....	58
Figura 30 - Imagens índice de TVDI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.....	59
Figura 31 - Histogramas do TVDI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.....	60
Figura 32 - Distribuição percentual das classes de TVDI para os períodos úmido e seco..	61
Figura 33 - Comportamento do TVDI em área de mata e culturas temporárias: [A] período úmido e [B] período seco (B)	63
Figura 34 - Mapas de umidade do solo interpolados para o período úmido e seco.....	64
Figura 35 - Teores de umidade em (%) dos pontos amostrais dos períodos úmido e seco.	65
Figura 36 - Médias de umidade em (%) por classe de uso e cobertura do solo dos períodos úmido e seco.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas das bandas espectrais do satélite Landsat 8.	16
Tabela 2 – Especificações técnicas das imagens Rapideye.	23
Tabela 3 - Estatísticas descritivas do NDVI.	28
Tabela 4 - Matriz de correlação pixel a pixel entre NDVI janeiro e agosto.	29
Tabela 5 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação pixel a pixel do NDVI.	30
Tabela 6 - Estatísticas descritivas do SAVI	33
Tabela 7 - Matriz de correlação pixel a pixel entre SAVI janeiro e agosto.	34
Tabela 8 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação pixel a pixel do SAVI.	35
Tabela 9 - Estatísticas descritivas do NDWI.	38
Tabela 10 - Matriz de correlação entre NDWI janeiro e agosto.	39
Tabela 11 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação do NDWI.	39
Tabela 12 - Teores de COT e MO em g/kg^{-1} nas amostras de solos, por classe de uso e cobertura do solo.	47
Tabela 13 - Estatística descritiva dos teores de MO e COT.	48
Tabela 14 - Intervalos de Ts para os usos e cobertura do solo das imagens de.	56
Tabela 15 - Estatística dos valores de Ts.	57
Tabela 16 - Estatística dos valores de TVDI.	61
Tabela 17 - Valores médios do TVDI para os usos e	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

BH – Bacias Hidrográficas

BMP – bitmap

C – Celsius

Ca - Cálcio

COT – Carbono Orgânico Total

CIAGRO - Centro integrado de informações agrometeorológicas

Cwb - Clima temperado úmido

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

H⁺ - Íons de hidrogênio

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAF – Índice de Área Foliar

IVM – Infravermelho Médio

IVP - Infravermelho Próximo

IQD - Inverso do Quadrado da Distância

K – Potássio

K - Kelvin

Mg – Magnésio

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MO – Matéria Orgânica

MOS - Matéria Orgânica do Solo

mm – Milímetros

Na – Sódio

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NDVI – Índice de vegetação por Diferença Normalizada

NDWI - Índice de Água por Diferença Normalizada

NIR – Infravermelho Próximo

OLI - Operacional Terra Imager

nm – Nanômetro

pH – Potencial hidrogeniônico

REM – Radiação Eletromagnética

RGB – Red Green Blue

SAVI - Índice de vegetação Ajustado ao Solo

SIG – Sistema de Informação de Geográfica

SR – Sensoriamento Remoto

SWIR – Infravermelho de Ondas Curtas

TIRS – Sensor Infravermelho Termal

Ts – Temperatura de superfície

TVDI – Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura

μm – Micrômetros

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos

UTM - Universal Transversa de Mercator

V - Vermelho

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos:</i>	2
CAPÍTULO II	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 ANÁLISES DA PAISAGEM COM SIG	3
2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS ENQUANTO SISTEMAS AMBIENTAIS	4
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	5
2.3.1 <i>Comportamento espectral da vegetação</i>	6
2.3.2 <i>Vegetação e sazonalidade climática</i>	8
2.3.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	9
2.3.3.1 <i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI</i>	9
2.3.3.2 <i>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI</i>	9
2.3.3.3 <i>Índice de Água por Diferença Normalizada – NDWI</i>	10
2.3.3.4 <i>Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura – TVDI</i>	10
2.4. CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS	12
2.5. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH) DOS SOLOS	13
CAPÍTULO III.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	14
3.1.1 <i>Caracterização da área de estudo</i>	14
3.1.2 <i>Definição da amostragem</i>	15
3.2 INSTRUMENTOS IMAGEADORES E BANDAS ESPECTRAIS	16
3.3 ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	17
3.4 ESTIMATIVA DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	18
3.5 GERAÇÃO DAS MATRIZES DE CORRELAÇÃO PIXEL A PIXEL	18
3.6 COLETA DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE E PH DO SOLO	19
3.7 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA	20
3.7.1 <i>Reagentes e preparo das soluções</i>	20
3.7.2 <i>Procedimentos de análise</i>	20
3.8 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS	22
3.9 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO	22

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
3.11 ELABORAÇÃO DO MAPA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL	23
3.12 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DO COT E MO.	24
CAPÍTULO IV	25
4. AVALIAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE ESPACIAL E SAZONAL E DA CORRELAÇÃO PÍXEL A PÍXEL, UTILIZANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	25
4.2 AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DO NDVI.....	26
4.2.1 NDVI E RELAÇÃO COM USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL	31
4.3 AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DO SAVI	31
4.3.1 SAVI e relação com uso do solo e cobertura vegetal.....	36
4.4 AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DO NDWI.....	36
4.4.1 NDWI e relação com uso do solo e cobertura vegetal.....	40
CAPÍTULO V.....	42
5. AVALIAÇÃO DO PH E DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS SOB DIFERENTES USOS E COBERTURA DO SOLO.....	42
5.1 USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL.....	42
5.2 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.....	44
5.3 MATÉRIA ORGÂNICA (MO) E CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) DOS SOLOS.....	45
5.4 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) DOS SOLOS	50
CAPÍTULO VI.....	54
6. DIAGNÓSTICO SAZONAL DA UMIDADE DA VEGETAÇÃO E DO SOLO, ATRAVÉS DO ÍNDICE DE RESSECAMENTO DA VEGETAÇÃO POR TEMPERATURA (TVDI) E MEDIDAS DE UMIDADE DO SOLO.....	54
6.1 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (Ts)	54
6.2 AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DA UMIDADE E ESTRESSE HÍDRICO DA VEGETAÇÃO, ATRAVÉS DO TVDI	57
6.3 AVALIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DA UMIDADE DO SOLO.	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
8. REFERÊNCIAS	69

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O intenso processo de alteração das paisagens naturais por atividades antrópicas tem incentivado o desenvolvimento de estudos ambientais com vistas à compreensão das consequências destas alterações nos meios físico e biótico e na atmosfera. As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com seus avanços, têm contribuído nestes estudos, dando suporte ao levantamento e tratamento das informações espaciais e gerando produtos que tem servido à gestão e planejamento ambiental.

Estudos ambientais de análise da paisagem em bacias hidrográficas têm utilizado amplamente os recursos das geotecnologias, como o uso de imagens orbitais, para diagnosticar o estado fitossanitário da vegetação e técnicas de geoprocessamento, na espacialização de dados levantados em campo, para a compreensão do comportamento espacial das características ambientais da superfície.

O monitoramento da cobertura vegetal tem sido o principal enfoque no âmbito da conservação ambiental. Estudos neste seguimento têm apresentado a importância desse monitoramento, considerando o elevado impacto da vegetação nos processos físico-químicos, na conservação dos corpos hídricos, nas mudanças no comportamento do ciclo do carbono e nas mudanças climáticas, reforçando os estudos que investigam cenários para a conservação e mudança no padrão de ocupação dessas áreas (BALESTRINI et al., 2011; CASTANHEIRA; LANDIM; LOURENÇO, 2014; KENNEL; HUBBART; IKEM, 2015).

Associado a estes fatores, admite-se que a realização de estudos sobre a cobertura vegetal tem contribuído para minimizar os efeitos antrópicos em áreas florestadas, como é o caso das pesquisas no domínio do bioma Mata Atlântica, considerado um *hotspot* de biodiversidade, ou seja, uma área prioritária para preservação por estar em alto grau de intervenção antropogênica (RIBEIRO et al., 2009; MCT, 2015).

A quantificação e o monitoramento dessa cobertura vegetal têm sido realizados com estudos baseados na aplicação de índices de vegetação, combinando técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto. Estes índices fundamentam-se nos valores de refletância ou radiância apresentados pela vegetação nas regiões espectrais do visível, do infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal. Através dessas regiões espectrais é possível mensurar a biomassa fotossinteticamente ativa, a presença de

água na folhagem, a temperatura e umidade de superfície e a correlação destas variáveis com o estresse hídrico da cobertura vegetal (JENSEN, 2009; BOLFE, 2010; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012; CASTANHEIRA; LANDIM; LOURENÇO, 2014).

Para além dos trabalhos realizados com imagens orbitais, o geoprocessamento tem se tornado central nos estudos e monitoramento dos atributos físicos e químicos dos solos. As técnicas de espacialização de dados de solos, com os métodos de interpolação que permite estimar valores para locais não amostrados, tem se tornado útil à compreensão da variabilidade espacial e temporal das propriedades dos solos e contribuído na implementação adequada de sistemas de manejo, bem como na recuperação de solos degradados (ANDRADE et al., 2005; CORÁ; BERALDO, 2006; CORRÊA; TAVARES; URIBE-OPAZO, 2009; LOURENÇO et al., 2009; BOTTEGA et al., 2013).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia de avaliação ambiental aplicada à bacia hidrográfica, através da estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e químico-físicos dos solos, com vistas à compreensão da influência da sazonalidade climática no sistema solo-vegetação.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Avaliar o comportamento espectral da cobertura vegetal, considerando os períodos úmido e seco, através de imagens índices de NDVI, SAVI e NDWI e matrizes de correlação com base na combinação pixel a pixel;
- Avaliar o padrão espacial das formas de uso do solo e cobertura vegetal da bacia e correlacionar às características químicas dos solos como matéria orgânica, carbono orgânico e pH;
- Avaliar o padrão espacial e temporal do estresse hídrico da cobertura vegetal, da temperatura e umidade da superfície, através do TVDI e medidas de umidade do solo.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Análises da paisagem com SIG

A paisagem é um espaço territorial e é caracterizada por uma abordagem teórico-metodológica de análise ambiental do território. A ecologia de paisagem representa os avanços metodológicos e técnicos nos estudos da paisagem, assumindo concepções de análise multidisciplinar e integrada, incorporando as categorias estrutura, função e mudança. A estrutura refere-se aos elementos que compõem os ecossistemas e a distribuição de energia, materiais e espécies. A função é representada pela interação entre os elementos espaciais e a mudança são as alterações apresentadas na estrutura e na função através do tempo (METZGER, et al., 2007; WU e HOBBS, 2007; LANG; BLASCHKE, 2009; SIQUEIRA, CASTRO; FARIA, 2013).

A avaliação da paisagem na perspectiva da ecologia da paisagem, tem se tornado importante para diagnosticar os problemas atuais, estimar influências futuras e apontar as mudanças necessárias para manter o equilíbrio natural dos ambientes e contribuir na gestão, no manejo, na conservação e no planejamento ambiental (CEMIN, PERICO; REMPEL, 2009; BUSATO, 2010).

O advento das imagens de satélite e o uso crescente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), associados à geoestatística e às modelagens e métricas da paisagem, tem contribuindo significativamente nos avanços desta área do conhecimento e suas aplicações (RITTER; MORO, 2012; WU, 2012). Os SIGs compreendem os processos de coleta, armazenamento, análise e manipulação de informações espaciais georreferenciadas (DAVIS; CÂMARA, 2001; LOCH, 2006; PAIVA, et. al., 2010).

As aplicações do SIG na análise e planejamento da paisagem envolve a delimitação de objetos e representação da realidade; avaliação dos ecossistemas e seus prejuízos; descrição das condições atuais e desenvolvimento de cenários para apoio a tomada de decisões; quantificação da configuração espacial e diversidade do espaço; detecção dos tipos de uso e suas mudanças e modelagem da paisagem, incluindo avaliação, planejamento e intervenção (LANG; BLASCHKE, 2009).

2.2 Bacias hidrográficas enquanto sistemas ambientais

Uma bacia hidrográfica (BH) constitui uma área fisiográfica, drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos d'água, conectados e que convergem para um leito ou espelho d'água. As BH são consideradas células básicas de análise ambiental e unidades de planejamento e manejo integrado dos recursos naturais. Suas características sistêmicas possibilitam estudar e avaliar, de forma integrada, seus componentes, processos e interações, podendo assim compreender as causas e consequências das ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio do sistema (BOTELHO, 2010; BOTELHO; SILVA, 2010; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

As BHs se apresentam como unidades da paisagem ideais para estudos ambientais, pois além de apresentarem características sistêmicas que integram os fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais, são consideradas como unidades de planejamento e gestão territorial. Enquanto sistemas ambientais, as concepções teórico-metodológicas aplicadas às análises em BH são baseadas nos pressupostos das ciências ambientais, por estarem atreladas a uma abordagem de análise integrada e multidisciplinar (PERICO; REMPEL, 2009; BOTELHO; SILVA, 2010; CEMIN, PERICO; REMPEL, 2009).

As BHs têm sido cada vez mais utilizadas como unidade de análise e gestão da paisagem com vistas ao planejamento ambiental. Para além dos aspectos hidrológicos, o seu conceito passou a envolver o conhecimento da estrutura biofísica e as mudanças nos padrões de uso da terra com suas implicações ambientais, aproximando o conceito à concepção de ecossistema. Assim, as abordagens metodológicas utilizadas para estudar e gerenciar uma BH, em uma perspectiva sistêmica, deve contemplar os elementos do meio físico, os processos ecológicos e a dinâmica de ocupação e uso do solo (PIRES; SANTOS; PRETTE, 2008).

Os sistemas ambientais são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas entre si e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia. Em função dessas características sistêmicas, uma BH tende a apresentar um arranjo espacial decorrente da inter-relação entre seus componentes de naturezas geológica, geomorfológica, hidroclimática, pedológica e bioecológica, resultando em diferentes padrões de paisagens (NASCIMENTO et al., 2008).

Estes componentes naturais estão em constantes mudanças em função da evolução natural e das atividades humanas, e as intervenções antrópicas neste meio podem desencadear alterações nos elementos que compõe este sistema, causando impactos e/ou processos de

degradação e alterando a dinâmica dos ciclos naturais (CRISTOFOLETTI, 1999; TROPMAIR; GALINA, 2006; FIGUEIRA DE SÁ et al., 2010).

As metodologias de caracterização espacial dos componentes naturais e dos processos de alteração da paisagem em uma BH têm empregado sistematicamente o uso de SIG e produtos de sensoriamento remoto. Estas técnicas e procedimentos têm auxiliado nos estudos e na determinação de medidas de manejo ambiental, permitindo a correlação e a comparação de diversas informações espaciais (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2008).

2.3 Sensoriamento remoto e índices de vegetação

O sensoriamento remoto (SR) é a uma tecnologia que permite o estudo das características de um objeto, sem que necessariamente, se estabeleça contato com o mesmo. O processo se dá através de sensores orbitais, que registram a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida, obtendo-se imagens de um determinado local da superfície terrestre a distâncias remotas (MENDONÇA et al., 2013).

Para Meneses (2012) o SR constitui-se como uma ciência, que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre, por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Os elementos imageados são registrados por um sensor, que captura a radiação eletromagnética refletida da superfície de qualquer objeto.

As tecnologias e metodologias de processamento de imagens de SR possuem um potencial indispensável nas análises ambientais, pois fornecem informações sobre cobertura da terra e sua dinâmica e seus produtos são capazes de monitorar as mudanças na paisagem, em dimensões temporais e espaciais. Com os produtos do tratamento das imagens de satélite é possível quantificar a biomassa da superfície; distinguir as diferentes feições da cobertura vegetal; estimar a concentração de clorofila, umidade do solo e temperatura da superfície; classificar as diferentes formas de uso do solo; dentre outras funções, contribuindo na modelagem dos processos naturais e antrópicos na superfície e na atmosfera (NOVO, 2008; FOODY, 2010; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPPLICH, 2012).

Dentre as inúmeras aplicações do SR tem-se a estimativa de índices de vegetação. Os índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, com os quais apresentam altas correlações, incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo,

atividade fotossintética e produtividade (MARCUSSEI et al., 2010; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

A estimativa quantitativa da vegetação verde têm sido uma das principais aplicações do SR na tomada de decisões econômicas e no gerenciamento ambiental. Estes índices fundamentam-se nos valores de refletância ou radiância, apresentados pela cobertura vegetal nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo, regiões que indicam a quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa (NOVO, 2008; BOLFE, 2010).

Segundo Shimabukuro e Ponzoni (2007) e Jensen (2009), diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação. Estes índices são medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Os índices de vegetação podem ser considerados como algoritmos baseados na transformação de valores de refletância das imagens, gerando uma nova imagem com valores do índice para cada *pixel*, sendo calculados através da razão das diferenças e somas ou outra combinação linear de respostas espectrais. Para a estimativa da vegetação a principal banda de absorção está centrada em 650 *nm*, região visível da luz vermelha, situada entre 630 *nm* e 690 *nm*. E a região de maior refletância é no infravermelho próximo, nos comprimentos de onda de 760 *nm* a 900 *nm* (BOLFE, 2010; MENESES; ALMEIDA, 2012; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

A base da proposição desses índices está no comportamento antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo. Neste sentido, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor a refletância na faixa do visível, devido à absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas. Já na faixa do infravermelho próximo, a refletância é maior devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas das folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

2.3.1 Comportamento espectral da vegetação

O comportamento espectral da vegetação é resultado da interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) com os pigmentos fotossintetizantes, a água e a estrutura dos tecidos da folha. Sob estas condições, o fluxo de energia da REM em contato com a

vegetação, promove de forma parcial a absorção, a transmissão e a reflexão (JENSEN, 2009; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

As moléculas de clorofila absorvem a REM na região do vermelho para usar no processo de fotossíntese, podendo absorver entre 70% e 90% da luz incidente. Na região do infravermelho próximo o comportamento espectral da vegetação é controlado por sua estrutura interna, absorvendo muito pouco dessa energia e refletindo até 60% (CAMPBELL, 2007).

Na região do infravermelho próximo (IVP), entre os comprimentos de onda 0,72 μm e 1,1 μm , ocorre alta refletância, baixa absorção e considerável espalhamento interno da radiação em função da estrutura morfológica da folha. Na região do vermelho (V), há uma intensa absorção causada pelos pigmentos fotossintetizantes (0,64 μm - 0,69 μm). Neste sentido, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a refletância na região do visível e maior será a refletância no infravermelho próximo. Na região do infravermelho médio (IVM), entre os comprimentos de ondas 1,3 μm - 2,0 μm há uma redução na refletância e aumento da absorção da radiação influenciada pela presença da água na vegetação (JENSEN, 2009; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

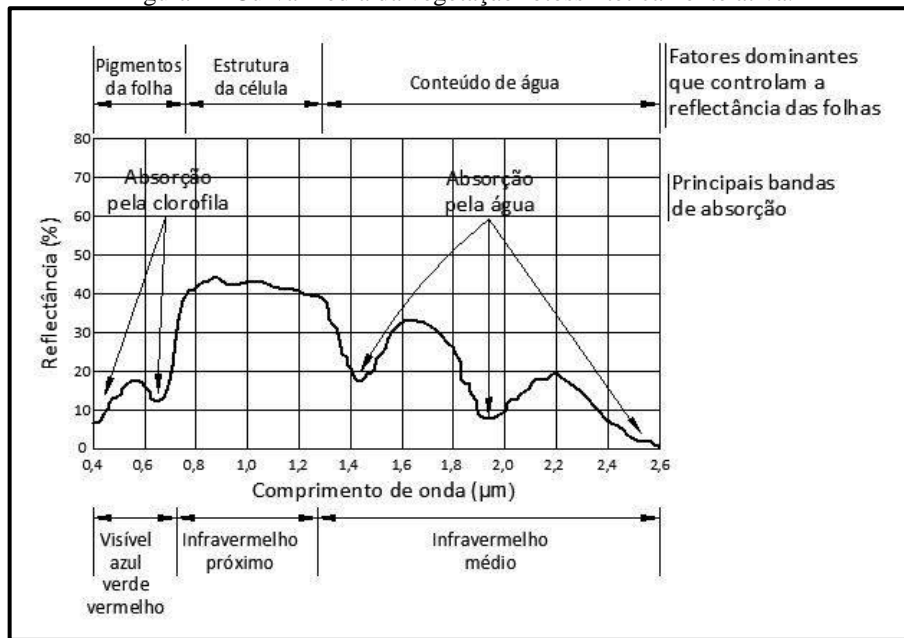
As características espectrais de uma folha pode mudar sob condições de estresse, doença, ataque de insetos e/ou falta de umidade. Geralmente essas mudanças ocorrem simultaneamente nas regiões do V e do IVP. No entanto, as mudanças no IVP são mais evidentes, em função da refletância nesta região ser controlada pela natureza das cavidades complexas, dentro da folha e da reflexão interna da radiação infravermelha dentro destas cavidades. Assim, qualquer alteração espectral neste comprimento de ondas, pode revelar alterações no vigor da vegetação (CAMPBELL, 2007).

Segundo Jensen (2009) quanto maior o número de camadas de folhas num dossel maduro e sadio, maior será a refletância no IVP. Ocorre também uma diferença de refletância em relação às folhas novas e maduras, a folha madura reflete 15% mais que uma folha nova na região do IVP, isso se dá em função das folhas maduras serem mais bem estruturadas e esponjosas, enquanto que as folhas novas são compactas (LIU, 2006).

Novo (2008), através de uma curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa (Figura 1), relata que até 0,7 μm , ocorre uma baixa refletância, predominado a absorção da REM pelos pigmentos da planta e a clorofila. Na faixa em torno de 0,56 μm , ocorre um leve aumento da refletância relacionada à percepção da cor verde. No intervalo entre 0,7 μm e 1,3 μm , percebe-se um aumento considerável da refletância

condicionada pela estrutura foliar. A partir do comprimento de ondas 1,3 μm a refletância é influenciada pelo conteúdo de água na vegetação.

Figura 1 - Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa.



Fonte: Adaptado de Novo (2008).

2.3.2 Vegetação e sazonalidade climática

A maioria das plantas herbáceas passa por um processo de senescência progressiva quando entra a estação seca, ocorrendo perda de nutrientes, mudança de cor e perda de folhas. No entanto, a vegetação se recupera no início da estação chuvosa. Este comportamento da vegetação frente à sazonalidade climática interfere também no comportamento espectral da vegetação, sendo possível a detecção dessas mudanças a partir de imagens de satélite (MARQUES; OLIVEIRA, 2004; LIU, 2006).

A sazonalidade climática é típica das regiões tropicais, estabelecendo períodos de extrema umidade com altos volumes de precipitação e períodos de estiagem, apresentando valores reduzidos. Estas condições associada à radiação solar (fotoperíodo), são fatores determinantes no desenvolvimento fenológico da vegetação, podendo favorecer no período úmido, o desenvolvimento e a reprodução das plantas, ou limitar no período seco (PEDRONI, SANCHEZ e SANTOS, 2002; MARQUES e OLIVEIRA, 2004; PEREIRA et al., 2008).

2.3.3 Índices de vegetação

Os índices de vegetação estão relacionados aos parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar. São algoritmos baseados na transformação de valores de refletância das imagens, que geram novas imagens com valores do índice para cada *pixel*, sendo calculados através da razão das diferenças e somas ou outra combinação linear de respostas espectrais. A base da proposição desses índices está no comportamento antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do visível, do infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; BOLFE, 2010; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

2.3.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) está entre os índices mais utilizados. Foi desenvolvido por Rouse et al. (1973), e envolve a razão entre duas combinações lineares de bandas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Os valores do NDVI variam de -1 a 1, sendo que a vegetação possui valores positivos, corpos d'água e áreas úmidas têm uma resposta negativa e os próximos de zero representam solo sem vegetação (LOURENÇO; LANDIM, 2003; LOURENÇO; LANDIM, 2004; BOLFE, 2010; PAU, GILLESPIE; WOLKOVICH, 2012; RAFIQUE et al., 2016).

O NDVI capitaliza a energia forte absorvida pela clorofila na faixa do vermelho do espectro eletromagnético, e sobre a energia dispersa pela estrutura interna das folhas no infravermelho próximo, usando este contraste como uma estimativa da vegetação verde. Este índice é capaz de identificar as variações da cobertura vegetal em relação à biomassa, a atividade fotossintética e a produtividade (BARET; GUIOT, 1991; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; MARTINUZZI, 2008).

2.3.3.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), desenvolvido por Huete (1988), assume uma constante de ajuste de solo no denominador da equação do NDVI, no intuito de minimizar os efeitos do solo, melhorando a resposta espectral da vegetação. As condições de fundo do solo exercem considerável influência sobre o dossel e os índices de vegetação calculados, especialmente em vegetação mais esparsa.

O fator L inserido no cálculo se refere às características da refletância do solo e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar. Huete (1988) estudou e analisou vários valores dessa constante, considerando diferentes graus de exposição do solo, ($L = 1,0$ para densidades baixas de vegetação, $L = 0,5$ para densidades médias e $L = 0,25$ para densidades altas) (BOLFE, 2010). Segundo Baret e Guyot (1991), a introdução do ajuste L permitiu minimizar as influências do brilho do solo e gerar isolinhas de vegetação mais independentes das características do solo.

Os valores do SAVI variam de -1.5 a 1.5 com as mesmas representações do NDVI, ou seja, a vegetação possui valores positivos, corpos d'água e áreas úmidas têm uma resposta negativa e os próximos de zero representam solo exposto (GILABERT et al., 2002; DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, 2011; ESTEVES, et al., 2012; ANDRADE, et al., 2013).

