

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Eduardo André Kaiser**

**INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA  
NORMALIZADA (NDVI) SOBRE A CARGA DE SÓLIDOS  
SUSPENSOS DO ARROIO FUNDO- PARANÁ**

Santa Maria, RS  
2018

**Eduardo André Kaiser**

**INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA  
(NDVI) SOBRE A CARGA DE SÓLIDOS SUSPENSOS DO ARROIO FUNDO-  
PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Santa Maria, RS  
2018

Kaiser, Eduardo André  
Influência do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sobre a carga de sólidos suspensos do Arroio Fundo- Paraná / Eduardo André Kaiser.- 2018.  
66 p.; 30 cm

Orientador: Waterloo Pereira Filho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2018

1. Bacia Hidrográfica 2. Precipitação Pluviométrica  
3. Totais de Sólidos Suspensos 4. Índice de Vegetação 5.  
Cobertura Agrícola I. Pereira Filho, Waterloo II. Título.

**Eduardo André Kaiser**

**INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA  
(NDVI) SOBRE A CARGA DE SÓLIDOS SUSPENSOS DO ARROIO FUNDO-  
PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

**Aprovado em 23 de fevereiro de 2018:**



**Dr. Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**



**Dra. Ana Caroline Paim Benedetti (UFSM)**



**Dra. Aline Biasoli Trentin (UNIPAMPA)**

Santa Maria, RS  
2018

## DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus pais  
Lírio e  
Clair, à minha irmã Deise  
e à minha companheira  
Caren.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Lírio José Kaiser e Clair Bernadete Kaiser, minha irmã Deise Carine Kaiser, por todo apoio e força, que tornaram isto possível.

À Caren da Silva Bertoldo pelo companheirismo, apoio e paciência fundamentais para conclusão deste trabalho.

Ao professor Dr. Waterloo Pereira Filho, pela orientação, incentivo e amizade desde o início do curso de graduação em Geografia.

Às professoras Dra. Aline Biasoli Trentin e Dra. Ana Caroline Paim Benedetti pelas contribuições na banca de defesa de dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (PPGGEO - UFSM).

À Itaipu Binacional e especialmente ao Haroldo Virgilio e à Simone Frederigi Benassi pela concessão dos dados, ajuda e incentivo para o desenvolvimento do presente estudo.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Geotecnologias da Universidade Federal de Santa Maria (LABGEOTEC- UFSM).

Aos amigos e colegas do curso de graduação e pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram comigo e com a presente dissertação

## RESUMO

### INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) SOBRE A CARGA DE SÓLIDOS SUSPENSOS DO ARROIO FUNDO-PARANÁ

AUTOR: Eduardo André Kaiser  
ORIENTADOR: Waterloo Pereira Filho

A partir do conhecimento prévio das características físicas dos ambientes terrestre e aquático bem como suas relações, torna-se possível a manutenção, recuperação e conservação adequada dos recursos hídricos, e assim do ecossistema aquático. A presente pesquisa objetiva analisar a influência do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia hidrográfica sobre a carga de sólidos suspensos do Arroio Fundo, no Estado do Paraná. Para isso foram utilizadas técnicas estatísticas de determinação e correlação de dados oriundos de coletas amostrais de campo e sensoriamento remoto orbital. A metodologia compreendeu os seguintes procedimentos: a) caracterização da precipitação pluviométrica em até 30 dias acumulados e antecedentes as datas de coleta dos Totais de Sólidos Suspensos (TSS); b) elaboração dos mapas de NDVI médio mensal da bacia hidrográfica com a utilização de imagens de satélite; c) aquisição de dados sedimentométricos a partir da estação E16A5-00 localizada no Arroio Fundo, Paraná e; d) observação das relações existentes entre o NDVI da bacia hidrográfica e TSS da água do Arroio frente aos eventos de chuva a partir do desempenho dos Coeficientes de Determinação e Correlação. Os resultados apontaram para efeitos distintos na quantidade de material suspenso na água do Arroio Fundo frente às variações do calendário agrícola caracterizadas pelo NDVI e dos volumes de chuva (sazonalidade) incidentes na bacia hidrográfica. A maior influência do índice de vegetação sobre a quantidade de TSS no arroio ocorreu quando predominavam as áreas de baixo NDVI (exposição da superfície) na bacia hidrográfica cujo  $R^2$  entre precipitação pluviométrica e TSS foi de 0,58. Frente a caracterização do alto NDVI (presença de coberturas vegetais) da bacia hidrográfica, não se obteve Coeficiente de Determinação significativo entre precipitação pluviométrica e TSS da água, cujo  $R^2$  resultou em 0,13. Diante as variações do calendário agrícola, no período de setembro a novembro verificou-se a máxima contribuição das áreas de exposição da superfície para o incremento de TSS na água do Arroio Fundo, enquanto no período de março a maio a predominância dos cultivos temporários sobre a bacia hidrográfica caracterizou a mínima contribuição. De modo geral a concentração dos TSS do Arroio Fundo respondeu ao efeito da precipitação pluviométrica sobre a superfície de sua bacia hidrográfica. Entretanto pode-se verificar a influência NDVI sobre esse efeito de maneira distinta segundo duas perspectivas: a predominância das coberturas agrícolas e ausência destas marcadas pela exposição da superfície.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Precipitação Pluviométrica, TSS.

## ABSTRACT

### INFLUENCE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) ON THE LOAD OF SUSPENDED SOLIDS FROM ARROIO FUNDO- PARANÁ

AUTHOR: Eduardo André Kaiser

ADVISOR: Waterloo Pereira Filho

From the prior knowledge of the physical characteristics of terrestrial and aquatic environments as well as their relationships, it becomes possible to maintain, recover and properly conserve water resources, and thus the aquatic ecosystem. The present study aims to analyze the influence of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the watershed on the suspended solids load of Arroio Fundo in the State of Paraná. For this, statistical techniques of determination and correlation of data from field sampling and remote orbital sensing were used. The methodology included the following procedures: a) characterization of the rainfall on 30 days accumulated before the dates of collection of Suspended Solids Totals (TSS); b) elaboration of average monthly NDVI maps of the watershed with the use of satellite images.; c) acquisition of sedimentometric data from station E16A5-00 located in Arroio Fundo, Paraná, and; d) observation of the relationship NDVI of the watershed and TSS of the Arroio Fundo water in front of the rain events from the performance of the Coefficients of Determination and Correlation. The results pointed to different effects on the amount of material suspended in the Arroio Fundo water, as opposed to variations in the agricultural calendar characterized by the NDVI and the rainfall (seasonal) volumes incident in the watershed. The greatest influence of the vegetation index on the amount of TSS in the river occurred when the areas with low NDVI (surface exposure) predominated in the basin whose  $R^2$  between rainfall and TSS was 0.58. Considering the characterization of the high NDVI (presence of vegetation cover) of the watershed, no significant coefficient of determination between rainfall and TSS of water was obtained, whose  $R^2$  resulted in 0.13. Due to the variations in the agricultural calendar, from September to November the maximum contribution of the surface exposure areas to the increment of TSS in Arroio Fundo water was verified, while in the period from March to May the predominance of temporary crops on the basin characterized the minimal contribution. In general, the TSS concentration of Arroio Fundo responded to the effect of rainfall on the surface of the watershed. However, the influence of NDVI on this effect can be verified in a different way according to two perspectives: the predominance of agricultural coverages and absence of these marked by surface exposure.

**Keywords:** Watershed, Rainfall, TSS.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de poluição incidentes em cursos d' água.....	16
Figura 2 - Distribuição vertical de sedimentos encontrados em cursos d' água.....	21
Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente estudo.....	29
Figura 4 - Mapa de localização da área de captação da estação amostral E16A5-00. ....	30
Figura 5- A) Seção do Arroio Fundo onde esteve instalada estação sedimentométrica E16A5-00; B) Áreas de entorno da estação sedimentométrica E16A5-00 marcadas pela predominância de propriedades agrícolas.....	32
Figura 6 - Turbidímetro com HOBO: caixa de controle e sensor (A); esquema de funcionamento do turbidímetro (B). ....	37
Figura 7 - Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para precipitação pluviométrica acumulada referente à 30, 21, 14 e 7 dias antecedentes a data de coleta das amostras de TSS de janeiro a dezembro de 2011.....	41
Figura 8 - Coeficiente de Correlação Pearson (r) para dados de precipitação pluviométrica referentes há até oito dias consecutivos antecedentes a data de coleta dos TSS no período de julho de 2006 a outubro de 2016. ....	43
Figura 9 - Variações das concentrações médias dos TSS e precipitação pluviométrica acumulada em 30 dias de janeiro a dezembro no período de 2006 a 2016. ....	44
Figura 10 - Coeficiente de Determinação para valores de precipitação pluviométrica acumulada mensal e concentração de TSS médio mensal para o período de julho de 2006 a outubro de 2016. ....	45
Figura 11 - Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para dados de precipitação pluviométrica referentes a 1 dia antecedente da coleta de TSS sobre condições de NDVI alto (acima de 0,6225) e baixo (abaixo de 0,6225), no intervalo de julho de 2006 a outubro de 2016. ....	46
Figura 12 - Distribuição das medidas de precipitação pluviométrica média acumulada em 30 dias e NDVI médio da bacia hidrográfica ao longo do ano para o período de 2006 a 2016. ....	48
Figura 13 - NDVI da bacia hidrográfica do Arroio Fundo em março de 2016 (Situação 1). ....	50
Figura 14 - NDVI da bacia hidrográfica do Arroio Fundo em setembro de 2016 (Situação 2). ....	52
Figura 15 - Coeficiente de Determinação para precipitação pluviométrica e TSS sobre distintas condições de índice de vegetação no período de julho de 2006 a outubro de 2016. ....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações técnicas da estação pluviométrica de coleta no município de Entre Rios do Oeste. ....	33
Tabela 2 - Especificações técnicas do satélite Terra e sensor MODIS. ....	34
Tabela 3 - Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis. ....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
HDF	<i>Hierarchical Data Format</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Near Infra-red</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Units</i>
PDI	Processamento Digital de Imagens
REM	Radiação Eletromagnética
RVI	<i>Ratio Vegetation Index</i>
SI	Sistema Internacional de medidas
TDS	Totais de Sólidos Dissolvidos
TSS	Totais de Sólidos Suspensos
UHE	Usina Hidrelétrica
VIS	<i>Visible</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA .....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Impactos da ação antrópica em bacias hidrográficas .....</b>	<b>15</b>
2.2	TRANSPORTE E PRODUÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS.....	18
2.3	PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO .....	23
<b>2.3.1</b>	<b>Índices de vegetação .....</b>	<b>25</b>
2.3.1.1	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i> .....	26
2.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
<b>2.4.1</b>	<b>Coefficiente de correlação de Pearson.....</b>	<b>27</b>
3	METODOLOGIA .....	29
3.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.2	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	33
3.3	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI).....	34
3.4	TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS (TSS).....	36
3.5	RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS .....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE OS TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS .....	41
4.2	RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS .....	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55
	<u>REFERÊNCIAS</u> .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura de desenvolvimento da economia agrícola tem-se o reflexo da imposição do modelo capitalista estruturado sobre a industrialização da agricultura. A partir da introdução da mecanização do trabalho, utilização de fertilizantes e pesticidas, exploração agrícola, a “Revolução Verde” surge na Europa logo após a Segunda Guerra Mundial com intuito de aumentar a produtividade agrícola a fim de abastecer a demanda populacional em regiões onde persistiam o racionamento de alimentos e a fome. Embora os alimentos cultivados por essas novas práticas não tenham sido destinados à população afetada pela guerra e sim para os países ricos e industrializados, esse modelo de desenvolvimento tem sido adotado até a atualidade (ANDRADES e GANIMI, 2007).

Nesse sentido, a produtividade agrícola estruturada sobre as novas práticas difundiu-se gradativamente e em grande escala para os demais continentes sob a ausência de métodos adjuntos que contribuíssem no equilíbrio dos efeitos negativos causados sobre a biodiversidade e o ecossistema. A utilização intensiva do solo, a mecanização, a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos, ou seja, atributos da agricultura moderna são os principais responsáveis por alterações nas características físicas, químicas e biológicas dos ambientes terrestre e aquático (HILDEBRANDT et al., 2008; ABREU e CUNHA, 2015).

A remoção da cobertura vegetal nativa para o desempenho de atividades agrícolas caracteriza a exposição da superfície, que associada a altas declividades e grandes acumulados de precipitação pluviométrica, favorece a ação intensiva de processos erosivos e transporte de material sólido para os canais fluviais. Carvalho (2008) elenca que o sedimento carregado para o leito dos rios possui nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados agregados em sua estrutura, que acabam prejudicando a qualidade do ambiente aquático. Ademais, o autor destaca impactos negativos como a degradação do uso consuntivo da água, da atividade fotossintética, redução da qualidade estética da água além da condução de bactérias e vírus.

Nesse sentido, pesquisas referentes a essa temática são necessárias uma vez que possibilitam o levantamento de informações e análises acerca do espaço influenciado pela ação antrópica, servindo de subsídio para a gestão e planejamento de medidas que visam equilibrar, recuperar e conservar de forma sistêmica os

ecossistemas terrestre e aquático bem como as suas interações (GROSSI, 2006; MARTTILA e KLOVE, 2010; ARROIO JÚNIOR, 2013).

Mendonça et al. (2015) destacam a importância da integração entre o manejo dos recursos hídricos e às ações de planejamento do uso e cobertura da terra uma vez que as características físicas, químicas e biológicas encontradas no corpo hídrico são principalmente determinadas pelas atividades exercidas na área de captação. O desafio encontrado por pesquisadores da área está alojado na qualificação e quantificação da intensidade dos processos ocorrentes na bacia hidrográfica sobre os distintos usos e coberturas da terra, uma vez que há existência de uma série de variáveis que podem interferir no transporte de material oriundo das encostas para o canal fluvial.

Diante o exposto, a hipótese desse trabalho pressupõe que a precipitação pluviométrica e as áreas de manejo agrícola são os principais condicionantes do aporte de material sólido em canais fluviais. Carvalho (2006) menciona que o conhecimento destes atributos geográficos é de fundamental importância para a correlação entre multidisciplinaridade e questões ambientais quando o foco de pesquisa for relativo a processos erosivos e transporte de material sólido em suspensão ou dissolvido.

Desta forma o objetivo geral da presente pesquisa consiste em analisar a influência do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia hidrográfica sobre a carga de sólidos suspensos do Arroio Fundo, no Estado do Paraná. Por conseguinte, os objetivos específicos do presente trabalho consistem em: verificar a influência da precipitação pluviométrica sobre a concentração dos Totais de Sólidos Suspensos do Arroio Fundo e; determinar períodos de alta e baixa contribuição do NDVI para o incremento de material particulado nas águas do Arroio Fundo, considerando o regime pluviométrico da área de estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é definida por todo território estabelecido entre divisores de água (limite topográfico de maior elevação) e o local da foz do canal fluvial principal (exutório). Por sua vez o canal principal e seus afluentes no conjunto das sub-bacias compõem a rede de drenagem da bacia hidrográfica, que recebe todo tipo de incidente pluvial e descarrega superficial ou subsuperficialmente (lençóis freáticos e nascentes) para uma simples saída (BARRELHA et al., 2001; TARGA, 2008).

Nesse contexto, Hollanda et al. (2012) ressalta que a bacia hidrográfica é compreendida por um espaço tridimensional que relaciona a cobertura da terra, a profundidade do solo e o entorno das linhas divisórias de água. Deste modo é composto um sistema integrado por quatro subsistemas de ordem biológica (flora e fauna), física (geologia, clima e recursos hídricos), econômica (agropecuária, indústria, exploração de recursos naturais e serviços) e social (elementos demográficos). Tais elementos tem a intensidade determinada pela localização na bacia hidrográfica e a densidade da ocupação antrópica.

Pesquisas recentes que elencam as interações entre ambientes terrestre e aquático têm utilizado a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise, no que faz referência a relação entre diversos atributos ambientais, econômicos e sociais (ALBERTI e PEREIRA FILHO, 2014; LOPES, 2016; ROCHA e PEREIRA, 2016). Ademais, no Brasil, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo é também considerada pela Lei nº 9.433, implementada em 08 de janeiro de 1997, define a Política Nacional de Recursos Hídricos como mediadora dos princípios para gestão, planejamento e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, no intuito de realizar o acompanhamento das mudanças introduzidas pelo homem e as repostas da natureza.

Visando garantir a sustentabilidade do ecossistema e do ciclo hidrológico, Avazani (2005) pressupõe que estudos em bacias hidrográficas são essenciais para a compreensão da dinâmica aquática, desde os atributos que a qualificam até as consequências ambientais pois habilitam ao pesquisador a observação integrada do

ambiente solo, água e vegetação, assim como os impactos causados pela cobertura da terra.

Assim, no que diz respeito ao manejo dos recursos naturais e artificiais, Gardiman Junior et al. (2012) ressaltam o planejamento das atividades antrópicas em bacias hidrográficas como medida fundamental para garantir a integridade e equilíbrio ambiental. Segundo o autor, a ação antrópica dada pela exploração agropecuária de maneira irregular, dentre as demais atividades econômicas, vem sendo principal causadora dos impactos negativos ocorrentes em bacias hidrográficas.

