

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DOS USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO  
NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO VERMELHO NO SUDESTE DE  
MATO GROSSO**

**André Vinícius Valuz de Souza**  
Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Julho/ 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUENCIA DOS USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO  
NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO VERMELHO NO SUDESTE DE  
MATO GROSSO**

André Vinícius Valuz de Souza

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simoni Maria Loverde Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Julho/ 2015



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
Rodovia Rondonópolis-Guiratinga, km 6 (MT-270) - - Cep: 78735901 -Rondonópolis/MT  
Tel : (66) 3410-4020 - Email : mestrado\_ppgeo\_cur@ufmt.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO : "Avaliação da influência dos usos e ocupação do solo na qualidade da água do Rio Vermelho no sudeste de Mato Grosso"**

AUTOR : Mestrando ANDRÉ VINÍCIUS VALUZ DE SOUZA

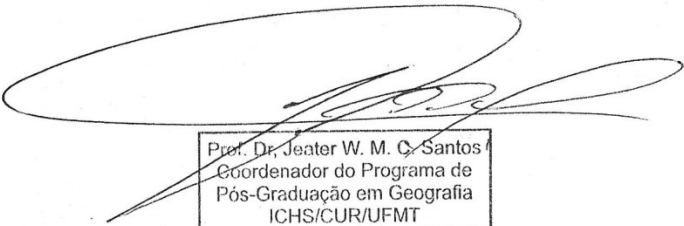
Dissertação defendida e aprovada em 13/07/2015.

Composição da Banca Examinadora:

---

Presidente Banca / Orientador	Doutor(a)	Simoni Maria Loverde Oliveira
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Coorientador	Doutor(a)	Renato Fontes Guimarães
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Interno	Doutor(a)	Normandes Matos da Silva
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Externo	Doutor(a)	JOSUE RIBEIRO DA SILVA NUNES
Instituição :	Universidade do Estado de Mato Grosso/UNEMAT	
Examinador Suplente	Doutor(a)	KARINA KEYLA TONDATO
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	

RONDONÓPOLIS, 01/09/2015.



Prof. Dr. Jeater W. M. C. Santos  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Geografia  
ICHS/CUR/UFMT

## FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação  
Biblioteca Central - Universidade Federal de Mato Grosso

S729i Souza, André Vinícius Valuz de.

Influência dos usos e ocupação do solo na qualidade da água do Rio Vermelho no Sudeste de Mato Grosso. / André Vinícius Valuz de Souza. – 2015.

81 f.; 30 cm.

Orientadora: Simoni Maria Loverde Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto Ciências Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rondonópolis, 2015.

1. Qualidade de Água. 2. Rio Vermelho. 3. Uso e Ocupação do Solo.  
4. IQR. 5. Área de Preservação Permanente. I. Título.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que proporcionou a realização desse sonho, pois sem ele eu não seria nada. Graças Te dou Senhor.

A minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simoni Maria Loverde Oliveira, por sua dedicação, apoio, paciência e amizade em todas as etapas para obtenção desse título. Minha sincera admiração.

A banca examinadora, Prof. Dr. *Normandes* Matos da Silva e Prof. Dr. Josué Ribeiro da Silva Nunes pela disponibilidade para aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores Silvio Moisés Negri, José Adolfo Iriam Sturza, Jorge Luis Gomes Monteiro, José Roberto Tarifa, Jeater Waldemar Maciel Correa Santos do Programa de Pós-Graduação, pelo conhecimento transmitido que muito colaborou para minha formação profissional.

A Universidade Federal de Mato Grosso/Campus Universitário de Rondonópolis e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade oferecida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas de mestrado, pela grande amizade, compreensão, pela inúmeras ajudas principalmente nos momentos de socorro, e momentos de alegria proporcionados nessa jornada. Em especial a Tatiane Duarte e Gustavo Benedito pela ajuda com os mapas.

Ao professor Dr. Mauro Oswaldo Medeiros, pela oportunidade dada na iniciação científica, orientação e por sua grande amizade. Minha sincera consideração.

A professora Dra Karina Keyla Tondato, pela sua dedicação em ajudar em momentos oportunos e pela ajuda com a estatística. Uma grande amiga, minha sincera admiração.

Aos técnicos Jonas Santos e Luanna Mênithen e pela disponibilidade e suporte necessário nos Laboratórios de Química/Física do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT.

Aos familiares e todos que torceram, acreditaram e contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho. Meus sinceros agradecimentos.

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO VERMELHO NO SUDESTE DE MATO GROSSO

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi identificar quais os usos e ocupação do solo na bacia do rio Vermelho estão relacionados com os padrões limnológicos e de qualidade da água do rio Vermelho. Esta região (15°30'/17°15' S e 53°45'/55°00' W) localiza-se no sudeste de Mato Grosso. Foi utilizado o banco de dados da SEMA/ANA (2004 a 2013) e em 2014 foram amostrados 5 estações de coleta. As análises da água seguiram Standard Methodse para o uso e ocupação do solo foram utilizados métodos de geotecnologia. Entre as 22 variáveis limnológicas, 4 variáveis apresentaram valores médios superiores aos limites da Resolução CONAMA 357/2005 para rio de classe II. As variáveis limnológicas foram amplamente distintas quando comparadas ao longo da série histórica, porém agruparam-se por períodos seco ou chuvoso. Houve maior similaridade entre as estações 1, 3 e 5 (grupo B) seguido da estação 2 (grupo A) e a estação 4 (grupo C), sendo a última menos semelhante que as demais. O IQA classificou a qualidade da água do rio Vermelho como MÉDIA para todas as estações de coleta. Destaca-se que o período chuvoso alterou a qualidade da água, que oscilou de BOA a RUIM. Entre as variáveis que compõem o IQA, o nitrato e *E. coli* foram as que variaram influenciando na definição da classe de qualidade da água no trecho analisado, o que sugere relação com os usos do solo para agricultura e área urbana. A bacia do rio Vermelho é predominantemente utilizada para pastagem, seguidas pela agricultura e mata remanescente. Os usos atuais do solo nas suas sub-bacias indicaram que na região das estações 3 e 4 no perímetro urbano de Rondonópolis houve um evidente efeitos dos usos sobre a qualidade da água (cor, turbidez, sólidos totais, fósforo, nitrato e *E. coli*), quando comparados com o IQA e CONANA 357/2005. A Área de Preservação Permanente do rio Vermelho apresentou varios indicativos de ação antropica tanto na área rural (pastagem) quanto urbana. Estes já demonstraram ser responsáveis pelas alterações nas variáveis limnológicas do rio Vermelho ao longo da serie histórica dos dados.

**Palavras-chave:** Qualidade de água, IQA, Uso e ocupação do solo, Área de Preservação Permanente, Rio Vermelho.

# INFLUENCE OF LAND USE AND OCCUPATION ON WATER QUALITY OF THE VERMELHO RIVER, SOUTHEASTERN MATO GROSSO STATE

## ABSTRACT

The present study aimed to identify which land use and occupation in the Vermelho River basin are related to water quality and limnological patterns of the Vermelho River. This region (15°30'/17°15' S and 53°45'/55°00' W) is located in the southeastern Mato Grosso State. To this end, we used the database of SEMA/ANA (from 2004 to 2013), and five sampling sites were sampled in 2014. Water analyses followed the Standard Methods, and for the land use and occupation, geotechnological methods were used. Among the 22 limnological variables, 4 variables presented mean values higher than the limits set forth by CONAMA Resolution 357/2005 for class II rivers. The limnological variables were largely different over the historical series; however, they were grouped into dry and rainy periods. There was higher similarity between the sites 1, 3 and 5 (group B) followed by the site 2 (group A) and 4 (group C), this last being less similar than others. The WQI classified the water quality of the Vermelho River as Medium for all sampling sites. Importantly, the rainy period altered the water quality, which varied between Good and Poor. Among the variables composing the WQI, nitrate and *E. coli* were those that influenced the definition of the water quality class in the analyzed stretch, suggesting relationships with land use for agriculture and urban area. The Vermelho River basin is predominantly used for grazing, agriculture and forest remnants, respectively. The current land uses in the sub-basins indicated that in the region of the sites 3 and 4 in the urban perimeter of Rondonópolis, there was a clear effect of land uses on the water quality (color, turbidity, total solids, phosphorus, nitrate and *E. coli*), when compared to the WQI and CONAMA 357/2005. The Permanent Preservation Area of the Vermelho River presented several indicators of human activities, both in the rural (pastures) and urban area. These indications have been shown to be responsible for changes in the limnological variables of the Vermelho River throughout the historical data series.