2.3.3.3 Índice de Água por Diferença Normalizada – NDWI

O Índice de Água por Diferença Normalizada - NDWI (*Normalized Difference Water Index*) estima a umidade presente na estrutura da vegetação, buscando mensurar o conteúdo de água, as mudanças na biomassa e no estresse das plantas. Este índice é gerado utilizando as bandas espectrais centradas aproximadamente em $0,86 \mu\text{m}$ e em $1,24 \mu\text{m}$, compreendendo as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (GAO, 1996; JENSEN, 2009).

Os valores do NDWI variam de -1 a 1, sendo que os valores negativos representam ausência de vegetação e os valores positivos indicam presença de vegetação com registro de umidade, sendo que quanto mais próximo de 1 maior o conteúdo de água na folhagem (JENSEN, 2009; OLIVEIRA et al., 2010; PHUA et al., 2012; HUANG, CHEN e COSH, 2009; SUN et al., 2013).

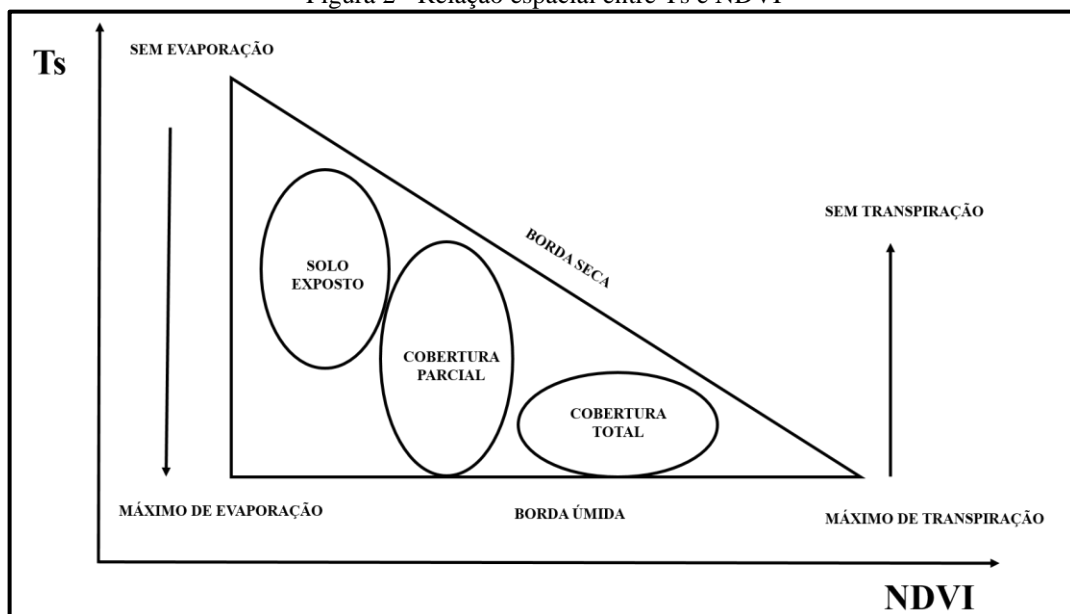
2.3.3.4 Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura – TVDI

O Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura - TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*) é um indicador de escassez de água para a vegetação, que monitora de forma eficaz a umidade do solo e da vegetação e também é utilizado na estimativa do potencial de evaporação do solo e evapotranspiração da vegetação (HUANG et al. 2013).

O TVDI é calculado utilizando-se a temperatura de superfície (T_s), o NDVI e os coeficientes angulares e lineares gerados pela dispersão dos valores de T_s e NDVI. O TVDI varia de 0 a 1, os valores próximos de zero indicam condições ótimas de umidade da superfície e vegetação sem estresse, além de ocorrer evapotranspiração máxima e acesso ilimitado a água. Os valores próximos de 1 compreendem condição limitada à disponibilidade de água, superfície seca e estresse hídrico severo na vegetação. O estresse hídrico se estabelece quando o potencial hídrico decresce ao ponto de afetar os processos fisiológicos da vegetação (SANDHOLT; RASMUSSEN; ANDERSEN, 2002; ISHIMURA et al., 2011; HUANG et al. 2013; MENGUE et al. 2015).

O esquema elaborado por Sandholt, Rasmussen e Andersen (2002), apresentado na Figura 2, evidencia a relação entre a temperatura da superfície e o NDVI, evidenciando a variação da transpiração e da evaporação em relação a áreas de solo descoberto, áreas de cobertura vegetal parcial e cobertura completa.

Figura 2 - Relação espacial entre T_s e NDVI



Fonte: Modificado de Sandholt, Rasmussen e Andersen (2002).

A vegetação é um fator importante para estimar a temperatura da superfície e, através da relação entre a temperatura e o NDVI é possível avaliar as condições de umidade na superfície. A estimativa empírica de TVDI é baseada nos pressupostos de que a umidade do solo é a principal fonte de variação da temperatura da superfície, devido às alterações na inércia térmica e do controle da evaporação e transpiração, sobre o balanço de energia solar (SANDHOLT; RASMUSSEN; ANDERSEN, 2002; ISHIMURA et al, 2011; GARCIA et al., 2007).

2.4. Carbono orgânico e matéria orgânica dos solos

A matéria orgânica dos solos engloba todos os organismos, em diversos estágios de decomposição encontrados no solo. Esse material é oriundo de resíduos de plantas e animais, que em seu avançado estágio de decomposição é denominado de húmus. O húmus são partículas pequenas como as argilas, possui estrutura amorfa, alta capacidade de troca de cátions e alta capacidade de reter água (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

O húmus ou substâncias húmicas são compostos por humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos. A humina representa a matéria orgânica ligada à fração mineral do solo e em função desta característica é insolúvel; os ácidos fúlvicos, são os grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico e os ácidos húmicos representa a fração reativa mais estável da matéria orgânica e são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido (CANELLAS, 2001; ROSSI et al., 2010).

Segundo Silva, Camargo e Ceretta (2004) a matéria orgânica é formada por Carbono, que tem uma participação variando entre 52% a 58%; oxigênio, variando em torno de 34% a 39%; hidrogênio, com valores entre 3,3% e 4,8% e nitrogênio, com teores entre 3,7% e 4,15%.

O carbono é encontrado no solo em suas formas orgânica e inorgânica sendo que as maiores quantidades são encontradas na matéria orgânica e nos minerais carbonatados. Em solos submetidos a climas úmidos e intensa lixiviação, o carbono se apresenta predominantemente na forma orgânica. O carbono orgânico é considerado como um dos principais indicadores de qualidade do solo e um dos elementos que interfere na capacidade do solo em desempenhar suas funções (CONCEIÇÃO et al., 2005; CAMARGO et al., 2009).

O solo possui grandes estoques de carbono e é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema, já que na natureza o carbono está em constante processo de ciclagem. A principal fonte de carbono para o solo é a serrapilheira e a acumulação é compensada pela mineralização de uma parte do carbono humificado. O desmatamento e o cultivo alteram esses estoques, reduzindo os teores e os mecanismos de incorporação e decomposição (CERRI; BERNOUX; VOLKOFF, 1996; BRUCE; FROME; HAITES, 1999).

O carbono orgânico total (COT) compreende quantitativamente a fração orgânica do solo e é composto por polissacarídeos, ácidos graxos, aminoácidos e polifenóis. Considera-se que o COT representa cerca de 58% do conteúdo de matéria orgânica do solo, sendo

proveniente de material vegetal em diferentes estágios de decomposição e evolução (RHEINHEIMER et al., 2008; SIQUEIRA NETO, 2009; SATO, 2013).

A matéria orgânica além de influenciar no quantitativo de carbono, também tem influência nas propriedades do solo, uma vez que atua como isolante entre o solo e a atmosfera, impedindo ou reduzindo a ação direta das gotas de chuva. Equaliza a umidade e temperatura, favorece o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana e contribuem na estabilidade dos agregados, evitando perdas de solo por erosão (WENDLING et al., 2005).

O método mais utilizado para quantificação do COT no solo é baseado na oxidação do carbono a partir do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Esta metodologia é amplamente utilizada nas pesquisas e análises em laboratórios de rotina em função da execução relativamente fácil (GATTO et al., 2009).

2.5. Potencial hidrogeniônico (pH) dos solos

O potencial hidrogeniônico (pH) dos solos se refere à concentração de íons de hidrogênio H^+ que determina a acidez, a neutralidade ou a basicidade dos solos. Os valores de pH variam de 0 a 14 sendo ácidos os solos com valores < 7 , neutros igual a 7 e básicos > 7 (EMBRAPA, 1997). Dentre os solos classificados como ácidos, ou seja, com valores inferiores a 7, Alvarez et al. (1999) propõem a seguinte classificação: acidez fraca (6.1 – 6.9); acidez média (5.1 – 6.0); acidez elevada (4.5 – 5.0) e acidez muito elevada (< 4.5).

A acidez acentuada é característica geral de solos de regiões tropicais úmidas e pode estar relacionada à escassez em bases do material de origem; ao processo de formação que promove a remoção de elementos básicos (K, Ca, Mg, Na, etc.) e/ou às práticas de cultivo com o uso intenso de insumos agrícolas (GATIBONI et al., 2003; NATALE et al., 2012;).

Os solos brasileiros são naturalmente ácidos e pobres em termos de fertilidade. São caracterizados por baixo pH, em decorrência da lixiviação de cátions trocáveis, sobretudo cálcio e magnésio, para camadas mais profundas do perfil e a toxidez provocada pelo Al, elemento tóxico para o desenvolvimento radicular das plantas. Solos com baixo pH são prejudiciais à produção agrícola sendo necessário a correção por incorporação de calcário (GARGANTINI; MELLO; ARZOLLA, 1982; FRANCHINI et al., 2001; CAIRES et al., 2002; MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 2011).

CAPÍTULO III

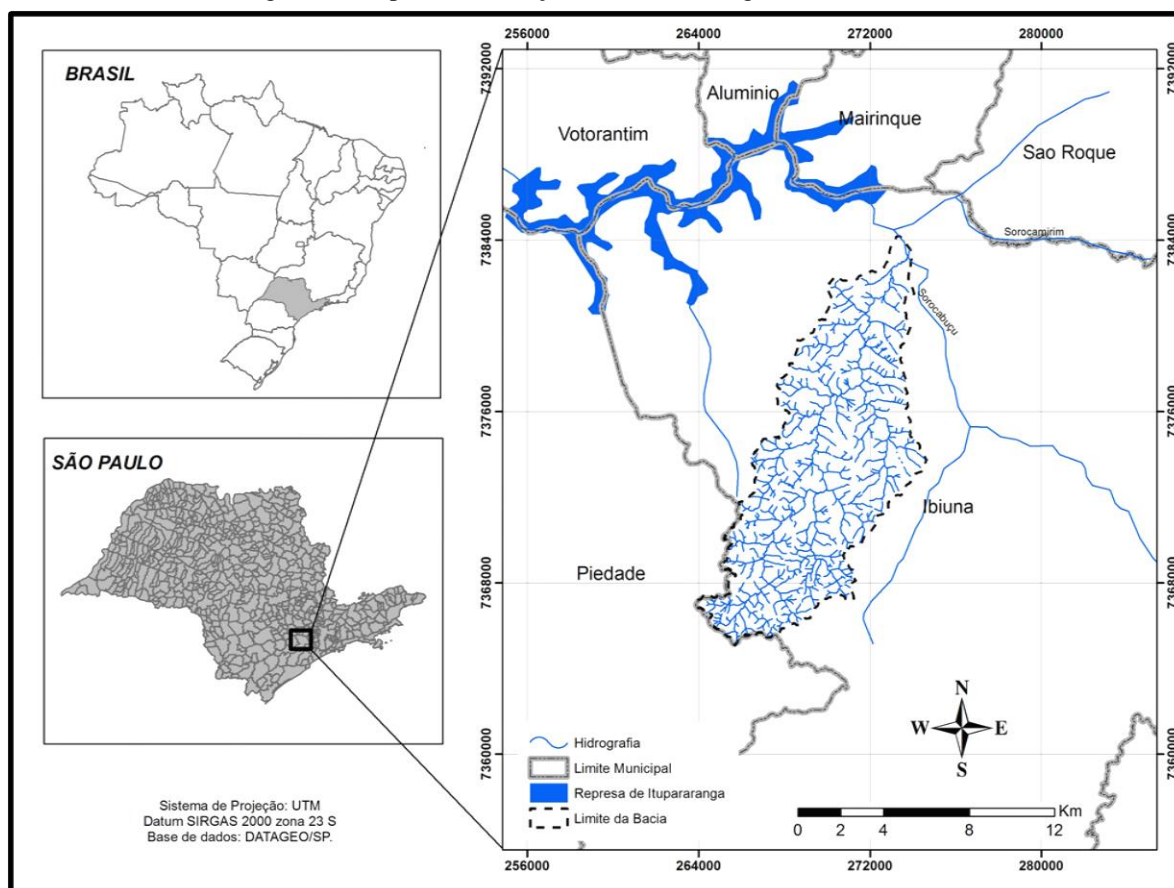
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e amostragem

3.1.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Una, que compõe a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do rio Sorocaba e Médio Tietê. A bacia está localizada no município de Ibiúna, região Sudeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas métricas UTM (Universal Transversa de Mercator) 263807 a 274706 m E, 7365029 a 7384261 m N, fuso 23, com uma área aproximada de 96,4 km² (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una.



Fonte: DATAGEO/SP.

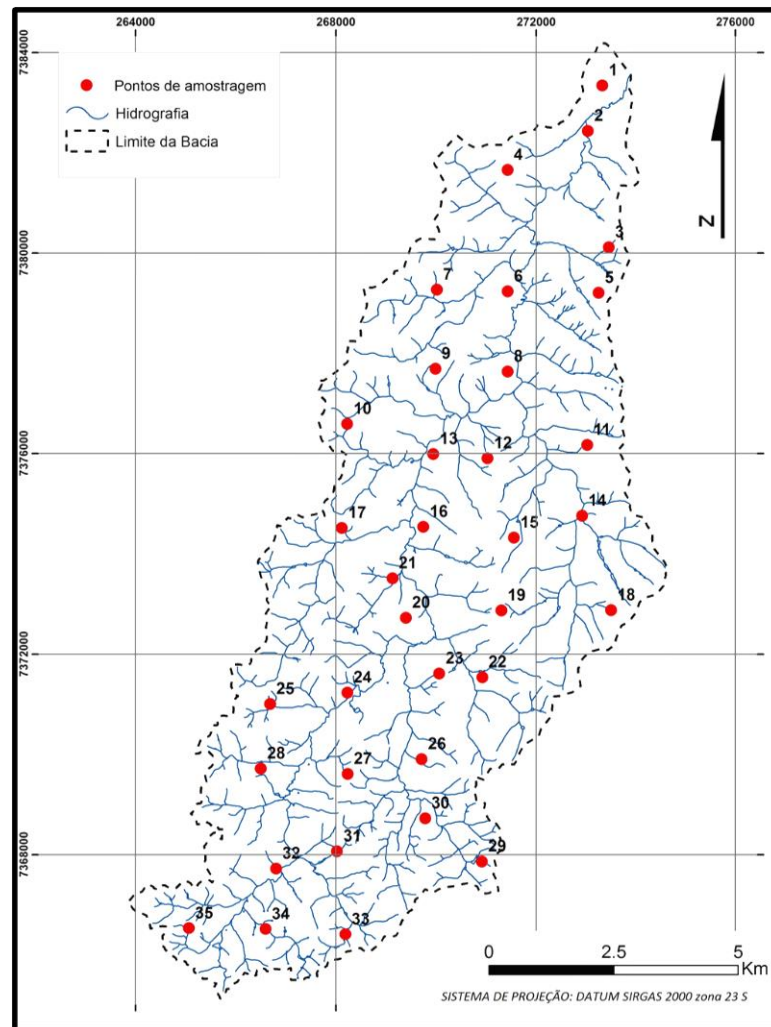
A bacia é tributária do reservatório de Itupararanga e múltiplos usos da água e do solo se estabelecem na área. As águas são utilizadas para geração de energia elétrica, abastecimento público, irrigação e lazer e os usos do solo se diversificam entre área urbana,

atividades agropastoris e industriais. Quanto à cobertura vegetação são encontrados fragmentos de floresta ombrófila densa montana e áreas reflorestadas (SALES, 2015; SILVA et al., 2016).

3.1.2 Definição da amostragem

Foram definidos trinta e cinco pontos para definição da umidade e pH *in loco* e coleta de amostras para análise dos teores de COT e matéria orgânica. O método de amostragem objetivou contemplar a área de estudo, em toda sua extensão de 96 km² e definir uma base vetor em pontos para interpolação dos dados e geração de mapas temáticos. A grade de pontos foi gerada no software ArcGis 10.3, com distância aproximada entre os pontos de 1600 metros (Figura 4). Alguns pontos foram reajustados no sentido de contemplar formas de usos e coberturas de solo distintas em cada setor da bacia.

Figura 4 - Mapa da grade pontos de amostragem.



Fonte: Base *Shapefile* elaborada no software ArcGis 10.3

3.2 Instrumentos imageadores e bandas espectrais

Para o desenvolvimento desta etapa foi utilizado o satélite Landsat 8, lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), EUA, em 11 de Fevereiro de 2013 e é o último de uma série contínua de satélites de sensoriamento remoto, que começaram suas operações em 1972. O objetivo da missão Landsat 8 é de fornecer imagens de alta qualidade de bandas do visível e infravermelho de toda a superfície de Terra e áreas costeiras. A plataforma Landsat 8 opera com dois instrumentos imageadores o *Operational Land Imager* (OLI), com nove bandas espectrais, que recolhe os dados nas regiões de comprimento de ondas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas, bem como uma banda pancromática. Outro instrumento imageador é o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) com duas bandas termais. As características técnicas das onze bandas são apresentadas na Tabela 1. O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) captura as imagens e executa o pré-processamento, arquivamento, geração de produto e funções de distribuição (USGS, 2015).

Tabela 1 - Características técnicas das bandas espectrais do satélite Landsat 8.

Bandas	Comprimento de ondas (micrômetros)	Resolução espacial (metros)	Instrumento imageador
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30	OLI
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30	OLI
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30	OLI
Band 4 – Red	0.64 – 0.67	30	OLI
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30	OLI
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30	OLI
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30	OLI
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15	OLI
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30	OLI
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100	TIRS
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100	TIRS

Fonte: USGS (2015).

O satélite Landsat 8 opera a uma altitude de 705 km, numa órbita sincronizada com o Sol, ou seja, heliosincrônica e ciclo de repetição de 16 dias. Sua órbita é semelhante às séries Landsat 5 e 7 e a resolução radiométrica das imagens é de 16 bits por pixel. A travessia equatorial do satélite ocorre aproximadamente as 10:00 horas e as dimensões das cenas compreendem, aproximadamente, 170 km sentido Norte-Sul e 183 km sentido Leste-Oeste. As imagens disponíveis no acervo datam do segundo semestre de 2013 aos dias atuais. Estes sensores fornecem uma melhor relação sinal-ruído e um melhor desempenho

radiométrico, além de apresentar uma melhor caracterização do estado e condição da cobertura do solo (USGS, 2015).

Foram escolhidos os meses de janeiro e agosto para a análise por serem os meses que apresentaram, respectivamente, a mais alta e a mais baixa média de totais de chuva, no período de 1940 a 2015, de acordo com as séries históricas de precipitação para a área de estudo, de acordo com o Portal do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2015).

Após a definição dos meses de análise, procedeu-se a escolha das datas que apresentaram cenas com baixo percentual de nuvens sobre a área de estudo. Assim, foram escolhidas as cenas datadas de 10/01/2015 (LC82190762015010LGN00) e 22/08/2015 (LC82190762015234LGN00), Rota/Ponto 219/76. Após a reprojeção das bandas para o hemisfério Sul foram geradas as imagens de Ts e as imagens índice.

3.3 Estimativa dos índices de vegetação

Para a estimativa dos índices NDVI, NDWI, SAVI e TVDI foram aplicadas as seguintes equações:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R)}$$

$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})}$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (\rho_{NIR} - \rho_R)}{(L + \rho_{NIR} + \rho_R)}$$

$$TVDI = \frac{Ts - T_{smin}}{a + b \cdot NDVI - T_{smin}}$$

Sendo:

ρ_{NIR} = refletância na faixa do infravermelho próximo;

ρ_R = refletância na faixa do vermelho;

ρ_{SWIR} = refletância na faixa do infravermelho médio;

L = fator de ajuste do solo, valor 0,5.

Ts = temperatura radiativa da superfície do pixel em Kelvin;

Ts min = mínima temperatura de superfície;

$NDVI$ = valor de $NDVI$ do pixel;
 a e b = parâmetros da relação $NDVI$ e T_s .

3.4 Estimativa de temperatura de superfície

Inicialmente os números digitais de cada pixel foram convertidos em unidades de radiância, através da seguinte equação (USGS, 2015):

$$L\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L$$

Sendo:

$L\lambda$ = Radiância espectral do sensor de abertura ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$);

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em níveis de cinza;

A_L = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000.

Em seguida os valores de radiância foram transformados em valores de temperatura na unidade de Kelvin, através da seguinte equação (USGS, 2015):

$$T = K_2 / \ln \left(\frac{K_1}{L\lambda + 1} \right)$$

Sendo:

T = Temperatura em Kelvin;

K_2 = Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K);

K_1 = Constante de calibração 1 = 774.89 (K);

$L\lambda$ = Radiância espectral do sensor de abertura ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$);

Na elaboração dos mapas temáticos de T_s utilizou-se os valores em graus Célsius ($^{\circ}C$). Na conversão de K para $^{\circ}C$ aplicou-se a seguinte equação à imagem ($^{\circ}C = K - 273,15$).

3.5 Geração das matrizes de correlação pixel a pixel

Após a geração dos índices foram definidas classes com intervalos iguais para cada período e os valores dos pixels reclassificados. As imagens índices após serem reclassificadas foram exportadas do software ArcGis 10.3 em formato BMP (bitmap), numa estrutura matricial de 637 linhas e 360 colunas, totalizando 107153 pixels.

Em seguida as imagens foram processadas no software MatLab versão 7.12 onde foram construídas matrizes para os índices NDVI, SAVI e NDWI, correlacionando pixel a pixel, a partir de uma tabulação cruzada. Na estrutura da matriz as linhas representam os valores dos índices do mês de janeiro e as colunas os valores do mês de agosto. Os valores localizados à diagonal principal indicam a quantidade de pixels do índice que permaneceram com o mesmo valor em janeiro e agosto. Os valores que se posicionaram na parte superior da diagonal, são os pixels com aumento no índice, enquanto que os que se posicionaram na parte inferior da diagonal, são os pixels com redução nos valores.

3.6 Coleta de amostras e determinação da Umidade e pH do Solo

As coletas dos dados de umidade e pH ocorreram nos meses de fevereiro e julho do ano de 2016, contemplando os períodos úmido e seco. As coletas foram feitas com o aparelho medidor de umidade e pH (Figura 5-A). Nestas mesmas localizações, no mês de julho de 2016 foram coletadas as amostras de solo para a determinação do carbono orgânico e matéria orgânica. Nas áreas de coleta procedeu-se a limpeza da superfície, para retirada da vegetação e/ou serapilheira e a coleta das amostras de solo foram feitas em uma profundidade de até a 10 cm. As amostras foram coletadas em trinta e cinco pontos distintos (Figura 5-B), contemplando toda a extensão da área de estudo, bem como os múltiplos usos do solo e tipos de cobertura vegetal.

Figura 5 - [A]: aparelho medidor de umidade e pH do solo e [B]: coleta de amostra de solo para análise do carbono orgânico e matéria orgânica.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.7 Determinação do carbono orgânico e matéria orgânica

Para a determinação do carbono orgânico total (COT) no solo, utilizou-se a metodologia proposta pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC, 2009) que se baseia no método de Walkley e Black (1934), por oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

3.7.1 Reagentes e preparo das soluções

1. Solução de dicromato de potássio 1N: foi realizada a secagem do dicromato de potássio $K_2Cr_2O_7$ a $110^\circ C$ em estufa, após a secagem dissolveu-se 49,04g em 1 litro de água destilada;
2. Ácido sulfúrico concentrado (96%);
3. Ácido ortofosfórico concentrado (85%);
4. Solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5N: foi dissolvido 196,07g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ em 800 ml de água destilada. Adicionou-se 20 ml de ácido sulfúrico concentrado e completou o volume a 1 litro em balão volumétrico.
5. Difenilamina 1 %: dissolveu-se 1g do indicador em 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.

3.7.2 Procedimentos de análise

As amostras foram secas ao ar, trituradas em almofariz (Figura 6-A) e peneiradas em malha de 0,2 mm. Foram transferidas 0,5 gramas de amostra para um erlenmeyer de 500 ml (Figura 6-B), e em seguida foram adicionados; 10 ml da solução dicromato de potássio, 20 ml de ácido sulfúrico e posterior agitação do erlenmeyer por 1 minuto para a mistura da amostra com os reagentes, permanecendo em repouso por trinta minutos (Figura 6-C). Em seguida foi adicionado 200 ml de água destilada, 10 ml de ácido ortofosfórico e oito gotas de difenilamina 1%.

Figura 6 - [A]: preparação da amostras; [B]: amostras em erlenmayer peneiradas e pesadas e pesadas e [C]: amostras em repouso com soluções de dicromato, ácido sulfúrico e ácido ortofosfórico.



Fonte: Arquivo pessoal.

Após estes procedimentos iniciou-se a titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5N, até a viragem de azul para verde. Procedeu-se de modo semelhante com o branco e as análises foram realizadas em duplicata (Figura 7).

Figura 7 - Titulação com uso do titulador digital.

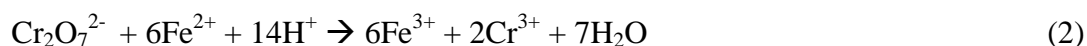


Fonte: Arquivo pessoal.