### **2.1.1 Impactos da ação antrópica em bacias hidrográficas**

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 01 de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental é definido como qualquer alteração de propriedades físicas, químicas e biológicas ocorrentes no meio ambiente sobre influência da ação humana cujas consequências abrangem a saúde e segurança da população, as atividades econômicas e sociais, o ecossistema e a qualidade dos recursos ambientais.

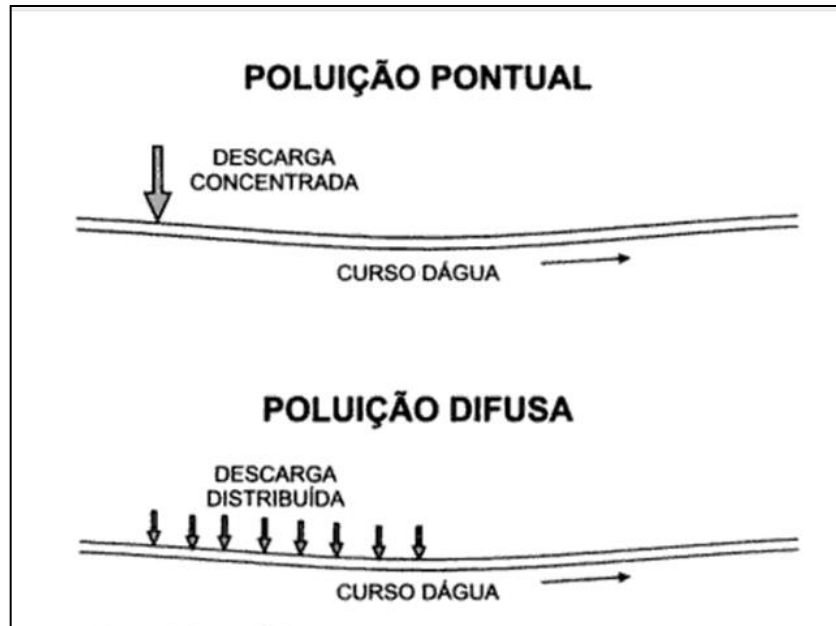
Alterações físicas e biológicas verificadas em bacias hidrográficas ocorrem de maneira natural com o passar do tempo, porém são intensificadas pela ação antrópica de diferentes maneiras. Tal ação é designada principalmente pelo uso e cobertura da terra dado a superfície, cujas consequências abrangem modificações no regime hídrico, remoção da cobertura vegetal nativa (desmatamento), urbanização, práticas agrícolas, aumento da erosão, degradação dos solos, assoreamento dos rios e contaminação das águas (AVANZI, 2005; MEDEIROS et al., 2009; PINTO et al., 2013).

No que se refere à deterioração de ambientes aquáticos, as fontes de poluição podem ser caracterizadas como pontuais e difusas (Figura 1). A entrada de efluentes domésticos e industriais é determinado como fonte pontual, enquanto que fontes difusas são caracterizadas basicamente por resíduos oriundos das práticas agrícolas sob a ausência de métodos conservacionistas do solo como anteriormente citado (PRADO, 2005). As fontes difusas representam o maior potencial poluidor já que é veiculada a drenagem pluvial cuja descarga de material ocorre de forma



distribuída no curso d'água enquanto que a descarga pontual se caracteriza pela concentração no espaço (VON SPERLING, 1996).

Figura 1- Tipos de poluição incidentes em cursos d' água.



Fonte: VON SPERLING, 1996.

Como fonte difusa de degradação aquática e terrestre, o processo de urbanização tem se intensificado diante a atual conjuntura de desenvolvimento econômico. Conforme abordado anteriormente, as consequências desse tipo de ocupação dado à superfície determinam as alterações nas características do solo e da água da bacia hidrográfica, tanto em aspectos qualitativos como quantitativos (DEL GROSSI, 1991; CUNICO, 2008).

Pontualmente a criação de animais confinados atua como fonte de poluição uma vez que grandes quantidades de dejetos são produzidas e lançadas diretamente no ambiente aquático ou nas lavouras. Por outro lado, a criação de animais em pastagens convencionais caracteriza a poluição difusa quando há influência do deflúvio superficial originado principalmente pela precipitação pluviométrica. Ademais, a movimentação dos animais em pastagens é responsável pela compactação do solo, o que dificulta a infiltração e aumenta o escoamento (MERTEN e MINELLA, 2002).

Em termos climáticos, as formas desordenadas de uso e cobertura da terra tem como consequência o agravamento das estiagens em determinadas regiões, além de fortalecer eventos de inundação em outras (REBOUÇAS et al., 2006). Os autores acrescentam ainda que o mau uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas implica diretamente no desmatamento, resultando na aceleração dos processos erosivos que anteriormente ocorriam mais lentamente por meio de processos naturais.

A remoção da cobertura vegetal para incremento de atividades antrópicas em bacias hidrográficas acaba potencializando o processo de erosão dos solos e o assoreamento dos canais fluviais. Deste modo, as propriedades químicas e físicas do solo são prejudicadas e por consequência tem-se a diminuição da produtividade natural e aumento da utilização de defensivos e insumos agrícolas (DECHEN et al., 2015). A fim de sanar esse problema, são adotadas práticas de manejo do solo consideradas inadequadas que favorecem o transporte de resíduos químicos e sólidos para os corpos hídricos (GROSSI, 2006).

Visto que a entrada de substâncias oriunda de atividades humanas em corpos hídricos modifica as condições necessárias para manutenção e desenvolvimento das espécies de microrganismos, a presença da cobertura vegetal sobre a superfície diminui o impacto das gotas de chuva e reduz o escoamento superficial. Além disso, a presença de raízes e processos de decomposição condiciona a infiltração da água, umidade do solo e fertilidade por meio da produção de matéria orgânica (BELTRAME, 1994; COSTA e RODRIGUES, 2015).

Segundo Strahler e Strahler (2005) o assoreamento de canais fluviais é considerado parte de um ciclo geográfico que ocorre naturalmente sobre a superfície terrestre. Porém a aceleração dos processos erosivos oriundos da desnudação do solo é responsável por intensificar esse processo. Ainda, o autor elenca que a participação de declividades acentuadas potencializa a velocidade do escoamento superficial e assim, a carga de transporte de sólidos para o canal fluvial é fortalecida a ponto de ocasionar seu assoreamento.

Além de provocar o assoreamento de canais fluviais, concentrações excessivas de sólidos em suspensão caracterizam impactos negativos sobre reservatórios de água, principalmente para geração de eletricidade (CARVALHO, 2008). Para o autor, os problemas estão especialmente relacionados aos depósitos de sedimento nesse tipo de ambiente lântico, responsáveis por danificar o

funcionamento das turbinas e recalques, reduzir o volume d'água e a vida útil do lago.

Em termos qualitativos, o excesso de material sólido suspenso e dissolvido em corpos hídricos pode desencadear o aumento da turbidez da água, sendo uma das variáveis limnológicas que determinam a qualidade da água conforme estabelecido pelo CONAMA (Art. 14, Resolução 357). A medida que ocorre a diminuição da entrada de luz solar (consequência de elevados valores de turbidez da água) a fotossíntese do fitoplâncton e das macrófitas submersas é comprometida, diminuindo a produção de oxigênio e suprimindo o desenvolvimento dos peixes e microrganismos aquáticos. Dessa forma o uso da água para suprir a demanda doméstica, industrial e recreacional é limitado (CETESB, 2009).

Diante o cenário exposto, os impactos causados pela ação antrópica tem sido abordados em maior número sobre a perspectiva de aspectos qualitativos do que quantitativos. Aspectos quantitativos referentes às condições do clima, cobertura vegetal da superfície e geologia representam uma gama de dados, informações numerosas e muitas vezes com valores estimados devido à incerteza e empirismo dos parâmetros elencados. Assim a confiabilidade das informações é afetada uma vez que se torna mais dificultoso elaborar uma estimativa real sobre os impactos causados no escoamento superficial, na produção e transporte de material sólido e qualidade da água (TUCCI e CLARKE, 1997).

## 2.2 TRANSPORTE E PRODUÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS

A erosão pode ser definida como um processo de desagregação e remoção do solo de um determinado ponto correspondente à superfície terrestre para o depósito em outro por meio da ação da chuva, do escoamento superficial, vento, gelo, mudanças de temperatura, gravidade, entre outros agentes naturais ou antropogênicos (VERHEIJEN et al., 2009). A complexidade deste fenômeno é atribuída à medida que depende das condições hidrológicas, da cobertura vegetal, das propriedades físicas e químicas do solo, da topografia do terreno, dentre outros fatores (CUNHA e SANTOS, 1985).

Carvalho (2008) pressupõe que a erosão corresponde à separação de material oriundo de rochas e do solo, pela ação da água, do vento ou por outro efeito oriundo de um determinado fenômeno. Assim, o autor classifica o tipo de erosão do

sedimento a partir da ação atuante, dividido em fluvial (quantidade de partículas transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas) e eólico (partículas que se movem ou se depositam pela ação do vento).

Nesse contexto, a erosão pelo escoamento das águas consiste no transporte de partículas por meio do processo de arrastamento. Dentre as várias formas de erosão causadas pela água, Arroio Junior (2013) destaca a erosão fluvial determinada pela erosão nas encostas marginais dos rios e a erosão pluvial pela ação da precipitação pluviométrica. Ademais o autor ressalta que a erosão oriunda da ação da chuva pode se manifestar de formas diferentes e classificadas em dois tipos principais: erosão laminar ou erosão superficial em lençol e erosão linear ou erosão por fluxo concentrado.

Em adição, Strahler e Strahler (2005) afirmam que a erosão fluvial atua não só sobre as margens como também sobre o fundo do fluxo de água, agindo na remoção progressiva de material mineral rochoso ou do regolito. Desta forma o canal fluvial desempenha basicamente três processos interligados: erosão, transporte e depósito de material sólido. A erosão compreende a remoção do material, o transporte consiste no movimento das partículas erodidas e a deposição dada pelo acúmulo das partículas transportadas no leito do rio, nas planícies de inundação ou no fundo de corpos hídricos lênticos.

No canal fluvial, a capacidade de transporte corresponde à carga máxima de detritos que são deslocados de um lugar para outro. Usualmente, essa carga é calculada em toneladas métricas por segundo, de sólidos suspensos e materiais de fundo do leito, que passam por um determinado ponto do canal (STRAHLER e STRAHLER, 2005). Partindo desse pressuposto, Christofletti (1981) e Silva et al. (2003) apontam que a capacidade de erosão das margens de canais fluviais, o transporte e depósito de sólidos estão associados a vazão e a natureza da corrente.

Inicialmente, o movimento da água pela encosta abaixo em um filme fino e homogêneo é denominado fluxo laminar ou escoamento superficial. À medida que esse tipo de erosão toma intensidade e concentração acaba formando canais (erosão linear) caracterizados por sulcos descendentes em pequena escala, mas que podem evoluir em voçorocas e ravinas mais profundas e, posteriormente, em um curso de água (CHRISTOPHERSON, 2012).

Processos que envolvem a erosão laminar tem início a partir de condições distintas entre o contato da chuva com o solo. As principais situações podem ser

observadas quando a quantidade de água precipitada é superior à capacidade de infiltração do solo, quando ocorre o umedecimento dos agregados reduzindo a coesão do material, ou por efeito do selamento da camada superficial do solo, fazendo com que o escoamento superficial se inicie (FILIZOLA *et al.*, 2011).

De acordo com Castro *et al.* (2004), Guerra (2005) e Carvalho (2008) a primeira etapa da erosão laminar é marcada pela energia do impacto das gotas da chuva sobre a superfície do solo. Denominado efeito *splash* ou salpicamento, o processo atua no destaque das partículas de sólidos, que sobre a presença de terrenos inclinados gera a desagregação, deslocamento e lavam o solo, removendo assim a camada superficial. Esse processo erosivo apresenta condições dependentes da distribuição e intensidade da precipitação pluviométrica, assim, à medida que a partícula é solta, ocorre o deslocamento de sua posição por meio de enxurradas até os cursos de água.

A ocorrência de erosão laminar pode ser principalmente observada em superfícies que apresentam a exposição do solo em determinadas épocas do ano, ou seja, períodos onde há o preparo do solo para o plantio de culturas agrícolas (VALLE JUNIOR, 2008).

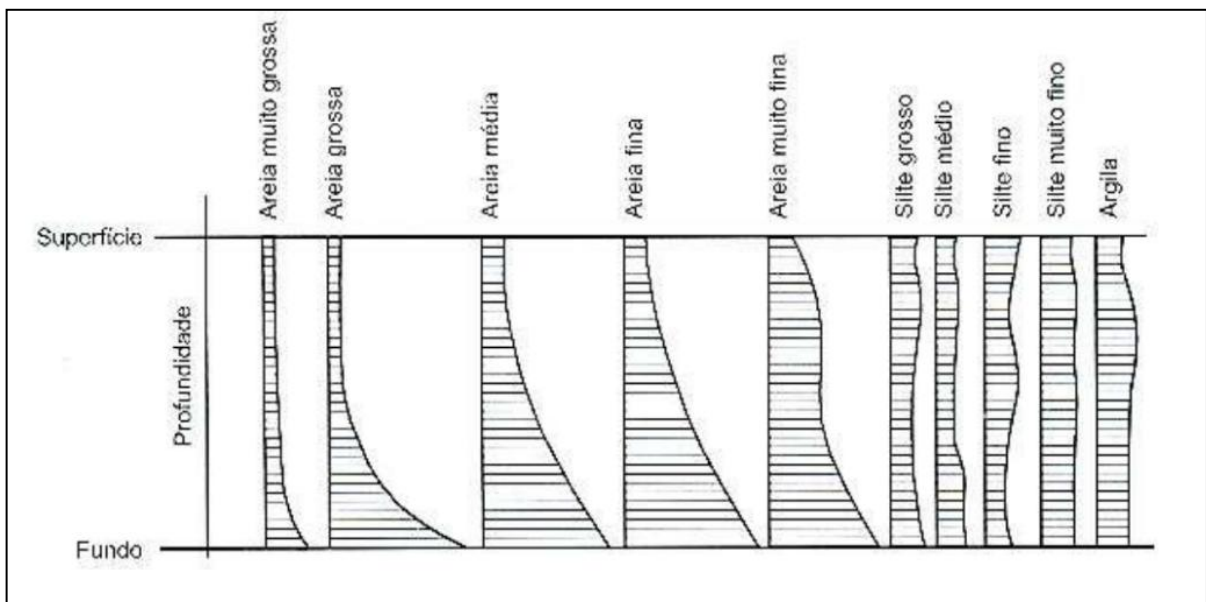
Souza (2001) aborda que dentro do quadro de evolução da erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas), as voçorocas desempenham a maior capacidade de destruição e transporte de material sólido. Essa característica é dada devido a atuação do escoamento tanto em superfície como também em subsuperfície devido a exposição do lençol freático subterrâneo que alimenta um fluxo de água livre e contínuo. Castro *et al.* (2004) ressalta que o fluxo de água das voçorocas tem capacidade de gerar insurgências no talude e também desenvolver canais e tubulações naturais, denominadas cientificamente como dutos ou *piping*.

Dentro do ciclo hidrossedimentológico o transporte de sólidos sucede os processos erosivos de superfície e subsuperfície. O deslocamento de material erodido possui dependência da forma do sedimento, do tamanho e peso das partículas, sendo diretamente influenciados pela força exercida do escoamento das águas (CARVALHO, 2008).

Christopherson (2012) atribui quatro processos responsáveis pelo transporte de material erodido: solução, suspensão, saltação e tração. Em solução (material dissolvido) são transportados principalmente minerais como calcário, dolomita ou sais solúveis oriundo de intemperismo químico. A carga suspensa é composta

basicamente por partículas afaníticas e clásticas, ou seja, fragmentos de rocha. O transporte desta ocorre principalmente na parte superior da corrente (Figura 2), onde fatores como velocidade e turbulência do fluxo de água determinam a suspensão do material sólido. Por sua vez a tração e saltação compreendem o transporte de materiais mais grossos, ou seja, incapazes de permanecer em suspensão no canal fluvial. Dessa forma serão deslocados materiais que constituem a carga de fundo por meio de arrasto, rolamento ou empurrados ao longo do leito fluvial.

Figura 2 - Distribuição vertical de sedimentos encontrados em cursos d' água.



Fonte: Carvalho, 2008.

Nesse contexto, o material suspenso encontrado em ambiente fluvial é constituído tanto por matéria inorgânica (partículas de minerais, principalmente silte e argila) como por matéria orgânica (fitoplâncton, zooplâncton e material orgânico particulado) (ESTEVES, 1998). Segundo Woodard (2001) todo sólido retido em filtro de 0,45µm após a filtragem de determinado volume de água é classificado como Totais de Sólidos Suspensos (TSS). Enquanto o material que passa pela filtragem é determinado como Totais de Sólidos Dissolvidos (TDS).

O transporte de material suspenso no canal fluvial compõe basicamente materiais de granulometria reduzida, ou seja, do tamanho silte e argila. A velocidade do transporte é vinculada a própria velocidade da corrente, que ocorre distintamente

na seção transversal do leito (ARROIO JUNIOR, 2013). Assim o TSS está também atrelado ao tipo de solo encontrado na bacia hidrográfica.