**Keywords:** Water quality, WQI, Land use and occupation, Permanent Preservation Area, Vermelho River.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 Qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	15
2.2 Uso e ocupação da terra x qualidade da água.....	18
3.3 Área de Preservação Permanente (APP).....	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	24
3.1 Áreas de estudo.....	24
3.1.1 Descrição das estações de coleta.....	24
3.1.2 Clima e formações vegetais.....	29
3.1.3 Geologia e pedologia.....	29
3.2 Dados pluviométrico e fluviométrico.....	30
3.3 Amostragem e análise da água.....	30
3.3.1 Índice de Qualidade da Água (IQA).....	32
3.4 <i>Geotecnologias</i> .....	33
3.4.1 <i>Extração da bacia hidrográfica do rio Vermelho</i> .....	33
3.4.2 <i>Classificação do uso e ocupação do solo</i> .....	34
3.4.3 Extração da área de proteção permanente (APP) do rio Vermelho.....	35
3.5 Análise estatística dos dados.....	36
<b>4 RESULTADOS</b> .....	37
4.1 Variação pluviométrica e fluviométrica.....	37
4.2 Análise limnológicas.....	37
4.3 Análise estatística dos dados.....	48
4.4 Índice de Qualidade da Água (IQA).....	51
4.5 Uso e ocupação do solo.....	53
4.5.1 Bacia hidrográfica do rio Vermelho.....	53
4.5.2 Uso e ocupação do solo por sub-bacias.....	54
4.5.2.1 Sub-bacias da estação 1.....	54
4.5.2.2 Sub-bacias da estação 2.....	55
4.5.2.3 Sub-bacias da estação 3 e 4.....	56
4.5.2.4 Sub-bacias da estação 5.....	57
4.6 Áreas de Preservação Permanente (APP) do rio Vermelho.....	59
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	66
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	73
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Vermelho e as estações de coleta de água.....	25
<b>Figura 2:</b> Estação 1 – Rio Vermelho próximo a ponte do Distrito Jarudore, do município de Poxoréo.....	26
<b>Figura 3:</b> Estação 2 – Rio Vermelho próximo a ponte que liga a cidade Rondonópolis a Guiratinga, na zona rural e periurbana de Rondonópolis.....	27
<b>Figura 4:</b> Estação 3 – Rio Vermelho próximo a ponte da BR-364 no perímetro urbano de Rondonópolis.....	27
<b>Figura 5:</b> Estação 4 – Rio Vermelho na região conhecida como Coronel Osvaldo, no perímetro urbano de Rondonópolis.....	28
<b>Figura 6:</b> Estação 5 – Rio Vermelho próximo ao rio Ponte de Pedra encontra-se na zona rural do município de Rondonópolis.....	28
<b>Figura 7:</b> Distribuição da pluviosidade média (A) e diversidade fitofisionômica (B) na bacia do rio Vermelho.....	29
<b>Figura 8:</b> Unidades litoestratigráficas (A) e pedologia do solo (B) da bacia do rio Vermelho.....	30
<b>Figura 9:</b> Variação média da precipitação na cidade de Rondonópolis (Posto nº 83410) e as vazões médias do rio Vermelho (Posto nº 66450001), ambos para o período de 2004 a 2014.....	37
<b>Figura 10:</b> Variação média da temperatura da água (A), condutividade elétrica (B) e pH (C) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.....	42
<b>Figura 11:</b> Variação média da cor (A), turbidez (B), dureza total (C) e oxigênio dissolvido (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.....	43
<b>Figura 12:</b> Variação média dos sólidos total (A), sólidos não filtráveis (B), DBO (C) e DQO (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.....	44
<b>Figura 13:</b> Variação média da nitrogênio Kjeldahl (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônia (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.....	45
<b>Figura 14:</b> Variação média do cloreto (A), sulfato (B), ortofosfato (C) e fósforo total (D) no espaço e no tempo nas águas do rio Vermelho.....	46
<b>Figura 15:</b> Variação média da alcalinidade (A), coliformes totais (B) e coliformes fecais (C) no espaço e no tempo nas águas do rio Vermelho.....	47
<b>Figura 16:</b> Dendrograma do agrupamento temporal das variáveis limnológicas do	

rio Vermelho.....	48
<b>Figura 17:</b> Dendrograma do agrupamento espacial das variáveis limnológicas do rio Vermelho.....	50
<b>Figura 18:</b> Espacialização do uso e ocupação do solo da bacia do rio Vermelho (2014) estações de monitoriamento da água e suas sub-bacias (A – L).....	54
<b>Figura 19:</b> Espacialização do uso e ocupação do solo no ano de 2014 nas sub-bacias do rio Poxoréo (A) e córrego Grande (C) pela margem esquerda e rio Paraíso (B) e córrego Tombador (D) pela margem direita do rio Vermelho.....	55
<b>Figura 20:</b> Espacialização do uso e ocupação do solo (2014) na sub-bacia do córrego Bagaréu (F) pela margem esquerda e rio Areia (E) pela margem direita do rio Vermelho.....	56
<b>Figura 21:</b> Espacialização do uso e ocupação do solo (2014) na sub-bacia do córrego Arareau (G) pela margem esquerda e rios Tadarimana (H) e Jurigue (I) pela margem direita do rio Vermelho.....	57
<b>Figura 22:</b> Espacialização do uso e ocupação do solo no ano de 2014 na sub-bacia do córrego Míau (J) pela margem esquerda e rio Jurigue (L) pela margem direita do rio Vermelho.....	58
<b>Figura 23:</b> Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 1 (Ponte de Jarudore).....	60
<b>Figura 24:</b> Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 2 (Ponte de Guiratinga MT-270).....	61
<b>Figura 25:</b> Uso e ocupação do solo da APP no perímetro urbano de Rondonópolis (A e B).....	63
<b>Figura 26:</b> Uso e ocupação do solo da APP no perímetro urbano de Rondonópolis das estações 3-Ponte de Rondonópolis (A) e 4-Coronel Osvaldo (B).....	64
<b>Figura 27:</b> Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 5 (Ponte de Pedra).....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Métodos adotados para análise da qualidade da água do rio Vermelho.....	31
<b>Tabela 2:</b> Valores e categorias de qualidade da água do IQA.....	33
<b>Tabela 3:</b> Limiares do índice Kappa utilizados.....	35
<b>Tabela 4:</b> Valores médios das variáveis limnológicas nas estações amostradas no rio Vermelho, entre janeiro/2004 a dezembro/2014.....	41
<b>Tabela 5:</b> Matriz temporal da Análise do Componente Principal de componentes rotacionada por varimax para a bacia do rio Vermelho.....	49
<b>Tabela 6:</b> Matriz espacial da Análise do Componente Principal de componentes rotacionada por varimax para a bacia do rio Vermelho.....	51
<b>Tabela 7:</b> Valores médios, máximo e mínimo dos dados limnológicos de 2004 e 2014 do rio Vermelho no período chuvoso e seco, entre 2004 – 2014.....	51
<b>Tabela 8:</b> Variação temporal do Índice de Qualidade da Água do rio Vermelho, entre 2004 a 2014.....	52
<b>Tabela 9:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo na bacia do rio Vermelho no ano de 2014.....	53
<b>Tabela 10:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo das sub-bacias da estação 1 no monitorado no rio Vermelho, no ano de 2014.....	55
<b>Tabela 11:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo as sub-bacias da estação 2 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.....	56
<b>Tabela 12:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da sub-bacias da estação 3 e 4 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.....	57
<b>Tabela 13:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da sub-bacias da estação 5 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.....	58
<b>Tabela 14:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 1 (Ponte de Jarudore).....	59
<b>Tabela 15:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 2 (Ponte de Guiratinga MT-270).....	60
<b>Tabela 16:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 3 (Ponte de Rondonópolis BR-364) e 4 (Coronel Osvaldo).....	62
<b>Tabela 17:</b> Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 5 (Ponte de Pedra).....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAH - Análise de Agrupamento Hierárquico  
ACP - Análise de Componente Principal  
ANA - Agência Nacional de Águas  
APP - Áreas de Proteção Permanente  
CaCO<sub>3</sub> - carbonato de cálcio  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DBO - demanda bioquímica de oxigênio  
DQO - demanda química de oxigênio  
E. coli - *Escherichia coli*  
ha - hectare  
IQA - Índice de Qualidade da Água  
km - quilômetros  
km<sup>2</sup> - quilômetros quadrado  
m - metros  
m<sup>3</sup>/s - metros cúbicos por segundos  
mg/L - gramas por litros  
mg/L N - gramas por litros de nitrogênio  
mg/L O<sub>2</sub> - gramas por litros de oxigênio  
mg/L P - gramas por litros de fósforo  
mm - milímetros  
NMP/100ml - números mais prováveis em cem mililitros  
NTU - unidade nefelométrica da turbidez  
OD - oxigênio dissolvido  
pH - potencial de hidrogênio  
SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
U.C. -  
% - porcentagem  
°C - graus Celsius  
μS/cm - microns por centímetro