As equações a seguir apresentam as reações na determinação do COT nas amostras de solo. Na Equação 1 o excesso de dicromato em relação ao que reduziu, equivalente ao carbono orgânico, é titulado com sulfato ferroso amoniacal (SEGNINI, 2007).



Na Equação 2 a quantidade de COT resulta da diferença entre a quantidade de Fe^{2+} utilizada na titulação, e aquela gasta na titulação do dicromato que restou (2Cr^{3+}) após a oxidação do carbono (SEGNINI, 2007).



O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) foi calculado através da multiplicação do resultado do carbono orgânico por 1,724 (fator de Van Bemmelen). Este fator considera que 58% da MOS é formada de carbono orgânico (SEGNINI et al., 2008; CAMARGO et al., 2009; EMBRAPA, 2011), conforme a Equação (3) a seguir:

$$\text{MOS (g/kg}^{-1}\text{)} = \text{COT (g/kg}^{-1}\text{)} \times 1,724 \quad (3)$$

3.8 Espacialização dos dados

Foi utilizado o Inverso do Quadrado da Distância (IQD) para interpolação dos dados de COT, matéria orgânica, pH e umidade do solo. O IQD é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. É um método de análise espacial que produz uma estimativa, ponderando os pesos de cada um dos valores mais próximos, admitindo que quanto mais distantes os pontos observados estiverem dos estimados, menor será sua influência sobre o valor a ser inferido (PELLEGRINO et al., 1998; MELLO et al., 2003; SILVA et al., 2008; VIOLA et al., 2010).

Equação da média móvel ponderada do IQD:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Sendo:

\hat{Z} = valor interpolado;

Z = valor medido no ponto i;

d = distância ao ponto i;

p = expoente de ponderação;

n = número de pontos utilizados no cálculo.

3.9 Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento

Todos os processamentos envolvendo técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, como tratamento das imagens, classificação supervisionada e cálculo dos

índices de vegetação; aplicação dos métodos de interpolação e geração dos mapas temáticos foram realizados no *software* de Sistemas de Informação Geográfica ArcGis versão 10.3.

3.10 Análise estatística

Foram aplicados métodos de estatísticas descritivas nos resultados dos índices de vegetação e dos atributos químicos e físicos dos solos, a partir da dispersão em torno da média, por meio do desvio padrão e do coeficiente de variação. Foram gerados histogramas e gráficos de porcentagem para colaborar com a avaliação das variáveis nos períodos analisados.

3.11 Elaboração do mapa de uso do solo e cobertura vegetal

O mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi elaborado a partir da interpretação visual de imagens do satélite RapidEye, cena 2328105 de novembro de 2013, disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente. Utilizou-se a composição de imagem cor natural RGB – 321 para a identificação das classes e vetorização. Foram definidas as classes: Culturas temporárias, Matas, Pastagens e Campos, Planícies alagadas, Silvicultura, Lagos e Reservatórios e Áreas urbanizadas. Após a classificação da imagem procedeu-se a validação de campo. A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas das imagens utilizadas na classificação.

Tabela 2 – Especificações técnicas das imagens Rapideye.

Característica	Informações
Tamanho da imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude
Passagem pelo Equador	11:00 hs (aproximadamente)
Tipo de sensor	Multiespectral
Bandas espectrais	Banda 1: 440 – 510 μm – Azul Banda 2: 520 – 590 μm – Verde Banda 3: 630 – 685 μm – Vermelho
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espacial (tamanho do pixel)	5 metros
Data de aquisição das imagens	11/11/2013

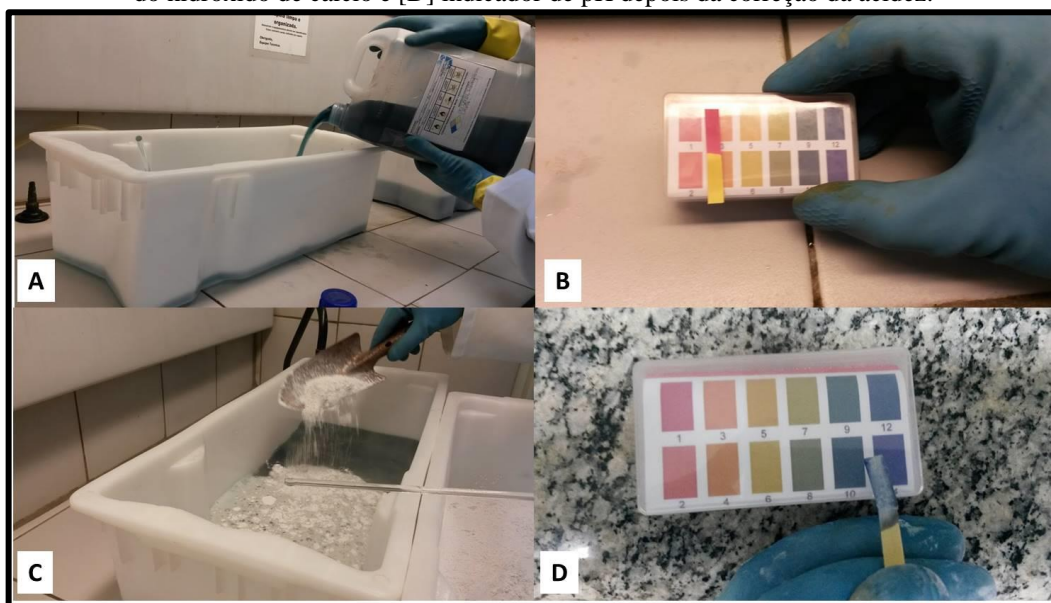
Fonte: Adaptado de RapidEye (2016).

3.12 Tratamento dos resíduos do processo de determinação do COT e MO

Nos procedimentos de titulação das amostras de solo para determinação do carbono orgânico foram utilizados dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), Ácido sulfúrico concentrado (96 %), Ácido ortofosfórico concentrado (85 %) e Solução de sulfato ferroso amoniacal. Esses reagentes produziram resíduos tóxicos e com alta concentração de metais. Em função disso, houve a necessidade de tratar esses resíduos para precipitar os metais e reduzir o volume para destinação final adequada.

Os resíduos foram acondicionados em bandejas para facilitar a evaporação (Figura 8-A). Em seguida foi realizada a determinação do pH utilizando papel indicador (Figura 8-B), como pode ser observado na Figura a solução apresentou acidez extremamente alta, com valores de pH entre 1 e 2. Na sequência foi adicionada cal hidratada (hidróxido de cálcio) à solução (Figura 8-C) e misturado até homogeneizar. Em seguida foi repetido o processo de determinação do pH, onde se percebe o aumento do pH com valores entre 12 e 13 (Figura 8 - D).

Figura 8 - [A] resíduos acondicionados em bandejas; [B] indicador de pH antes da correção da acidez; [C] adição do hidróxido de cálcio e [D] indicador de pH depois da correção da acidez.



Fonte: Acervo do autor.

Depois destes procedimentos, as bandejas com os resíduos ficaram em repouso para evaporação e secagem. Após a secagem, o material precipitado foi armazenado em recipientes adequados, com a devida descrição em rótulo e destinado ao depósito de resíduos do laboratório de química da instituição, para destino final em aterro sanitário.

CAPÍTULO IV

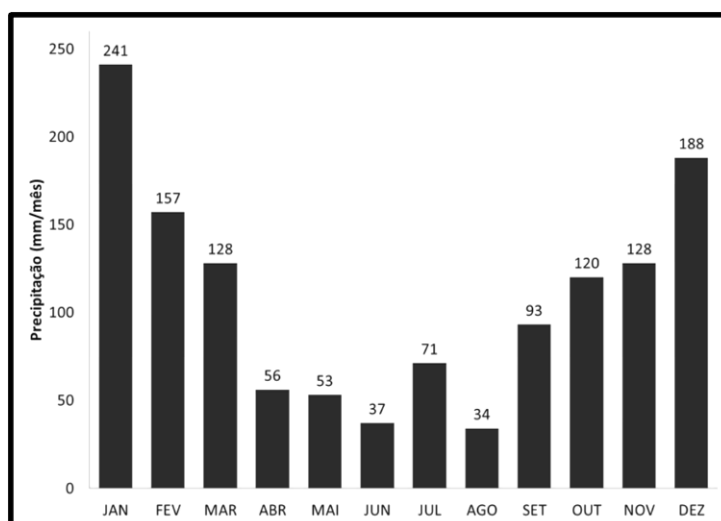
4. ANÁLISE ESPACIAL E SAZONAL DA VEGETAÇÃO POR MEIO DE ÍNDICES E MÉTODOS DE CORRELAÇÃO.

4.1 Caracterização climática

O clima da bacia hidrográfica do rio Una, segundo a classificação de Köppen (1948) é do tipo Cwb, apresentando verão chuvoso e inverno com pouca chuva (SILVA et al., 2016). Apresenta temperaturas máximas com médias entre 21°C e 27°C e mínimas com médias entre 9°C e 17°C (CIIAGRO, 2015).

As médias históricas mensais de precipitação para o município de Ibiúna, referentes ao período de 1984 a 2014 (Figura 9), apresentam pronunciada sazonalidade dos índices de chuva no decorrer do ano. Pode-se perceber que os meses de janeiro, fevereiro e março apresentam médias de totais de chuva acima de 120 mm, seguido de cinco meses (abril, maio, junho, julho e agosto), com redução considerável das precipitações. A partir de setembro, os índices voltam a subir, atingindo 188 mm de média para o mês de dezembro. Com base nesta caracterização, foram definidos os períodos para estimativa dos índices considerando o mês de janeiro e agosto como os períodos ideais para a compreensão da influência da sazonalidade na análise dos índices de vegetação.

Figura 9 - Médias mensais de precipitação de Ibiúna (1984 - 2014).



Fonte: www.ciiagro.sp.gov.br

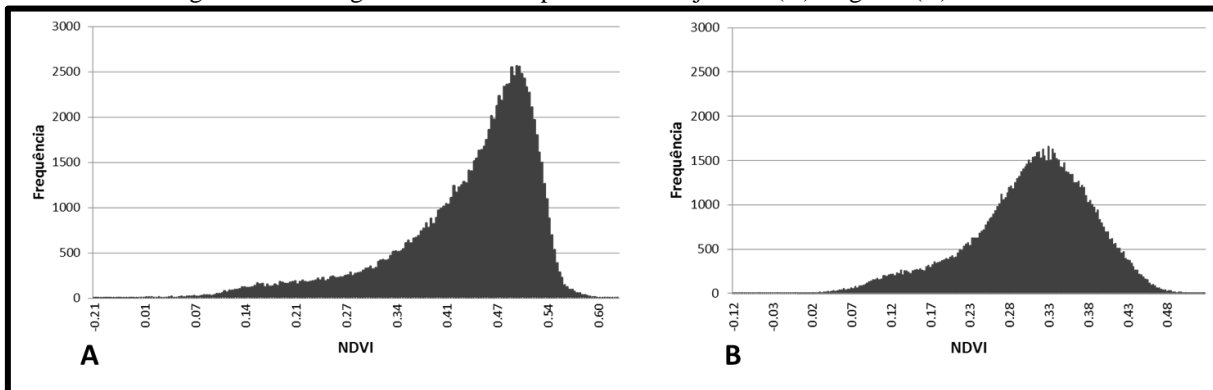
4.2 Avaliação sazonal e espacial do NDVI

Os valores para o NDVI no mês de janeiro variou de -0,21 a 0,63 e, em agosto, o índice variou de -0,12 a 0,54. Nas imagens índices, apresentadas nas Figuras 10-A e 10-B, é possível perceber a diferença na densidade da biomassa vegetativa, entre os meses analisados. A redução nos valores de NDVI no mês de agosto evidencia a influência direta entre a dinâmica sazonal do clima com a resposta espectral da vegetação. Esses resultados também foram observados em inúmeros estudos que utilizaram o NDVI para avaliação da cobertura vegetal (GURGEL; FERREIRA, 2003; LUCAS; SCHULER, 2007; DETSCH et al., 2016; RAFIQUE et al., 2016).

Os estudos de Abdoral e Schuler (2007) e Ávila et al. (2014) aplicados à Mata Atlântica, também identificaram escores elevados de NDVI para fragmentos de floresta ombrófila densa, quando associados ao período úmido, reafirmando que, quanto mais se aumenta a quantidade de água precipitada nestas áreas, maiores são os escores de biomassa ativa na fitoformação florestal. Esses resultados também foram observados para estudos de outros tipos de cobertura vegetal, que utilizaram o NDVI (GURGEL; FERREIRA, 2003; DETSCH et al., 2016; RAFIQUE et al., 2016).

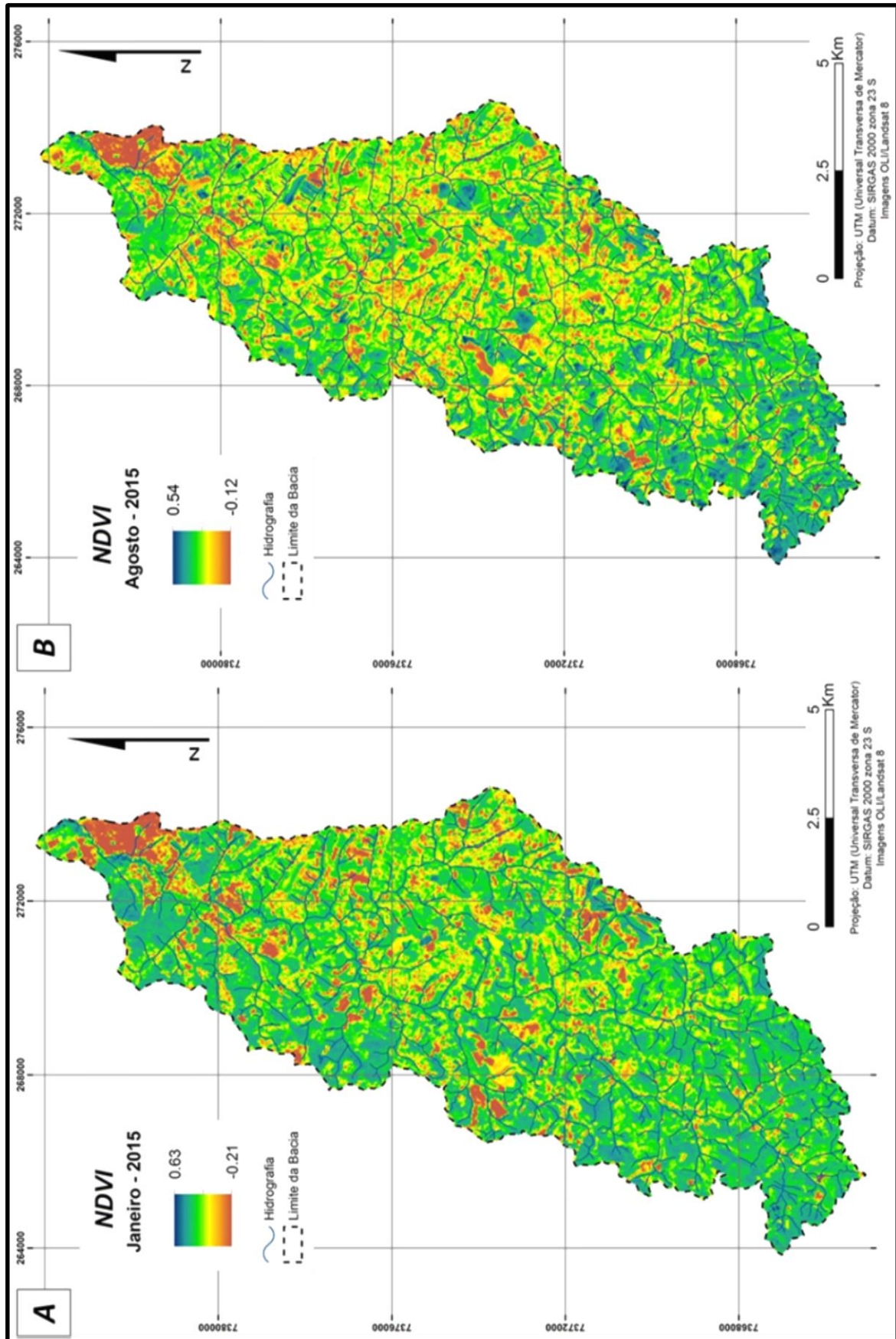
Os histogramas de frequência das imagens índice de NDVI (Figuras 11-A e 11-B) demonstraram distribuição assimétrica negativa nos dois períodos e frequências maiores para o mês de janeiro. Neles é possível perceber que, em janeiro o pico de frequência é mais elevado e se posiciona em escores maiores de NDVI em relação a agosto. Em janeiro o pico de frequência posiciona-se entre 0,49 e 0,50 e em agosto entre 0,31 e 0,33 indicando redução no verdor da vegetação e, conseqüentemente, queda nos valores de NDVI.

Figura 10 - Histogramas do NDVI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - NDVI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8.

Na Tabela 3, são apresentados os valores resultantes da estatística descritiva do NDVI. Pode-se considerar que, em relação ao desvio padrão e ao coeficiente de variação, as amostras apresentaram alta dispersão nos dois períodos, demonstrando que os valores variaram muito em relação às médias. Os dados dos dois meses apresentam características heterogêneas, no entanto, apesar dos valores de desvio padrão estarem muito próximos, o coeficiente de variação indicou maior variação dos dados para agosto. Percebe-se também uma redução nas médias, como reflexo da variação dos valores do índice em relação ao NDVI mínimo e máximo, apresentado na imagem índice.

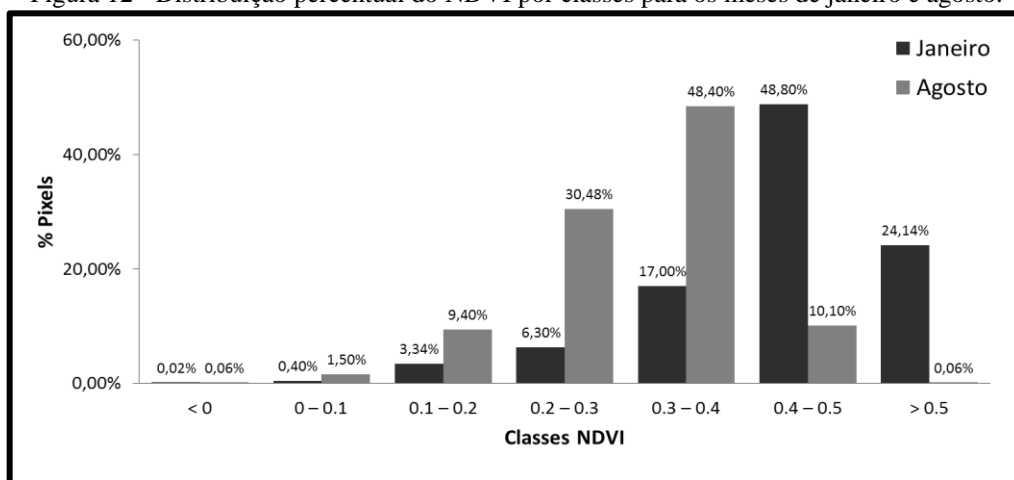
Tabela 3 - Estatísticas descritivas do NDVI

Período	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Janeiro	0,43	0,09	20,93
Agosto	0,31	0,08	25,80

Fonte: Elaborado pelo autor.

A redução do NDVI do período úmido para o seco é perceptível quando se compara a distribuição percentual das classes, como se observa na Figura 12. No mês de janeiro 48,8% dos pixels apresentaram valores no intervalo de classe 0,4 – 0,5 e em agosto, 48,4% dos pixels se posicionaram entre 0,3 – 0,4. Em janeiro 72,94% da área apresentou valores de NDVI acima de 0,4 e, em agosto 89,84% da área apresentou valores abaixo de 0,4.

Figura 12 - Distribuição percentual do NDVI por classes para os meses de janeiro e agosto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 4 apresenta a matriz de correlação pixel a pixel entre as imagens de NDVI de janeiro e agosto, onde podem ser observadas as alterações referentes ao período.

Tabela 4 - Matriz de correlação pixel a pixel entre NDVI janeiro e agosto.

		NDVI agosto						
		< 0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	> 0,5
NDVI janeiro	< 0	23	3	0	0	0	0	0
	0 – 0,1	37	328	41	17	1	0	0
	0,1 – 0,2	8	726	1480	600	609	156	5
	0,2 – 0,3	1	147	2944	2356	1050	229	10
	0,3 – 0,4	0	118	2606	11651	3445	402	12
	0,4 – 0,5	1	238	2530	16387	30488	2621	15
	> 0,5	1	39	472	1652	16253	7422	29

Fonte: Elaborado pelo autor.

No geral, 87,5% dos pixels que apresentaram valores positivos de NDVI no mês de janeiro, registraram decréscimo nos valores do índice no mês de agosto, indicando redução no vigor da cobertura vegetal. Este decréscimo é claramente observado nos valores mais expressivos que estão destacados na matriz, sendo eles 16387, 30488, 16253. Estes totais de pixels compreendem 15,3%, 28,45% e 15,2% do total dos pixels avaliados, respectivamente.

O valor 16387 é o total de pixels que no mês de janeiro apresentou valores de NDVI entre 0,4 – 0,5, que no mês de agosto tiveram seus valores reduzidos para o intervalo 0,2 – 0,3. O total de pixels 30.488 apresentou NDVI na classe 0,4 – 0,5 em janeiro e, em agosto, registraram valores na classe 0,3 – 0,4. O total de pixels 16253 saiu de valores superiores a 0,5 de NDVI em janeiro para o intervalo de 0,3 – 0,4 em agosto.

Foi observado que 2,9% do total dos pixels apresentaram aumento no índice, indicando acréscimo no vigor da vegetação, mesmo em condições de estiagem. Quanto ao total de pixels que permaneceram no mesmo intervalo de classe, ou seja, sem alteração nos valores de NDVI do período chuvoso para o seco, representaram 9,6% dos pixels da imagem índice.

Na imagem índice as áreas que não sofreram alteração no índice ou que apresentaram melhores condições em vigor vegetativo no período de estiagem coincidem, predominantemente, com as áreas de ocorrências de culturas temporárias, onde ocorrem práticas de irrigação por aspersão.

A Tabela 5 apresenta os resultados comparativos da metodologia de correlação pixel a pixel, para identificação das mudanças sazonais na vegetação, tanto para as imagens índice, quanto para os resultados das matrizes de correlação.

Tabela 5 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação pixel a pixel do NDVI.

CLASSES	NDVI (JANEIRO)			NDVI (AGOSTO)			MATRIZ DE CORRELAÇÃO PIXEL A PIXEL								
	Nº de Pixels	Área Km ²	Área (%)	Nº de Pixel	Área Km ²	Área (%)	PIXELS COM REDUÇÃO NOS VALORES			PIXELS SEM ALTERAÇÃO NOS VALORES			PIXELS COM ACRÉSCIMO NOS VALORES		
							Nº de Pixels	Área Km ²	Área (%)	Nº de Pixels	Área Km ²	Área (%)	Nº de Pixels	Área Km ²	Área (%)
< 0	26	0,02	0,02	71	0,06	0,06	48	0,04	0,04	23	0,02	0,02	-	-	-
0 – 0,1	424	0,38	0,39	1599	1,44	1,49	1268	1,14	1,18	328	0,30	0,31	3	0,003	0,003
0,1 – 0,2	3584	3,22	3,34	10073	9,06	9,40	8552	7,70	7,98	1480	1,33	1,38	41	0,04	0,04
0,2 – 0,3	6737	6,06	6,29	32663	29,39	30,48	29690	26,70	27,72	2356	2,12	2,20	617	0,56	0,58
0,3 – 0,4	18234	16,41	17,02	51846	46,65	48,41	46741	42,04	43,64	3445	3,10	3,22	1660	1,49	1,55
0,4 – 0,5	52280	47,04	48,80	10830	9,74	10,10	7422	6,68	6,93	2621	2,36	2,45	787	0,71	0,73
> 0,5	25868	23,27	24,14	71	0,06	0,06	-	-	-	29	0,03	0,03	42	0,04	0,04
TOTAL	107153	96,40	100	107153	96,40	100	93721	84,30	87,49	10282	9,26	9,61	3150	2,84	2,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da Tabela 5 permitem visualizar o quantitativo de pixels por classe, para cada período, a área em quilômetros quadrados para cada classe, bem como o percentual em relação à quantidade de pixels que alteraram seus valores para mais ou para menos ou que permaneceram sem alteração no NDVI.

Foi identificado que o intervalo 0,3 – 0,4 no mês de agosto apresentou a maior quantidade de pixels, totalizando 51846, este total representa 48,41% da área. A coluna dos pixels com redução nos valores representa o quantitativo de pixels que migraram para classes inferiores de janeiro para agosto. Nesta faixa, o intervalo 0,3 – 0,4 de NDVI apresentaram as maiores ocorrências (46741 pixels), representando 43,64% da área, indicando a redução no índice e a realocação dos pixels em classes inferiores, quando comparado a janeiro.

Quando observadas as colunas de quantidade de pixels sem alteração e com acréscimos nos valores, o intervalo 0,3 – 0,4 apresentaram as maiores ocorrências. Estes resultados evidenciam que em função do índice ser gerado pela combinação de bandas espectrais, com comprimentos de ondas de absorção e refletância que mensuram a densidade da vegetação, pode-se considerar que os intervalos que sofrem as maiores alterações estão relacionados com a cobertura vegetal (AHAMED et al., 2011; JAMALI et al., 2014; JOHANSEN; TOMMERVIK, 2014).

Ainda no sentido de testar os resultados da quantificação pixel a pixel para o NDVI, a partir dos resultados da Tabela 5, foi verificado que a soma dos totais de pixels com redução, sem alteração e com acréscimo nos valores, para cada intervalo de classe no mês de agosto, coincide com o total de pixels apresentados para o índice no mês de janeiro. Esses resultados mostraram-se suficientes na efetivação da metodologia proposta durante a avaliação do NDVI.