Em termos pedológicos, as características evidenciadas pelos tipos de solo encontrados em uma bacia hidrográfica influenciam sobre a infiltração, escoamento superficial, adsorção e percolação da água sobre as encostas. Sendo essas variáveis influenciadas, são desencadeadas alterações nos processos erosivos e no transporte de poluentes para o canal fluvial (PRADO, 2004).

O principal condicionante de alterações ocorrentes nas concentrações TSS em ambiente aquático é determinado pelas atividades desenvolvidas em ambiente terrestre (WACHHOLZ, 2007). Nesse sentido, a intensidade do transporte e produção do material sólido varia de acordo com a função dada ao solo, associada principalmente a exposição ou cobertura da superfície por vegetação. A exemplo dessa dinâmica, as áreas em que são desempenhadas atividades agrícolas apresentam as maiores variações quando comparadas as áreas cobertas por vegetação florestal (MERTEN e MINELLA, 2002; MORGAN, 2005).

Em aspectos qualitativos, o aumento da concentração de TSS na água implica consequentemente no aumento da turbidez, que por sua vez interfere na atividade fotossintética e prejudica a procura de alimentos em determinadas espécies. Além de provocar o assoreamento dos rios, a variável limnológica TSS aponta para a presença de poluição no corpo hídrico, já que o coloide não dissolvido e o TSS possuem um aumento adjunto ao grau de poluição existente (BRAGA, 1998; SILVA, 2006; WACHHOLZ, 2007).

Levando em consideração os processos de transporte de sólidos suspensos anteriormente descritos, a produção de sólidos é dada por todo material que deixa a bacia hidrográfica a partir de um determinado ponto denominado exutório (DE VENTE et al., 2008). As medidas de produção de sólidos suspensos são essenciais para a compreensão da dinâmica natural da água e influência antrópica, e como é estabelecido o transporte de sedimento e da água em bacias hidrográficas (RESTREPO et al., 2006).

Dentre as variáveis de uso e cobertura da terra que influenciam a produção de material sólido em bacias hidrográficas, Cabral e Reis (2015) constaram que a presença de solo exposto e áreas urbanizadas ocasionaram não só o aumento das concentrações de TSS na água como também da vazão para o período analisado.

Por outro lado, os autores verificaram a influência das áreas de vegetação sobre a redução da vazão e concentração de TSS.

### 2.3 PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é definido como a utilização de sensores para estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície terrestre sem que haja contato físico entre eles. Os dados são adquiridos a partir do registro e análise das interações estabelecidas entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem o alvo a ser estudado. Após a aquisição, ocorre o armazenamento, processamento e análise dos dados para extração de informações acerca do determinado alvo (NOVO, 2008).

Para que haja a interpretação correta de dados obtidos por sensoriamento remoto, Rosa (2009) pressupõe que elementos como radiação eletromagnética, fontes de radiação, efeitos atmosféricos, comportamento espectral dos alvos e sistema sensor, devam ser conhecidos.

A transferência da informação do objeto para o sensor é definida pela radiação eletromagnética (REM). Em outras palavras, é caracterizada por uma forma dinâmica de energia que tem suas propriedades determinadas a partir da interação com a matéria, dependente das composições físico-químicas dos elementos irradiados. Dessa forma ocorre a interação da radiação e a superfície de contato que por sua vez reflete, absorve e/ou reemite a energia incidente (MOREIRA, 2005; NOVO, 2008; ROSA, 2009).

Qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin) está apto a emitir energia eletromagnética. Dentre as demais formas de energia existente, no sensoriamento remoto da superfície terrestre é dada importância especial para a energia radiante ou radiação eletromagnética, onde o Sol e a Terra são caracterizados pelas duas principais fontes naturais de energia (MORAES e FIORIO, 2002; ROSA, 2009).

A REM que deixa o objeto e parte na direção do sensor com velocidade da luz (300000 km/s) é submetida a efeitos atmosféricos. A interação do sinal coletado pelo sensor com a atmosfera ocorre basicamente de duas maneiras: por absorção e/ou espalhamento. À medida que a REM se propaga pela atmosfera a mesma é absorvida seletivamente pelos constituintes ali presentes, como vapor d'água,



ozônio, dióxido de carbono, entre outros. Enquanto que o espalhamento da radiação solar em contato com a atmosfera consiste na geração de um campo de luz difuso que se propaga em todas as direções, dependente do tamanho das partículas e do comprimento de onda da radiação (ROSA, 2009; LORENZZETTI, 2015).

Segundo Novo (1992) a extração de informações a partir de dados de sensores remotos deve levar em consideração o conhecimento a respeito do comportamento espectral dos objetos localizados na superfície terrestre, bem como os fatores que interferem nesse comportamento. Assim, haverá maior coerência na prévia definição de novos sensores, no tipo de processamento e como será aquisição dos dados.

Segundo estudos realizados pelos autores Centeno (2004) e Rosa (2009) a reflectância de determinados alvos varia em função da posição da fonte de radiação eletromagnética e do sensor (instrumento de coleta), ou seja, a reflectância se torna bidirecional e capaz de caracterizar o comportamento espectral dos alvos em superfície terrestre. Além da diferença existente entre o comportamento espectral da água, vegetação e solo, alvos de natureza similar, por exemplo, duas árvores da mesma espécie, podem refletir a energia incidente de maneira distinta.

A fim de captar os distintos comportamentos espectrais dos alvos ocorrentes na superfície terrestre, os sistemas sensores devem operar simultaneamente em diferentes regiões do espectro eletromagnético, e assim, produzir imagens em diferentes bandas espectrais (sensores imageadores). Além disso, Lorenzzetti (2015) pressupõe que deve ser levado em conta também as próprias características do sensor, no que abrange o campo de visada, nível mínimo de resposta e variação ao grau de polarização da radiação, relação sinal/ruído e responsividade espectral.

Nesse sentido, para obtenção de dados oriundos de sensores remotos faz-se então necessário um levantamento prévio das vantagens e desvantagens proporcionadas pela escolha de determinado sensor. A fim de atingir os objetivos propostos, deve ser considerada a eficiência do sensor, o ângulo de visada, a frequência na obtenção dos dados e principalmente as resoluções espacial, espectral e radiométrica (PRADO, 2004).

Partindo desse pressuposto, o conhecimento e utilização conjunta dos elementos que compõem o sensoriamento remoto possibilita a obtenção de informações acerca de uma área ou ecossistema, com resolução temporal e espacial, a baixo custo e geralmente de boa qualidade. Assim, segundo Novo (2008)

surge a possibilidade de visualização do ambiente, considerando as relações que nele ocorrem.

Dentre os intervalos de comprimento de onda da radiação eletromagnética (visível, infravermelho, termal e micro-onda), o homem tem capacidade de visualizar apenas as cores na faixa do visível. Sobre essa perspectiva, se faz necessária a utilização de outros instrumentos (Sistemas de Informação Geográfica, Espectrorradiômetro, entre outros) para uma ampla análise do comportamento espectral na totalidade do espectro eletromagnético (MENEZES e NETTO, 2001).

### **2.3.1 Índices de vegetação**

De maneira geral os índices de vegetação têm a função de realçar o comportamento espectral da vegetação dependente de aspectos biofísicos como Índice de Área Foliar (IAF), biomassa, uso e cobertura da terra, nitrogênio, atividade fotossintética, entre outros fatores. Assim, tais índices são basicamente utilizados para dois objetivos: caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa e; determinar a distribuição temporal e espacial da vegetação associada aos ciclos fenológicos anuais e condições do clima (EPIPHANIO et al., 1996; LIU, 2015).

A utilização dos índices de vegetação com dados derivados das imagens de satélite tem se mostrado uma ferramenta de análise ambiental altamente eficiente uma vez que tem capacidade de inferir sobre as modificações ocorrentes na paisagem e na dinâmica da vegetação. Frente ao exposto, torna-se possível verificar o aumento ou diminuição de áreas degradadas ou então em processo de degradação já que a vegetação atua na função protetora da camada superficial do solo como ressaltado anteriormente (SILVA e ALMEIDA, 2015).

Com o objetivo de realizar as relações funcionais entre o sensoriamento remoto e as características da vegetação, com foco para agricultura, utiliza-se os índices de vegetação que mais comumente são gerados a partir da informação contida nas reflectâncias dos dosséis das plantas. Desse modo, Rocha et al. (2009) e Liu (2015) pressupõem que esses índices são utilizados para discriminar a presença ou não da vegetação, avaliar as condições de crescimento das plantas, os efeitos de eventos meteorológicos e também a ocorrência de pragas, doenças, secas e geadas.

Os índices de vegetação são obtidos pela informação extraída da radiância refletida a partir da razão entre as regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) (espalhamento dependente da quantidade e distribuição das folhas e arranjo espacial do dossel). A relação é dada a partir da densidade da cobertura vegetal em certa área, ou seja, quanto maior a densidade menor a reflectância na faixa do visível (de 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ). Essa relação está associada à absorção da radiação solar pela ação de pigmentos fotossintetizantes encontrados nas folhas das plantas. Enquanto que na faixa do NIR (0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ) é observada maior reflectância em função do espalhamento múltiplo da radiação causado pelas diferentes camadas das folhas (MENEZES e NETTO, 2001; PONZONI e SHIMABUKURO, 2007; PONZONI et al., 2012).

### 2.3.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Dentre os mais de cinquenta índices de vegetação existentes na literatura, Moreira (2009) destaca o Razão Simples (SR) e o Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) como os índices mais comumente utilizados. Segundo o Jackson e Huete (1991) tanto o RVI quanto o NDVI consideram o tipo de informações contidas no que diz respeito aos parâmetros biofísicos das culturas. Para os autores a diferença existente entre os dois índices está na sensibilidade à vegetação esparsa mais acentuada no NDVI quando comparada ao RVI.

O NDVI foi proposto em 1973 por Rouse et al. (UDA et al., 2010) como um estimador de biomassa, utilizado para mapear o teor de massa verde de uma determinada área. O índice é calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do NIR e o VIS. Haja vista que a faixa do visível é determinada pelo verde (GREEN), azul (BLUE) e vermelho (RED), esta última se sobressai uma vez que representa o maior comprimento de onda, devido a maior absorção da radiação eletromagnética pela clorofila quando comparada as demais regiões. Além disso, comprimentos de onda menores apresentam maior interferência da atmosfera (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Desta forma, o NDVI é obtido a partir da Equação 1:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR}-\text{RED})}{(\text{NIR}+\text{RED})} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: NIR corresponde a reflectância do infravermelho próximo (Near Infra Red) e; RED a reflectância da faixa do vermelho visível.

Conforme Rouse et al. (1973) o cálculo do NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, sendo que as áreas com vegetação intensa (alto teor de verdor) alcançam valores próximos de +1. Embora os valores de NDVI possam variar conforme o intervalo acima mencionado, a presença de vegetação é apontada por valores positivos. De acordo com Silva et al. (2007) o limite superior aproxima-se de 0,8 mediado por uma vegetação mais vigorosa. Ademais, valores negativos de NDVI estão associados a alta reflexão na região do vermelho e valores próximos de zero refletem os dois comprimentos de onda em intensidade semelhante, resultado da ocorrência de solos descobertos e rochas (RIZZI e FONSECA, 2004).

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

### 2.4.1 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson ou coeficiente de correlação do Momento Produto foi elaborado por Karl Pearson e Francis Galton em 1897 (SCHULTZ e SCHULTZ, 1992; STANTON, 2001). Segundo Garson (2009) tal correlação é definida por uma medida de associação bivariada (x e y) do grau de relacionamento entre as duas variáveis. Para Moore (2007), além do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, a correlação de Pearson mensura também a direção da relação das variáveis.

Para Callegari Jacques (2008), o coeficiente de correlação de Pearson é calculado pela equação 2:

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 (y-\bar{y})^2}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:  $r$  = coeficiente de correlação de Pearson;  $\sum$  = soma dos produtos e;  $x$  e  $y$  são as variáveis determinadas.

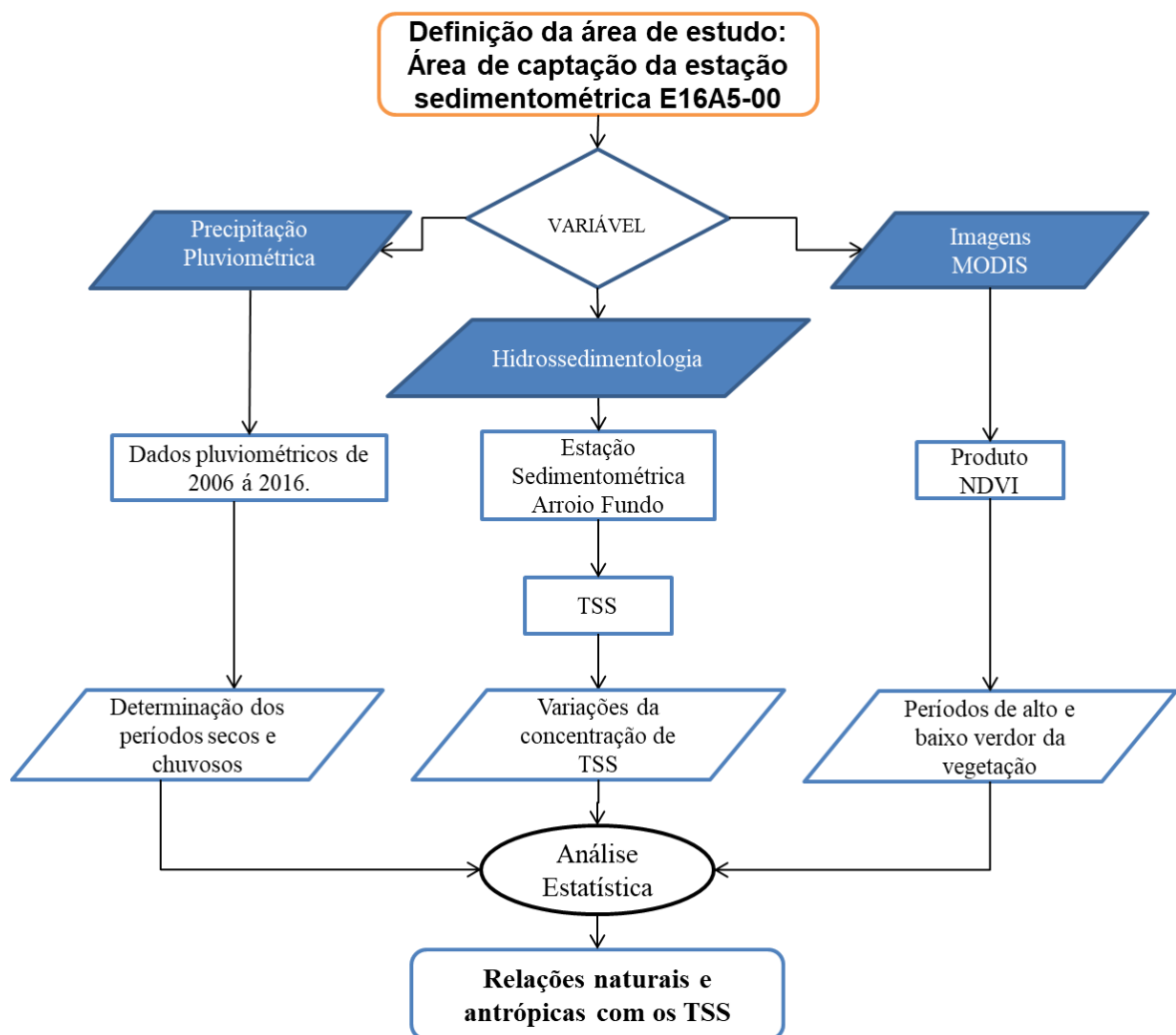
O resultado obtido após o cálculo da equação 2 terá valores que variam de -1 a 1, o que segundo Figueiredo Filho e Silva Junior (2010) implica na força da relação

entre as variáveis. Valores iguais a -1 ou 1 determinam que o escore de uma variável pode ser calculado pela outra, enquanto uma correlação com valores próximos a zero indicam que não há relação entre as variáveis. Conforme os autores, o sinal negativo ou positivo indica a direção do relacionamento destas variáveis.

### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente estudo encontram-se resumidos no fluxograma da figura 3 e descritos de forma mais detalhada na sequência.

Figura 3- Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente estudo.



Fonte: Autor.