## 1 INTRODUÇÃO

A deterioração dos ecossistemas aquáticos continentais tornou-se uma preocupação mundial e tem levado pesquisadores e administradores de muitos países a buscar soluções de controle e preservação desses ecossistemas (SIQUEIRA; HENRY-SILVA, 2011), em especial o Brasil, onde existe uma grande disponibilidade hídrica, com uma reserva de água doce de aproximadamente 12% do total mundial (MMA, 2006). Neste sentido, o país vem adotando a bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, bem como de desenvolvimento econômico e social, em virtude da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº. 9.433/1997) que define a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica.

Esta Lei mostra que a bacia hidrográfica é uma área naturalmente delimitada, com características próprias e um ecossistema hidrológicamente integrado, a bacia propicia uma visão holística da situação dos recursos hídricos do local (FAVA, 2012).

A partir do momento na evolução do homem, em que deixou de ser o nômade caçador/coletor e para se fixar na terra, tornando-se agricultor, a água passou a ter a conotação de recurso hídrico. Uma vez que o homem começou a procurar solos férteis e próximos a cursos d'água tentando controlar e se beneficiar dos recursos hídricos, e sem dúvida os usos mais antigos são a dessedentação humana e animal, mas com o passar do tempo a água se tornou fundamental na irrigação, entre outros usos (FIGUEIREDO, 2012).

O uso do solo vem sendo fortemente alterado com o crescimento populacional, fatores como poluição doméstica, industrial, altas taxas de consumo escoamento superficial de áreas exploradas pela agropecuária, além do desrespeito em áreas urbanizadas das Áreas de Proteção Permanente (APPs) dos rios o que ameaça a disponibilidade e qualidade da água (LIMA, 2013).

Esta qualidade depende entre outros fatores das condições climáticas, variação sazonal, poluição natural e antrópica (MOJAHEDI; ATTARI, 2009) portanto, determinar a qualidade da água para diferentes usos, além de ser um processo complexo é uma questão preponderante para a preservação da vida humana e dos ecossistemas (FINAZZI, 2012).

De maneira geral, a qualidade da água é estabelecida pela variação das características físicas, químicas e microbiológicas do ambiente aquático. Estas características são representadas matematicamente por variáveis de qualidade da água que são mensuradas durante o monitoramento, com o objetivo de identificar e quantificar as variações através de

medidas de concentrações e análises microbiológicas (BOYACIOGLU, 2010).

Considerando que as relações das atividades humanas numa bacia hidrográfica podem influenciar os aspectos da qualidade da água acima citados e restringir os usos do recurso hídrico, a análise do uso e ocupação do solo destaca-se como um fator primordial na avaliação ambiental, que não pode ser realizada apenas do ponto de vista físico, uma vez que deve ser entendida de forma integrada, considerando-se a relação existente entre a degradação natural e as formas de uso e ocupação pela sociedade (ROMÃO; SOUZA, 2011).

O uso e ocupação do solo pela sociedade teve rápido aumento no decorrer da história do Estado Mato Grosso que foi acompanhado do crescimento populacional e ampliação do setor agropecuário, seguidos de problemas de erosão e assoreamento o que gera uma série de pressões sobre os recursos hídricos (FIGUEIREDO, 2012).

O uso e manejo inadequados da terra e a falta de ações conservacionistas implicam em perdas significativas, de solo, matéria orgânica, nutrientes, biodiversidade, em especial a água, prejudicando o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas (VAEZA et al., 2010). O levantamento e interpretação das variáveis limnológicas como indicadores da qualidade da água e sua correlação com uso e cobertura da terra configuram-se como um subsídio ao diagnóstico ambiental sendo a primeira etapa para o planejamento conservacionista. É uma estratégia para subsidiar os gestores para traçar suas diretrizes de ações visando à preservação, recuperação e controle do sistema natural da bacia hidrográfica do rio Vermelho.

Esta pesquisa visa apresentar sinteticamente dados sobre a qualidade da água do rio Vermelho, afim de responder ao seguinte problema. Os usos e ocupação do solo nas áreas adjacentes ao rio Vermelho influenciam na qualidade da água deste rio?

Sendo assim, o objetivo geral deste estudo foi identificar quais os usos e ocupação do solo na bacia do rio Vermelho estão relacionados com os padrões limnológicos e de qualidade da água do rio Vermelho entre 2004 a 2014, além dos seguintes objetivos específicos:

- Analisar a variação limnológica e fluviométrica do rio Vermelho;
- Verificar quais variáveis limnológicas utilizadas no IQA variaram entre as estações e períodos (seco e chuvoso), além de relacionar o IQA com as formas do uso do solo;
- Mapear espacialmente os usos e ocupação da bacia do rio Vermelho para analisar a influência da ocupação antrópica sobre a qualidade da água.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO

Na bacia hidrográfica do Alto Paraguai em Mato Grosso encontra-se a sub-bacia do Vermelho/São Lourenço formada pelo Rio São Lourenço e seus principais afluentes pela margem esquerda como os rios Pombas e Prata, e pela margem direita, os rios Vermelho e São Pedro (LOVERDE-OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2004).

O rio Vermelho esta parcialmente inserido no município Rondonópolis, pois sua nascente encontra-se no município de Poxoréo. Destaca-se que Rondonópolis é o terceiro maior município do Estado do Mato Grosso quanto à população e segundo em economia (IBGE, 2014), sendo que a cidade está localizada em posição privilegiada, no entroncamento das rodovias BR-163 e BR-364, e através da Ferronorte esta região é ligada às principais ferrovias e aos portos do país.