4.2.1 NDVI e relação com uso do solo e cobertura vegetal

Estudos utilizando imagens do satélite Landsat para cálculo do NDVI apresentaram valores entre 0,1 e 0,5 para pastagens e áreas agrícolas de curto período e valores superiores a 0,5 foram encontrados para matas nativas e silvicultura com alta densidade da vegetação (DELBART et al., 2006; SOBRINO; JULIEN; MORALES, 2006; DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011).

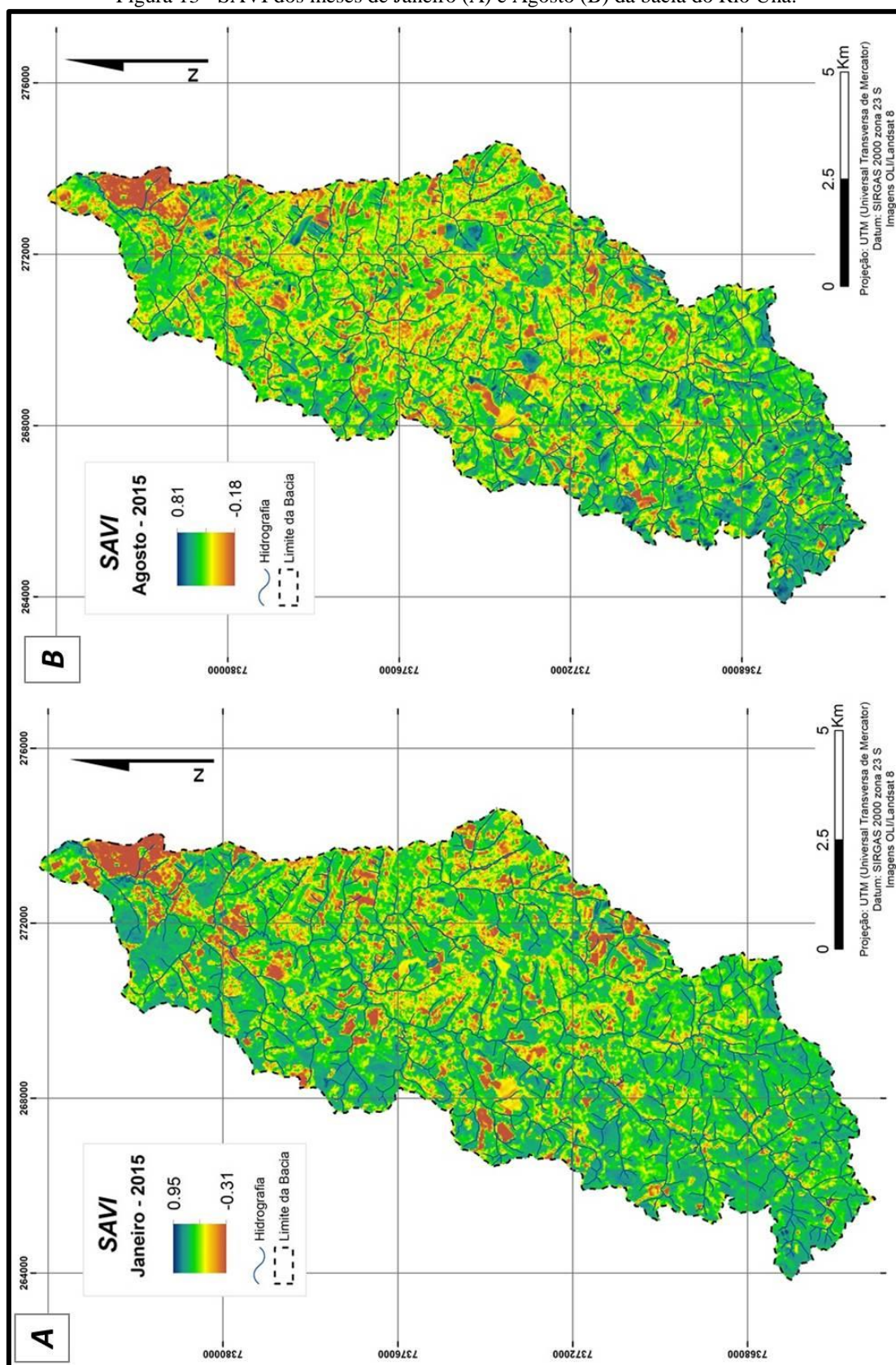
Para a bacia do Rio Una as áreas de pastagem, campos e culturas temporárias registraram NDVI entre 0,1 e 0,45 no período úmido e 0,1 e 0,34 no período seco. No entanto, cabe ressaltar que algumas áreas identificadas como agrícolas, apresentaram valores de NDVI menores que 0,1 nos dois períodos, possivelmente indicando solos sendo preparados para o cultivo. Os valores de NDVI superiores a 0,45 em janeiro e 0,34 em agosto indicaram áreas com vegetação mais adensada, como matas e áreas de reflorestamento.

4.3 Avaliação sazonal e espacial do SAVI

O SAVI apresentou valores maiores em relação ao NDVI, justificado pelo fator de ajuste de solo incorporado no cálculo do índice. Os valores do SAVI variaram de -0,31 a 0,95 para o mês de janeiro e -0,18 e 0,80 para o mês de agosto. Estes resultados são perceptíveis à análise visual das imagens índices, que apresentam variações importantes entre os períodos analisados (Figuras 13-A e 13-B).

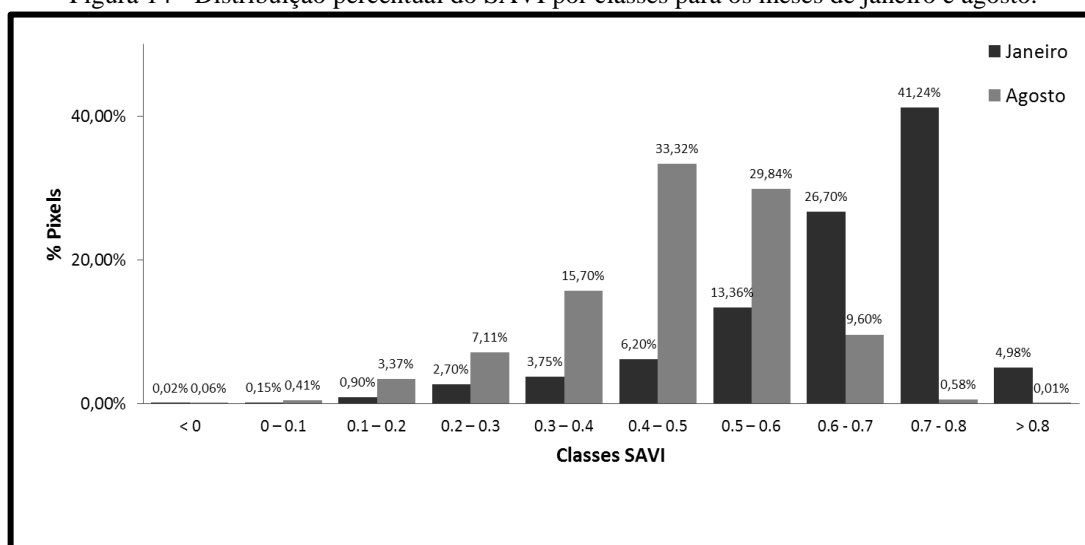
A distribuição percentual do SAVI (Figura 14) mostra que no mês de janeiro as classes com as maiores ocorrências estão nos intervalos 0,6 – 0,7 e 0,7 – 0,8, englobando 26,7% e 41,24% da área da bacia, respectivamente. No mês de agosto predominaram as classes 0,4 – 0,5 e 0,5 – 0,6. A tendência das classes mais baixas mostrarem-se superiores no quantitativo de pixels em agosto, também confirma a queda da densidade vegetativa em períodos mais secos e ratifica a influência da precipitação na qualidade vegetacional, assim como já observado no NDVI.

Figura 13 - SAVI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8.

Figura 14 - Distribuição percentual do SAVI por classes para os meses de janeiro e agosto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação do SAVI demonstram que os dados apresentam alta dispersão dos valores em relação à média, para os dois períodos, sendo maior a dispersão para o mês de agosto. Observa-se também uma variação significativa das médias, nos dois períodos, com decréscimo no mês de agosto (Tabela 6).

Tabela 6 - Estatísticas descritivas do SAVI

Período	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Janeiro	0,65	0,14	21,53
Agosto	0,46	0,12	26,08

Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz de correlação pixel a pixel dos valores de SAVI, apresentada na Tabela 7, evidencia que 92% dos pixels apresentaram redução nos valores do índice de janeiro para agosto. Somente 4,7% permaneceram sem alteração e, em 3,3% dos pixels, houve acréscimos no vigor vegetativo do período úmido para o seco. Esse percentual de acréscimo, embora reduzido, pode representar áreas de culturas temporárias irrigadas, que independente do período, apresenta alta produção fotossintética e alto vigor vegetativo.

Tabela 7 - Matriz de correlação pixel a pixel entre SAVI janeiro e agosto.

		SAVI Agosto									
		< 0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8	> 0,8
SAVI janeiro	< 0	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 – 0,1	27	100	33	2	6	1	0	0	0	0
	0,1 – 0,2	17	191	485	71	39	85	52	25	6	0
	0,2 – 0,3	1	51	1011	631	306	437	301	111	19	0
	0,3 – 0,4	1	16	513	1605	776	577	375	126	29	1
	0,4 – 0,5	0	4	231	1618	2975	1136	474	169	26	1
	0,5 – 0,6	0	13	388	1427	5716	5468	1009	264	37	0
	0,6 – 0,7	1	47	639	1487	4990	14864	5889	655	46	1
	0,7 – 0,8	0	15	214	654	1825	12738	21906	6619	223	0
	>0,8	1	1	97	125	191	402	1975	2324	214	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os totais de pixels que apresentaram redução nos valores do SAVI, os valores destacados na Tabela 7, são as maiores ocorrências. O valor 21906 corresponde ao total de pixels que em janeiro apresentou valores de SAVI entre o intervalo de classe 0,7 – 0,8 e em agosto registrou valores entre 0,5 e 0,6. O total de pixels 14864, com valores entre 0,6 e 0,7 de SAVI em janeiro, apresentou valores entre 0,4 – 0,5 na imagem índice de agosto. O valor 12738 que registrou valores de SAVI entre 0,7 – 0,8 no mês de janeiro, apresentou redução nos valores em agosto, se posicionando entre 0,4 – 0,5.

Estas condições de perda no vigor da vegetação, registradas a partir do SAVI, são significativas e sugerem a necessidade de investigar a especificidade da vegetação, a fim de identificar as espécies ocorrentes, sua fisiologia vegetativa e a relação diferenciada com a queda da precipitação.

Na Tabela 8 apresenta-se a descrição quantitativa pixel a pixel do SAVI, revelando que o intervalo 0,7 – 0,8 do SAVI foi o que apresentou a maior redução em número de pixels de janeiro para agosto, passando de 44195 para 600. No mês de agosto, a classe 0,4 – 0,5 registrou o maior aumento, passando de 6634 para 35708 pixels e certamente recebeu os pixels oriundos das classes 0,7 – 0,8. Ainda neste mês, 88,58% da área apresentou redução nos valores do SAVI, sendo a maior parte dos pixels correspondentes a valores entre 0,3 e 0,6.

Tabela 8 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação pixel a pixel do SAVI.

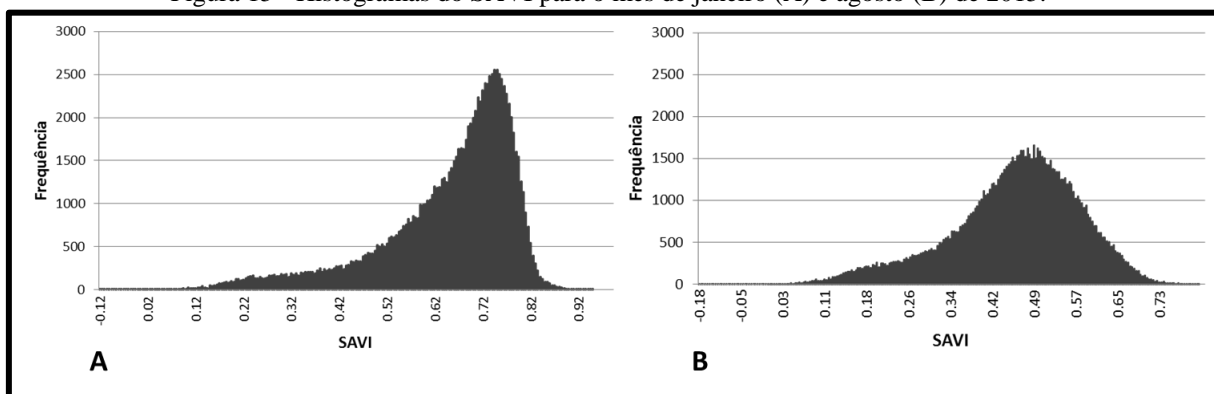
CLASSES	SAVI (JANEIRO)			SAVI (AGOSTO)			MATRIZ DE CORRELAÇÃO PIXEL A PIXEL								
							PIXELS COM REDUÇÃO NOS VALORES			PIXELS SEM ALTERAÇÃO NOS VALORES			PIXELS COM ACRÉSCIMO NOS VALORES		
	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixel	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área
< 0	26	0,02	0,02	71	0,06	0,06	48	0,04	0,04	23	0,02	0,02	-	-	-
0 – 0,1	169	0,15	0,16	441	0,39	0,40	338	0,30	0,32	100	0,09	0,09	3	0,003	0,003
0,1 – 0,2	971	0,87	0,90	3611	3,24	3,36	3093	2,78	2,89	485	0,44	0,45	33	0,03	0,03
0,2 – 0,3	2868	2,58	2,68	7620	6,85	7,11	6916	6,22	6,46	631	0,57	0,59	73	0,07	0,07
0,3 – 0,4	4019	3,61	3,75	16824	15,14	15,71	15697	14,13	14,65	776	0,70	0,72	351	0,32	0,33
0,4 – 0,5	6634	5,97	6,19	35708	32,13	33,33	33472	30,10	31,23	1136	1,02	1,06	1100	0,99	1,03
0,5 – 0,6	14322	12,88	13,36	31981	28,78	29,86	29770	26,77	27,78	1009	0,91	0,94	1202	1,08	1,12
0,6 – 0,7	28619	25,75	26,71	10293	9,26	9,61	8943	8,05	8,35	655	0,59	0,61	695	0,63	0,65
0,7 – 0,8	44194	39,77	41,26	600	0,54	0,56	214	0,19	0,20	223	0,20	0,21	163	0,15	0,15
> 0,8	5331	4,79	4,97	4	0,003	0,003	-	-	-	1	0,001	0,001	3	0,003	0,003
TOTAL	107153	96,4	100	107153	96,4	100	98491	88,58	91,92	5039	4,54	4,69	3623	3,28	3,39

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pixels que permaneceram sem alteração no período, totalizaram 5039, representando percentualmente 4,69% da área e predominaram os valores entre 0,4 e 0,6. Os pixels que apresentaram acréscimos em seus valores somaram 3623 pixels, respondendo por 3,39% da área e predominando também o intervalo entre 0,3 e 0,6 no SAVI.

Os histogramas de frequência das imagens índice do SAVI (Figuras 15-A e 15-B), assim como os do NDVI, apresentaram distribuição assimétrica negativa, nos dois períodos, e frequências maiores para o mês de janeiro. O pico de frequência mais acentuado no mês de janeiro evidencia maiores ocorrências, numa faixa de valores mais elevados do SAVI quando comparamos com o histograma de agosto. Em janeiro o pico de frequência posiciona-se em torno do valor 0,72 e, em agosto, em torno de 0,50, indicando redução no verdor da vegetação.

Figura 15 - Histogramas do SAVI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 SAVI e relação com uso do solo e cobertura vegetal

Em um estudo aplicado no Estado de São Paulo, utilizando imagens Landsat 5, Demarchi, Piroli e Zimback (2011) fizeram algumas relações propondo que solos expostos estariam em valores de SAVI menores que 0,2; pastagens e áreas agrícolas de curto período entre 0,2 e 0,4; culturas perenes entre 0,4 e 0,6 e valores superiores a 0,6, matas nativas com maior densidade de cobertura vegetal. Silva, Melo e Galvínio, (2011) classificaram como vegetação rala ou esparsa valores de SAVI em torno de 0,35; vegetação esparsa a densa em torno de 0,44 e vegetação densa 0,78.

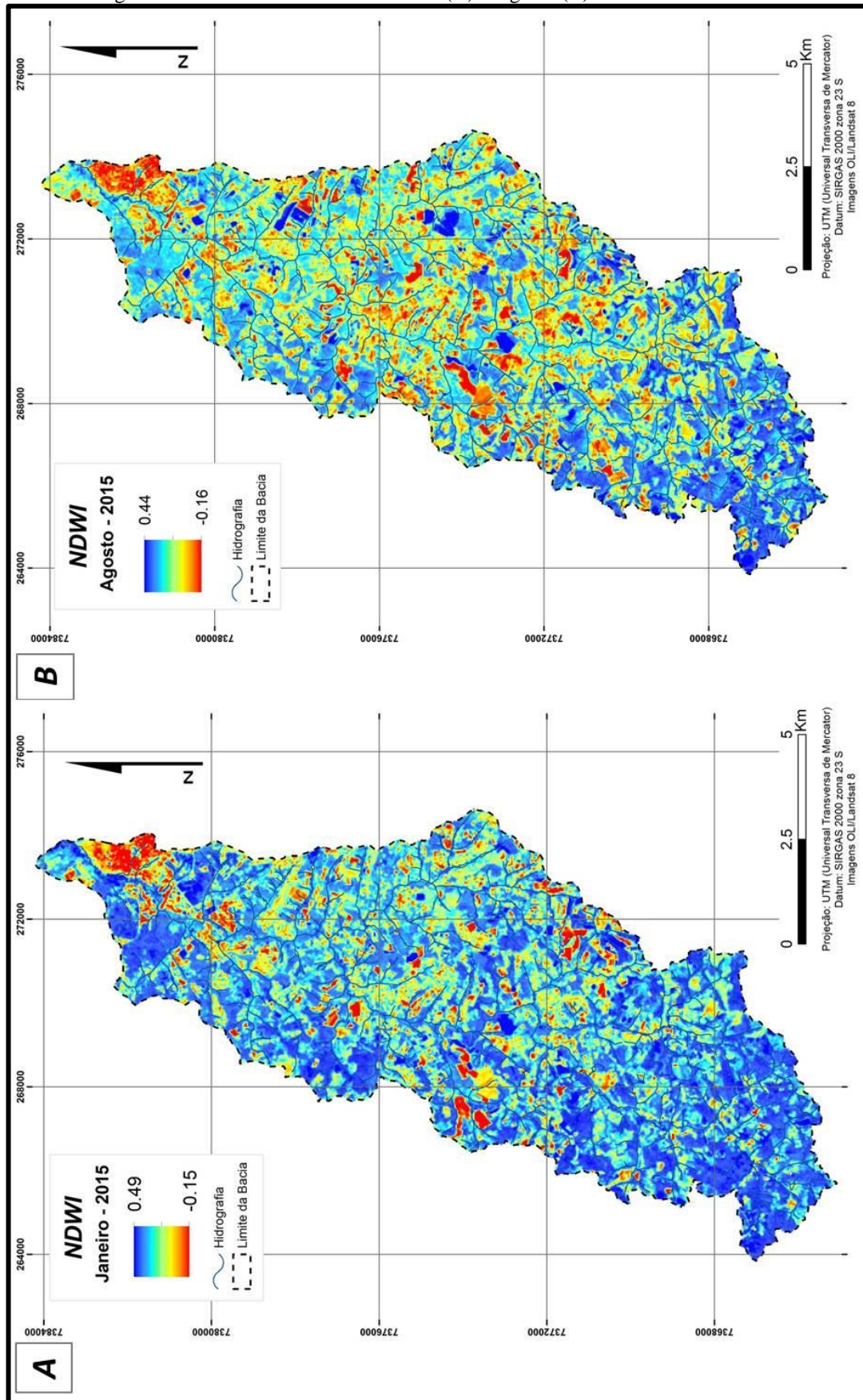
Os resultados do SAVI para a bacia do Una indicaram que campos, pastagens e lavouras temporárias registraram valores entre 0,30 e 0,70 no período úmido e entre 0,2 e 0,42 no período de estiagem. As áreas de matas e reflorestamento registraram valores de SAVI superiores a 0,70 no período úmido e no período seco, estas mesmas classes, registraram valores mínimos em torno de 0,43.

4.4 Avaliação sazonal e espacial do NDWI

Os valores de NDWI variaram entre -0,15 e 0,49 no mês de janeiro e entre -0,16 e 0,44 no mês de agosto. As Figuras 16-A e 16-B apresentam o comportamento espacial do conteúdo de água na vegetação a partir dos mapas índices. Como os demais índices analisados, o NDWI também evidenciou influência da sazonalidade climática no vigor e na estrutura da vegetação.

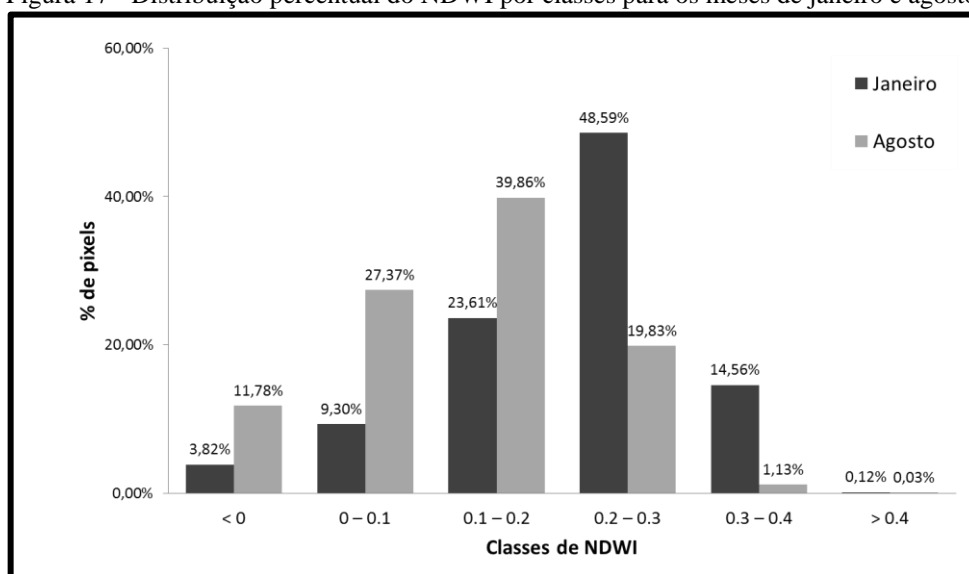
A distribuição percentual do NDWI (Figura 17) mostra que mais de 60% do território da área da bacia, no mês de janeiro, apresentaram valores de umidade na vegetação superiores a 0,2. Em agosto, aproximadamente 80% da área apresentaram valores inferiores a 0,2, evidenciando a perda de água em função da queda dos totais de chuva para o período.

Figura 16 - NDWI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8.

Figura 17 - Distribuição percentual do NDWI por classes para os meses de janeiro e agosto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de desvio padrão foram similares para os dois períodos e os coeficientes de variação apresentaram valores altos, demonstrando alta variabilidade nos dados. Ainda em relação à estatística descritiva, os resultados do NDWI apresenta alta dispersão dos valores em relação à média para os dois períodos, sendo que para o mês de agosto a dispersão mostrou-se extremamente elevada (75%). As médias apresentaram redução de janeiro para agosto, assim como nos demais índices, evidenciando a queda nos valores e frequências do período úmido para o seco (Tabela 9).

Tabela 9 - Estatísticas descritivas do NDWI

Período	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Janeiro	0,21	0,09	42,85
Agosto	0,12	0,09	75

Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz com os resultados da correlação entre as duas imagens índices de NDWI pode ser observada na Tabela 10. Os resultados indicam que 21% dos pixels analisados, permaneceram com o mesmo valor do NDWI de janeiro para agosto, ou seja, não apresentaram alterações nos índices de água presentes na folhagem. No entanto, 74,87% dos pixels registraram redução nos valores do índice, indicando perda de água na vegetação, do período úmido para o seco e, mesmo em condições de estiagem, 4,13% dos pixels registraram aumento nos valores do índice. Do mesmo modo que ocorreu nas imagens índice do NDVI e SAVI, na imagem índice de NDWI as áreas que permaneceram com o mesmo valor ou que registraram acréscimos em umidade, ocorreram em culturas temporárias.

Tabela 10 - Matriz de correlação entre NDWI janeiro e agosto.

		NDWI agosto					
		< 0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	> 0,4
NDWI janeiro	< 0	2325	880	520	268	99	4
	0 – 0,1	3982	4468	965	419	122	4
	0,1 – 0,2	3803	14557	5896	741	304	3
	0,2 – 0,3	2084	8792	31930	9165	87	5
	0,3 – 0,4	363	596	3397	10651	588	11
	> 0,4	61	31	13	3	16	0

Na matriz de correlação pixel a pixel, destaca-se o valor 31930, que é o mais expressivo dentre os intervalos de classe que registraram perda em conteúdo de água. Este total de pixels apresentaram valores de NDWI entre 0,2 – 0,3 para o mês úmido e no mês seco registraram valores no intervalo de classe 0,1 – 0,2. Dentre o total de pixels que apresentaram o mesmo valor nos dois períodos, destaca-se o valor 9165, que registrou valores entre 0,2 – 0,3 de NDWI, tanto em janeiro quanto em agosto. O intervalo de classe entre 0,1 – 0,2 foi o que apresentou o maior número de pixels com aumento no conteúdo de água, totalizando 965 pixels.