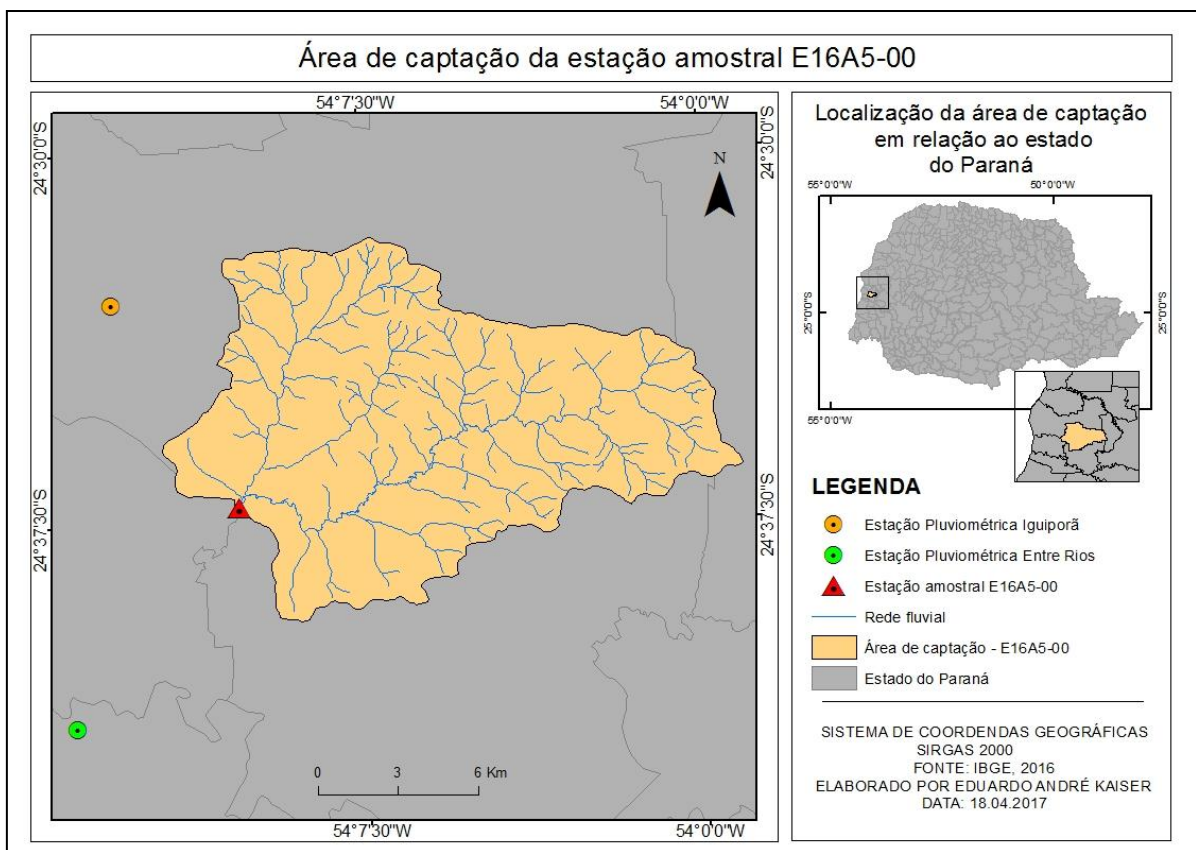
#### 2.5 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreendida pelo presente trabalho corresponde à área de captação da estação sedimentométrica E16A5-00. Esta área localiza-se na

microbacia hidrográfica do Arroio Fundo que por sua vez está localizada na bacia hidrográfica do Paraná III, no extremo oeste do estado do Paraná, que integra a bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro.

A drenagem é formada pelos rios Arroio Curvado, Arroio Ajuricaba, Arroio Fundo, que a jusante da estação de coleta compõem a bacia hidrográfica do Arroio Fundo em sua totalidade. A área de captação (Figura 4) compreende aproximadamente 17474,4 hectares e está localizada com maior área sobre o município de Marechal Cândido Rondon.

Figura 4- Mapa de localização da área de captação da estação amostral E16A5-00.



Fonte: Autor.

A vegetação original da bacia hidrográfica era composta por mata nativa do tipo Floresta Estacional Semidecidual, porém com o intenso desflorestamento no período de colonização (1950) restaram apenas 3,6% da cobertura florestal distribuídas em reservas legais e mata ciliar. Ademais, as áreas de vegetação estão localizadas em sua maioria, em alta vertente, topos de morro e entornos de canais

fluviais. Essa baixa presença de vegetação florestal torna-se evidente já que 75% dos cursos de água perenes do município não apresentam a faixa mínima de preservação em seus entornos (PFLUCK, 2002; MEZZOMO, 2009).

O uso e cobertura da terra predominante na bacia hidrográfica do Arroio Fundo caracteriza-se pela agricultura e intensa atividade pecuária nas áreas de vale, cuja ocupação é de pastagens. Segundo o Plano Diretor do município de Marechal Cândido Rondon a suinocultura se destaca uma vez que apresenta potencial para expansão no município. Porém esse tipo de ocupação desempenha conflito em relação ao uso e cobertura da terra já que há presença de chiqueiros em Áreas de Preservação Permanentes (APP's). De Andrade (2011) em trabalho realizado na mesma área de estudo verificou a predominância da agricultura familiar com produção agrícola e áreas de pastagem.

Por sua vez, o clima caracteriza-se como temperado, com geadas no inverno e elevadas temperaturas no verão. Conforme a classificação climática elaborada por Köppen (1948) o município está localizado na região de clima subtropical úmido mesotérmico do tipo climático Cfa (clima subtropical úmido), caracterizado por verões chuvosos e sem uma estação seca definida. A temperatura média dos meses quentes alcança medidas superiores a 22°C e inferiores a 18°C nos meses mais frios. A precipitação anual apresenta um acumulado aproximado de 1500 mm, com verão mais chuvoso (em torno de 450 mm) quando comparado ao inverno (em torno de 250 mm) (IAPAR, 2000).

Segundo o Plano Diretor do município de Marechal Cândido Rondon (2007), o relevo é caracterizado por feições onduladas, profundas e bem drenadas. Em geral as declividades são baixas, menores que 10%, porém algumas exceções podem ser observadas nas áreas onde ocorre a ação das águas fluviais e conseqüente entalhamento das encostas, cujas declividades podem ultrapassar 45%. Deste modo as maiores declividades estão associadas aos vales dos rios que compõe o território municipal e na escarpa de recuo existente na região oeste do município, resultantes de atividades erosivas do rio Paraná e afluentes como o Arroio Fundo.

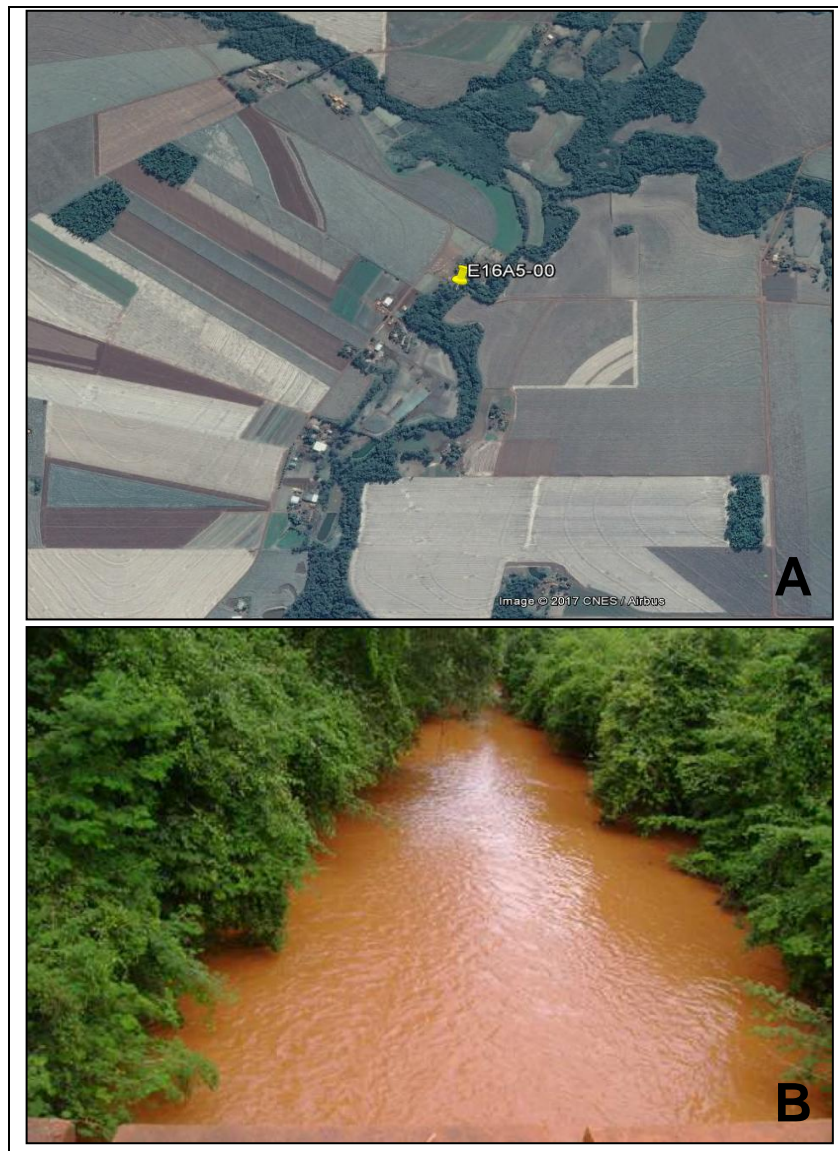
Os tipos de solo verificados no município estão associados às feições do relevo, caracterizados em eluviais e transportados. Em regiões aplainadas ocorre o latossolo roxo eutrófico de elevada espessura, nas áreas mais baixas surgem os solos hidromórficos (gleyssolos) caracterizados pela saturação dos terrenos e nas áreas de meia encosta e escarpas ocorrem solos mais rasos com afloramentos



rochosos, principalmente do basalto com uma camada fina de solo, característicos dos neossolos litólicos (Plano Diretor Marechal Cândido Rondon, 2007).

Conforme exposto na figura 5A, embora ocorra a presença de vegetação nativa ao longo do curso de água que compõe o Arroio Fundo, em especial no entorno da estação E16A5-00 (Figura 5B), observa-se o uso intenso do solo para agricultura. Deste modo, compõe-se uma paisagem extremamente antropizada cuja cobertura florestal ocorre em pequenas áreas e de forma isolada.

Figura 5- A) Áreas de entorno da estação sedimentométrica E16A5-00 marcadas pela predominância de propriedades agrícolas; B) Seção do Arroio Fundo onde esteve instalada estação sedimentométrica E16A5-00.



Fonte da imagem A: CASADO (2014); B: Google Earth (13.06.2016).

Particularmente, cada arroio que compõe a bacia hidrográfica apresenta condições distintas cobertura vegetal da superfície para as áreas de entorno da rede de drenagem. Conforme Oliveira et al. (2008) as áreas de entorno do Arroio Curvado apresentam predominância de cobertura vegetal na nascente, porém caracterizam-se pelo decréscimo dessas áreas à medida que se aproxima da foz do arroio. No caso do Arroio Ajuricaba os autores observaram uma situação distinta, ou seja, entornos desprovidos de vegetação na nascente e áreas cobertas na foz rio. Enquanto que as áreas de entorno do Arroio Fundo apresentam características e quantidade de cobertura vegetal semelhantes tanto na nascente como na foz do rio.

## 2.6 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos a partir da estação Entre Rios (02454003) situada no município de Entre Rios do Oeste, Paraná. Essa está localizada a sudoeste da bacia hidrográfica do Arroio Fundo e as informações podem ser observadas na Tabela 1. Cabe ressaltar que a definição da estação de coleta pluviométrica teve como critério a proximidade tanto da bacia hidrográfica como da estação sedimentométrica E16A05, localizada a distância de 10,2 km.

Tabela 1- Informações técnicas da estação pluviométrica de coleta no município de Entre Rios do Oeste.

	Estação Entre Rios
Código	2454003
Entidade Responsável	Águas Paraná
Distrito	Entre Rios do Oeste
Município	Entre Rios do Oeste
Estado	Paraná
Modo de coleta	Convencional
Bacia Hidrográfica	Rio Paraná
Latitude	24° 41' 33"
Longitude	54° 13' 57"
Altitude (m)	236

Fonte: Agência Nacional de Águas.

A aquisição dos dados correspondentes à precipitação pluviométrica compreendeu o acesso a plataforma *online* de dados da Agência Nacional de Águas

(ANA), portal “*Hidroweb*”. Os dados são disponibilizados em arquivo Access, Arquivo Excel e Arquivo texto passíveis de pré-visualização ou download. As coletas de dados são realizadas de forma convencional e com frequência diária.

O processo de manipulação inicial dos dados consistiu no uso do *software* Excel versão 2013 disponibilizado pelo pacote do *Office* da empresa *Microsoft*. Cabe ressaltar que não foram utilizadas operações estatísticas de reestimação ou suavização dos dados obtidos. A organização dos dados compreendeu a construção de tabelas e gráficos que representassem as variações da precipitação pluviométrica durante período de 2006 a 2016.

## 2.7 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Para determinação do NDVI foram adquiridas imagens do produto MOD13Q1 V6 do sensor MODIS. Esse produto se caracteriza pelo fornecimento do índice de vegetação para cada pixel da imagem já calculado. Tal produto caracteriza-se por 2 (duas) camadas primárias de vegetação: 1<sup>a</sup>. Índice de continuidade do NDVI derivado do NOAA-AVHRR (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica); 2<sup>a</sup>. Camada composta pelo EVI (*Enhanced Vegetation Index*), que tem melhorado a sensibilidade em relação às regiões de alta biomassa. A tabela 2 apresenta as especificações técnicas do satélite e do sensor MODIS.

Tabela 2- Especificações técnicas do satélite Terra e sensor MODIS.

<b>Satélite Terra</b>	<b>Atributos</b>
Órbita	750 km, síncrona com o Sol, polar; 10:30 a.m descendente
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Taxa de dados	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Potência	162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico)
<b>Sensor Modis</b>	
Cobertura	± 55°; 2.330 km (“ <i>scans</i> ” contínuos no nadir no equador)
Resolução espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) no nadir
Precisão radiométrica	5% Absoluto, 3 µm; 2% de reflectância
Alcance espectral	0,4 –14,4 µm
Quantização	12 bits

Fonte: Adaptado de Justice et al. (2002).

A utilização de imagens do sensor MODIS para o desenvolvimento do NDVI está associada a elevada resolução temporal e radiométrica oferecida pelo sensor. Além disso, a série de imagens obtidas pelo sensor abrange em totalidade o intervalo de tempo adotado no presente estudo (2006 a 2016).

A imagem consiste em 4.800 (quatro mil e oitocentas) linhas e 4.800 (quatro mil e oitocentas) colunas cuja resolução espacial (largura do pixel) corresponde a 250 (duzentos e cinquenta) metros. O produto MOD13Q1 V6 é gerado por um algoritmo que define o melhor valor de pixel disponível sobre todas as aquisições do período de 16 (dezesesseis) dias. Como critérios definidos têm-se a ausência de nuvens, baixo ângulo de visão do sensor e maior valor de NDVI/ EVI. O arquivo para *download* é disponibilizado em formato HDF (Hierarchical Data Format) composto pelas bandas denominadas MODIS 1 (Vermelho), 2 (NIR), 3 (Azul) e 7 (Infravermelho Médio).

O software utilizado para processamento da imagem de satélite corresponde ao ArcMap versão 10.4.1 desenvolvido pela empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute). Nesse ambiente SIG foram importadas as 124 (cento e vinte e quatro) imagens MOD13Q1 V6 coletadas a partir dos meses referentes aos 11 (onze) anos onde houve coleta das medidas de TSS.

Uma vez inserido o produto NDVI previamente obtido pelo *download* da imagem MODIS, calculou-se a média da bacia hidrográfica para cada mês. Assim inicialmente utilizou-se a ferramenta *Statistics-Mean* sobre os valores digitais dos pixels previamente definidos após o recorte da área de estudo sobre a imagem de satélite. Posteriormente esses dados foram exportados para plataforma EXCEL e então efetivados os cálculos do NDVI médio (-1 a +1).

Frente à obtenção de todos os valores médios (124 imagens) foram determinados os valores correspondentes ao alto e baixo NDVI para o período. Este procedimento consistiu no cálculo do NDVI médio da bacia hidrográfica do Arroio Fundo de cada mês e então na separação dos meses onde os valores estavam acima e abaixo desse. Para valores acima da média, determinou-se o grupo denominado Alto NDVI e para valores abaixo, o grupo Baixo NDVI.

## 2.8 TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS (TSS)

Os dados de TSS foram obtidos pela entidade binacional pertencente à República Federativa do Brasil e à República do Paraguai, ITAIPU Binacional, no período de julho de 2006 a outubro de 2016. A metodologia utilizada pela entidade foi desenvolvida em parceria com o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e Pedotechnologies Inc. Conforme Cochrame et al. (2004), os objetivos da parceria elencaram a:

- Realização de medições da descarga de sedimento nas principais bacias de contribuição do reservatório;
- Obtenção de parâmetros e subsídios para a formulação de programas conservacionistas a fim de preservar a longevidade do sistema de geração de energia elétrica e navegabilidade dos rios e;
- Manutenção da qualidade ecológica dos principais tributários da bacia de captação do reservatório.

A ITAIPU Binacional, a partir da Divisão de Reservatório no âmbito do Programa Cultivando Água Boa, estabelece o monitoramento sedimentométrico de 15 (quinze) estações amostrais de coleta. Destas, 8 (oito) representam a influência direta sobre as águas do reservatório e 7 (sete) caracterizam a influência indireta, ou seja, estão localizadas a montante da área de remanso do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) ITAIPU. A estação amostral cujos dados foram utilizados no presente estudo (E16A5-00) está localizada no canal fluvial denominado Arroio Fundo, em região de influência indireta do reservatório (Figura 4).