De maneira geral, a bacia do rio Vermelho além de abrigar Rondonópolis que é uma das cidades que mais cresce demograficamente (IBGE, 2014) vem sofrendo uma grande transformação no decorrer do tempo, pelo rápido crescimento da população e das áreas ocupadas e cultivadas sem um manejo adequado do solo. Os usos vem causando danos para a bacia, entre eles a erosão, descaracterização do leito dos rios, alterações dos habitats aquáticos e diminuição da biodiversidade. Para expressar a importância ambiental da bacia hidrográfica do rio Vermelho vamos abordar algumas obras a respeito dessa temática.

O primeiro trabalho sobre o rio Vermelho foi realizado por Souza (1995) visando compreender os principais fatores poluentes do rio dentro do perímetro urbano de Rondonópolis. O crescimento urbano de forma desorganizada e sem ter um acompanhamento de planejamentos e infraestrutura básica já nesta época contribuía para o desencadeamento de impactos ambientais negativos, com comprometimento da qualidade de suas águas e da vida aquática, sendo que principais poluentes de origem orgânica eram provenientes de seu afluente o rio Arareau.

Posteriormente foi analisado o comprometimento ambiental na bacia do Vermelho/São Lourenço e as características fluviomorfológicas, onde foi verificadas alterações extremamente significativas no ambiente físico pelo uso indiscriminado do solo sem práticas conservacionistas. A utilização do meio abiótico de forma desordenada pela mineração, agricultura, pecuária, implantação de estradas vicinais, BR e MT, sem observância dos processos erosivos-assoreamentos, com aumento na carga de lavagem desses solos desde a

sua cabeceira até a confluência com o rio São Lourenço (MATSUBARA, 1997).

Durante a análise da qualidade da água e os aspectos ecológicos do córrego Arareau afluente direto do rio Vermelho realizada por Loverde-Oliveira et al. (1999) foi registrado que as alterações nas variáveis limnológicas turbidez, cor, condutividade elétrica, coliformes totais e fecais eram indicativos de alteração da água do córrego, sendo as duas primeiras atribuídas ao manejo inadequado do solo, e o excesso de coliformes ao uso inadequado da água na diluição de efluentes urbanos e rurais, a alteração na condutividade teve relação com esses dois fatores.

O estudo da sazonalidade na qualidade da água do rio Vermelho mostrou que os episódios de chuvas fortes provocam na elevação de cor, turbidez e coliformes, além disso, Sette et al. (2002) ressaltaram que as fontes pontuais de contaminação (efluentes indústrias e estação de tratamento de esgoto) são pouco significativas, por outro lado destacam a relevância das fontes não pontuais.

No diagnóstico socioambiental do córrego Arareau na área urbana de Rondonópolis realizado por Torres (2006) foi demonstrado que os mananciais locais têm sido comprometidos por processos de assoreamento, erosão, contaminação e poluição. Outros problemas foram relacionados com as ligações clandestinas nas redes pluviais, que apesar de construídas para o escoamento das águas das chuvas são usadas para lançamento de esgoto sem tratamento prévio.

Os ritmos físicos, naturais, biológicos e sociais contidos nas paisagens da bacia do rio Tadarimana (afluente do rio Vermelho) apresentados por Dotto (2009) indicam que os principais impactos ambientais foram relacionados ao desmatamento, inclusive das matas ciliares e ao uso do solo para agricultura e pecuária. Com relação a qualidade da água, os resultados apresentaram alterações nos parâmetros bio/físico/químico, nas estações seca e chuvosa da região.

As irregularidades ambientais e sociais das Áreas de Proteção Ambiental (APP) do rio Vermelho no perímetro urbano de Rondonópolis foram avaliadas por Rodrigues (2009) por meio de SIG e mostraram que o excesso de poluição é causado por lixo e esgoto despejado diretamente no rio, muitas das vezes sem tratamento adequado, desmatamento da mata ciliar, erosão, assoreamento e expansão urbana.

Visando a conservação das espécies aquáticas e de sistemas fluviais urbanos de Rondonópolis através de bioindicadores para avaliação da qualidade da água realizou-se um estudo por Loverde-oliveira e Silva (2010) o qual mostrou que o rio Vermelho caracteriza-se por ser um sistema turbido e com altos valores de fósforo total, acima do limite estabelecido



para rios de classe II. O rio Vermelho foi classificado como oligotrófico cujos valores de nutrientes eram limitantes ao crescimento e desenvolvimento de organismos planctônicos e macroinvertebrados.

Araújo (2012) estudando os padrões espaço-temporais do uso e ocupação do solo e suas relações com a qualidade da água nas bacias dos Rios Cuiabá e São Lourenço, relatou que as características físicas e de uso do solo que mais influenciaram na qualidade da água foram a pedologia, população urbana por km<sup>2</sup>, declividade e chuva. A bacia hidrográfica do rio Vermelho neste estudo apresentou maior impacto na qualidade da água, com altas concentrações de nitrogênio total.

A relação de uso e cobertura da terra com a qualidade da água no município de Rondonópolis descrita em Souza (2013) verificou a influencia do uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica, devido a existência de extensas áreas dedicadas a produção agrícola inclusive matas ciliares usadas na formação de pastagem alterando a qualidade da água.

As variações espaciais dos parâmetros de qualidade da água nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço considerando seus principais afluentes, mostrou que as variações estão relacionadas com lançamentos de efluentes domésticos, industriais, escoamento agrícola e transporte de sedimentos por poluição difusa, gerada principalmente nas atividades agropecuárias que se apresentaram como fatores determinantes da qualidade das águas do rio Vermelho (LIMA, 2013).

O estudo dos parâmetros da qualidade da água e a realização do diagnostico nas Áreas de Preservação Permanentes nos córregos Mangabinha e Esparramo afluente do rio Vermelho no ano de 2013, verificou com base no Código Florestal (Lei Federal 4771/65) que 29,66% das mesmas apresentavam situação irregular, destinadas ao uso comercial e agropecuário (VILELA, 2014).

Souza e Loverde-Oliveira (2014) analisando a qualidade da água do rio Vermelho no período de cheia, através do Índice de Qualidade de Águas (IQA) determinaram que as contaminações encontradas nas águas do rio são oriundas da turbidez, fósforo, sólidos totais e coliformes fecais, todas acima do limite estabelecido do CONAMA 357/2005 para rio de Classe II. Esta condição vem alterando as características físicas, químicas e biológicas da água e a classificando pelo IQA Ruim durante o período chuvoso.

A variação limnológica da água e sua relação com o uso e ocupação do solo do rio Vermelho foram descritos por Souza e Loverde-Oliveira (prelo) para três estações no rio Vermelho, sendo que os resultados mostraram que atividades de exploração do solo como a mineração e agropecuária tem ocasionado erosão e maior disponibilidade de sedimentos; o

lançamento de efluentes por fontes diversas podem ser apontado como o responsável pelas elevadas quantidades de fósforo e coliformes fecais já interferindo no estado trófico do rio Vermelho.

## 2.2 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA X QUALIDADE DA ÁGUA

O uso e a ocupação do solo de uma bacia hidrográfica têm relação direta com a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos que a integram. Dessa forma, a análise da qualidade da água deve considerar as atividades produtivas de uma bacia e sua interação com todos os componentes do meio físico, biótico e antrópico (MOTA, 2008). Segundo Merten e Minella (2004), a qualidade e a quantidade de um curso d'água refletem os fenômenos ocorrentes nas suas vertentes, o que pode ser avaliado por meio de parâmetros de qualidade da água.

O disciplinamento do uso e ocupação do solo visa assegurar a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, sendo de extrema importância para organizar o desenvolvimento de uma bacia e ao mesmo tempo proteger os recursos naturais (MOTA, 2008). Diversos estudos de uso e ocupação do solo e seus reflexos na qualidade da água têm sido realizados no Brasil, entre os trabalhos realizados destaca-se:

A ocupação no solo e a fragmentação da paisagem da bacia do córrego Ponte de Terra no Distrito Federal relacionados a qualidade da água durante a série histórica de 1986 a 2005, observou um aumento significativo do grau de ocupação do solo nesta bacias, porém os parâmetros de qualidade da água não apresentaram aumentos significativos no período estudado, excetuando-se a DQO, com tendência significativa de aumento, em ambas as estações seca e úmida (CHAVES; SANTOS, 2009).