Os intervalos 0,2 – 0,3 e 0,3 – 0,4 registraram as maiores perdas de janeiro para agosto em número de pixels, somando 45206. Estes pixels foram reposicionados nas classes com valores inferiores, assim como observado na descrição quantitativa pixel a pixel do NDWI, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Descrição quantitativa da imagem índice e da matriz de correlação do NDWI.

CLASSES	NDWI (JANEIRO)			NDWI (AGOSTO)			PIXELS COM REDUÇÃO NOS VALORES			PIXELS SEM ALTERAÇÃO NOS VALORES			PIXELS COM ACRÉSCIMO NOS VALORES		
	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixel	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área	Nº de Pixels	Área Km²	% Área
< 0	4096	3,69	3,82	12618	11,36	11,78	10293	9,26	9,61	2325	2,09	2,17	-	-	-
0 – 0,1	9960	8,96	9,29	29324	26,38	27,37	23976	21,56	22,37	4468	4,02	4,17	880	0,79	0,82
0,1 – 0,2	25304	22,76	23,61	42721	38,43	39,86	35340	31,79	32,98	5896	5,31	5,50	1485	1,34	1,39
0,2 – 0,3	52063	46,83	48,60	21247	19,12	19,83	10654	9,58	9,94	9165	8,25	8,56	1428	1,29	1,33
0,3 – 0,4	15606	14,05	14,56	1216	1,09	1,13	16	0,01	0,01	588	0,53	0,55	612	0,55	0,57
> 0,4	124	0,11	0,12	27	0,02	0,03	-	-	-	0	0,00	0,00	27	0,02	0,03
TOTAL	107153	96,40	100	107153	96,40	100	80279	72,21	74,91	22442	20,20	20,95	4432	3,99	4,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da Tabela 11 mostram que 74,91% da área (80279 pixels) registraram redução nos valores de NDWI entre janeiro e agosto, e as classes 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 foram as que receberam o maior número de pixels em função da redução de valores em outras classes. Mesmo em condições de estiagem, 4432 pixels apresentaram aumento nos valores de umidade, este total de pixels representam 4,14% da área e a maior parte destes

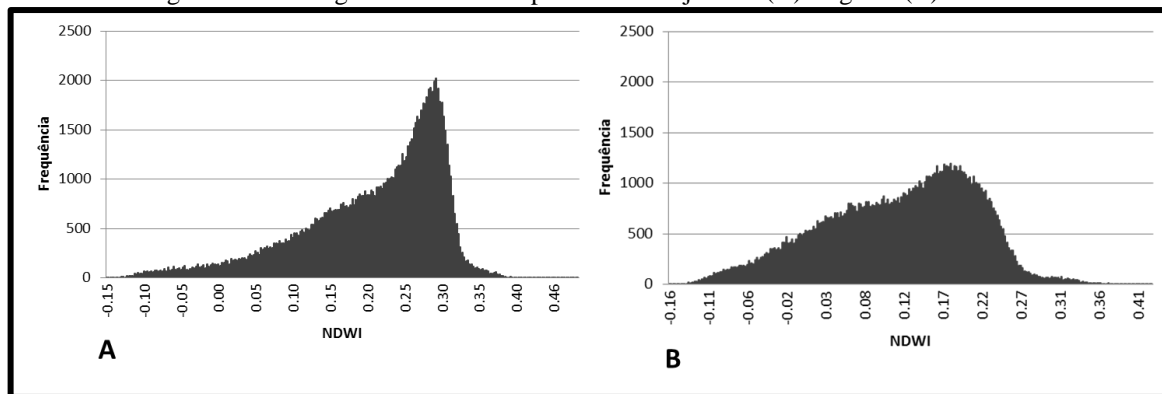
apresentaram valores de NDWI entre 0,1 – 0,3. Os pixels que não sofreram alteração somaram 22442 pixels, compreendendo 20,95% da área.

Assim, como no caso do NDVI e SAVI, a correlação pixel a pixel apresentou resultados consistentes quando somados os totais de pixels que sofreram alteração ou que permaneceram sem alteração, coincidindo com os totais observados nas imagens índices do NDWI.

Na imagem índice as áreas que não sofreram alteração no índice ou que apresentaram melhores condições em vigor vegetativo no período de estiagem coincidem, predominantemente, com as áreas de ocorrências de culturas temporárias, onde ocorrem práticas de irrigação por aspersão.

Os histogramas de frequência das imagens índice de NDWI (Figuras 18-A e 18-B), do mesmo modo que o NDVI e o SAVI apresentaram características de distribuição assimétrica negativa nos dois períodos. Observa-se um pico de frequência acentuado para o mês de janeiro com valores em torno de 0,27 e em agosto o pico de frequência posiciona-se em torno dos valores 0,19 e 0,20.

Figura 18 - Histogramas do NDWI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 NDWI e relação com uso do solo e cobertura vegetal

Os resultados do NDWI para a bacia do Una indicaram que valores inferiores a 0,32 indicaram áreas com vegetação esparsa e/ou menos densa, natural ou antrópica como campos, pastagens e áreas agrícolas. Os valores superiores 0,32 ocorreram em áreas de matas nativas com vegetação mais densa. As áreas construídas e solos expostos apresentaram valores negativos, pois como não ocorre vegetação o cálculo do NDWI não resulta em valores positivos.

Oliveira et al. (2010) identificaram valores negativos de NDWI em áreas com alto grau de intervenção antrópica e valores acima de 0,30 para vegetação arbustiva arbórea fechada e áreas de cultura irrigada. Silva, Melo e Galvíncio, (2011) consideraram valores de NDWI em torno de 0,07 vegetação com baixo teor de água; valores em torno de 0,26 vegetação com moderado teor de água e em torno de 0,64 vegetação com alto teor de água. Em um estudo aplicado no Estado de Pernambuco, Oliveira (2013) considerou valores de 0,20 e 0,30 pastagem, vegetação rasteira e gramíneas; o intervalo de 0,30 e 0,40, vegetação esparsa e valores superiores a 0,40, vegetação mais densa.

CAPITULO V

5. AVALIAÇÃO DO pH e DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS SOB DIFERENTES USOS E COBERTURA DO SOLO.

5.1 Uso do solo e cobertura vegetal.

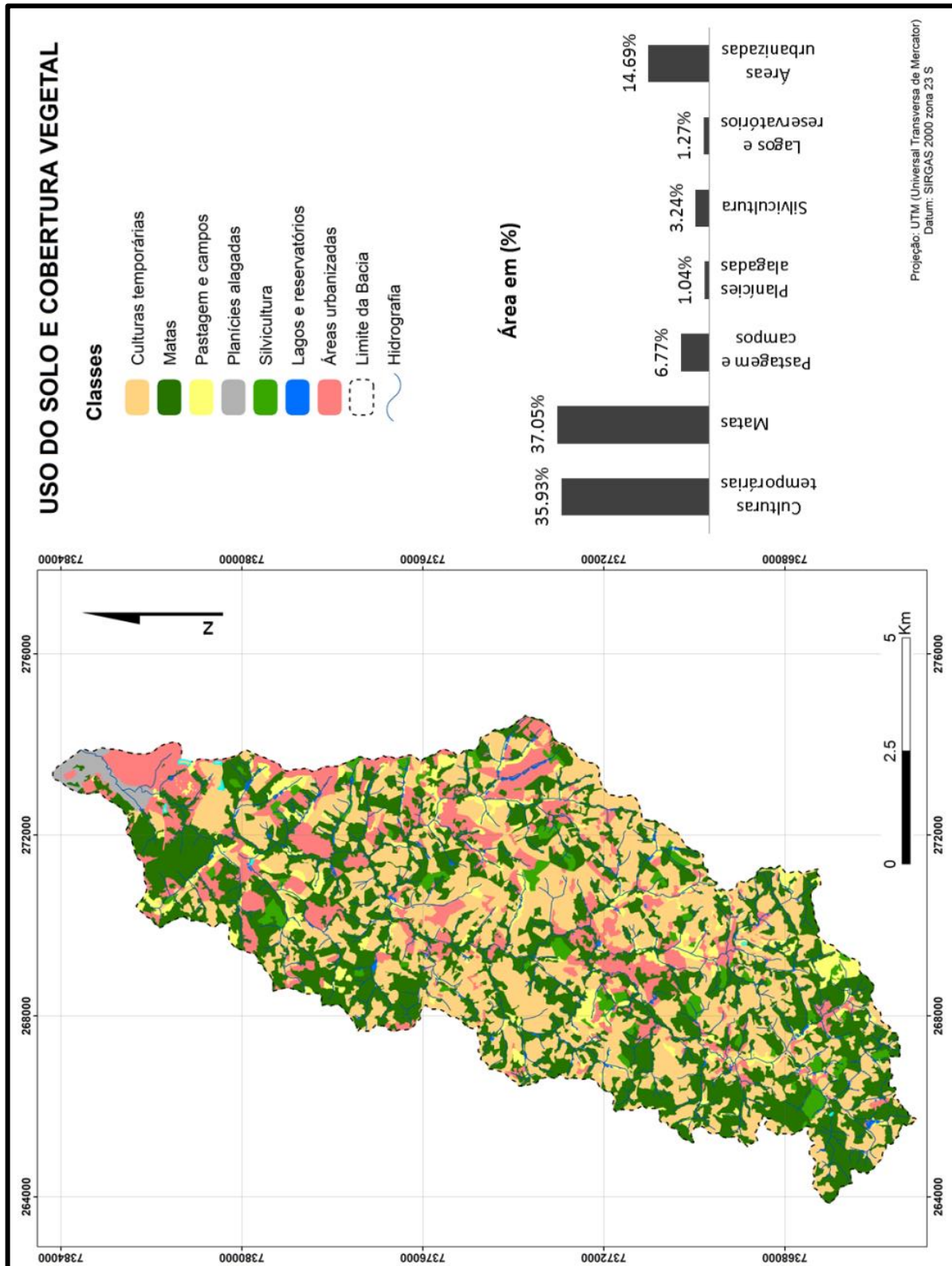
A bacia do Rio Una possui uma paisagem heterogênea resultado do processo substituição da vegetação natural por atividades agrícolas, expansão urbana, introdução de pastagem e silvicultura (Figura 19). As matas e as culturas temporárias definem o padrão espacial da paisagem na bacia, ocupando respectivamente 37,05% e 35,93% da área e perfazendo 7035 ha (Figura 19).

As áreas de campos e pastagens (Figura 20-A) representam 6,77% da área da bacia, ocupando 653 ha. As pastagens são áreas destinadas à agropecuária extensiva e os campos áreas de cultivo abandonadas ou pastos degradados. Segundo Costa et al. (2009) nos pastos degradados ocorrem baixa produção de forragem, elevada presença de plantas invasoras e de solo descoberto.

A silvicultura é representada pelo cultivo das espécies *Eucalyptus spp* e *Pinus spp*. (Figura 20-B) (VIDAL, et al., 2007; ROSA, et al., 2014). As matas identificadas na bacia são fragmentos florestais de Floresta Ombrófila Densa Montana, em diferentes estádios de regeneração (Figura 20-D) (VIDAL, et al., 2007; IBGE, 2012; ROSA, et al., 2014).

As planícies alagadas (Figura 20-C), identificadas na foz da bacia, são áreas inundáveis no período das cheias, com lençol freático próximo a superfície e onde se desenvolvem gramíneas e vegetação hidrófita, típicas de solos encharcados. Os lagos e reservatórios (1,27%) ocupam 120 ha de área e são destinados à irrigação, dessedentação de animais e atividades de lazer.

Figura 19 - Mapa de uso e cobertura do solo e gráfico com percentual de área por classe.



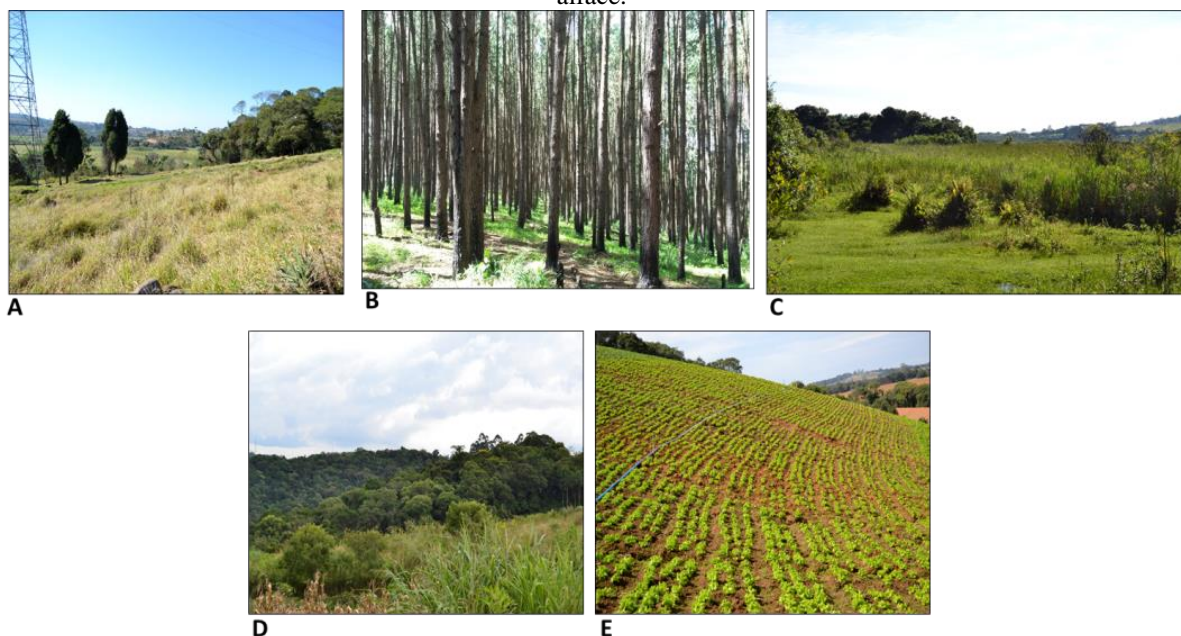
Fonte: Imagens RapidEye.

As culturas temporárias são cultivos de curta a média duração, com ciclo vegetativo inferior a um ano (IBGE, 2013). Na Bacia do Rio Una predomina o tipo

convencional de manejo do solo, onde o preparo se dá por arado de discos e dentre as culturas desenvolvidas, destaca-se o cultivo de hortaliças (Figura 20-E).

As áreas urbanizadas que ocupam 14,69% da bacia são representadas pela sede do município de Ibiúna e núcleos urbanos diversos, identificados em toda extensão da área. As áreas construídas ocupam 1416 ha e estão localizados, predominantemente, nos médio e baixo cursos da bacia (Figura 19).

Figura 20 - [A] pastagem, [B] plantação de Pinus, [C] Planície alagada, [D] Fragmento florestal e [E] cultivo de alface.



Fonte: Arquivo pessoal.

5.2 Caracterização pedológica.

Estudos de caracterização pedológica desenvolvidos na Bacia do Rio Una e no município de Ibiúna, apresentaram as classes Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos como predominantes. Os Argissolos foram definidos como distróficos, com horizonte A moderado, textura média/argilosa e argilosa, ocorrendo em relevos ondulado e forte ondulado. Os Latossolos também são caracterizados como distróficos, possuem horizonte A moderado, textura argilosa e ocorrem em relevos planos e suave ondulado a ondulado (OLIVEIRA et al., 1999; ANDREOTI, 2012; SANTOS, 2012).

Guerra e Botelho (2003), Embrapa (2006), IBGE (2015) e Embrapa (2014) em uma caracterização mais ampla acerca dos aspectos físicos, químicos e mineralógicos dos Argissolos e Latossolos brasileiros, definem os Argissolos como solos minerais, com

horizonte B textural (Bt) de cores avermelhadas, são caracterizados por acumulação de argila com baixa permeabilidade, possuem estrutura em blocos angulares e subangulares e ocupam, geralmente, a porção inferior das encostas. Os Latossolos, também são definidos como solos minerais, possuem baixa capacidade de troca catiônica, maior concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, são mais profundos e altamente intemperizados. Apresentam horizonte B latossólico (Bw) e estrutura comumente granular, de cores vivas e de boa agregação.

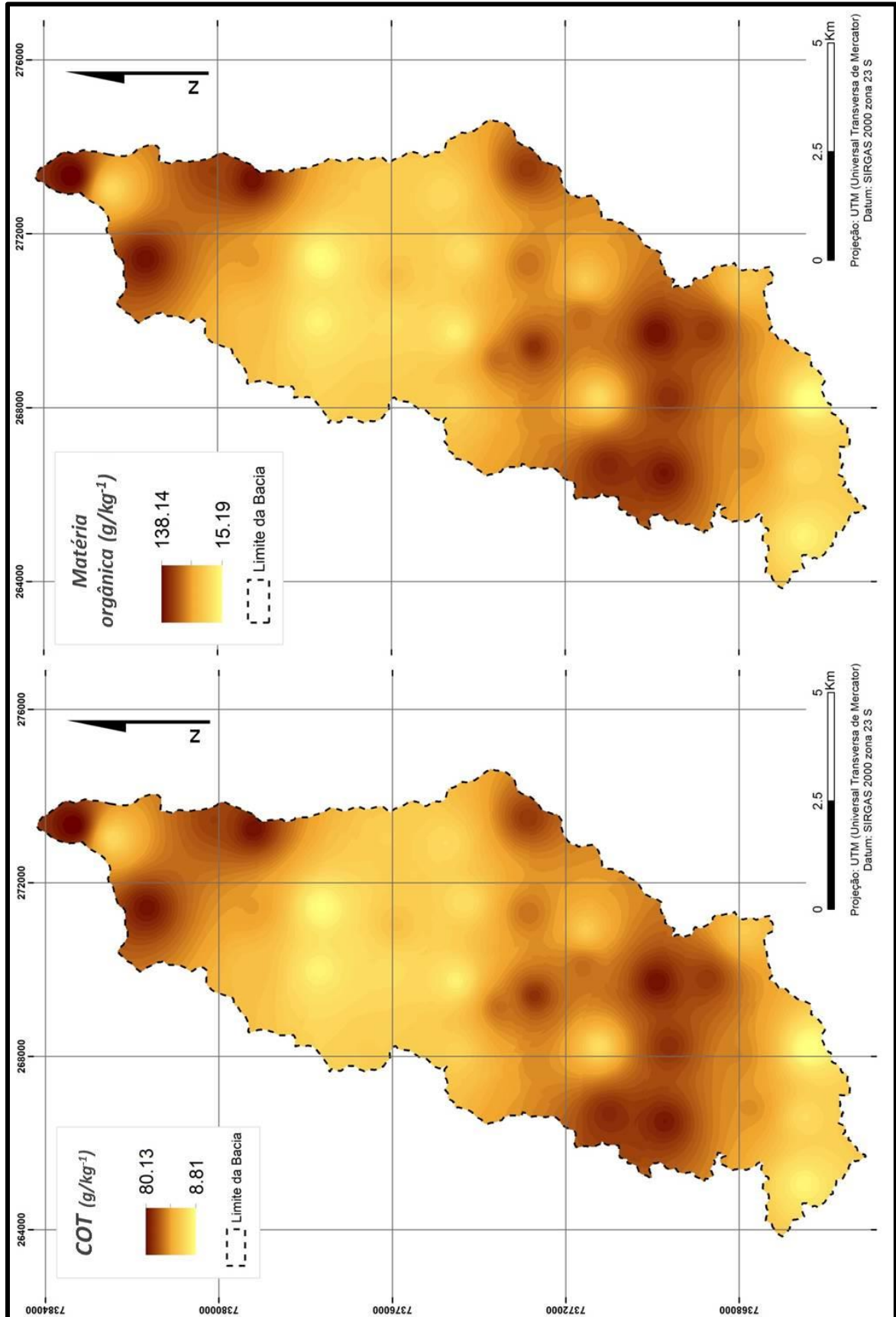
5.3 Matéria Orgânica (MO) e Carbono Orgânico Total (COT) dos solos

A matéria orgânica (MO) dos solos é uma fonte primária de nutrientes para as plantas e importante indicador da qualidade do solo e do equilíbrio ecossistêmico deste. Quanto maior sua quantidade nos solos, melhor serão os processos de agregação, permeabilidade, retenção de umidade, estabilidade dos agregados e fertilidade. Esta em maior quantidade na superfície (horizonte A), onde ocorre maior atividade biológica, tornando o solo mais escuro (ROSCO; MACHADO, 2002; LEITE; MENDONÇA, 2007; BRADY; WEIL, 2013; EMBRAPA, 2014).

O carbono orgânico é um dos componentes principais da MO, apresentando uma alta correlação entre ambos. Assim, como a maior fração de MO se localiza no topo do solo, ali também está as maiores concentrações de carbono orgânico. O carbono orgânico é considerado um dos atributos mais importantes para se definir a qualidade do solo (NIEVES; OLIVA, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

A especialização por interpolação, dos teores de COT e MO, nas amostras de solo é apresentada nas Figuras 21-A e 21-B. A representação espacial é similar para os dois mapas em função de a MO ser originada da multiplicação do COT pelo fator de Van Bemmelen 1,724. Os valores de COT apresentaram escores entre $8,81\text{g/kg}^{-1}$ e $80,13\text{ g/kg}^{-1}$ e, a MO, escores entre $15,19\text{ g/kg}^{-1}$ e $138,14\text{ g/kg}^{-1}$. É possível perceber algumas regiões da bacia em que os valores, dos dois elementos, se apresentam mais elevados, como o baixo curso da bacia, onde predominam matas e campos alagados e outra região entre o médio e alto cursos, onde ocorrem predominantemente matas e culturas temporárias.

Figura 21 - Espacialização dos teores de COT e MO por interpolação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Teores de COT e MO das trinta e cinco amostras de solos analisadas estão apresentados na Tabela 12. Os valores estão agrupados de acordo com o tipo de cobertura vegetal e o tipo de uso do solo. Foram estimados o TOC e MO em 15 amostras de solos coletadas em matas, 9 amostras de culturas temporárias, 4 amostras de campos sujos e área de pousio, 3 amostras de pastagens, 2 amostras de áreas reflorestadas e 2 amostras de solos hidromórficos em campos alagados.

Tabela 12 - Teores de COT e MO em g/kg^{-1} nas amostras de solos, por classe de uso e cobertura do solo.

Classe	N. de Amostras	COT (g/kg^{-1})	MO (g/kg^{-1})
Matas	15	66,27	114,25
		75,85	130,77
		76,43	131,77
		34,10	58,79
		28,73	49,53
		28,59	49,29
		22,58	38,93
		27,59	47,57
		55,25	95,25
		56,24	96,96
		23,15	39,91
		74,65	128,70
		30,16	52,00
		51,28	88,41
		49,39	85,15
Culturas temporárias	09	8,81	15,19
		24,4	42,07
		15,12	26,07
		24,67	42,53
		15,51	26,74
		29,72	51,24
		70,05	120,77
		15,18	26,17
		47,09	81,18
Campo sujo	04	10,66	18,38
		23,85	41,12
		76,75	132,32
		67,71	116,73
Pastagem	03	56,56	97,51
		71,14	122,65
		67,78	116,85
Reflorestamento	02	33,58	57,89
		69,80	120,34
Campo alagado	02	80,13	138,14
		24,81	42,77

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que houve uma variação significativa nos estoques de COT e MO nas amostras de mesma classe de uso do solo ou cobertura vegetal. A análise estatística

comparativa contribui para uma descrição mais detalhado destes resultados. Neste sentido, é apresentada a estatística descritiva dos teores de MO e COT na Tabela 13.

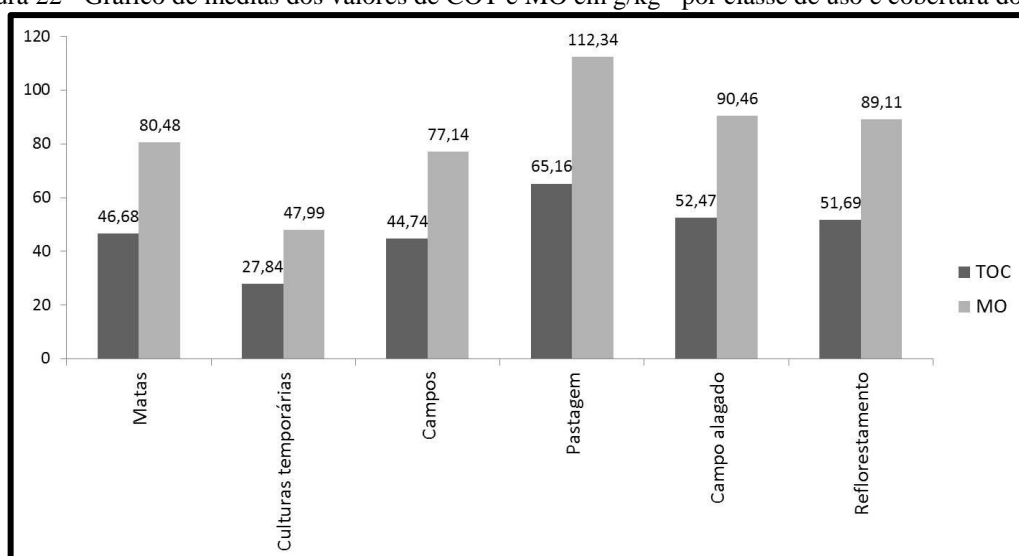
Tabela 13 - Estatística descritiva dos teores de MO e COT.

Uso do solo ou Cobertura vegetal	Nº de Amostras	g/kg ⁻¹							
		Mín.		Máx.		Méd.		D.V.	
		COT	MO	COT	MO	COT	MO	COT	MO
Matas	15	22,58	38,93	76,43	131,77	46,68	80,48	20,13	34,71
Culturas temporárias	09	8,81	15,19	70,05	120,77	27,84	47,99	19,41	33,46
Campos	04	10,66	18,38	76,75	132,32	44,74	77,14	32,40	55,86
Pastagem	03	56,56	97,51	71,14	122,65	65,16	112,34	7,63	13,16
Campo alagado	02	24,81	42,77	80,13	138,14	52,47	90,46	39,12	67,44
Reflorestamento	02	33,58	57,89	69,80	120,34	51,69	89,11	25,61	44,15

Legenda: Mín. – valor mínimo; Máx. – valor máximo; Méd. – média; D.V. – desvio padrão.