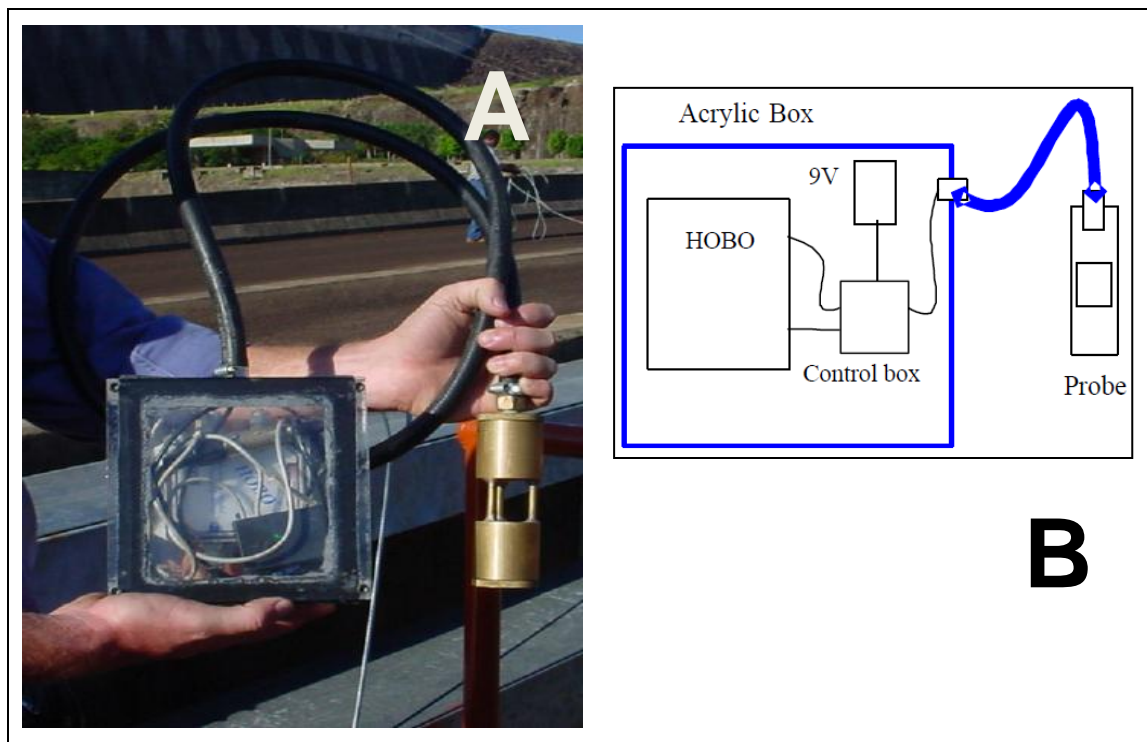
Assim como nas demais estações amostrais de coleta, na E16A5-00 foi construída uma base metálica na ponte de travessia, capaz de suportar a força exercida pelas águas em eventos de cheia do canal fluvial, onde foram instalados dois equipamentos para coleta contínua dos dados: um turbidímetro (*Turbidity meter*, em volts) e, um medidor de nível de água (*Water Level meter*).

O turbidímetro foi desenvolvido por técnicos da parceria anteriormente citada e detêm a capacidade de medir a quantidade de TSS associada à vazão do canal fluvial, a partir da amostragem de turbidez da água. Para desempenho das medições, o equipamento é composto basicamente por três partes (Figura 6): o *data logger* da marca *HOBO H8 Outdoor/Industrial 4-Channel External* responsável pelo

armazenamento dos dados; uma caixa de circuitos eletrônicos que divide a voltagem da bateria e; o sensor óptico que faz a leitura de turbidez da água.

A leitura é realizada por meio da emissão de um sinal luminoso de uma das extremidades do sensor, na faixa de 650nm, que passa pela água e então recebido por um *chip* foto elétrico acoplado a outra extremidade. A medição estabelecida pelo sensor varia em função da absorção ou refração da luz durante a trajetória. Assim, quando determinados altos valores de turbidez significa que a luz captada pelo *chip* caracteriza-se por baixa intensidade, enquanto que baixos valores estão associados à alta intensidade.

Figura 6- Turbidímetro com HOBO: caixa de controle e sensor (A); esquema de funcionamento do turbidímetro (B).



Fonte: Itaipu Binacional.

Uma vez que o turbidímetro fornece o dado de turbidez da água em voltagem (mV), faz-se necessária conversão para o Sistema Internacional de medidas (SI) que estabelece a unidade em *Nephelometric Turbidity Units* (NTU). Ademais, a partir da medida de turbidez em voltagem foi aplicada a equação 3 no intuito de calcular os valores de TSS para cada coleta.

$$y = b e^{ax}$$

Equação 3

Onde:  $y$  é o TSS (mg/l);  $x$  é a turbidez em voltagem (mV) e;  $a$  e  $b$  são os coeficientes da equação.

No intuito de estabelecer a calibração dos dados de TSS determinados pelo turbidímetro, foram adquiridas amostras de água por coletas manuais no mesmo ponto da seção transversal do canal Arroio Fundo. Desta forma, semanalmente foram amostradas garrafas de 1(l) litro de solução água mais sedimento e em eventos de cheia foi obtida uma amostra adicional.

Devido a distribuição heterogênea do TSS ao longo da seção transversal do canal fluvial, as coletas automáticas e manuais não representaram a real concentração média de TSS. Ademais, na teoria o valor de TSS medido em certo ponto da seção não deveria ser extrapolado para toda seção transversal do curso d'água. Porém, conforme Carvalho (2008) a distribuição vertical dos sólidos suspensos mais finos, correspondentes ao TSS, é aproximadamente constante, o que caracteriza o vigor deste método. Além disso, as coletas foram estabelecidas próximas ao centro do canal fluvial, o que favorece a confiabilidade das amostragens uma vez que as concentrações de TSS decrescem das margens em direção ao eixo do rio.

Visto que foram desempenhadas em média cinco coletas de TSS para cada mês durante o período anteriormente mencionado, a escolha das amostras a serem abordadas no presente estudo levou em consideração basicamente duas condições: períodos onde houveram situações de alto e baixo teor da superfície da bacia hidrográfica e; períodos de alta e baixa incidência pluviométrica caracterizados como secos e chuvosos.

## 2.9 RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS

Diante a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, intensidade da vegetação existente na bacia hidrográfica e medições de turbidez da estação de coleta (E16A5-00), foi estabelecida a relação existente entre o NDVI da bacia hidrográfica e os TSS do Arroio Fundo. Para isso, os resultados foram inseridos e

tratados estatisticamente em planilhas e gráficos a partir da utilização do software Excel 2013.

A fim de observar a relação existente entre o NDVI médio da bacia hidrográfica e os TSS da estação E16A05, inicialmente calculou-se a média de TSS para as amostras obtidas ao longo de cada mês. Posteriormente essas médias foram dispostas lado a lado juntamente aos valores médios de NDVI da bacia hidrográfica e então se efetivou o cálculo do coeficiente de correlação Pearson e a geração do diagrama de dispersão.

Para aferir sobre a influência da precipitação pluviométrica como mediadora da relação entre NDVI e TSS, foram adquiridos primeiramente os acumulados de chuva para 30, 21, 14 e 7 dias antecedentes à última coleta de TSS de cada mês do ano de 2011. Cabe ressaltar que a escolha deste ano levou em consideração a maior homogeneidade de distribuição das chuvas durante os meses quando comparado aos demais anos pertencentes ao período estudado. Posteriormente, afim de determinar o dia antecedente de chuva que exercesse maior influência (maior  $R^2$ ) sobre as concentrações dos TSS dentro o intervalo de 7 dias, o mesmo procedimento foi executado, porém sobre dados de precipitação pluviométrica de todos os anos.

Após determinado o dia anterior que desempenhou maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com o valor dos TSS coletados, este serviu como base para o estabelecimento da relação existente entre os TSS e precipitação pluviométrica para valores altos (acima da média) e baixos (abaixo da média) de NDVI médio da bacia hidrográfica. Tal procedimento teve como finalidade proporcionar maior confiabilidade das informações obtidas, uma vez que torna possível o dia antecedente a data de coleta do TSS onde a precipitação pluviométrica exerce maior influência.

Lado a lado, em plataforma Excel dispôs-se os valores de NDVI médio (bacia hidrográfica) e TSS (última coleta efetuada em cada mês) mensais, e precipitação pluviométrica (dia antecedente com maior coeficiente de determinação). Após a separação dos grupos determinados como alto e baixo NDVI, verificou-se a relação existente entre TSS e precipitação pluviométrica para cada grupo. Para isso desempenhou-se o coeficiente de correlação Pearson e de Determinação ( $R^2$ ).

Para verificar as variações existentes do NDVI e da precipitação pluviométrica foram calculados os coeficientes de Correlação e Determinação a partir da média



dos valores de NDVI médio da bacia hidrográfica de cada mês para todos anos, assim como a média de precipitação pluviométrica da estação Entre Rios, respectivamente. Deste modo foram determinadas situações com características distintas referentes a essas variáveis, de maneira que elencasse tanto períodos de alto e baixo índice de vegetação da superfície como alto e baixo incidentes pluviométricos.

Com objetivo de avaliar o grau de relacionamento entre duas variáveis, os diagramas de dispersão de Pearson e os Coeficientes de Correlação foram elaborados conforme descrito por Callegari Jacques (2008). A autora pressupõe que uma vez avaliada a correlação existente entre duas variáveis, torna-se possível determinar qualitativamente a intensidade da relação, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3- Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

<b>Índice (R)</b>	<b>Grau de correlação</b>
<b>0</b>	Nula
<b>0 - 0,3</b>	Fraca
<b>0,3 - 0,6</b>	Regular
<b>0,6 - 0,9</b>	Forte
<b>0,9 - 1</b>	Muito Forte
<b>1</b>	Plena ou Perfeita

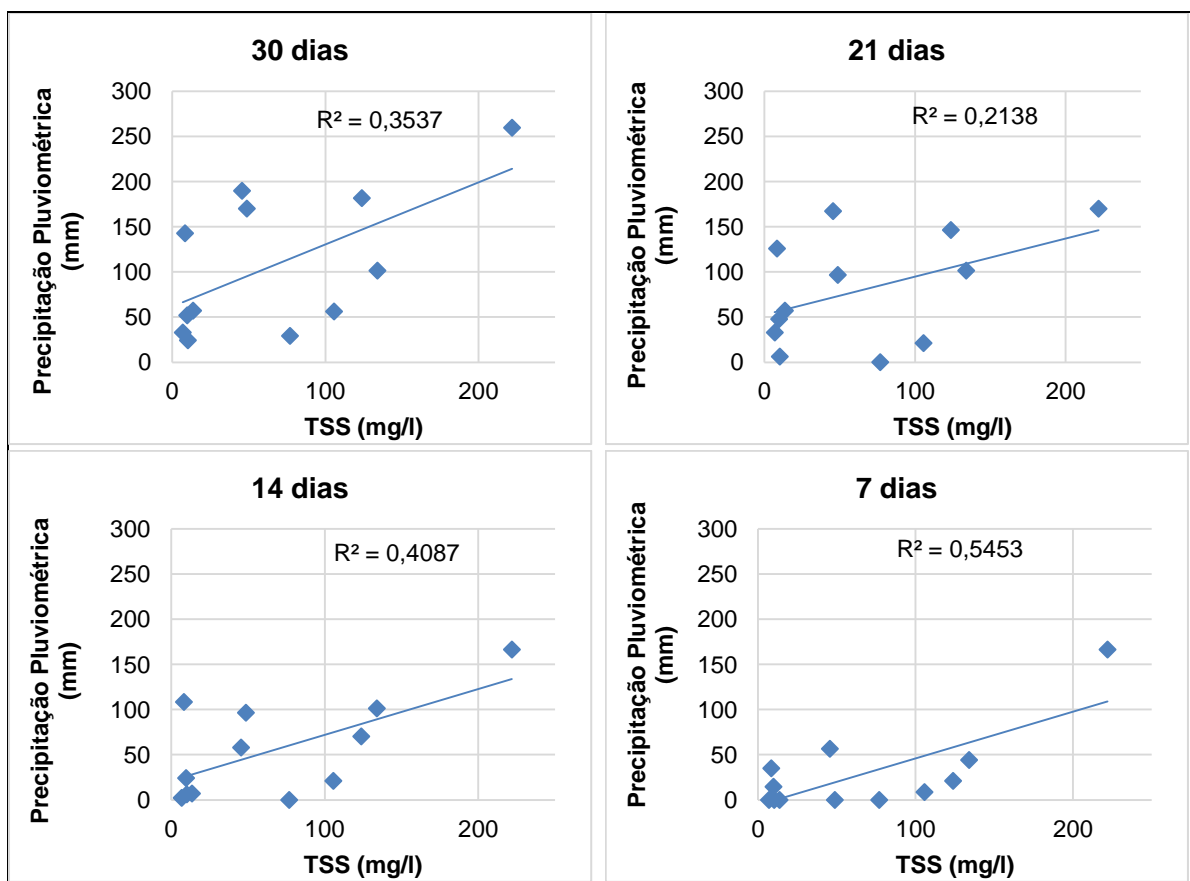
Fonte: Callegari Jacques, 2008.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE OS TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS

A influência da precipitação pluviométrica, medida pela estação Entre Rios, sobre a concentração de TSS do Arroio Fundo foi estabelecida conforme o dia antecedente a data de coleta dos TSS. Uma vez desempenhado o Coeficiente de Determinação para até 30 dias antecedentes, obteve-se a melhor relação entre a precipitação pluviométrica ocorrente no dia anterior a data de coleta dos TSS. A seguir serão abordados resultados obtidos para cada um dos coeficientes calculados sobre os volumes de chuva em 30, 21, 14 e 7 dias antecedentes a data de coleta dos TSS.

Figura 7- Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para precipitação pluviométrica acumulada referente à 30, 21, 14 e 7 dias antecedentes a data de coleta das amostras de TSS de janeiro a dezembro de 2011.



Fonte: Autor.

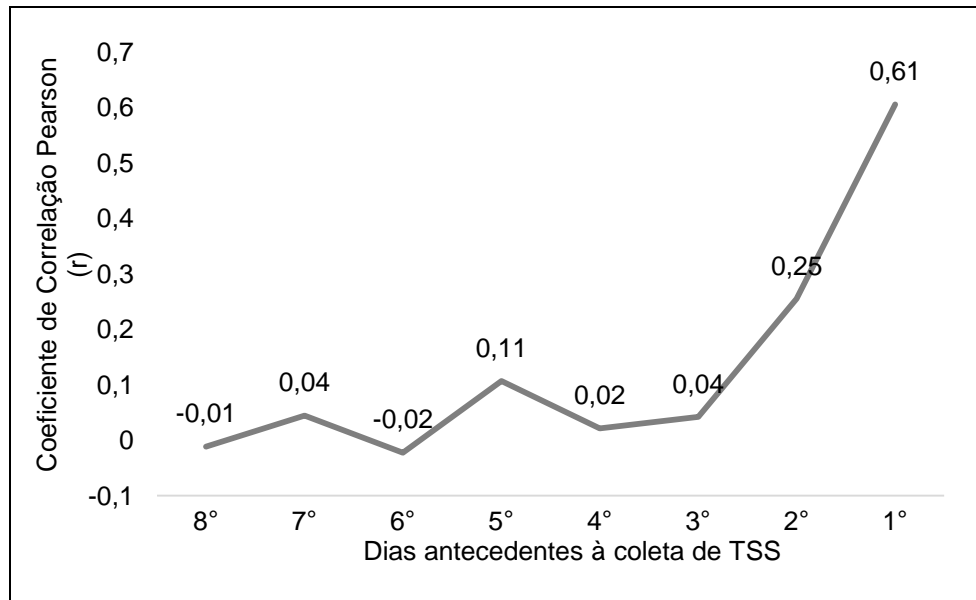
No intuito de verificar qual o período de precipitação pluviométrica acumulada que antecede a data de coleta obtenha maior coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) com as medidas de TSS, foram gerados os diagramas de dispersão.

De maneira geral pode-se observar o Coeficiente de Determinação para a figura 7 diminui à medida que o número de dias referentes à precipitação pluviométrica acumulada aumenta, com exceção para o acumulado de trinta dias. Ou seja, quanto maior o número de dias acumulados de precipitação pluviométrica antecedente a data de coleta do TSS, menor o  $R^2$ . Além disso, as linhas de tendência (Figura 7) apontam para o incremento de material particulado no Arroio Fundo em maior volume frente a elevados acumulados de chuva para todos os períodos, o que resulta na dependência da variável TSS sobre a influência da precipitação pluviométrica.

A precipitação pluviométrica acumulada em sete dias antecedentes à data de coleta dos TSS obteve o maior Coeficiente de Determinação, igual a 0,5453 (Figura 7). Em outras palavras, a precipitação pluviométrica incidente na bacia hidrográfica e medida pela estação Entre Rios em sete dias antecedentes, explica em aproximadamente 54% a concentração de TSS medida pela estação E16A05-00 do Arroio Fundo. Assim, os demais 46% podem estar atribuídos a outras variáveis, sejam essas ambientais ou socioeconômicas.