Moura et al. (2010) estudando a qualidade de água na bacia do Ribeirão do Gama e do Córrego do Cedro em Brasília - DF determinou as possíveis fontes de alteração e diferenciando os impactos relacionados à ocupação humana dos processos naturais influenciados pela geologia regional. O uso da estatística permitiu avaliar a qualidade de água e gerar um modelo a partir da água impactada/não-impactada e permitiu detectar a origem dos materiais transportados pelas drenagens, associados à construção civil, aos minerais presentes no solo e aos fertilizantes.

A influência do uso e ocupação dos solos sobre os recursos hídricos do Córrego Três Barras no município de Marinópolis - SP, indicou que as áreas ocupadas por matas e pastagens favoreceram a disponibilidade e a qualidade da água nesta sub-bacia. Já as áreas

habitadas, agricultadas e as matas degradadas reduziram a disponibilidade e a qualidade da água na sub-bacia (VANZELA et. al., 2010).

Os parâmetros físico-químicos da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim no Estado de Sergipe foram relacionados aos usos e a ocupação do solo com possíveis interferências na qualidade da água, sendo que neste estudo, as concentrações de oxigênio dissolvido indicando a interferência antrópica no ambiente aquático. Os valores da demanda bioquímica de oxigênio e da demanda química de oxigênio indicam maior aporte de matéria orgânica na área urbana devido a falta de saneamento básico e as concentrações dos nutrientes nitrogênio e fósforo foram mais elevadas nas regiões próximas das atividades agrícolas (VASCO et. al., 2011).

O comportamento de alguns parâmetros de qualidade da água sob a visão de diferentes usos e ocupação do solo na bacia do rio Pirapódo - PR, mostrou ampla variação nos ambientes lóticos. Esses resultados ressaltam a necessidade de implementação de medidas mitigadoras de poluição, principalmente nos córregos urbanos (SCHNEIDER et. al., 2011).

As associações entre os parâmetros de qualidade da água e a identificação de prováveis agentes poluidores em uma bacia hidrográfica do Sudoeste do Paraná, foram comparadas com a Resolução CONAMA 357 (2005), para rios classe II, onde foram encontrados índices acima da normalidade para óleos e graxas, boro, ferro dissolvido, coliformes totais e coliformes termotolerantes (OLIVEIRA FILHO et. al., 2012).

Na obra de Lubenow et. al. (2012) foi elaborado um mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Nhapindazal em Irati - PR, onde avaliaram os usos e a qualidade da água, identificando-se os possíveis agentes poluidores e todos os parâmetros físico-químicos estavam dentro dos limites para rio de classe 2, porém nas áreas urbanas apresentou valores acima do permitido em relação à quantidade de coliformes fecais.

O efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água num ciclo sazonal em diferentes pontos da micro-bacia do córrego Banguelo em Belo Horizonte – MG também foi investigadas por Pontes et al. (2012), onde o IQA indicou que a qualidade da água oscilou entre Média e Ruim no período seco, e de Boa a Média no período chuvoso. Para estes autores a deterioração da qualidade da água ocorreu devido ao lançamento de efluente industrial e esgoto das áreas urbanizadas, com ocorrência de níveis baixos de oxigênio dissolvido, alta concentração de matéria orgânica e nutrientes. Nas áreas com vegetação, observaram diminuição na concentração de poluentes (principalmente nitrato e fosfato), indicando a importância da manutenção da vegetação ripária como medida de melhoria da qualidade da água na região.

A influência do tipo de solo, características físicas, e uso e ocupação do solo na qualidade da água em uma sub-bacia do córrego Palmital em Viçosa – MG mostrou que as alterações na qualidade da água na sub-bacia estão relacionadas com a DBO, OD, *E. coli* e coliformes totais, oriundas das atividades antropogênicas conformes os usos e ocupação do solo, especialmente em regiões com pratica de pastagens (ANDRADE et. al., 2013).

O monitoramento qualitativo e quantitativo da água para fins de irrigação e a influência ocasionada pelo uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego do Ipê, em Ilha Solteira – SP verificou que pelo fato que a principal cultura é a cana-de-açúcar e o maior conflito de uso ocorre nas áreas de preservação permanente. A microbacia se caracterizou pelas altas concentrações de ferro e coliformes originados das áreas de pastagens degradadas e uso irregular da ocupação urbana e rural. As reduzidas áreas de preservação permanente, a má conservação do solo e a expansão das áreas urbanas, implicam na deterioração da qualidade e disponibilidade hídrica, gerando impactos socioeconômico e ambiental para a região (SANTOS; HERNANDEZ, 2013).

As mudanças temporais no uso e ocupação do solo nas proximidades do Córrego do Ipê em Ilha Solteira - SP revelaram um alto grau de fragilidade como consequência da urbanização, a crescente população e a intensificação das atividades, tanto domésticas e agrícolas, onde as modificações contribuíram para aumento do grau de degradação ambiental, com destaque para a disposição inadequada de resíduos sólidos no córrego (ORTEGA; CARVALHO, 2013).

A averiguação do mapeamento do uso e ocupação do solo e sua aplicação na avaliação da qualidade da água em Salto do Lontra - PR demonstrou que os parâmetros nitrato, coliformes termotolerantes, temperatura, condutividade elétrica e bicarbonato foram os parâmetros que melhor explicaram a variação espacial da qualidade da água (WRUBLACK et. al., 2013).

Neste mesmo contexto, a qualidade da água em bacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim – RS indicaram que locais com maior percentual de urbanização também apresentam os piores resultados de degradação ambiental, devido à influência do efluente doméstico como fonte potencial de contaminação do sistema fluvial e também pela contribuição elevada de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes. Nesta bacia os diferentes usos do solo provocaram alterações nas relações entre os parâmetros de qualidade da água, já nas bacias onde predominam áreas agrícolas, a influência ocorre sobre a turbidez e sólidos suspensos que foram significativamente alterados devido à ocorrência de processos erosivos (SOUZA; GASTALDINI, 2014).

O emprego do Estado Índice Trófico (TSI) para avaliar os impactos das ações humanas sobre a superfície da água de uma bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro, mostrou que as diferentes formas de uso e ocupação causam impacto no processo de eutrofização. As maiores concentrações de fósforo total para sites com influência das atividades urbanas ocorreram durante os períodos de baixa vazão, enquanto que para lugares com influência de atividades agrícolas ocorreram em eventos de alta descarga. Sites com influência de atividades urbanas apresentaram classificação trófica mais elevada do que aqueles influenciados por atividades agrícolas (SCHMIDT et. al., 2014).

As concentrações e as cargas transportadas de algumas substâncias associadas à qualidade da água foram quantificadas na bacia hidrográfica do rio Duas Mamas em Schroeder - SC e neste sistema a concentração da maioria dos parâmetros analisados estavam em conformidade com a Resolução do CONAMA. A ocorrência da mata nativa foi fundamental para a manutenção da qualidade da água, já que foi a seção em mata conservada que apresentou melhor qualidade em relação aos parâmetros analisados. A urbanização, apesar de pequena, compromete a qualidade da água, pois os resultados estiveram acima dos padrões estabelecidos na legislação. Além disto, porção rural desta bacia hidrográfica, as ações pontuais, como lançamentos de águas residuárias e a existência de corredeiras, interferiram significativamente na qualidade da água do rio (PINHEIROS et al., 2014).