A classe matas possui o maior de número de amostras analisadas, 15 no total. Os valores variaram entre 22,58 g/kg⁻¹ e 76,43 g/kg⁻¹ para o COT e 38,93 g/kg⁻¹ e 131,77 g/kg⁻¹ para a MO. As médias dos teores de COT (46,68 g/kg⁻¹) e MO (80,48 g/kg⁻¹) apresentaram condições melhores que as culturas temporárias e os campos. No entanto, as amostras de pastagem, campo alagado e reflorestamento registraram, em relação às médias, teores mais elevados (Figura 22). Se considerarmos as médias, as amostras de áreas de reflorestamento apresentaram valores bem próximos às amostras de matas. Comparando o desvio padrão destas duas classes de cobertura vegetal, as matas apresentaram menor variação em torno da média.

Figura 22 - Gráfico de médias dos valores de COT e MO em g/kg⁻¹ por classe de uso e cobertura do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Análises realizadas em solos no domínio da mata Atlântica, no estado da Bahia, também identificaram teores de COT mais elevados para as pastagens, quando relacionados aos teores em matas nativas (BARRETO et al., 2008). Entretanto, Costa et al. (2009) e Coutinho et al. (2010), em estudos realizados no Estado de São Paulo, não identificaram diferenças significativas nos estoques de COT do solo, entre os ambientes pastagem produtiva, pastagem degradada, reflorestamento e matas nativas.

Os solos de culturas temporárias apresentaram os menores valores em teor de COT e MO, entre as trinta e cinco amostras, 8,81 g/kg⁻¹ e 15,19 g/kg⁻¹, respectivamente. Esta classe de uso do solo também registrou as menores médias, 27,84 para o COT e 47,99 para a MO (Gráfico 22). Em áreas cultivadas, em função do revolvimento contínuo do solo, a MO e conseqüentemente o COT, tendem a redução por intemperismo, uma vez que a exposição da estrutura orgânica do solo potencializa o ataque dos microrganismos e o aceleração do processo de oxidação. Esta redução também está relacionada ao aumento da erosão do solo e ao acelerado processo de mineralização da MO e oxidação do carbono (LEITE et al., 2003; SILVA, et al., 2011; SANTOS, 2012; BRADY; WEIL, 2013; NIEVES; OLIVA, 2014).

As pastagens apresentaram as maiores médias, 65,16 (g/kg⁻¹) para o COT e 112,34 (g/kg⁻¹) para a MO (Gráfico 22). Esta classe também apresentou a menor variação em torno da média, registrando valores de desvio padrão para COT 7,63 e para MO 13,16 (Tabela 13). Segundo Campos (2006) as gramíneas geralmente produzem mais fitomassa que as leguminosas, entretanto, em determinadas condições, a produção pode ser equivalente. O revolvimento contínuo dos solos promovem a perda do COT, em função disso as pastagens permanentes podem apresentar teores mais elevados do que culturas temporárias (CARVALHO, 1984).

As médias de COT e MO dos solos de pastagem superam as médias das amostras de áreas de matas. Para Roscoe et al. (2001), Salton (2005) e Costa et al. (2009) a substituição da vegetação por pastagem provoca a redução significativa dos estoques de COT e MO. Entretanto, com o passar do tempo, a pastagem com formas adequadas de manejo, podem apresentar teores elevados e até superar os registrados em áreas florestadas. Ainda segundo estes autores, as florestas armazenam carbono, predominantemente na parte aérea das plantas e, nas pastagens, a maior parte do carbono se encontra no solo e no sistema radicular. Barreto et al. (2008) também consideram que além do sistema radicular, as gramíneas por serem

plantas [C₄]¹, possuem um alto potencial de produção e armazenamento do carbono orgânico nos solos.

As amostras dos solos hidromórficos, de campos alagados, foram as que apresentaram os maiores teores de COT (80,13 g/kg⁻¹) e MO (138,14 g/kg⁻¹) em relação às demais classes. Esta classe também registrou a maior variação dos valores em relação à média, com desvio padrão para o COT de 39,12 e para MO de 67,44. Nascimento et al. (2010) identificaram altos teores de MO e carbono orgânico, em solos hidromórficos, e associou essas características à alta concentração de material orgânico e ao processo pedogenético de paludização do solo. Martins et al. (2003) em análises comparativas, registraram teores mais elevados de carbono nos Gleissolos quando comparados a Cambissolos, Argissolos e Plintossolos.

Os solos em ambientes de campo registraram teores de COT que variaram entre 10,66 g/kg⁻¹ e 76,75 g/kg⁻¹ e MO entre 18,38 g/kg⁻¹ e 132,32 g/kg⁻¹. Essa considerável variação entre os valores mínimos e máximos resultaram em desvio padrão também altos, demonstrando alta variação em torno das médias (Tabela 13). Cabe ressaltar que na classe campos estão inseridos campos naturais (campos sujos), pastagens degradadas e áreas de pousio.

Os mais baixos valores de MO e COT estão relacionados à área de pousio, que são áreas que passaram por uso intensivo de culturas temporárias, que são postas em descanso no sentido de possibilitar a recuperação natural dos nutrientes do solo. Os altos teores registrados nos campos sujos podem ser explicados pelas características da estrutura radicular das gramíneas que potencializam o estoque de MO e COT (BARRETO et al., 2008; COSTA et al. 2009).

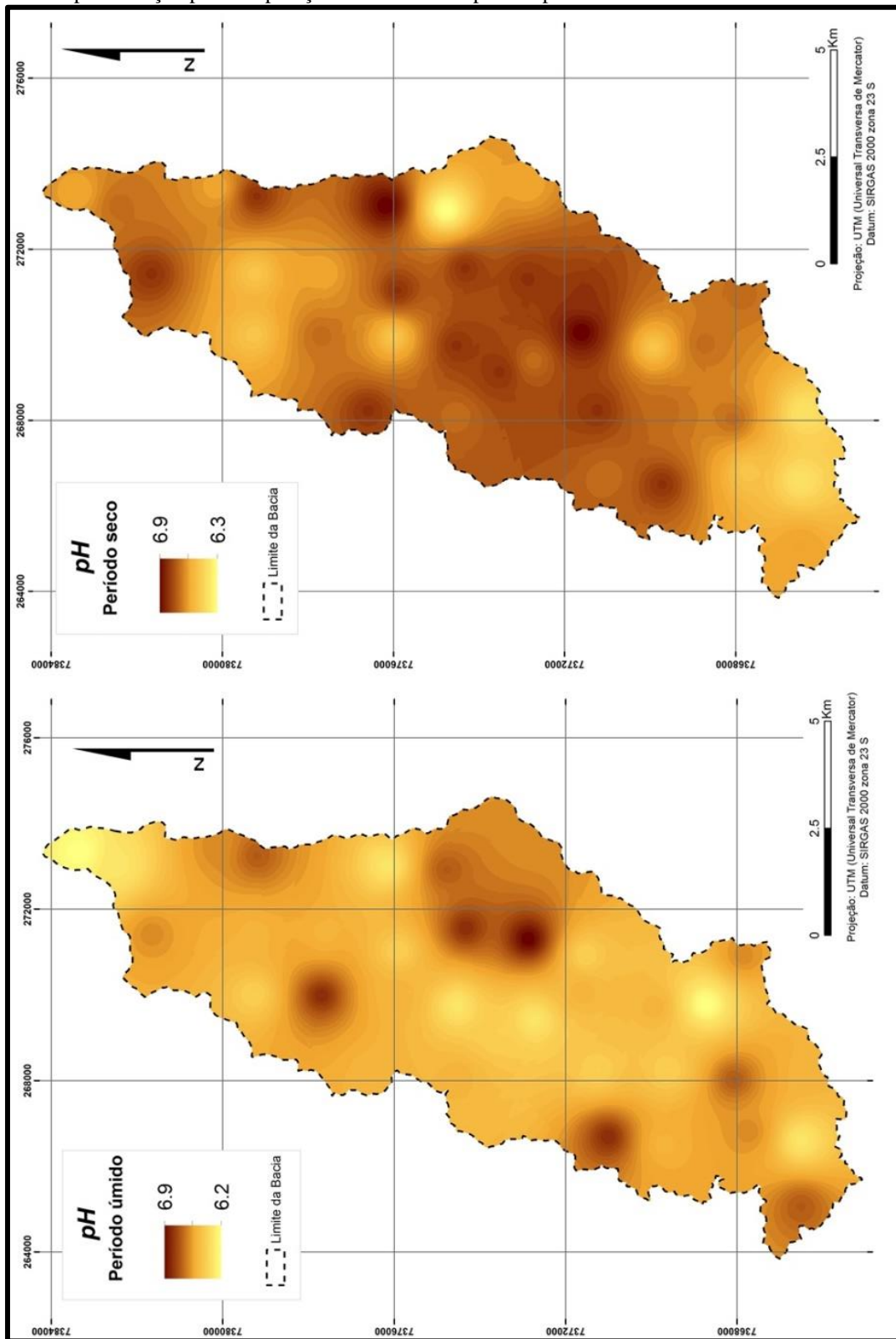
5.4 Potencial hidrogeniônico (pH) dos solos

Foi realizada a análise expedita, com aparelho que mensura o pH dos solos, nos trinta e cinco pontos amostrais, nos dois períodos. Os valores no período úmido variaram entre 6,2 e 6,9 e no período seco variou entre 6,3 e 6,9. A espacialização por interpolação dos valores de pH, nos períodos analisados, esta apresentada nas Figuras 23-A e 23-B. Apesar dos valores mínimos e máximos registrados, praticamente não terem variado, especialmente

¹ Essa classificação se refere ao tipo de fixação do carbono. As plantas de metabolismo C₄ produzem a partir da fotossíntese, moléculas com quatro carbonos, são mais resistentes à radiação e suas características anatômicas foliares inibem a perda de CO₂ para o ambiente (BERGAMASCHI et al., 2004; MARIN; NASSIF, 2013).

temos uma mudança significativa de um período para outro, predominando valores maiores de pH para o período seco, indicado pelas tonalidades mais escuras no mapa.

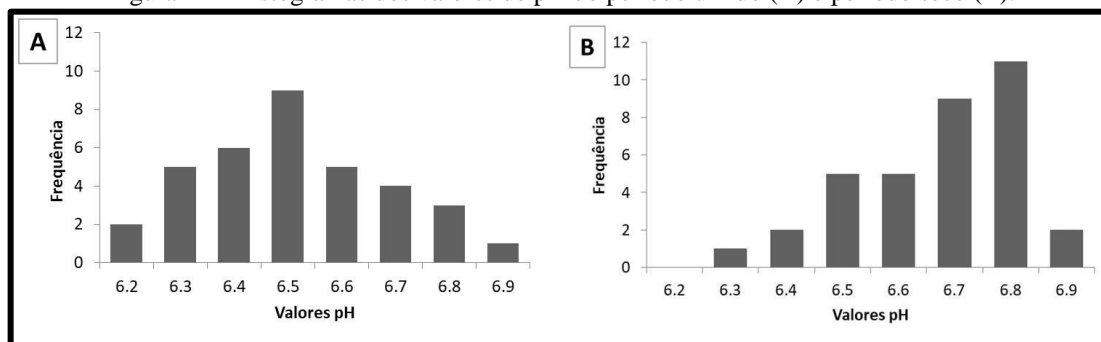
Figura 23 - Espacialização por interpolação dos valores de pH dos períodos úmido e seco da bacia do Rio Una.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os histogramas das Figuras 24-A e 24-B corroboram para a compreensão da mudança entre os valores de pH do período úmido para o seco. O pico de frequência no período úmido posicionou se no valor 6,5 e, no período seco, apresentou maior frequência em 6,8.

Figura 24 - Histogramas dos valores de pH do período úmido (A) e período seco (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

De uma forma geral, solos que apresentam pH inferior a 7,0 são considerados ácidos. A acidez do solo é resultado de um complexo de substâncias de reação ácida, vinculada à matéria orgânica, aos minerais e ao alumínio trocável (Al^{3+}). A toxidez do solo causada pelo Al^{3+} inibe o crescimento radicular das plantas, reduzindo a absorção de nutrientes e água (KAMINSKI et al, 2007; BRADY; WEIL, 2013).

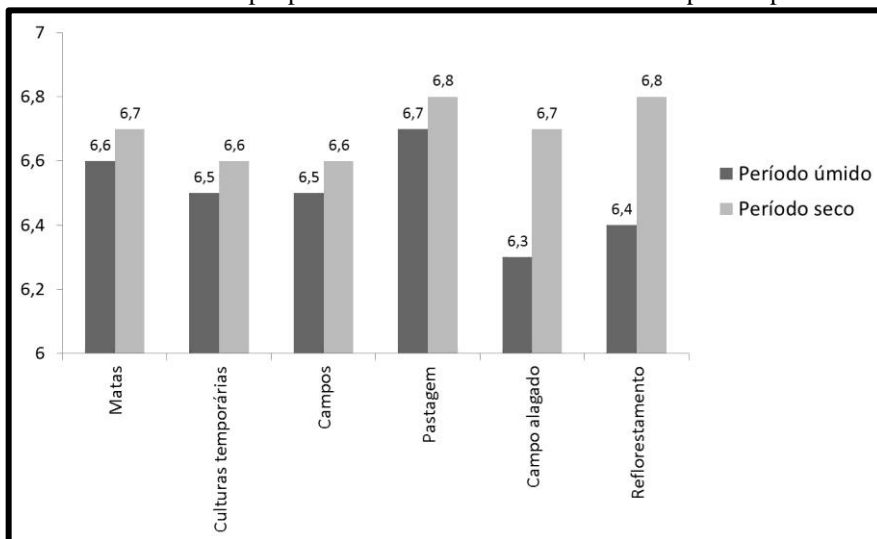
É possível identificar na literatura várias classificações para o pH de solos brasileiros, dentre elas aquelas que sugerem níveis de acidez para valores de pH inferiores a 7,0. Segundo a classificação proposta por Alvarez (1999), os solos da bacia do rio Una, se enquadraram na classe - Acidez Fraca. Na classificação indicada por Pauletti (2004), os valores de pH, analisados neste estudo, podem ser considerados como de acidez Baixa, os valores entre 6,2 e 6,6 e acidez Muito Baixa, valores entre de 6,6 e 6,9. Com base nas classificações da Embrapa (2006) e IBGE (2015) os valores entre 6,2 e 6,5 são Moderadamente Ácidos e entre 6,6 e 6,9 Praticamente Neutros.

Assim, com base nessas classificações, os valores de pH levantados nos pontos amostrais demonstram que os solos da bacia do Una apresentam baixa ou fraca acidez, considerando que os valores levantados estão no intervalo entre 6.2 e 6.9.

O Gráfico da Figura 25 apresenta as médias dos valores de pH por classe de uso e cobertura do solo para os períodos analisados. Para todas as classes as médias se apresentaram maiores no período seco, ou de estiagem. Nas classes campo alagado e reflorestamento, identificaram-se as maiores variações de um período para outro. No período úmido a

pastagem registou a maior média, pH 6,7 e no período seco as classes pastagem e reflorestamento registraram as maiores médias pH 6.8.

Figura 25 - Médias dos valores de pH por classe de uso e cobertura do solo para os períodos úmido e seco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em análises realizadas em solos do semiárido brasileiro, Martins et al. (2010) verificaram uma pequena elevação nos valores de pH do período úmido para o seco. Iwata et al. (2012) em uma avaliação sazonal dos atributos químicos, em solos de Cerrado, identificaram uma variação muito pequena do pH entre o período chuvoso e seco. Os mesmos concluem que não verificou efeito significativo da sazonalidade no pH dos solos analisados. Pimentel et al. (2006) em análises de acidez do solo em pastagens, florestas e culturas de café, no estado do Rio de Janeiro, registraram nas culturas de café valores de pH mais elevados no inverno, em relação ao verão e nas coberturas pastagem e floresta, os valores de pH se mostraram mais altos no verão.

Os baixos níveis de acidez identificados justificam a aptidão agropecuária da bacia, em especial para culturas temporárias e pastagem, atividades que ocupam mais de 40% da área da bacia. Os valores de pH registrados não apresentam empecilhos para o cultivo de hortaliças e pastagem, pois podem ser adotadas práticas corretivas do solo por calagem ou outros insumos agrícolas. A calagem é uma prática tradicional na agricultura brasileira e visa não somente o aumento do pH e neutralização do Al, como também melhora nas condições de troca de cátions (WEIRICH NETO et al., 2000; MEDA et al., 2002; FLORES et al., 2008; NATALE, et al., 2012).

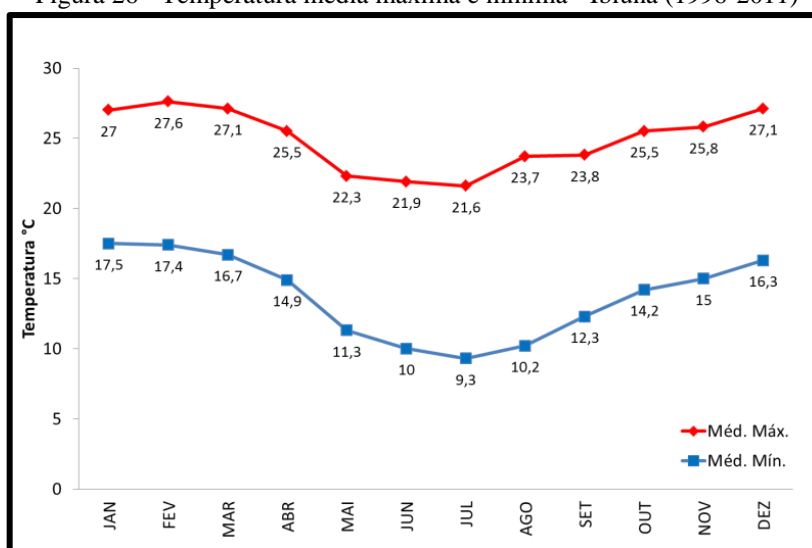
CAPÍTULO VI

6. DIAGNÓSTICO SAZONAL DA UMIDADE DA VEGETAÇÃO E DO SOLO, ATRAVÉS DO ÍNDICE DE RESSECAMENTO DA VEGETAÇÃO POR TEMPERATURA (TVDI) E MEDIDAS DE UMIDADE DO SOLO.

6.1 Temperatura de superfície (Ts)

A bacia hidrográfica do rio Una está em uma região de clima Subtropical de inverno seco e verão quente e chuvoso, caracterizado por Köppen (1948) como do tipo Cwb. A temperatura do ar apresenta uma variação típica de clima subtropical, registrando médias máximas e mínimas reduzidas nos meses de junho, julho e agosto (Figura 26), marcando bem a relação entre altas temperaturas e o aumento dos totais de chuva (CIIAGRO, 2016).

Figura 26 - Temperatura média máxima e mínima - Ibiúna (1996-2011)



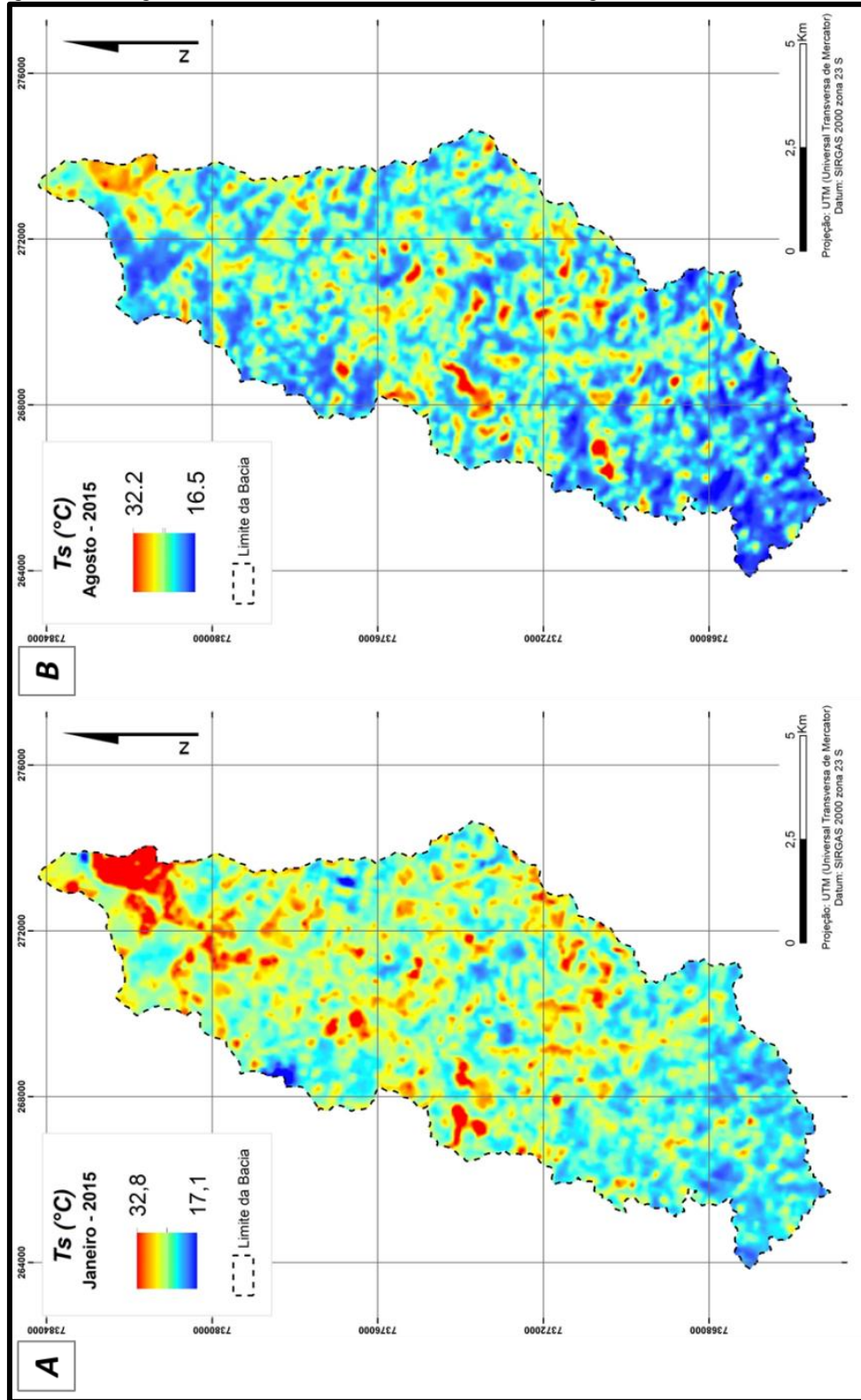
Fonte: www.ciiagro.sp.gov.br

A T_s é determinada pela radiação espectral da banda termal de número 10, do satélite Landsat 8 e resulta do comportamento espectral dos alvos da superfície. Diferente da temperatura do ar a T_s é definida como a temperatura superficial do solo, da cobertura vegetal ou de áreas construídas.

Nos mapas das Figuras 27-A e 27-B é possível verificar a espacialização da T_s em graus celsius (°C), para a bacia do Una, nos períodos úmido (A) e seco (B). A imagem do mês de janeiro registrou temperaturas entre 17,1 °C e 32,8 °C e a de agosto entre 16,5 °C e 32,2°C.

Os escores não apresentam diferença significativa, no entanto, espacialmente é perceptível a ocorrência predominante de temperaturas mais elevadas no mês de janeiro.

Figura 27 - Imagens índice de Ts dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.



Fonte: Imagem TIRS/ Landsat 8.

A Tabela 14 apresenta os intervalos de Ts dos usos e cobertura do solo que ocupam percentualmente as maiores áreas na bacia. Nas duas imagens, os intervalos com temperaturas mais elevadas, ocorrem nas edificações urbanas e, as matas, registraram as menores temperaturas nos dois períodos. As culturas temporárias e as pastagens e campos, apresentaram temperaturas com intervalos intermediários em relação aos outros usos e cobertura do solo, sendo que as culturas temporárias apresentaram nos dois períodos, temperaturas mais elevadas do que os campos e pastagens.

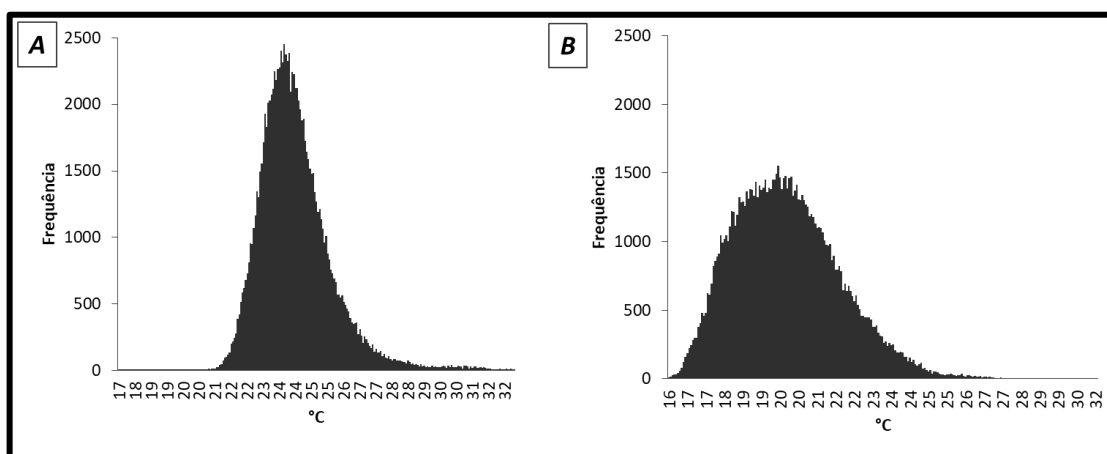
Tabela 14 - Intervalos de Ts para os usos e cobertura do solo das imagens de janeiro e agosto.