Diante a obtenção do maior Coeficiente de Determinação para o período de sete dias foram determinados os Coeficientes de Correlação ( $r$ ) entre as variáveis para cada dia que compõe esse período (Figura 8). Cabe ressaltar que as medidas de precipitação pluviométrica foram obtidas para cada dia separadamente, ou seja, não acumuladas, dentro do intervalo de 8 dias.

Figura 8- Coeficiente de Correlação Pearson (r) para dados de precipitação pluviométrica referentes há até oito dias consecutivos antecedentes a data de coleta dos TSS no período de julho de 2006 a outubro de 2016.



Fonte: Autor.

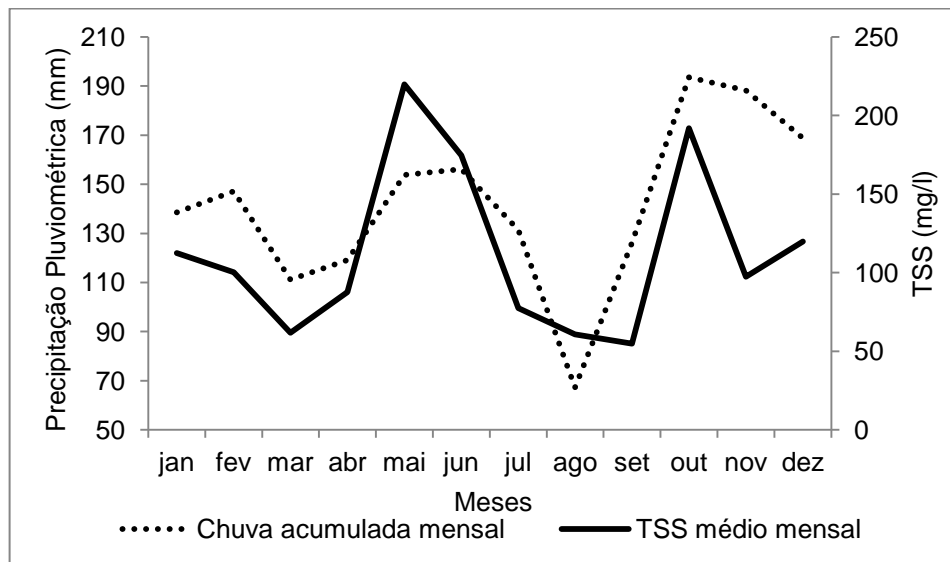
Como pode ser observado no gráfico da Figura 8, o melhor Coeficiente de Correlação Pearson foi observado para a precipitação pluviométrica ocorrida no primeiro dia que antecede a data de coleta dos TSS, cujo valor de  $r$  alcançou 0,61 (forte correlação). Para o segundo dia o coeficiente desempenhou  $r$  igual a 0,25, o que caracteriza qualitativamente a fraca correlação entre os as medidas segundo Callegari Jacques (2008). Para os demais dias verificou-se valores de  $r$  próximos de zero, tanto positivos como negativos, assumindo assim correlação nula.

Temporalmente pode-se observar a influência da precipitação pluviométrica sobre a quantidade de material suspenso com elevado  $R^2$  para um dia antecedente a data de coleta dos TSS. Outra abordagem temporal permitiu associar as variáveis de acordo com os valores médios de precipitação acumulada em 30 dias e dos TSS mensais no período referente a julho de 2006 até outubro de 2016 conforme exposto na figura 9.

De maneira geral, é possível verificar a relação existente entre as variações de precipitação pluviométrica e dos TSS ao longo do ano (Figura 9). Frente ao cálculo do Coeficiente de Correlação obteve-se  $r$  igual a 0,62, ou seja, dentre o período de 2006 a 2016 as médias mensais de precipitação pluviométrica

acumulada em 30 dias obtiveram forte correlação com as concentrações de TSS médio do Arroio Fundo medidas pela estação E16A05-00.

Figura 9- Variações das concentrações médias dos TSS e precipitação pluviométrica acumulada em 30 dias de janeiro a dezembro no período de 2006 a 2016.

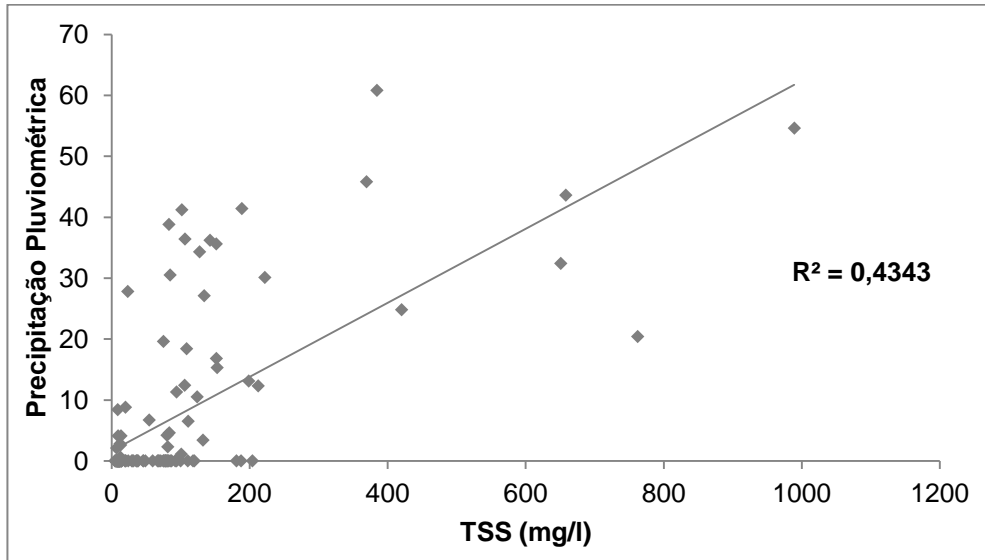


Fonte: Autor.

Ademais, a média dos valores de TSS ao longo do ano (Figura 9) resultou em 113,22mg/l e da precipitação pluviométrica igual a 141,77mm. Assim os meses de maio, junho, outubro e dezembro caracterizaram-se pelas elevadas concentrações de material suspenso na água (acima de 113,22mg/l) associadas a elevada precipitação pluviométrica média ocorrente nesses meses (acima de 141,77mm). Por outro lado, os períodos de janeiro a abril e julho a setembro e o mês de novembro obtiveram concentrações de TSS menores, ou seja, abaixo de 113,22mg/l como consequência dos baixos volumes de chuva média incidente durante os mesmos meses com exceção de fevereiro e novembro.

Na figura 10 encontra-se em exposição o gráfico de dispersão para o Coeficiente de Determinação obtido a partir do processamento sobre dados precipitação pluviométrica acumulada mensal da estação Entre Rios e medidas de TSS adquiridas pela estação sedimentométrica E16A05.

Figura 10- Coeficiente de Determinação para valores de precipitação pluviométrica acumulada mensal e concentração de TSS médio mensal para o período de julho de 2006 a outubro de 2016.



Fonte: Autor.

De maneira geral pode-se observar relação existente entre as medidas de precipitação pluviométrica acumuladas em 30 dias e as concentrações dos TSS médias mensais durante o período analisado (julho de 2006 a outubro de 2016) conforme a figura 10. O Coeficiente de Determinação entre as variáveis resultou em 0,43 e o Coeficiente de Correlação em 0,65 o que caracteriza a forte correlação segundo Callegari Jacques (2008). Deste modo cabe afirmar que aproximadamente 43% das concentrações médias mensais dos TSS são explicados pela precipitação pluviométrica acumulada durante o mês ocorrente na bacia hidrográfica.

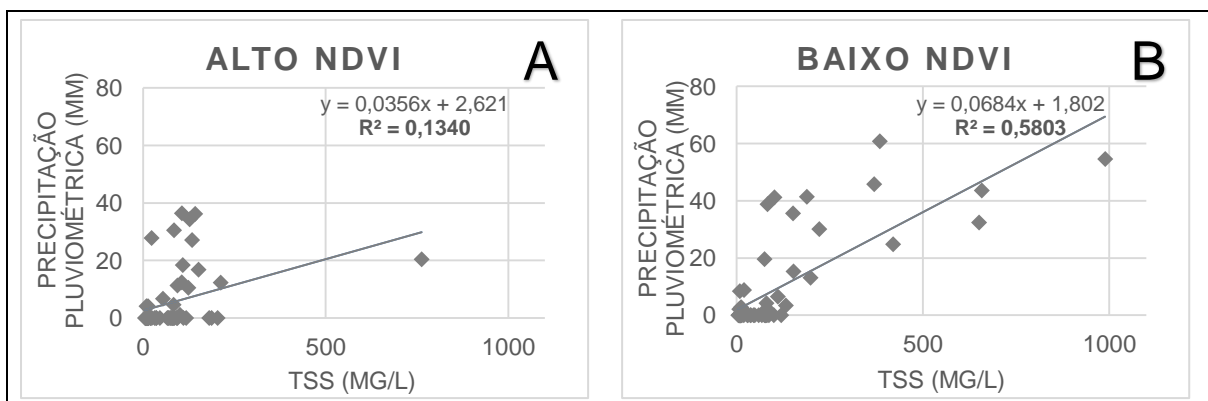
Embora o  $R^2$  obtido para a relação entre as variáveis precipitação pluviométrica e TSS (0,43) caracterize a forte correlação ( $r=0,66$ ) (Figura 10), cabe ressaltar que os demais 57% podem estar atrelados a outras variáveis, sejam essas ambientais e/ou socioeconômicas ou então a própria disposição do banco de dados.

### 3.2 RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E TOTAIS DE SÓLIDOS SUSPENSOS

As relações existentes entre o NDVI e TSS foram observadas sobre os dados obtidos durante os 11(onze) anos de coleta, a partir de julho de 2006 até outubro de 2016. Frente à organização do banco de dados observaram-se períodos de até seis meses consecutivos quando não houve coleta de dados pela estação sedimentométrica, provavelmente associados a problemas técnicos do equipamento ou erros de calibração. Deste modo o banco de dados está composto por 112 (cento e doze) meses quando foram coletadas amostras de TSS na água do Arroio Fundo.

Visto que o Coeficiente de Determinação apresentou forte relação entre as medidas de precipitação pluviométrica para um dia antecedente a data de coleta dos TSS e a concentração deste no Arroio Fundo foram obtidos valores de  $R^2$  entre as variáveis chuva e TSS sobre distintas condições do índice de vegetação da bacia hidrográfica. Tais condições foram determinadas a partir do NDVI que obteve média para os pixels que compõem a bacia hidrográfica no período dos anos onze anos estudados resultou em 0,6225, com máximo verdor da área igual a 0,8422 e mínimo igual a 0,4242. Desta forma, considerou-se alto NDVI as médias acima de 0,6225 e baixo abaixo de 0,6225 conforme os gráficos de dispersão expostos na figura 11.

Figura 11- Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para dados de precipitação pluviométrica referentes a 1 dia antecedente da coleta de TSS sobre condições de NDVI alto (acima de 0,6225) e baixo (abaixo de 0,6225), no intervalo de julho de 2006 a outubro de 2016.



Fonte: Autor.

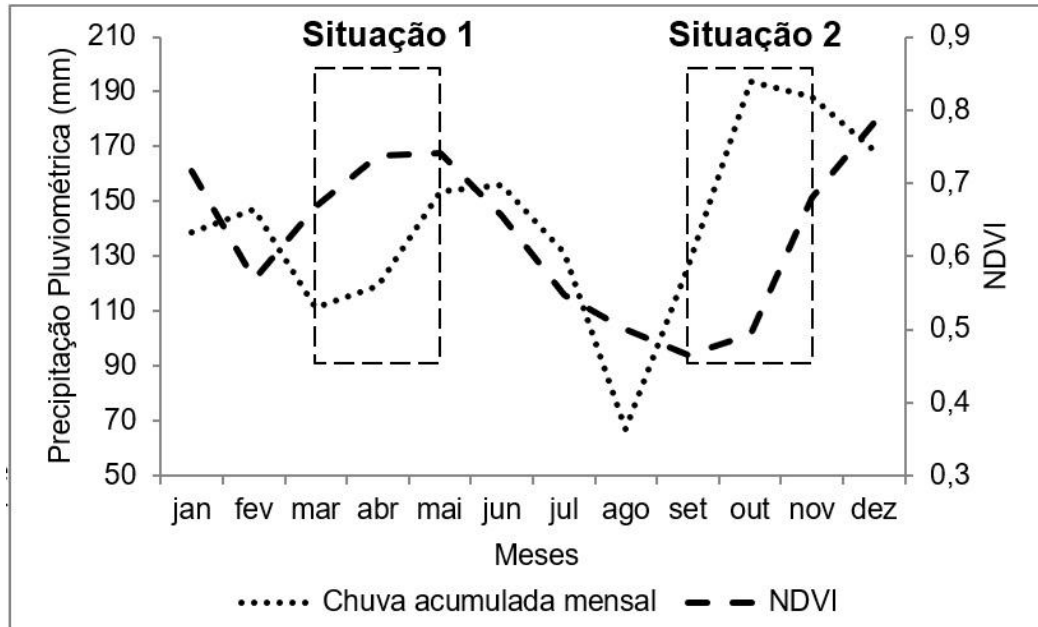
Diante a interpretação dos valores de  $R^2$  calculados conforme a figura 11 cabe afirmar que a concentração de TSS da água do Arroio Fundo esteve determinada em 58% pela precipitação pluviométrica ocorrente em sua bacia hidrográfica quando a superfície se encontra desprotegida de cobertura vegetal, ou seja, caracterizada pelo NDVI baixo (Figura 11B). Além disso, a disposição dos pontos no gráfico aponta para a relação positiva entre as variáveis, uma vez que, em sua maioria, as medidas de TSS apresentam acréscimo à medida que aumenta a incidência de chuva.

Frente às condições de NDVI alto (Figura 11A) para os pixels da bacia hidrográfica o valor de  $R^2$  resultou em 0,1340, ou seja, apenas aproximadamente 13% da concentração dos TSS obteve determinação a partir da precipitação pluviométrica. Ademais, a localização dos pontos no gráfico ocorre de maneira distinta àquela observada quando o NDVI se caracterizava baixo, de modo que a maioria destes se concentra no intervalo de 0 a 250 mg/l de TSS para diferentes medidas de precipitação pluviométrica. Ou seja, o elevado índice de vegetação (NDVI) da bacia hidrográfica tende a minimizar o impacto da chuva sobre a superfície, o que resulta em baixas concentrações de TSS e na água do Arroio Fundo e correlação “fraca” ( $r= 0,36$ ) segundo Callegari Jacques (2008). Uma exceção pode ser observada para o ponto que determina aproximadamente 762 mg/l de TSS na água embora houvesse baixa incidência de chuva (20,4 mm), provavelmente associado a interferência antrópica pontual, como o rompimento de açudes ou despejo de dejetos diretamente no canal fluvial, por exemplo.

O alto e baixo NDVI da bacia hidrográfica também podem ser observados ao longo do ano conforme exposto na figura 12, principalmente associado ao calendário agrícola (cultivos temporários) e a sazonalidade (estações do ano). Uma vez obtidas as médias de NDVI para cada mês que compõe o período de 2006 a 2016 se torna possível verificar a dinâmica da cobertura vegetal associada a precipitação pluviométrica a partir de duas situações distintas: Situação 1 representada pelo alto NDVI e baixa precipitação pluviométrica no período de março, abril e maio e; Situação 2 constituída pelo baixo NDVI e alta precipitação pluviométrica em setembro, outubro e novembro.



Figura 12- Distribuição das medidas de precipitação pluviométrica média acumulada em 30 dias e NDVI médio da bacia hidrográfica ao longo do ano para o período de 2006 a 2016.



Fonte: Autor

Conforme mostra a figura 12, é possível observar a variação do NDVI médio da bacia hidrográfica do Arroio Fundo ao longo do ano, determinada principalmente pelas culturas predominantes tanto de verão como de inverno. Deste modo foram observados dois períodos ao longo do ano quando se obteve maior verdor da bacia hidrográfica: em dezembro associado, sobretudo ao cultivo da soja (novembro a janeiro) e; abril/maio atrelado ao cultivo do milho e trigo (março a junho). Já em fevereiro e no intervalo de julho a outubro tem-se o período entre safra da bacia hidrográfica marcado pelo baixo NDVI, ou seja, exposição da superfície em função da colheita e preparo do solo para o plantio das culturas.