### 2.3 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

O Código Florestal Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, determinam Áreas de Preservação Permanente (APPs) para redes hidrográficas, nascentes, corpos d'água e para áreas com declividades superiores a 45°. Segundo a legislação, a função dessas áreas é de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

A mata ciliar e a rede de drenagem são elementos que apresentam uma grande associação entre si em uma bacia hidrográfica, na qual as matas ciliares representam o elemento de transição e ligação dos corpos d'água com as mais variadas coberturas do solo (SANTOS et. al., 2014). Para expressar a importância das Áreas de Preservação Permanente vamos abordar algumas obras a respeito dessa temática:

O estudo sobre o uso da terra na bacia do ribeirão São Bartolomeu (2.826,83 ha) em Viçosa – MG, resultou na identificação dos usos da área protegida distribuídas nas seguintes

categorias: 1.530 há de áreas especialmente protegidas correspondendo a 54,15 % da área total da bacia, e 905 ha (59,70 %) de APP ilegalmente utilizadas em empreendimentos agropecuários, sendo que a pastagem representa 40% (613,12 ha) e o cafezal 7,10 % (109,02 ha) (SOARES et. al., 2011).

A exploração de recursos naturais vem sendo muito questionada nas últimas décadas e muito se tem discutido sobre conservação ambiental e recuperação de ecossistemas degradados, nesta perspectiva Bailly et al. (2012) valiou a microbacia do córrego da Ponte, MS para determinar o número e área dos fragmentos florestais de mata ciliar. Observou o avançado estado de degradação da mata ciliar desse ecossistema, uma vez que 67,5% da área de mata ciliar legal já foi degradada.

Para Campos e Matias (2012) que mapearam com imagens orbitais a situação de uso e ocupação da terra nas Áreas de Preservação Permanente em Paulínia (SP) foi registrado que as APPs compreendem 11,64 km<sup>2</sup> (8,37%) da área total do município (139 km<sup>2</sup>). Constatou-se que em 8,15 km<sup>2</sup> (70%) das APPs, a ocupação está de acordo com a legislação e que 3,49 km<sup>2</sup> (29,98%) está em desacordo.

Na rede de drenagem da microbacia do Ribeirão Água Fria, em Bofete-SP foi investigada as classes de uso do solo e os conflitos dentro de áreas de preservação permanente. Foi constatado que apesar de quase metade da microbacia estar coberta com algum tipo de vegetação (48,78% de mata natural/reflorestamento), a microbacia possui aproximadamente um terço das áreas de preservação permanente utilizadas inadequadamente por pastagens (88,15%), reflorestamento (10,42%) e solo exposto (1,43%), totalizando 343,07 ha de áreas conflitantes do total de 993,26 ha de APPs (NARDINI, et. al. 2012).

O uso da terra e identificação da APPs na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata em Castelo-ES, mostrou que a principal forma de uso da terra é a agropecuária (60,84% da área total), composta pela agricultura (30,21%) e pela pecuária (30,63%). A área preservada com floresta nativa é de 36,85% e as APPs representam 55,48% da área total destes 50,40% é utilizada para fins socioeconômicos, enquanto a cobertura florestal representa apenas 49,60% (COUTINHO, 2013).

O mapeamento dos conflitos de uso da terra nos anos de 1987 e 2007, em uma microbacia de Viçosa – MG mostram que a classe pastagem ocupava em torno de 50% das APPs nas duas datas avaliadas. Ao comparar as duas datas todas as classes de uso da terra desta microbacia ocuparam mais de 30% das APPs, evidenciando um aumento do uso indevido do solo (COSTA et. al., 2013).

Silva et al. (2013) considerando os impactos ambientais nos remanescentes de

vegetação ciliar do córrego Figueiras, em Tangará da Serra-MT observou que a qualidade da água está comprometida em função do contínuo descarte de animais mortos e lixo doméstico, e que há influência direta do processo de urbanização sobre a mata ciliar, reduzindo a área de APP. Assim, toda mata ciliar esta comprometida estando inconforme a legislação vigente municipal.

A delimitação de áreas de proteção permanentes de acordo com o Código Florestal Brasileiro de 2012, em Moju - PA, mostrou que as terras alteradas neste município perfazem 30,29% do total, sendo que 17% estão ocupadas pela pecuária e somente 5,2% do território de Moju é legalmente definido como APP. Destas áreas, 29,3% se encontram em uso conflituoso, onde predomina a pastagem. O cultivo de Palma corresponde a apenas 0,63% da área da APP. Além dos conflitos pelos usos a aplicação das regras de recomposição de APPs pelo novo Código Florestal Brasileiro irá resultar em perda de 60,70% de área recuperada em APPs neste município (ALMEIDA; VIEIRA, 2014).

Considerando que as Áreas de Preservação Permanente são importantes para garantir a quantidade e qualidade da água e a biodiversidade local, Santos et al. (2014) mapearam as APPs de acordo com o Código Florestal Brasileiro e quantificaram o uso e cobertura do solo, na subacia do Ribeirão Lavapés em Botucatu - SP. As classes predominantes de uso e cobertura do solo foram a zona urbana (40%) e as culturas anuais (32,90%). A cobertura vegetal de mata nativa corresponde a cerca de 31%, destes 69% não apresentam vegetação nativa ciliar, sendo necessária a sua recomposição florestal.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA

O estudo foi realizado na bacia do rio Vermelho (15°30'/17°15' S e 53°45'/55°00' W), localizada na região sudeste do Estado de Mato Grosso (Figura 1). A bacia ocupa uma área de cerca de 150.802 ha (SOUZA; LOVERDE-OLIVEIRA, 2014).

A região hidrográfica do Paraguai está localizada na porção Oeste do país, compreendendo os territórios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O Curso do rio Paraguai em Mato Grosso pode ser dividido em dois trechos: Paraguai Superior e Alto Paraguai. No trecho do Alto Paraguai encontra-se a sub-bacia do São Lourenço que é formada pelo rio São Lourenço e seus principais afluentes pela margem esquerda como os rios Pombas e Córrego Prata, e pela margem direita, os rios Vermelho e São Pedro (MMA, 2006).