Uso e cobertura do solo	Área em (%)	Ts – Janeiro (°C)	Ts – Agosto (°C)
Culturas temporárias	35,93	24 – 28	20 – 23
Matas	37,05	17 – 24	16 – 20
Edificações urbanas	14,69	28 - 32,8	23 – 32
Pastagens e campos	6,77	23 – 25	18 – 21

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os histogramas de frequência das imagens de Ts, dos dois períodos (Figuras 28-A e 28-B), apresentam distribuição assimétrica levemente à direita, com pico em janeiro em torno de 24°C e em agosto em torno de 20 °C. O pico de frequência do mês de janeiro é mais proeminente do que o de agosto, evidenciando o predomínio de Ts mais elevadas na imagem de janeiro. A partir dos histogramas podemos inferir que há influência da sazonalidade na frequência e nos valores da Ts.

Figura 28 - Histogramas de Ts para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estatística dos valores de Ts, para as duas imagens (Tabela 15), indicam média de Ts mais elevada para janeiro (24,5 °C) e, o desvio padrão e coeficiente de variação, indicam baixa variação em torno da média, com uma variação ligeiramente maior para os dados de agosto. Nas duas situações os dados amostrais apresentaram características homogêneas.

Tabela 15 - Estatística dos valores de Ts.

Período	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Janeiro	24,5°C	1,43	5,84
Agosto	20,4°C	1,77	8,68

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2 Avaliação sazonal e espacial da umidade e estresse hídrico da vegetação, através do TVDI.

O Índice de Ressecamento da Vegetação por Temperatura (TVDI) é um indicador de estresse hídrico gerado a partir do NDVI e da Ts e, através dele, é possível avaliar a condição de seca dos solos e cobertura vegetal. Os valores de TVDI variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, menor será a umidade da superfície e maior o nível de seca. TVDI = [1] indica não haver evaporação do solo e o fornecimento de umidade é limitada; e TVDI = [0] indica que há evaporação máxima a partir do solo e o fornecimento de umidade é ilimitado (MARTÍNEZ E BART, 2013; BAI, YU e DI, 2016). Para Teixeira (2010) quando o TVDI é igual a zero, o teor de umidade chega a 100%, e quando é igual 1, o teor de umidade é 0%, ou seja, completamente seco.

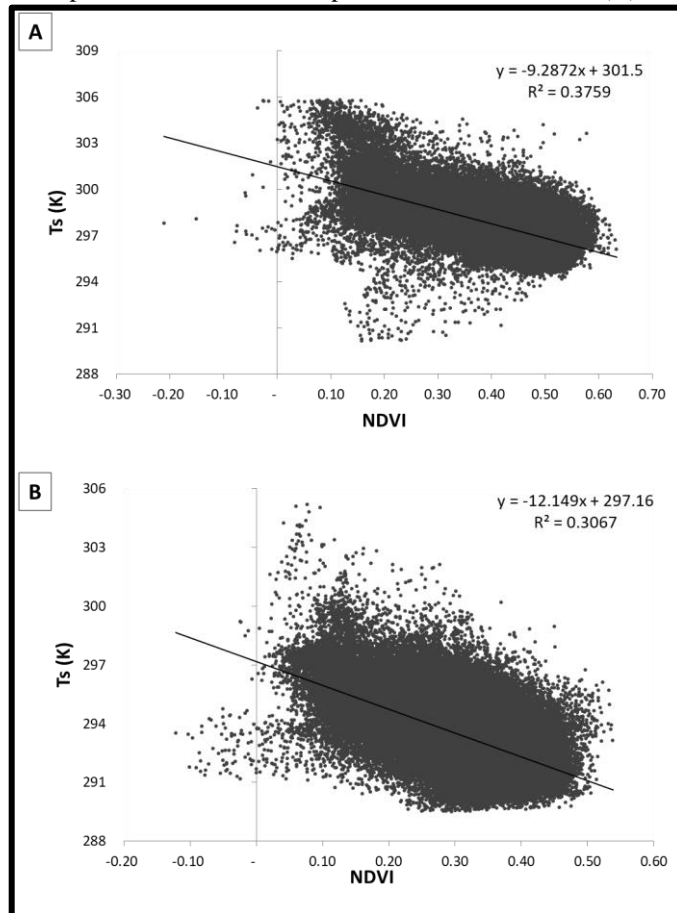
As imagens índices de NDVI e as devidas descrições são apresentadas no tópico 4.2 deste trabalho. A imagem índice de NDVI do mês de janeiro apresentou valores entre [-0,21] e [0,63] e a de agosto com valores entre [-0,12] e [0,54].

Como os demais índices desenvolvidos neste estudo, o TVDI também foi gerado para os períodos úmido (10/01/2015) e seco (22/08/2015). O TVDI é calculado a partir das imagens de Ts, da imagem índice de NDVI e da regressão linear entre os valores destas duas variáveis. O gráfico de dispersão indica os valores dos coeficientes angular e linear utilizados no cálculo (Figuras 29-A e 29-B).

A relação entre as variáveis Ts e NDVI é negativa, indicando que quanto maior o NDVI menor será a Ts. Nas duas dispersões, o agrupamento dos pontos gerou um formato trapezoidal e, a posição de cada ponto (NDVI x Ts), determina a quantidade de água

disponível para o desenvolvimento da vegetação. O estresse hídrico tem relação direta com a Ts e a quantidade de biomassa, pois a redução da umidade acarreta o aumento da Ts e a redução do índice de vegetação (SCHIRMBECK, 2016). No gráfico também são apresentados os coeficientes angular e linear, utilizados no cálculo do índice.

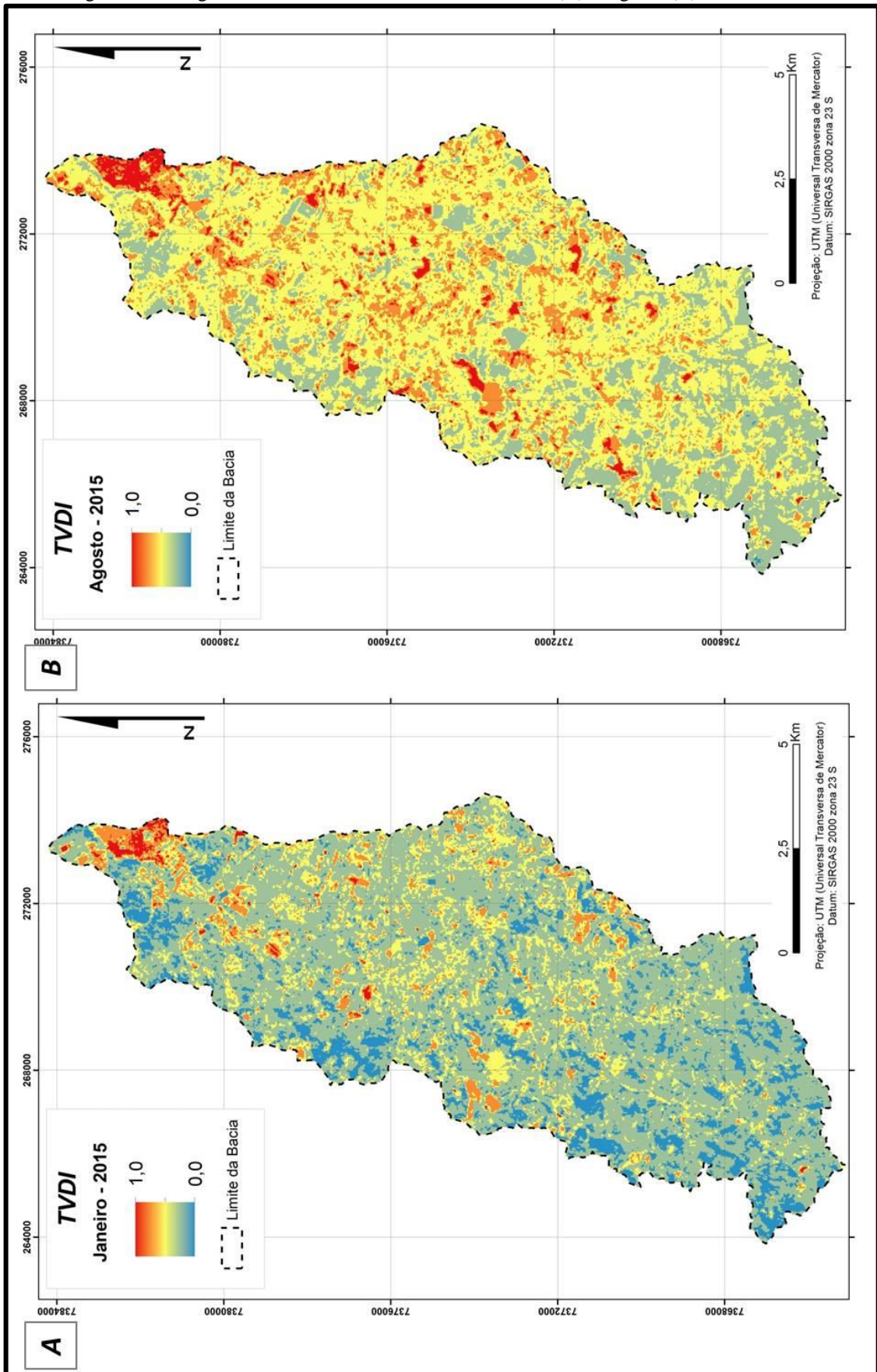
Figura 29 - Dispersão entre Ts e NDVI para os meses de Janeiro (A) e Agosto (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de TVDI, para a bacia do rio Una, apresentaram variação espacial significativa do período úmido (janeiro) para o seco (agosto), como podemos observar nos mapas das Figuras 30-A e 30-B. Evidencia-se que as condições de umidade da superfície se apresentam melhores no mês de janeiro, período em que ocorrem os maiores totais de chuva na região da área de estudo. As médias mensais de precipitação para a região, no período de 1984 a 2014, registraram 241 mm de chuva para janeiro e 34 mm para agosto (CIIAGRO, 2015). Em 2015, ano de referência das imagens de TVDI, o mês de janeiro registrou 188 mm de chuva e em agosto, 22 mm (DAEE, 2016).

Figura 30 - Imagens índice de TVDI dos meses de Janeiro (A) e Agosto (B) da bacia do Rio Una.



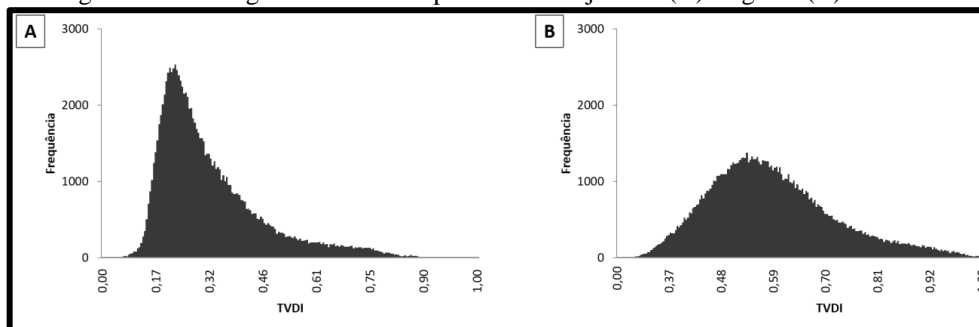
Fonte: Imagens OLI e TIRS Landsat 8.

Em estudos desenvolvidos no Iran, Rahimzadeh-bajgiran, Omasa e Shimizu (2012), também identificaram a relação entre baixos totais de chuva e altos valores de TVDI, mostrando uma forte dependência do índice com o regime de chuvas. BAI, YU e DI (2016) associaram valores baixos de TVDI, na região central da China, às condições ambientais favoráveis, como recursos hídricos suficientes, condições boas de umidade no decorrer do ano, baixas temperaturas, alta precipitação, alta cobertura vegetal e conservação da vegetação. A estimativa do TVDI em Senegal na África, do mesmo modo, evidenciou a influência do regime de chuvas na variação do índice, Sandholt, Rasmussen e Andersen (2002) concluíram que o TVDI é, em geral, sensível à precipitação e o índice cai após eventos de chuva.

Na imagem índice de janeiro percebe-se um predomínio dos valores de TVDI entre 0,2 e 0,4, e na imagem índice de agosto, os valores de TVDI aumentam de forma expressiva, predominando valores entre 0,4 e 0,6. Em uma classificação proposta por Seixas (2013), os valores de TVDI entre 0,0 e 0,2 indicam boa umidade; entre 0,2 e 0,4 apresentam umidade normal; entre 0,4 e 0,6 ligeiramente seco; entre 0,6 e 0,8, apresentam condições de seca moderada e o intervalo entre 0,8 e 1, condições de seca severa. Já García et al., (2007) propuseram a seguinte classificação: entre 0,0 e 0,25 não ocorre estresse hídrico; entre 0,25 e 0,45 ocorre leve estresse; entre 0,45 e 0,65 o estresse é moderado; entre 0,65 e 0,85 estresse severo e acima de 0,85 estresse extremo.

Os histogramas de frequência das imagens índice de TVDI (Figuras 31-A e 31-B) apresentam, nos dois períodos, distribuição assimétrica positiva. Em janeiro o pico de frequência é mais elevado, apresentado TVDI em torno de 0,2. Em agosto percebe-se uma elevação nos valores de TVDI com pico de frequência entre 0,5 e 0,6. Os histogramas corroboram com os resultados apresentados nas imagens índice, indicando melhores condições de umidade da superfície para o mês de janeiro e, conseqüentemente, acentuada elevação do estresse hídrico da vegetação e secura do solo, no mês de agosto.

Figura 31 - Histogramas do TVDI para o mês de janeiro (A) e agosto (B) de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estatística dos valores de TVDI, apresentada na Tabela 16, indica um aumento pronunciado da média de janeiro para agosto, reforçando que as condições de estresse hídrico são mais acentuadas no período de estiagem. O coeficiente de variação da imagem índice de TVDI, do mês de janeiro, apresenta maior dispersão dos dados em relação à média, se comparado aos resultados da imagem índice de agosto. O desvio padrão indicou que nos dois períodos as amostras são heterogêneas.

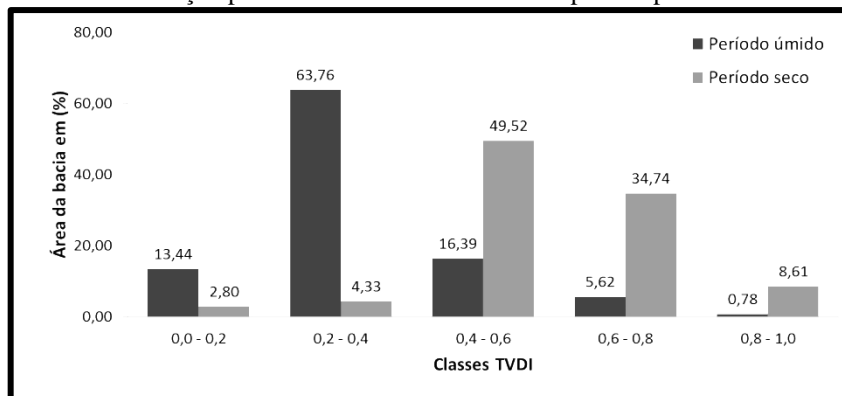
Tabela 16 - Estatística dos valores de TVDI.

Período	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Janeiro	0,33	0,14	42,42
Agosto	0,60	0,13	21,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico da Figura 32 é possível comparar a distribuição espacial das classes de TVDI, em porcentagem, para os dois períodos. No mês de janeiro, o intervalo de TVDI entre 0,2 e 0,4 apresentou o maior percentual, 63,76%, indicando condições normais de umidade. No mês de agosto, o maior percentual se posicionou entre 0,4 e 0,6, este intervalo indica condições moderadas de estresse hídrico na vegetação e seca no solo. As melhores condições de umidade, que seriam valores de TVDI menores que 0,2, apresentaram no mês de janeiro, 13,44% da área e em agosto, 2,80%. TVDI com valores acima de 0,8, que representa seca severa e/ou extrema, ocorreram em áreas mais expressivas na imagem índice de agosto, em 8,61 % da bacia.

Figura 32 - Distribuição percentual das classes de TVDI para os períodos úmido e seco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 17 apresenta os valores médios de TVDI das classes de uso e cobertura do solo, dos períodos úmido e seco. Excetuando as edificações urbanas, todas as demais classes apresentaram aumento nos valores médios de TVDI, no mês de agosto, indicando redução da umidade de superfície e ocorrência de estresse hídrico em função da queda nos índices de chuva.

Tabela 17 - Valores médios do TVDI para os usos e cobertura do solo das imagens de janeiro e agosto.

Uso e cobertura do solo	TVDI Janeiro	TVDI Agosto
Culturas temporárias	0,40	0,75
Matas	0,10	0,35
Reflorestamento	0,20	0,35
Campos sujos	0,15	0,45
Pastagens	0,35	0,55
Edificações urbanas	0,85	0,85

Fonte: Elaborado pelo autor.

As culturas temporárias foram a classe de uso que apresentou a variação mais brusca entre os períodos, no período úmido apresentou média de 0,35, já no período de estiagem, ocorreu média de 0,75. Neste caso, em se tratando de média, já apresenta condições de estresse hídrico na vegetação e seca no solo, sendo que as ocorrências acima de 0,8, já apresentam seca severa a extrema.

Schirmbeck (2016) encontrou valores de TVDI superiores a 0,8 no início e final do ciclo do cultivo de soja, no estado do Rio Grande do Sul. Os altos valores de TDVI neste caso podem ser explicados pela presença de solo exposto no início do cultivo e estado de senescência no final do ciclo, indicando menor evapotranspiração e maior temperatura. No meio do ciclo, fase de maior desenvolvimento vegetativo, percebeu-se redução nos valores, indicado melhor condições de umidade na folhagem e maior evapotranspiração.

As matas foram à classe que apresentou as melhores condições de umidade nos dois períodos, em janeiro os valores ficaram entre 0,0 e 0,2, mostrando ótimas condições de umidade, sem ocorrência de estresse hídrico. Neste caso, ocorre maior evapotranspiração e, conseqüentemente, redução da temperatura no sistema solo-planta.

Em agosto o TVDI das matas variou de 0,2 a 0,5, apresentado condições que variaram entre umidade boa e seca moderada. Martínez e Bart (2013), em estudos desenvolvidos no Chile, identificou melhores condições de umidade em áreas de mata, em relação às outras coberturas do solo, mesmo sob influência da variação sazonal da umidade. A

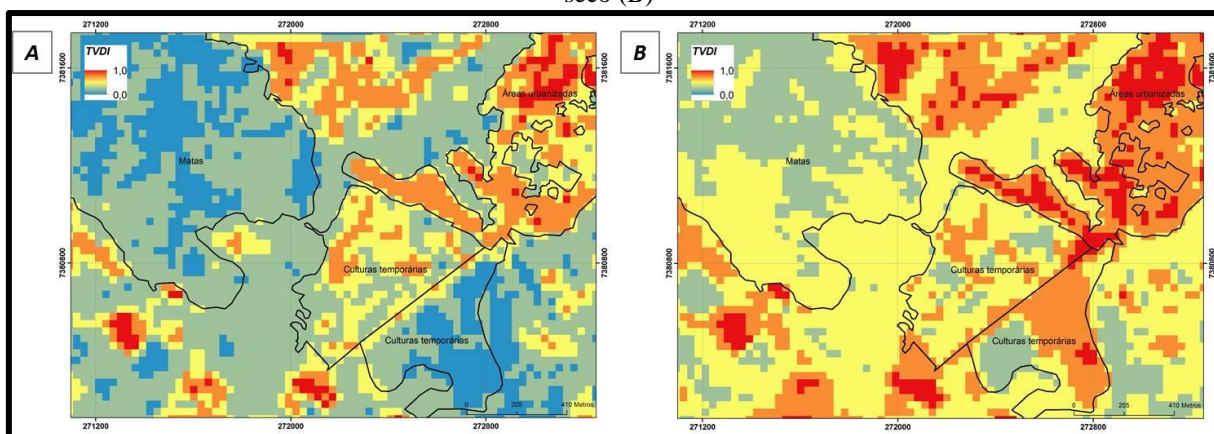
vegetação para não perder umidade por transpiração, em condições de altas temperaturas, promove uma regulação estomática. Esta regulação reduz o fluxo de calor latente e aumenta o fluxo de calor sensível, resultando no aumento da temperatura da vegetação em relação ao ar (WAN; WANG; LI, 2004; GARCÍA et. al., 2007).

Moreira et al. (2015) mapearam as áreas campestres do Sul do Brasil e encontrou valores entre 0,48 e 0,88 no verão e 0,52 e 0,84 no inverno. Neste caso a cobertura de campo apresentou mais estresse hídrico no verão e foi relacionado à variação dos totais de chuva no período da análise.

As Figuras 33-A e 33-B ilustram as mudanças espaciais do TVDI, do período úmido (A) para o seco (B), em uma porção ao sul da área de estudo, onde são representados os principais tipos de uso e cobertura do solo da bacia. Podemos observar que o trecho de matas, que apresentou em janeiro TVDI entre 0,0 e 0,4 passa para valores entre 0,4 e 0,6 em agosto.

As culturas temporárias apresentaram valores entre 0,1 e 0,2 no período úmido e 0,0 a 0,8 no período seco. As culturas temporárias possuem uma dinâmica diferenciada, por apresentar mais de um ciclo de cultivo por ano (EMBRAPA, 2006). Assim, as superfícies neste tipo de uso podem apresentar solo exposto, período de preparo da terra para cultivo; cobertura densa de vegetação verde e cobertura de vegetação seca, em um período de até cinco meses.

Figura 33 - Comportamento do TVDI em área de mata e culturas temporárias: [A] período úmido e [B] período seco (B)



Fonte: Elaborado pelo autor.

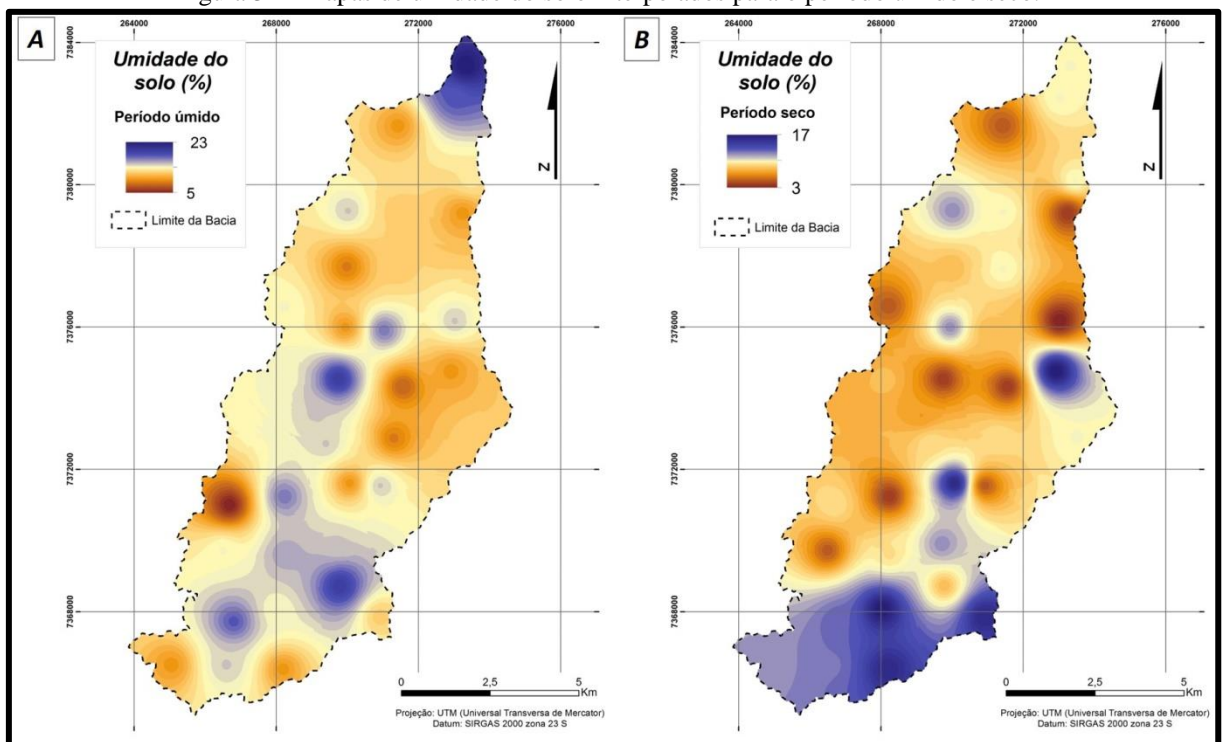
6.3 Avaliação sazonal e espacial da umidade do solo

A umidade do solo compreende o teor de água presente nos poros do solo. Esse teor pode variar por influência da precipitação, da topografia, da densidade da cobertura vegetal, da evaporação, da radiação solar e dos atributos físicos do solo (TEIXEIRA, 2010).

Com intuito de avaliar a variação sazonal da umidade do solo, foi mensurado o teor de umidade, por meio do aparelho de medição de umidade. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro e julho de 2016, contemplando o período úmido e seco. As médias mensais de precipitação, entre 1996 e 2015, registraram 79 mm para julho e 204 mm para fevereiro (CIIAGRO, 2016).

As coletas foram feitas nos trinta e cinco pontos amostrais e foram interpolados pelo método IQD, como descrito no tópico 3.8 deste trabalho. A espacialização da umidade por interpolação é apresentada nos mapas das Figuras 34-A e 34-B. Os dados do período úmido apresentaram valores entre 5% e 23% de umidade e, no período de estiagem, umidades entre 3% e 17%.