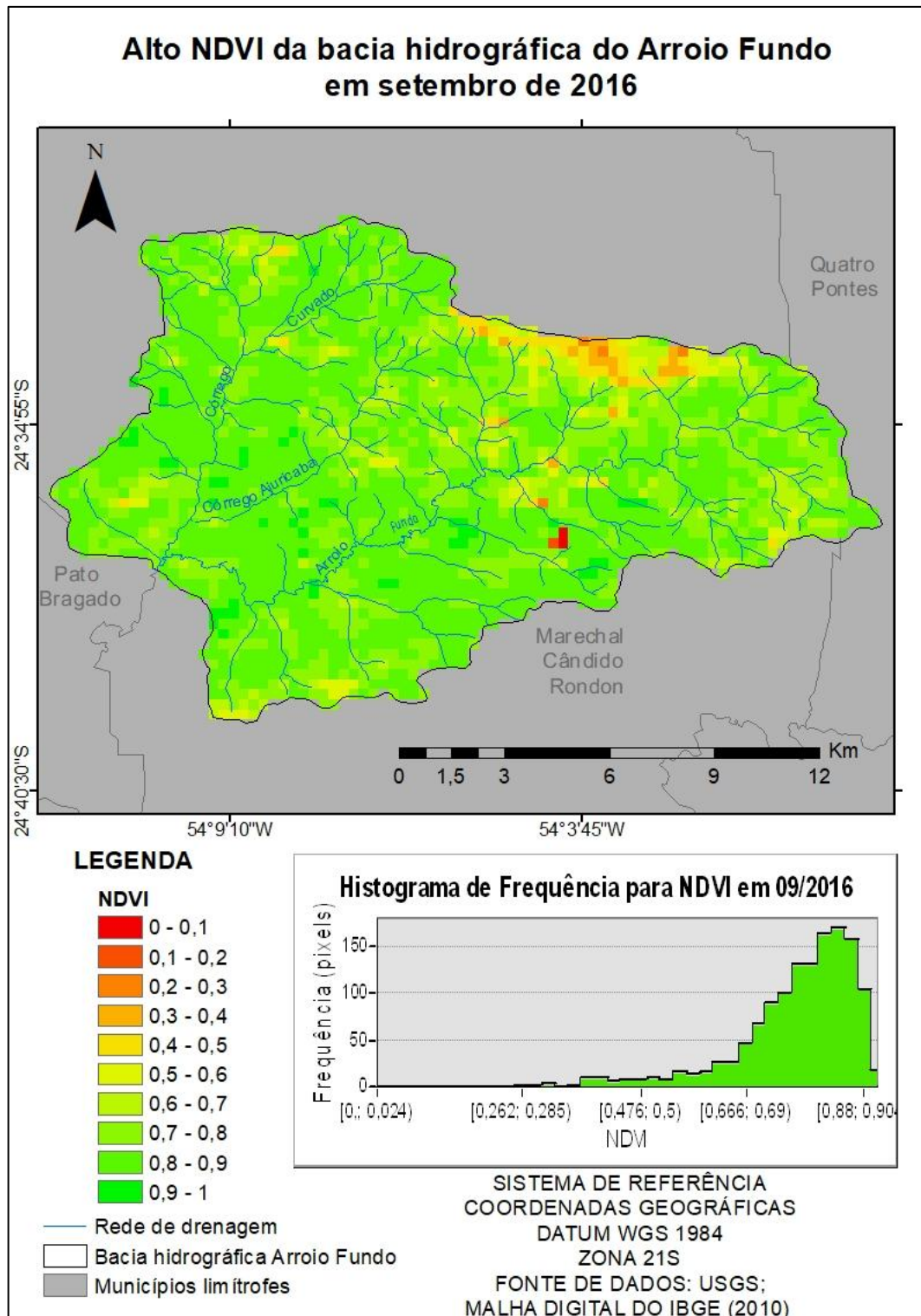
Em relação a distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano (Figura 12) verificou-se dois períodos: quando os valores estavam abaixo da média (menor pluviosidade) e quando estavam acima da média (maior pluviosidade). Uma vez acumuladas às medidas de chuva diária para cada mês e então efetivada a média para todos os meses que compõem a série histórica, com menor pluviosidade (abaixo de 141,8 mm) observam-se os meses de janeiro, março, abril e agosto, e com maior pluviosidade, fevereiro, maio a julho e setembro a janeiro. Resultado semelhante foi observado por Ewald e Limberger (2011) em trabalho que objetivou a

caracterização do regime pluviométrico no município de Marechal Cândido Rondon - PR (onde está inserida em maior parte a bacia hidrográfica do Arroio Fundo) segundo uma série histórica de 67 anos (1941 a 2008) que verificou a concentração dos maiores volumes de chuva nos meses do verão e menores volumes nos meses de julho e agosto.

A partir da classificação dos pixels que compõem a bacia hidrográfica para as situações 1 e 2 abordadas na figura 12, especialmente para os meses de março (Situação 1) e setembro (Situação 2) de 2016 é possível observar espacialmente como se comporta o NDVI em diferentes épocas do ano conforme exposto nas figuras 13 e 14.

Conforme exposto na figura 13, a classificação do índice de vegetação sobre a imagem de satélite demonstrou a predominância do alto NDVI da bacia hidrográfica, ou seja, o elevado verdor da superfície. Este resultado se confirma quando é observado o histograma de frequência referente ao valor de NDVI para os pixels, onde verifica-se a concentração destes com valores acima de 0,7. Além disso, pode-se observar pixels com NDVI muito próximo de 1 (0,9 – 1) associadas as áreas de lavoura temporária cobertas por cultivos e pixels com valor de NDVI entre 0,5 e 0,8 atrelados provavelmente a áreas de exposição do solo e campo (alimentação pecuária) devido à proximidade aos canais fluviais. Em cor vermelha, às áreas correspondentes ao mais baixo NDVI (0 - 0,2) caracterizadas por parte da extensão urbana do município de Marechal Cândido Rondon ao norte da bacia hidrográfica, e a sudeste pela provável existência de açudes.

Figura 13. NDVI da bacia hidrográfica do Arroio Fundo em março de 2016 (Situação 1).



Fonte: Elaboração própria sobre dados da USGS.

Por sua vez, a classificação da imagem de satélite obtida em setembro de 2016 apresenta maior heterogeneidade em relação aos valores de NDVI para cada pixel,

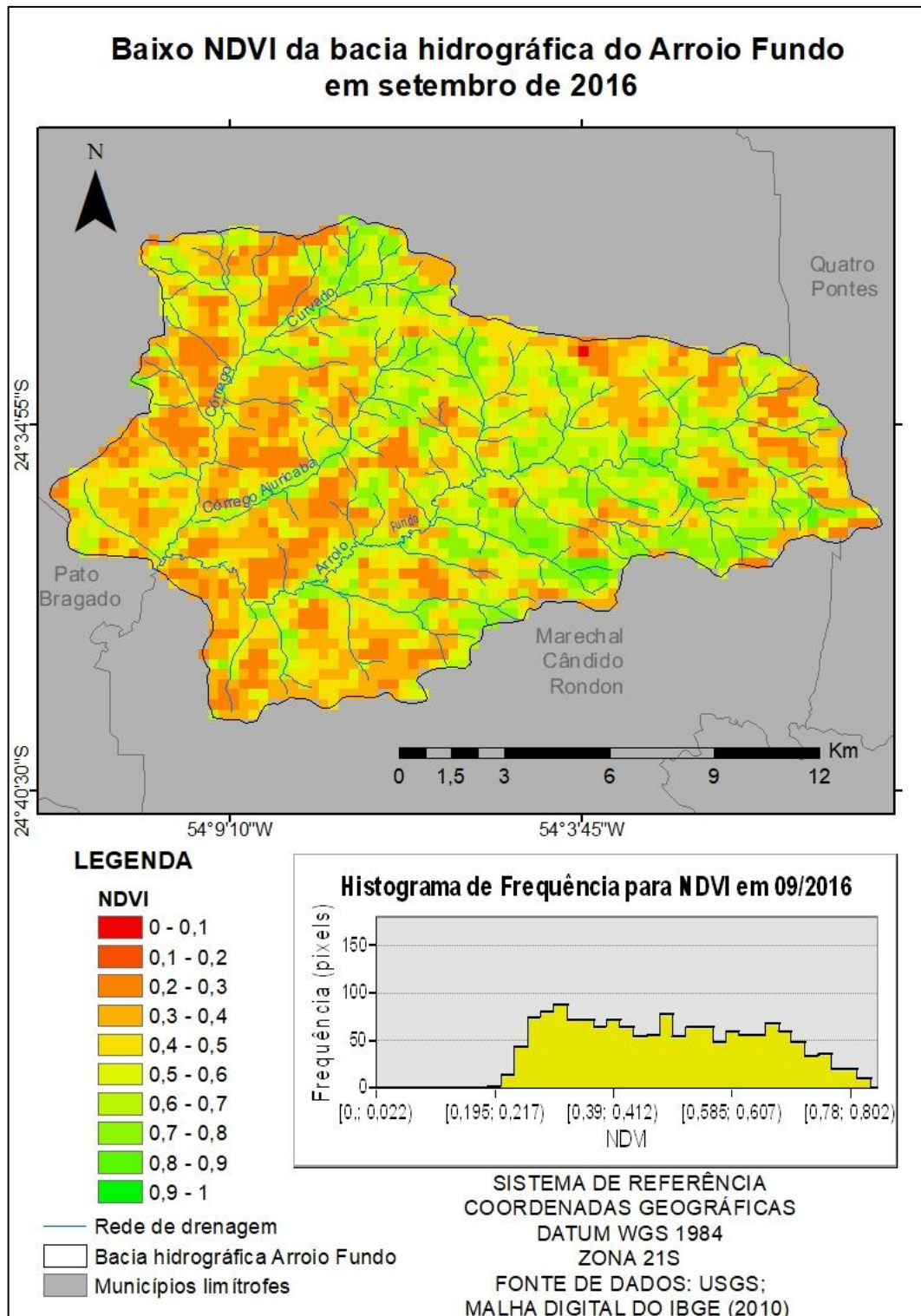
conforme pode ser observado na figura 14. Como pode ser verificada no histograma obtido para a classificação, a distribuição dos pixels englobam frequências similares ao longo de praticamente a totalidade do intervalo de NDVI obtido, entre 0,19 e 0,80. Embora a diferença não seja considerável, cabe ressaltar a maior frequência de pixels com valores entre aproximadamente 0,20 e 0,41 quando comparado às demais frequências do histograma como resultado do maior número de áreas com baixo verdor de suas superfícies.

Quando comparados os índices de vegetação desempenhados sobre as imagens de março (Figura 13) e setembro (Figura 14) torna-se possível verificar a influência do uso e cobertura determinado principalmente pelo calendário agrícola. Representadas pelo intervalo de 0 a 0,4 de NDVI, as classes em tons avermelhados no mapa de setembro indicam ausência ou então carência de vegetação onde em março os valores de NDVI eram elevados (0,66 a 0,90). Desta forma pressupõe-se que estas áreas estejam destinadas ao desempenho de atividades agrícolas, em primeiro momento cobertas pelos cultivos (março/2016) e posteriormente em exposição (setembro/2016) devido a época de colheita e preparo do solo para plantio das culturas de verão.

As áreas de maior verdor da superfície podem ser observadas basicamente no entorno dos canais fluviais conforme a figura 14. A estas coberturas provavelmente atribui-se o uso da terra para alimentação pecuária e mata ciliar devido à proximidade dos córregos Curvado e Ajuricaba e Arroio Fundo associado à dessedentação animal e a própria disposição das áreas de floresta ao longo dos rios formando galerias, respectivamente.

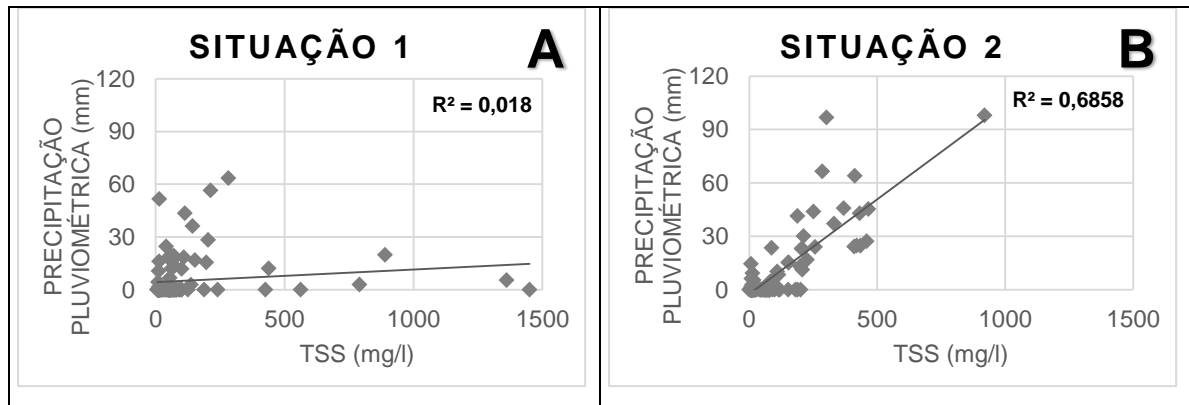
Visto que o Coeficiente de Determinação desempenhou valor de  $R^2$  superior para medidas de precipitação pluviométrica e concentrações de TSS sobre condições de baixo NDVI da bacia quando comparado ao  $R^2$  obtido para o alto NDVI da bacia hidrográfica conforme a figura 12, foram desempenhados os coeficientes para situação de alto NDVI (Situação 1) e baixo NDVI (Situação 2) verificados ao longo do ano. Na figura 15 estão expostos os Coeficientes de Determinação para Situação 1 cujos dados correspondem a precipitação pluviométrica referente a 1 dia antecedente a data de coleta dos TSS e a concentração destes para uma amostra mensal no período de março a maio e a Situação 2 correspondente ao período de setembro a novembro, para cada ano presente no intervalo de 2006 a 2016.

Figura 14- NDVI da bacia hidrográfica do Arroio Fundo em setembro de 2016 (Situação 2).



Fonte: Elaboração própria sobre dados da USGS.

Figura 15. Coeficiente de Determinação para precipitação pluviométrica e TSS sobre distintas condições de índice de vegetação no período de julho de 2006 a outubro de 2016.



Fonte: Autor.

Uma vez observado o baixo NDVI da bacia hidrográfica do Arroio Fundo na imagem de satélite para setembro de 2016 (Situação 2), como reflexo se obteve elevado valor de  $R^2$  (0,68) para a determinação dos TSS a partir das medidas de precipitação pluviométrica (Figura 15B). Condição adversa pode ser notada para a Situação 1 onde os valores de NDVI médio da bacia hidrográfica estavam entre 0,64 e 0,78 (Figura 12) (predominância de coberturas agrícolas) e assim como resultado o baixo Coeficiente de Determinação entre as variáveis igual a 0,01 (Figura 15A).

Em função da disposição dos pontos conforme a figura 15 A e B pode-se discriminar volumes de precipitação pluviométrica e concentrações de TSS distintas. Na Situação 1 a concentração de material suspenso no Arroio Fundo varia de 5 a 1449 mg/l com maior aglomeração dos pontos na extremidade próxima de zero e os volumes de chuva variam entre 0 a 63,5mm. Na Situação 2 a concentração de TSS caracteriza-se por uma variação de 0 a 919 mg/l, sendo que a maior aglomeração dos pontos ocorre no intervalo de 0 a 500 mg/l e o volume de precipitação pluviométrica assume variação de 0 a 98mm. Deste modo a Situação 1 resultou na maior variação das concentrações de TSS cuja amplitude alcançou 1444 mg/l e a variação de chuva igual a 63,5mm, enquanto a Situação 2 obteve menor variação de TSS, igual a 919 mg/l e amplitude de precipitação pluviométrica igual a 98mm.

Frente às variações encontradas pressupõe-se a interferência principalmente associada ao índice de vegetação, uma vez que os resultados obtidos para cada uma das situações estão atrelados a dados obtidos em diferentes épocas do ano.

Assim, as maiores variações encontradas na concentração de TSS para a Situação 1 (Figura 15A) quando comparadas a Situação 2 permitem atrelar o elevado valor da superfície verificado em março conforme a figura 13 confirmado pelo baixo Coeficiente de Determinação obtido (0,01), visto que a predominância de cobertura vegetal na bacia hidrográfica atua na proteção do solo frente ao impacto e distintos volumes da chuva.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral a concentração dos Totais de Sólidos Suspensos (TSS) do Arroio Fundo respondeu ao efeito da precipitação pluviométrica sobre a superfície de sua bacia hidrográfica. Entretanto pode-se verificar a influência do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sobre esse efeito de maneira distinta, segundo duas perspectivas: a predominância das coberturas agrícolas e ausência destas marcadas pela exposição da superfície.

Frente o levantamento e análise dos dados de precipitação pluviométrica, TSS e NDVI na bacia hidrográfica do Arroio Fundo, a conclusão pressupõe que o objetivo da presente pesquisa foi alcançado. O objetivo geral definido foi “**Analisar a influência do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia hidrográfica sobre a carga de sólidos suspensos do Arroio Fundo, no Estado do Paraná**”.

- Como principal responsável pelo transporte de material erodido da superfície, a precipitação pluviométrica determinou a carga de TSS da água do Arroio Fundo em maior porcentagem quando a bacia hidrográfica se caracterizava pelo NDVI abaixo da média, quando havia baixo índice de vegetação da superfície. Ademais, ao longo do ano tal resultado também pode ser observado uma vez que no período de março a maio quando o NDVI da bacia hidrográfica caracterizava-se por valores acima da média apresentaram menor Coeficiente de Determinação para dados de precipitação pluviométrica e TSS, comparado ao período de setembro a novembro quando o NDVI encontrava-se baixo (abaixo da média) o que proporcionou maior  $R^2$  da carga de TSS frente os eventos de chuva.

Na sequência serão retomados os objetivos específicos e suas respectivas considerações:

**-1° Objetivo específico: “Verificar a influência da precipitação pluviométrica sobre a concentração dos Totais de Sólidos Suspensos do Arroio Fundo”.**

- A influência da precipitação pluviométrica sobre os TSS da água do Arroio Fundo pode ser observada sobre duas perspectivas temporais: uma associada à relação entre as variáveis e dias acumulados de chuva antecedentes a data de coleta dos TSS e outra relacionada à variação dos volumes de chuva e concentrações dos TSS ao longo do ano.