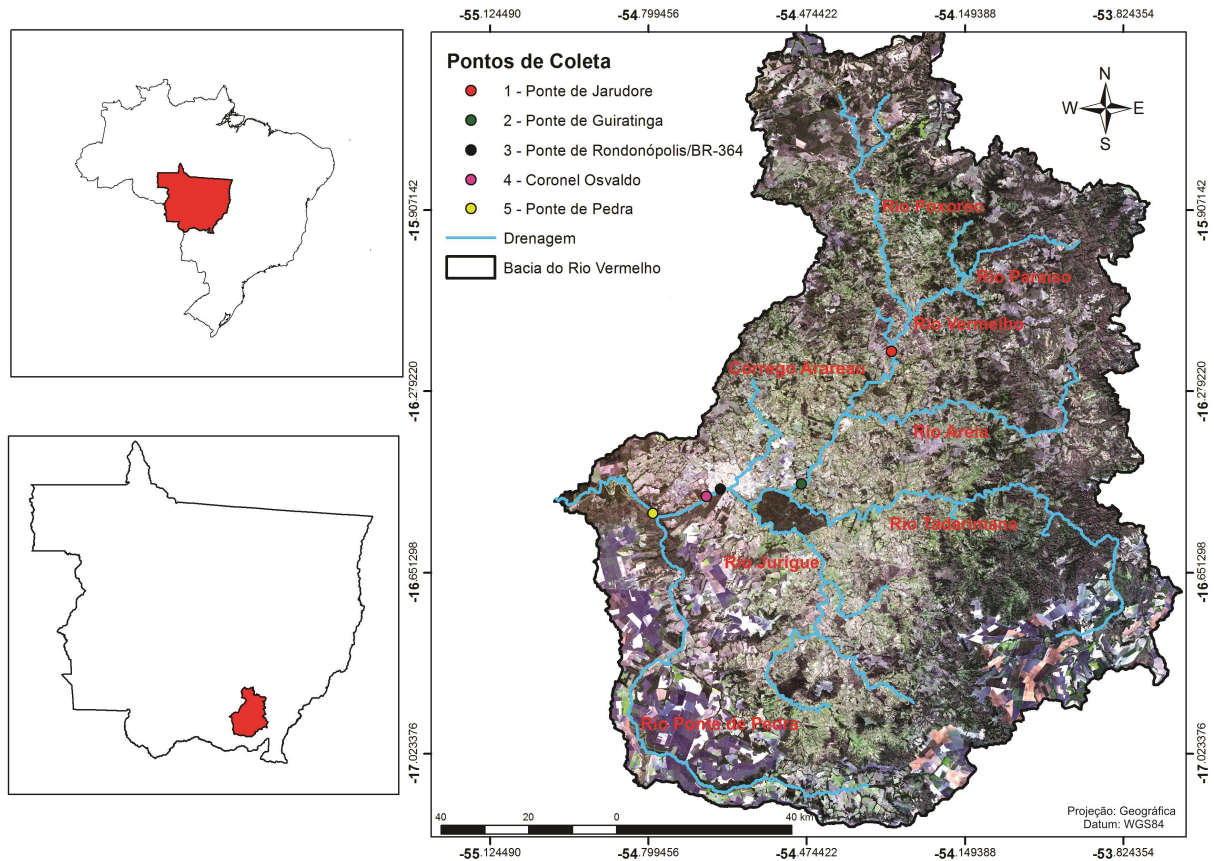
O rio Vermelho é o rio de quinta ordem com uma extensão de 122,5 km. Tem como afluente de águas pela margem direita as sub-bacias do Paraíso, Tombador, Areia, Tadarimana, Jurigue, Ponte de Pedra, e pela margem esquerda, as sub-bacias do Poxóreu, Grande, Bagaréu, Arareau, Míau e São Lourenço todas contribuintes do Pantanal Matogrossense.

Foram selecionados cinco estações para coleta de água no rio Vermelho, sendo que o primeiro sítio se encontra próximo da Ponte de Jarudore, no Distrito de Poxoréo (16°11'46,7"S 54°18'3,4"W); o segundo sítio nas proximidades da Ponte de Guiratinga (16°28'8,9"S 54°29'7,6"W), ambos na região rural do município de Rondonópolis; o terceiro sítio localiza-se na área urbana de Rondonópolis, próximo a Ponte da BR-364 (16°28'46,4"S 54°39'6,4"W), o quarto sítio próximo ao Foz do Córrego Coronel Osvaldo (16°29'40,2"S 54°40'52,9"W), e o quinto sítio de coleta nas proximidades da Ponte de Pedra. Estes dois últimos estão localizados a jusante da mancha urbana da cidade de Rondonópolis.

As estações de coleta 1, 3 e 5 deste estudo são idênticas os sítios selecionadas pelo Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP) onde é feito o monitoramento desde 1995 do rio Vermelho através da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA, 2014).

A estação de coleta 2 foi definida nesta pesquisa com a intenção de analisar a qualidade da água na montante da cidade de Rondonópolis porém em área circunvizinha da cidade, e a estação 4 para investigar se há influência da estação de tratamento de esgoto de Rondonópolis na qualidade da água do rio Vermelho.





**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica do rio Vermelho e as estações de coleta de água.  
Fonte: TOPODATA, 2011.

A estação 1 localiza-se na proximidade da ponte sobre o rio Vermelho no Distrito Jarudore, a 50 km da sede do município de Poxoréo (Figura 2). Neste local a mata ciliar da margem direita encontra-se parcialmente conservada com cerca de 48 m de mata remanescente, mas logo a jusante essa mata se estreita. Na margem esquerda a mata está visualmente menos conservada com cerca de 30 m de mata remanescente. Em ambas as margens há predomínio do uso da pastagem e nas proximidades pequena urbanização, além disso, há indícios que o rio Vermelho recebe muito sedimento dos rios Poxoréo e Paraíso localizado a montante da bacia.

A estação 2 (Figura 3) está localizada próximo a ponte que liga Rondonópolis a Guiratinga (MT-270) na zona rural do município de Rondonópolis. Este local está a aproximadamente a 15 km da mancha urbana de Rondonópolis. A mata ciliar da margem direita encontra-se parcialmente conservada com cerca de 40 m de mata remanescente, onde também pode ser notado o predomínio da pecuária em algumas chácaras. A margem esquerda se apresenta muito degradada devido ao uso da pecuária.

A estação 3 (Figura 4) na ponte da BR-364 refere-se um local dentro do perímetro urbano de Rondonópolis. A vegetação da margem direita está degradada restando

aproximadamente 20 m de Área de Proteção Permanente, onde predomina a urbanização com construção civil e ruas pavimentadas. Na margem esquerda há uma mata ciliar bem conservada e de acordo com os 100 m descritos no Plano Diretor e o Zoneamento Socioambiental do município de Rondonópolis (2006).

A estação 4, na região conhecida localmente como localiza-se como Coronel Osvaldo, está dentro do perímetro urbano de Rondonópolis, próximo a MT-471 na Rodovia do Peixe (Figura 5). Ambas as margens do rio se encontram conservadas, cerca de 100 m de APP. A montante (cerca de 1.300 m) dessa área se localizada a Estação de Tratamento de Esgoto de Rondonópolis, nesta região há cultivo de arvores de eucaliptos e diversas chácaras.

A estação 5 (Figura 6) fica na região do rio Ponte de Pedra na zona rural de Rondonópolis também localizada próximo a MT-471, onde na margem direita o grande número de chácaras não obedece os 100 m de APP. Já na margem esquerda a mata ciliar é bem conservada compondo uma linda paisagem de floresta e morros.



**Figura 2:** Estação 1 – Rio Vermelho próximo a ponte do Distrito Jarudore, do município de Poxoréu. Fonte: Imagens aéreas do Google Earth, 2014 de 3 km de altura.



**Figura 3:** Estação 2 – Rio Vermelho próximo a ponte que liga a cidade Rondonópolis a Guiratinga, na zona rural e periurbana de Rondonópolis. Fonte: Imagens aéreas do Google Earth, 2014 de 3 km de altura.



**Figura 4:** Estação 3 – Rio Vermelho próximo a ponte da BR-364 no perímetro urbano de Rondonópolis. Fonte: Imagens aéreas do Google Earth, 2014 de 3 km de altura.



**Figura 5:** Estação 4 – Rio Vermelho na região conhecida como Coronel Osvaldo, no perímetro urbano de Rondonópolis. Fonte: Imagens aéreas do Google Earth, 2014 de 3 km de altura.