Figura 34 - Mapas de umidade do solo interpolados para o período úmido e seco.



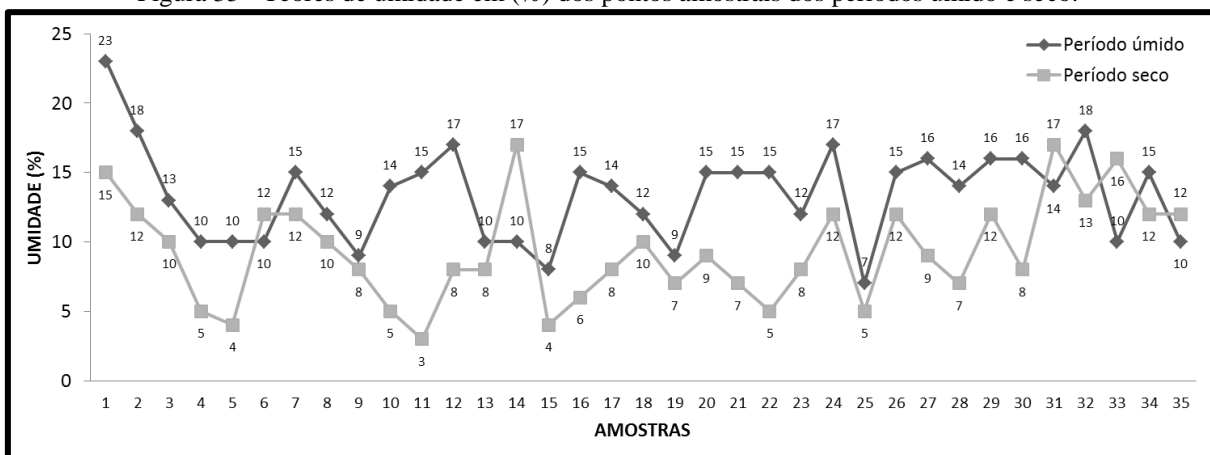
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na coleta dos dados preocupou-se em fazer a aferição no mesmo local, para possibilitar uma correlação com maior acurácia. Os resultados dos trinta e cinco pontos

amostrais apresentaram redução nos valores de umidade do período úmido para o seco. Estas condições estão diretamente relacionadas ao regime de chuva, que reduz significativamente de fevereiro para julho.

No entanto, como pode-se perceber no gráfico da Figura 35, cinco pontos apresentaram valores maiores em julho, quatro destes ocorreram em áreas de culturas temporárias, pontos amostrais 6, 14, 33 e 35, e um em matas, ponto 31. Nas culturas temporárias, os valores mais elevados de umidade no período seco, podem ser explicados pela prática de irrigação por aspersão, que ocorriam no período de coleta. No ponto amostral em área de matas, foi observado cultivos temporários, em extensas áreas nas proximidades, onde também ocorriam processo de irrigação. Possivelmente o escoamento superficial possa responder pelo aumento da umidade no período.

Figura 35 - Teores de umidade em (%) dos pontos amostrais dos períodos úmido e seco.



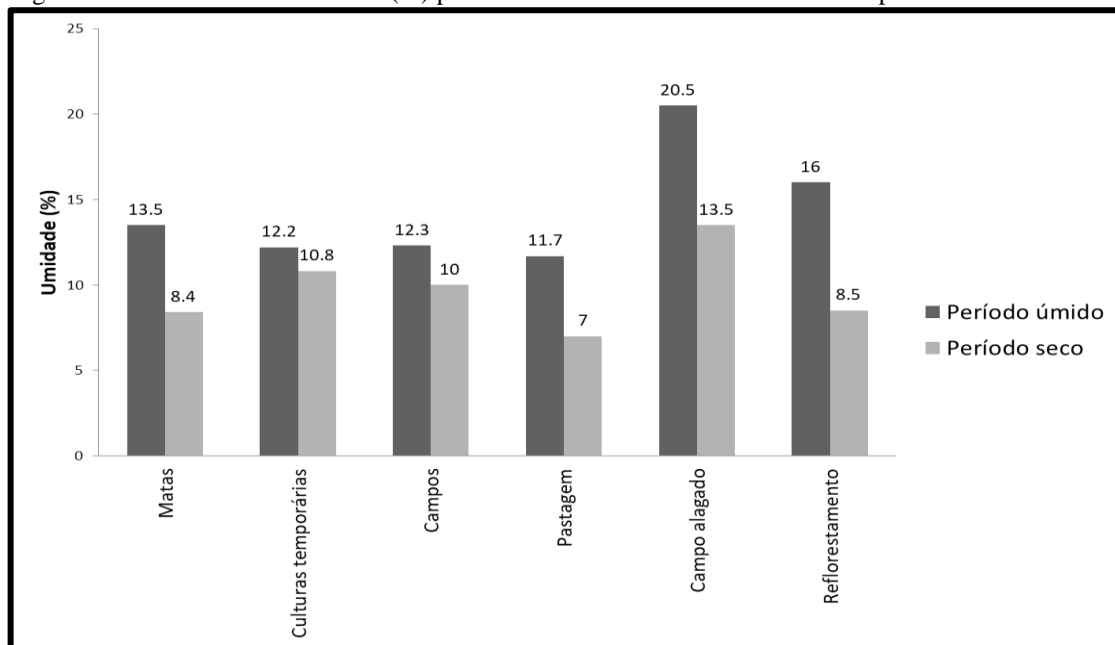
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados não indicaram um padrão nas perdas de umidade em relação às classes de uso e cobertura do solo. Seis pontos amostrais apresentaram as maiores perdas em teor de umidade, entre 8% e 12%, do período úmido para o seco, dois destes pontos eram matas, dois de culturas temporárias e um de reflorestamento. Nove pontos amostrais apresentaram as menores perdas, entre 2% e 3%, isto ocorreu em classes diversas, como matas, campo sujo, culturas temporárias e pastagem.

Considerando-se as médias, todas as classes de uso e cobertura do solo apresentaram redução de umidade do período úmido para o seco (Figura 36). Os campos alagados, em função das características hidromórficas dos solos, apresentaram as maiores médias percentuais de umidade, nos dois períodos, registrando 20,5% no período úmido e 13,5% no período de estiagem. As culturas temporárias e os campos foram as classes que

apresentaram a menor variação média entre os períodos, com perdas médias variando 1,4% e 2,3%, respectivamente. Os campos alagados e as áreas de reflorestamento registraram as maiores perdas médias, respectivamente 7% e 7,5%.

Figura 36 - Médias de umidade em (%) por classe de uso e cobertura do solo dos períodos úmido e seco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices estimados apresentaram padrão espacial com forte relação com a sazonalidade climática, com ênfase ao regime de chuvas. Os índices NDVI, SAVI e NDWI, apresentaram uma aplicabilidade satisfatória na estimativa do vigor, densidade e conteúdo de água da vegetação, bem como na variabilidade sob influência das condições climáticas. O TVDI se mostrou apropriado para avaliar o déficit hídrico em diferentes coberturas do solo, com potencial para monitorar as perdas de umidade do solo e da vegetação, sob influência da sazonalidade climática e ações antrópicas sob a superfície, podendo assim monitorar as ocorrências de secas severas.

Ressalta-se que, as áreas de culturas temporárias apresentaram variabilidade distinta das demais coberturas vegetais, em todos os índices analisados neste estudo. Os ciclos dinâmicos do cultivo, que perpassam pelo preparo da terra, o plantio, o desenvolvimento da cultura e a colheita, além do processo de irrigação, influenciam no comportamento dos índices, independente das condições climáticas. Isto justifica as ocorrências pontuais de condições de umidade e vigor vegetativo, em estado satisfatório, no período seco.

Os teores de pH e umidade do solo por medição local, assim como os índices, demonstraram variação entre os períodos analisados. A umidade do solo, como esperado, registrou valores maiores nos meses com maior total de chuva, em todas as amostras, com exceção de algumas áreas agrícolas que ocorriam irrigação por aspersão, no período de estiagem. Os campos alagados e as áreas de reflorestamento registraram as maiores baixas em umidade do período úmido para o seco.

Os solos apresentaram fraca acidez em todas as amostras, registrando pequena variação do pH entre os períodos, indicando condições de menor acidez no período de estiagem. Do mesmo modo que a umidade, os campos alagados e as áreas de reflorestamento registraram as maiores variações do pH entre os dois períodos.

Os teores de COT e matéria orgânica dos solos, considerando-se as médias, indicaram as áreas de pastagens com teores mais elevados e as culturas temporárias com teores mais reduzidos. A prática de cultivo e o processo de intemperismo explica a redução nos teores de COT e MO nos solos de culturas temporárias. Já as pastagens com suas estruturas radiculares explicam a potencialização no armazenamento do carbono.

As imagens do satélite Landsat 8 se mostraram eficientes na estimativa dos parâmetros biofísicos e avaliação do estado fitossanitário da vegetação. As imagens

apresentam resolução espacial e temporal adequadas para estudos regionais, aplicados a bacias hidrográficas, com condições ideais no desenvolvimento de estudos ambientais com vistas ao entendimento das alterações sazonais da superfície. As técnicas de geoprocessamento, com os procedimentos de geração dos mapas e/ou tratamento dos dados por métodos de interpolação, contribuíram substancialmente nas análises espaciais e se apresentam como instrumentos de grande importância nos estudos ambientais.

8. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes 1999 em Minas Gerais - 5ª Aproximação** - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p
- ANDRADE, A. R. S. et al. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr., 2005.
- ANDRADE, R. G. et al. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **REVENG Engenharia na Agricultura**. Viçosa - MG, V.21 N.3, MAIO / JUNHO, 2013.
- ANDREOTI, C. E. **Avaliação da eficiência de um sistema agroflorestral na recuperação de um solo degradado por pastoreio**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia Física, Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- AHAMED, T. et al. A review of remote sensing methods for biomass feed stock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455–2469, 2011.
- ALVAREZ V., V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos In: CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- BAI J; YU, Y; DI, L. Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China. **Journal of Integrative Agriculture**, 15(0): 60345-7, 2016.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing Of Environmental**, New York, v. 3, n. 2, p.161-173, 1991.
- BAGNARA, D. PRIETTO, P. D. M. TIMBOLA, R. S. Aplicação da krigagem ordinária na modelagem do pH e da dureza da água subterrânea na área central de Passo Fundo – RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.20, p.15-22, Novembro, 2012.
- BALESTRINI et al. Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 148–157, 2011.
- BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1471-1478, 2008.
- BERGAMASCHI, H et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira – Embrapa**, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, set. 2004.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355p.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos temas e aplicações**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOLFE, É. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais**. 2010. 319 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

BOTTEGA, E. L. et al., Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan-mar, 2013.

BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservations**, v. 05, p. 382-389, 1999.

BUSATO, L. C. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v. 5, n. 34, p.871-880, 2010.

CANELLAS, L. P. et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26:1011-1022, 2002.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to Remote Sensing**. New York: Guilford. 4ª Ed, 2007.

CAMPOS. B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2006.

CASTANHEIRA, L. B.; LANDIM, P. M. B.; LOURENÇO, R. W. Variabilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em áreas de reflorestamento: Floresta Estadual 'Edmundo Navarro de Andrade' (FEENA)/Rio Claro (SP). São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 33, n. 3, p.449-456, 2014.

CHRISTOFOLLETI, A. **Modelagens de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 240 p.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. **Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. Piracicaba-SP.** CENA-USP, 1996.

CEMIN, G.; PERICO, E.; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio Jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v. 4, n. 33, p.705-711, 2009.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. *Balanço Hídrico: Resenha Agrometeorológica*. 2015. Disponível online: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>. (Acesso em 10 novembro 2016).

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.26, n.2, p.374-387, maio/ago. 2006.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, jan./mar. 2009.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1137-1145, 2009.

COUTINHO, R. P. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira - Embrapa**, Brasília, v.45, n.2, p.195-203, fev. 2010.

CONCEIÇÃO, P. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p.777-788, 2005.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

DAEE – Departamento de Aguas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Banco de dados hidrológicos. DAEE, 2016. Disponível em < <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/> > acesso novembro de 2016.

DELBART, Nicolas et al. Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 101, n. 1, p.52-62, mar. 2006.

DETSCH, Florian et al. A Comparative Study of Cross-Product NDVI Dynamics in the Kilimanjaro Region—A Matter of Sensor, Degradation Calibration, and Significance. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.159-177, 19 fev. 2016.

DEMARCHI J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RA E GA**, v. 21, p. 234-271, 2011.

ESTEVEES, B. S. et al. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 4, p.663-670, dez. 2012.

EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Ver atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. **Solos para todos: perguntas e respostas** / organizadores, Moema de Almeida Batista, Denise Werneck de Paiva, Alexandre Marcolino. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2385-2396, 2008.

FIGUEIRA DE SÁ, T. F. et al., Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a gestão ambiental de bacias hidrográficas. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, p. 27-30, 2010.

FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 114, n. 10, p.2271-2285, out. 2010.

FRANCHINI, J. C. et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**. 231: 55–63, 2001.

GAO, B. C. NDWI: A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p.257- 266, 1996.

GARCÍA, S. et al. Desarrollo y aplicación de indicadores de alerta temprana frente a sequías a escala regional desde MODIS. In: RIVAS, R.; GRISOTTO, A. y SACIDO, M. (editores). **Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional**. Buenos Aires: Ed. Martin, 2007, p. 223-229.

GATTO, A. et al. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:735-740, 2009.

GARGANTINI, H.; MELLO, F. de A. F.; ARZOLLA, S. **Efeitos da calagem no pH de perfis de solos de cerrado**. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, vol.39, n.2, pp.1141-1158. 1982.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.283-290, mar-abr, 2003.

GILABERT, M. et al. A generalized soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 82, n. 2-3, p.303-310, out. 2002.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 24, n. 18, p.3595-3609, jan. 2003.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos Solos. In: CUNHA, S. B. da.; UERRA, A. J. T. (orgs) **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, p. 295-309, 1988.

HUANG, J.; CHEN, D.; COSH, M. H.. Sub-pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybeans cropland using normalized difference water index (NDWI) from satellites. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 30, n. 8, p.2075-2104, 20 abr. 2009.

HUANG et al. Analysis of Spatial-Temporal Variation of Agricultural Drought and Its Response to ENSO over the Past 30 Years in the Huang-Huai-Hai Region, China. **Terr. Atmos. Ocean. Sci**, v. 24, n. 4, Part II, p. 745-759, 2013.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Boletim técnico 106** - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: IAC, 2009. 77p.

ISHIMURA, A. et al. Remote sensing of Japanese beech forest decline using an improved Temperature Vegetation Dryness Index (iTVDI). **Iforest - Biogeosciences And Forestry**, [s.l.], v. 4, n. 5, p.195-199, 3 nov. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências n. 4. 3. Ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

IBGE. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2a ed. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2012, 275p.

IBGE. 2012. **Manual técnico de uso da terra**. Série: Manuais Técnicos em Geociências nº 7. 3a ed. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2013, 171p.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.730-738, 2012.

JAMALI, S. et al. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 141 p. 79–89, 2014.

JOHANSEN, B.; TOMMERVIK, H. The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 27, p. 20–30, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coord) [et al.]; São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem em solos do Sul do Brasil: Aspectos históricos e perspectivas futuras. In: **Tópicos em ciência do solo**. Vol. 1 (2007) Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007.

KENNEL, E.; HUBBART, J. A.; IKEM, A. A comparison of forest and agricultural shallow groundwater chemical status a century after land use change. **Science of the Total Environment**, v. 529, p. 82–90, 2015.

KÖEPPEN, W. **Climatología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LADO, L.R.; HENGL, T.; REUTE, H.I. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. **Geoderma**, v. 140, p. 189-199, 2008.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LAL, R.. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, [s.l.], v. 123, n. 1-2, p.1-22, nov. 2004.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27: p. 821-832, 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. de S. Perspectivas e limitações da modelagem da dinâmica da matéria dos solos tropicais. In: **Tópicos em ciência do solo**. Vol. 1 (2007) Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LOCH, R. E. N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2006. 313 p.

LOURENÇO, R. W. et al. Mapping soil pollution by spatial analysis and fuzzy classification. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 60, n. 3, p.495-504, 6 jun. 2009.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Tratamento de imagem de satélite por meio de metodologia geoestatística. **Geociências**, VIII (6): 5-14, dezembro de 2003.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI utilizando Krigagem Indicativa. **HOLOS Environment**, v.4, n. 1, p. 38-55, 2004.

LOURENÇO, R. W.; CUNHA e SILVA, D. C.; SALES, D. C. Elaboração de uma metodologia de avaliação de fragmentos de remanescentes florestais como ferramenta de gestão e planejamento ambiental. **Ambiência**, v.10, n.3 p. 685 – 698, 2014.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agro. Ceres, 2006. 631 p.

MARCUSSI, A. B. et al. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográficas. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 41 – 53, 2010.

MARTINUZZI, S. et al. Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean Island of Mona. **Rev. Biol. Trop**, v. 56 (2): p. 625-639, 2008.

MARQUES, M. C. M.; OLIVEIRA, P. A. M. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.4, p.713-723, out.-dez. 2004.

MATUS, F. J.; MAIRE, G. C. R. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. **Agric. Téc.**, [s.l.], v. 60, n. 2, p.112-126, abr. 2000.

MARIN, F; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.2, p.232–239, 2013.

MARTINS, A. K. E. et al. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de Ipucas na planície do médio Araguaia – estado de Tocantins. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.297-310, 2006.

MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1883-1890, 2010.

MARTÍNEZ, M. S.; BART, L. C. Aproximación a la determinación del déficit hídrico en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile, a partir de imágenes MODIS y datos meteorológicos. **Revista de Geografía Norte Grande**, 55: 109-124, 2013.

MCT. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período de 2013-2014**. FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São Paulo, 2015. 60p.

MEDA, A. R. et al. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:647-654, 2002.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e Inverso do Quadrado da Distancia para Interpolação dos Parâmetros da Equação de Chuvas Intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 27, p. 925-933, 2003.

MENDONÇA, J. C. et al. Coeficiente de cultivo (KC) da cana-de-açúcar em Região Sub-úmida do Brasil, pela aplicação do algoritmo SEBAL e produtos MODIS. In: SILVA, B. B. **Aplicações Ambientais Brasileiras com Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Campina Grande: EDUEFCG, 2013, 217p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Aritmética de bandas. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012, 276p.

MENGUE, V. P. et al. Índice TVDI para mapeamento das culturas de arroz irrigado e soja em áreas agrícolas de Pelotas e Camaquã/RS. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, 2015.

METZGER, J. P. et al. O uso de modelos em ecologia de paisagens. **Revista Megadiversidade**. v. 3, n. 1-2, p. 64-73, 2007.

MOREIRA, A. Avaliação de fisionomias campestres no Rio Grande do Sul com uso do índice de umidade TVDI. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 2015.

NASCIMENTO, P. C. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:339-348, 2010.

NATALE, W. et al. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NASCIMENTO, F. R. do et al. Diagnóstico geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú: Subsídios aos estudos sobre desertificação. **Boletim Goiano de Geografia**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.41-62, 9 out. 2008.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 387p.

OLIVEIRA, T. H. et al. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife. n. 03 p. 55-69, 2010.

OLIVEIRA, J. S. e S. **Índices de vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho, Pernambuco**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

OLIVEIRA J. B. et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Legenda Expandida. Instituto Agrônomo, Campinas. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 1999. 64 pp.

PAIVA, R. G. et al. **A Utilização de Dados SRTM para Análises Ambientais: Elaboração de Mapas de Relevo do Município de Maringá – Paraná – Brasil.** 2010. Disponível em: http://egal2010.easyplanners.info/area04/4054_Garcia_Paiva_Raniere.pdf. Acessado em: junho/2015.

PAULLETI, V. **Nutrientes: Teores e Interpretações.** 2ª Edição. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária. Castro. Paraná. p. 86, 2004.

PAU, S.; GILLESPIE, T. W.; WOLKOVICH, E. M.. Dissecting NDVI-species richness relationships in Hawaiian dry forests. **Journal Of Biogeography**, [s.l.], v. 39, n. 9, p.1678-1686, 2012.

PHUA, M. et al. Simultaneous detection of burned areas of multiple fires in the tropics using multisensor remote-sensing data. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 33, n. 14, p.4312-4333, 20 jul. 2012.

PELLEGRINO, G. Q. et al. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na agricultura.** Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998.

PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SANTOS, F. A. M. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica.**, V.25, n.2, p.183-194, jun. 2002

PEREIRA, T. S. et al. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 329-339, jul./dez. 2008

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A. e CAMARGO, A. F.M. (orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus, BA. Editus, 2008.

PIMENTEL, M. S. et al. Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de café, pastagem e floresta em região do médio paraíba Fluminense-RJ. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 85-93, jul./dez. 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Relação entre índices de vegetação (NDVI e SAVI) e parâmetros biométricos de plantios de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* em Cachoeira da Manteiga MG. **Revista Árvore.** Viçosa, MG, v. 22, n.3, p. 357-366, 1998.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação.** 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

RAHIMZADEH-BAJGIRAN, P; OMASA, K; SHIMIZU, Y. Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the

improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 68, p.1-12, mar. 2012.

RAIJ, B. et al. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.
RAFIQUE, R. et al. Global and Regional Variability and Change in Terrestrial Ecosystems Net Primary Production and NDVI: A Model-Data Comparison. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.177-193, 25 fev. 2016.

RapidEye, Satellite Imagery Product Specifications. Disponível em: < www.rapideye.com >. Acesso em setembro de 2016.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:435-440, 2008.

RIBEIRO, M. C., et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is there maining forest distributed?: implications for conservation. **Biology Conservation**, v. 142, p. 1144-1156, 2009.

RITTER, L. M. O.; MORO, R. S. Epistemological bases of landscape ecology. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3: pp. 58-61, August 2012.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERT. In: NASA Earth Resources Techonology Satellite, **I Symposium Proceedings**. Washington, NASA. p. 309-317, 1973.

ROSCOE, R. et al. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the ¹³C/¹²C isotopic ration in a Cerrado's oxisoil. **Geoderma**. Amsterdam, vol 104, p. 185-202, 2001.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86p.

ROSSI, C. Q. et al., Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.622-630, 2011.

ROSA, F. S. et al. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Rev. Ambient. Água** vol. 9 n. 3 Taubaté - Jul. / Sep 2014.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiuna/SP**. 2015. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2015.

SANDHOLT, I.; RASMUSSEN, K.; ANDERSEN, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 79, p. 213– 224, 2002.

SANTOS, A. C. A. **Teores de carbono e nitrogênio dos solos de duas microbacias hidrográficas com diferentes usos da terra no município de Ibiúna-SP**. 2012. 74 f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2005.

SANDHOLT, I., RASMUSSEN, K., ANDERSEN, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. **Remote Sensing of Environment**, v.79, n.2-3, p.213–224, 2002.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SÃO PAULO. Ciiagro. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Org.). **Balanco Hídrico: Resenha Agrometeorológica**. 2014. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>>. Acesso em: 16 set. 2015.

SEIXAS, G. B. **Avaliação de vegetação monodominante do Pantanal e vegetação de Cerrado, utilizando parâmetros biofísicos estimados por imagens de satélites**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SEGNINI, A. **Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo**. 2007. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Analítica, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SEGNINI, A. et al. Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). **Química Nova**, Vol. 31, No. 1, 94-97, 2008.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007. 135 p.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S., GALVÍNCIO, J. D. Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, PE, n. 03, p. 629-649, 2011.

SILVA, S. A. et al. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. **Idesia**, v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.

SILVA, A. M. et al. Estoque de carbono em solos com diferentes coberturas (São Paulo, Brasil) In: LANCHO, J. F. G. (Org.) **Materia orgánica edáfica y captura de carbono em sistemas Iberoamericanos**. Red Pocaiba. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental Salamanca (Espanha), 2011.

SILVA, D. C. C. et al. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.02, p. 627-642 2016.

SIQUEIRA, M. N; CASTRO, S. S.; FARIA, K. M. S. Geography and landscape Ecology: points for discussions. **Sociedade & Natureza**, n. 25.3 p. 557-566, 2013.

SIQUEIRA NETO, M.; et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, 31:709-717, 2009.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F. A.O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**, 2. ed. Porto Alegre, Genesis, 2004. p.73-99.

SCHIRMBECK, L. W. **Padrão espaço temporal do TVDI em área de cultivo de soja**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SOBRINO, J. A.; JULIEN, Y.; MORALES, L. Multitemporal analysis of PAL images for the study of land cover dynamics in South America. **Global And Planetary Change**, [s.l.], v. 51, n. 3-4, p.172-180, jun. 2006.

SUN, H. et al. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day-nightly and surface temperatures: a case study in China. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 34, n. 24, p.8986-9001, 20 dez. 2013.

TEIXEIRA, R. F. B. **Inferência do estado geral da umidade de superfície do solo pelo Índice de Seca Temperatura-vegetação e por imagens do satélite NOAA-17: aplicações no Semiárido do Ceará**. 2010. 120 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

TROPMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Revista Mercator**, Fortaleza - Revista de Geografia da UFC, v. 05, n. 10, 2006.

USGS - U.S. Geological Survey. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Version 1.0. Sioux Falls, South Dakota. June 2015.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.9, p. 970–978, 2010.

VIDAL, M. M. et al. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.521-532, set. 2007.

WAN, Z.; WANG, P.; LI, X.. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.61-72, jan. 2004.

WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.**, 37:29-38, 1934.

WEIRICH NETO, P. H. et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WU, J. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. **Landscape Ecology**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.1-11, 20 dez. 2012.

WU, J.; HOBBS, R. J. **Key Topics in Landscape Ecology**. UK: Cambridge University Press, 2007.