- O maior Coeficiente de Determinação entre o dia de chuva antecedente a data de coleta dos TSS e as concentrações destes no Arroio Fundo pode ser observado para um dia anterior. Tal resultado pode ser alcançado visto que na primeira etapa de processamento dos dados, nos intervalos semanais até trinta antecedentes a data de coleta dos TSS, o maior Coeficiente de Determinação foi observado na primeira semana antecedente. Posteriormente a caracterização dos sete dias consecutivos (primeira semana) possibilitou a observação do maior  $R^2$  para o primeiro dia antecedente a coleta dos TSS. Ou seja, a melhor resposta das concentrações dos TSS do Arroio Fundo ocorreu frente ao evento de chuva incidente sobre a bacia hidrográfica no dia anterior a data de coleta.

- De modo geral, à medida que o intervalo de tempo referente aos dias de chuva reduz, maior o valor de  $R^2$  encontrado. Deste modo cabe ressaltar que os volumes acumulados de precipitação pluviométrica acima de sete dias antecedentes a data de coleta dos TSS não obtiveram um Coeficiente de Determinação para as concentrações dos TSS satisfatório (abaixo de 0,5). Dentro dos sete dias, gradativamente, os Coeficientes de Determinação assumiram valores menores para o segundo e terceiro dia antecedente, e a partir do quarto ao oitavo o coeficiente obteve valores próximos de zero, ou seja, não houve determinação dos TSS em função da precipitação pluviométrica.

- As medidas correspondentes às variações dos TSS e da precipitação pluviométrica ao longo do ano obtiveram forte correlação (0,62). A partir dos valores médios mensais de precipitação pluviométrica e dos TSS obtidos durante o período referente a julho de 2006 até outubro de 2016 verificaram-se que as concentrações elevadas de TSS (acima da média) mensais estiveram associadas aos maiores volumes de chuva (acima da média), assim como os meses quando as concentrações foram menores (abaixo da média) em consequência dos baixos volumes de chuva (abaixo da média).

**-2°. Objetivo específico: “Determinar períodos de alta e baixa contribuição do NDVI para o incremento de material particulado nas águas do Arroio Fundo, considerando o regime pluviométrico da área de estudo”.**

- O período de alta contribuição do NDVI para o incremento dos TSS no Arroio Fundo pode ser observado em setembro, outubro e novembro. A superfície menos protegida confirmada pelo baixo NDVI verificado nesses meses possibilitou a determinação das concentrações de TSS frente o volume de chuva registrado no dia

anterior a data de coleta em 68% ( $R^2= 0,68$ ). Ademais, observou-se o efeito da sazonalidade evidenciado pelos meses que compõem a primavera com elevados volumes pluviométricos e do calendário agrícola marcado pela exposição da superfície (período de colheita das culturas de inverno e preparo do solo para plantio das culturas de verão).

- Em março, abril e maio verificou-se a baixa influência do NDVI sobre o aporte de material suspenso no Arroio Fundo. A este resultado atribui-se a predominância de coberturas agrícolas caracterizadas pelo alto NDVI da bacia hidrográfica atuando na proteção da superfície frente ao impacto da chuva e o escoamento superficial. Deste modo as concentrações dos TSS do arroio não obtiveram determinação dos volumes de precipitação pluviométrica ocorrentes no dia anterior a data de coleta, confirmado pelo  $R^2$  igual a 0,01. Assim o efeito da sazonalidade característico do outono, pode ser novamente observado pelos baixos volumes de chuva ocorrentes nessa época e do calendário agrícola marcado pela presença das culturas temporárias de entre safras.

- Para os valores de NDVI médio dos pixels que compõem a bacia hidrográfica obtidos durante o período de 2006 a 2016, os meses quando o baixo NDVI predominava (abaixo da média= 0,6225) contribuíram para que a precipitação pluviométrica explicasse em aproximadamente 58% ( $R^2= 0,58$ ) a concentração de material suspenso no Arroio Fundo. Enquanto que nos meses de alto NDVI, os dados de chuva e TSS não obtiveram um Coeficiente de Determinação significativo, ou seja,  $R^2$  igual a 0,1340.

- No intuito de alcançar um maior Coeficiente de Determinação entre os volumes de precipitação pluviométrica e concentrações dos TSS do Arroio Fundo, sugere-se que sejam avaliadas variáveis como a declividade, hipsometria e orientação das encostas da bacia hidrográfica. A esta sugestão atribui-se o efeito diferenciado da chuva sobre a superfície uma vez que um solo exposto e plano representa consequências distintas sobre o corpo hídrico se comparado a um terreno desprovido de cobertura vegetal e inclinado, onde a erosão pelo escoamento superficial possui maior capacidade de carga.

- Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam utilizadas imagens de satélite com melhor resolução espacial. A utilização das imagens do sensor MODIS se deu em função da elevada resolução temporal oferecida pelo satélite, que cobriu na totalidade os meses correspondentes ao período de 2006 a 2016. Porém a

resolução espacial de 250m propiciou a caracterização do NDVI menos detalhada da área de estudo e até mesmo pixels de mistura espectral. Assim com uma melhor resolução espacial e conseqüentemente maior detalhamento da bacia hidrográfica, há possibilidade de observar características específicas na imagem de satélite que podem causar efeitos distintos e/ou anômalos na água dos canais fluviais.

- A adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo possibilitou caracterizar o efeito, principalmente, da ação antrópica (calendário agrícola) sobre a concentração de material suspenso do Arroio Fundo. Deste modo, a manutenção adequada da qualidade da água de ambientes aquáticos deve levar em consideração as atividades exercidas sobre a bacia hidrográfica, com olhar principalmente sobre as técnicas de manejo das propriedades, desmatamento, pecuária e piscicultura.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari – AP: Revisão descritiva. **Revista Biota Amazônica**. v. 5. n. 2. p. 119- 131. 2015.
- ALBERTI, E. A.; PEREIRA FILHO, W. Influência do uso da terra em variáveis limnológicas na microbacia hidrográfica do arroio Alberti– São João do Polêsine/RS. **Geoambiente On-line**, n. 22, 2014.
- ANDRADES, T.O.; GANIMI, R.N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, v. 21, Juiz de Fora, p. 43-56, 2007.
- APARECIDO, C. F. F. et al. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **IRRIGA**, v. 21, n. 2, p. 239-256, 2016.
- ARROIO JUNIOR, P. P. **Avaliação de Produção e Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas – SP**. (Dissertação de Mestrado), São Carlos: USP, 2013.
- AVAZANI, J. C. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor MODIS associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p.187-207, 2001.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Ed. da UFSC, Florianópolis, SC, 112p. 1994.
- BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.; REBOUÇAS, A. C. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. **Brasil, Organizacao y Coordinacao Científica**, 2006.
- CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 32, n. 2, 2015.
- CALLEGARI JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

CARVALHO, J. C. et al. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, DF: Editora FINATEC, 464p. 2006.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2º ed. Rio de Janeiro: CPRM, 599p. 2008.

CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de S.; BARBALHO, M. G. da S. (Org.). **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha - condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás. 75 p. 2004.

CENTENO, J. A. S. C. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens orbitais**. Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 209 p., 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo : Edgar Blucher, 1981.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas-: Uma Introdução à Geografia Física**. Bookman Editora, 2012.

COCHRANE, T. et al. Development of a river sediment transport monitoring system for large reservoirs. **Applied engineering in agriculture**, v. 20, n. 6, p. 771-781, 2004

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Variáveis de qualidade de água. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf> . Acesso em: 19 Fev. 2017.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relation between vegetation cover and erosion in representative plots of Cerrado/relacao entre cobertura vegetal e erosao em parcelas representativas de Cerrado/Relación entre cobertura vegetal y la erosión en las parcelas representantes de Cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-76, 2015.

CUNHA, M. A.; SANTOS, A. R. Técnicas simples de controle de erosão em estrada de terra. In: III SIMPÓSIO SOBRE CONTROLE DE EROSÃO. Maringá, ABGE, p. 91-97, 1985.

CUNICO, C. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Marumbi-PR: perspectivas para a análise e avaliação das condições sócio-ambientais. **Estudos Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 37-61, 2008.

DE ANDRADE, M. G. et al. Quantificação das áreas de reserva legal da microbacia hidrográfica Rio Arroio Fundo, município de Marechal Cândido Rondon– PR. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, 2011.

DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, 74(2), 224-23, 2015.

DEL GROSSI, S. R. **De Uberabinha a Uberlândia: os caminhos da natureza - Contribuição ao estudo da geomorfologia urbana.** Tese de Doutorado. São Paulo, 1991.

DE PAULA, M. R.; BENEDETTI, A. C. P.; PEREIRA FILHO, W. Influência do Uso e Cobertura da Terra Aliado à Precipitação Pluviométrica na Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ingaí–RS/Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 2, p. 143-152, 2016.

DE SOUZA, M. L. **Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltados a estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR).** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2001.

DE VENTE, J. et al. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. **Global and planetary change**, v. 60, n. 3, p. 393-415, 2008.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência. 2a ed, 1998.

EWALD, K. H.; LIMBERGER, L. Caracterização do regime pluviométrico no município de Marechal Cândido Rondon-PR entre os anos 1941 a 2008. I Seminário Internacional dos espaços de fronteira. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; JUNIOR, J. A. S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje** -ISSN: 0104-7094, v. 18, n. 1, 2010.

FILIZOLA, H., ALMEIDA FILHO, G. S., CANIL, K., SOUZA, M., & GOMES, M. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **Circular Técnica**, EMBRAPA. Jaguariúna- São Paulo, v. 22, 2011.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2011.

GARDIMANJunior, B. S., Couto, D. R., Coelho, F. B., Souza, G. N. D. S. J., & dos Santos, A. R. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 2, p. 0 21-034, maio/jun. 2012.

GARSON, G. D. **Statnotes: Topics in Multivariate Analysis.** 2009 Disponível em: <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>

GROSSI, C. H. **Diagnóstico e monitoramento ambiental da microbacia hidrográfica do Rio Queima-Pé, MT.** (Dissertação de Mestrado), Botucatu: UNESP, 2006.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R, G, M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** 2. ed. Cap. 1, p. 17-50. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

HILDEBRANDT, A. et al. **Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain).** Water Res., 42 (2008), p. 3315–3326, 2008.

HOLLANDA, M. P. ; CAMPANHARO, W. A. ; CECÍLIO, R. A. . **Manejo de Bacias Hidrográficas e a Gestão Sustentável dos Recursos Naturais.** In: Lima D. Martins; Thales R. Hannas; Rita de C.M.O. Ventura; Anandy K. F. Alvim-Hannas; Jane A. Mendonça; Lidiane H. de Fúcio; Lílian B. F. Longo; Lívia P. A. Lamas; Luciana B. e Silva; Ludmila B. Furtado; Mônica de O. Costa; Ruteléia C. S. Silva. (Org.). **Atualidades em Desenvolvimento Sustentável.** 1ed. Manhuaçu - MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2012, v. 1, p. 57-66.

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 2000. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 23 de dez. 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico do uso da Terra. 2013. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 08 abril. 2017.

JACKSON, R. D., HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive veterinary medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

JUSTICE, C. O. et al. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.244-262, 2002.

KÖEPPEN, W. **Climatologia. Com um estúdio de los climas de la tierra.** México. FCE. p. 482-487, 1948.

LEITE, E. F., ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 1, n. 4, p. 18-36, 2009.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Oficina de Textos, Ed. UNIDERP, 908 p., 2015.

LOPES, S. **Influência do uso da terra na qualidade da água em bacias hidrográficas com usos distintos, em Jataí-GO e Canápolis- MG.** 226 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo: Blucher, 293 p., 2015.

MARTTILA, H.; KLOVE, B. Dynamics of erosion and suspended sediment transport from drained peatland forestry. **Journal of Hydrology**, v. 388, n. 3-4, p. 414-425, 2010.

MEDEIROS, G. A. et al. Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do Córrego Recanto, em Americana, no Estado de São Paulo. **Geosciences= Geociências**, 28(2), 181-191, 2009.

MENDONÇA, D. S; MAGALHÃES, S. C. M; TRINDADE, W. M. Água e saúde: Uma análise do córrego entre rios em Pirapora- MB. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde.** v. 11. N. 20. P.189, 2015.

MENESES, Paulo R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Editora Universidade de Brasília; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MEZZOMO, M. M. Vulnerabilidade ambiental do município de Marechal Cândido Rondon-Pr. In: IV ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. Campo Mourão, Paraná, 2009.

MOORE, David S. *The Basic Practice of Statistics.* New York, Freeman, 2007.

MORAES, E. C., FIORIO, P. R. **Fundamentos de sensoriamento remoto.** São José dos campos: INPE, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa, MG: UFV, 4ª edição, 320 p, 2009.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation.** 3.ed. Malden: Blackwell. 304p, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.



OLIVEIRA, L. D. et al. Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do Rio São Francisco Verdadeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 770-781, 2008.

PFLUCK, L. Dorotea. Riscos ambientais: Enxurradas e desabamentos na cidade de Marechal Cândido Rondon-PR, 1980 a 2007. **Tese de Doutorado**, UFSC. Florianópolis. p.31a 90, 2009.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON. **Plano Diretor, 2007**. Disponível em <<http://www.mcr.pr.gov.br/planodiretor/1>>. Acesso em 21 de abril de 2017.

PINTO, C. S. B., FERNANDES, N. F., BHERING, S. B. Modelagem hidrossedimentológica e manejo do solo: aplicação do SWAT na bacia de drenagem experimental do córrego Barro Branco, RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Ed. 2, Oficina de Textos, São Paulo, 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. [S.l.]: Parêntese, 2007.

REBOUÇAS, A da C; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. (ORG). **Águas doces no Brasil: Capital Ecológico**. Uso e Conservação, 3 ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006.

RESTREPO, J. D. et al. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. **Journal of Hydrology**, v. 316, n. 1, p. 213-232, 2006.

RIZZI, R.; FONSECA, E. L. da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Foz do Iguaçu, Paraná, 2004.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais/Multivariate Analysis for selection of monitoring parameters in water reservoir of Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 176, 2016.

ROCHA, N. C. C.; RIBEIRO, J. R.; CÂNDIDO, L. G. Levantamentos de manchas indicativas de diferencial de produtividade para definição de zonas de manejo com apoio de imagens de satélites e coletores de produtividade. **Anais.. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 395-401, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 7. Ed., 264 p., 2009.

ROTHWELL, J. J. et al. **A spatial and seasonal assessment of river water chemistry across North West England**. *Sci. Total Environ.* 408, 841–855, 2010.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Earth RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. Washington: NASA, 1974. v.1, p.309-317.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. **História da psicologia moderna**. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 439 p., 1992.

SILVA, G. J. F da; ALMEIDA, N. V. Degradação ambiental no município de Parari PB: uma análise por meio de sensoriamento remoto. **Revista Geografar - Curitiba**, v.10, n.2, p.140-164, 2015.

SILVA, H. L. G. **Modelagem Bidimensional do Fósforo com Vistas a Gestão de Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso: Reservatório de Fiú, Paraná**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2006.

SILVA, P.R.; DUCATI, J.R. **Spectral features of vineyards in south Brazil from ASTER imaging**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 30, n. 23-24, p. 6085-6098, 2011.

SILVA, M. R.; RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. Monitoramento de estiagens com imagens MODIS. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis, Santa Catarina, 2007.

SOUSA, A. T de. Processo erosivo linear na bacia do córrego Pontinhas em Orizona– GO. 2001. 159 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia Física)-Instituto de Estudos Sócio- Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

SOUTH, S.; JIAGUO Qi; LUSCH, D. P. **Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices**. *Remote Sensing of Environment*, v.91, n.90-97, 2004.

STANTON, J. M. Galton, Pearson, and the peas: A brief history of linear regression for statistics instructors. **Journal of Statistics Education**, v. 9, n. 3, 2001.

STRAHLER, A. H.; STRAHLER, A.. **Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment**. 3° ed. Universidade de Boston, Estados Unidos, 776 p, 2005.

TAN, P.-N., STEINBACH, M., KUMAR, V. **Introduction to data mining**. Pearson Education India, 2006.

TARGA, M. S. **Hidrologia e manejo de bacias hidrográficas**. Taubaté: UNITAU. 61f. 1 Apostila, 2008.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: Carlos E. M. Tucci; Rubem La Laina Porto; Mário T. de Barros. (Org.). **Drenagem Urbana**. 1ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, 1995. p. 15-36.

UDA, P. K., CORSEUIL, C. W., NETTO, A. D. O. A., & BORTOLOTTI, N. L. Análise da evapotranspiração potencial distribuída por meio de imagens NDVI, na bacia do rio Negrinho-SC. IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010.

VERHEIJEN, F. G. JONES, R. J., RICKSON, R. J., & SMITH, C. J. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. **Earth-Science Reviews**, v. 94, n. 1-4, p. 23-38, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1. Editora UFMG, 1996.

WACHHOLZ, Flávio. compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais. 2007. 98 f. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

WOODARD, Frank. **Industrial waste treatment handbook**. Butterworth-Heinemann, 2001.