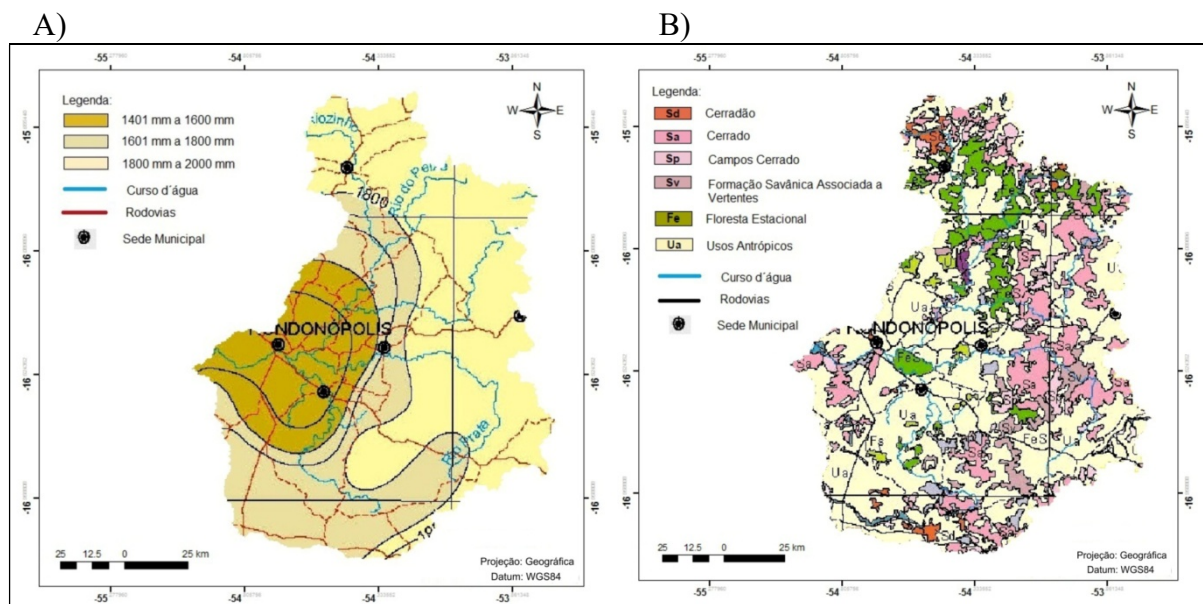
**Figura 6:** Estação 5 – Rio Vermelho próximo ao rio Ponte de Pedra encontra-se na zona rural do município de Rondonópolis. Fonte: Imagens aéreas do Google Earth, 2014 de 3 km de altura.

### 3.1.2 CLIMA E FORMAÇÕES VEGETAIS

O clima regional é quente e úmido (médias anuais entre 22 a 26 °C), equivalente ao clima tropical (AW), com duas estações bem marcadas (seca e chuvosa), concentram a maior parte da pluviosidade de outubro a março enquanto a estiagem tem início entre abril-maio e se prolonga até setembro-outubro (ALVARES et al., 2014).

A pluviosidade média na bacia do rio Vermelho oscila entre 1.400 a 2.000 mm (Figura 7 A). No entanto, nas nascentes e alto curso de seus principais afluentes a altitude associada à orientação do relevo em relação a circulação atmosférica proporciona aumento na intensidades das chuvas (SEPLAN-MT, 2011).

Das formações vegetais existentes na bacia do rio Vermelho, foram divididas em grupos por formações de acordo com a SENPLAN (2011), entre as quais tem-se Cerradão, Cerrados, Formação Savânica associada a vertentes e Floresta Estacional (Figura 7 B).

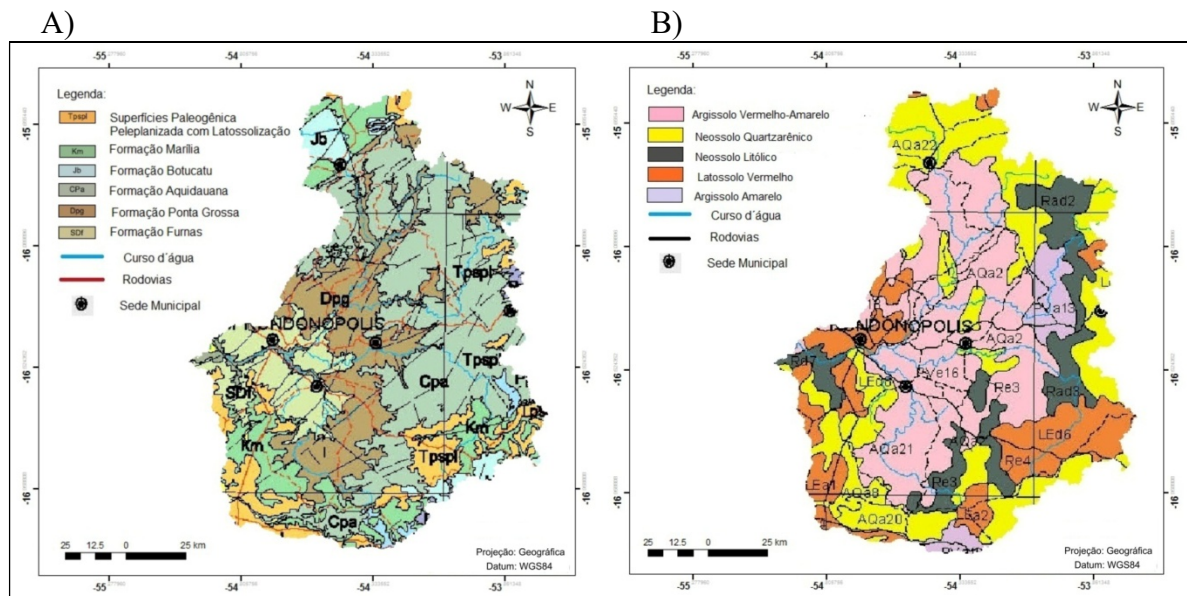


**Figura 7:** Distribuição da pluviosidade média (A) e diversidade fitofisionômica (B) na bacia do rio Vermelho. Fonte: (SEPLAN-MT, 2011) adaptado pelo autor.

### 3.1.3 GEOLOGIA E PEDOLOGIA

A geologia da bacia do rio Vermelho (Figura 8 A) é bastante diversificada, com unidades geológicas das Eras Cenozoica, Paleozóica e Mesozoica. Apresentam formações de diversas formações, tais como: Formação Marília, Formação Botucatu, Formação Aquidauana, Formação Ponta Grossa, Formações Furnas e Depósitos Aluvionares (SEPLAN-MT, 2011).

A pedologia dos solos (Figura 8 B) presente na bacia do rio Vermelho tem-se o Latossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo SEPLAN-MT (2011).



**Figura 8:** Unidades litoestratigráficas (A) e pedologia do solo (B) da bacia do rio Vermelho.

Fonte: (SEPLAN-MT, 2011) adaptado pelo autor.

### 3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos referentes a estação 83410 (16°45'00"S e 54°56'00"W) foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2015). Nesta estação é medida diariamente a precipitação da bacia do rio Vermelho.

As séries de cotas e de vazões do rio Vermelho foram acessados do banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (2015) e operada pela CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. As medições diárias do nível do rio foram obtidas da estação 66450001 localizada nas coordenadas 16°28'44"S e 54°39'02"W. A série histórica fluviométrica do rio Vermelho compreende 2004 a 2014.

### 3.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DA ÁGUA

A série histórica de dados limnológicos (2004-2013) do rio Vermelho foi cedida pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso – SEMA e Agência Nacional de Águas. Os dados limnológicos de 2014 foram coletados durante a execução desta pesquisa e seguiram a mesma periodicidade trimestral e técnicas de coleta, bem como, procedimentos

metodológicos de análise da água, conforme Standard Methods (APHA, 2005). Foram analisadas 22 variáveis (Tabela 1) correspondendo ao mesmo número de variáveis que compõem o banco de dados da SEMA/MT e ANA.

A amostragem foi realizada nas margens do rio Vermelho, a cerca de 20 cm de profundidade. A água foi armazenada em garrafas de 2 L de polietileno, e para a determinação dos Coliformes e *Escherichia coli* as amostras foram armazenadas em frascos de 100 mL devidamente esterilizados (CETESB, 2011).

Foram medidas em campo as temperaturas do ar e da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e turbidez por sondas portáteis da HANNA específicas para cada parâmetro. Os procedimentos analíticos foram realizados no Laboratório de Física/Química do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMT).

Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA/2005 para rios de classe II. Esta Resolução estabelece que sejam enquadrados nesta Classe os corpos d'água que não possuem nenhuma proposta oficial de enquadramento pelos órgãos competentes.

**Tabela 1.** Métodos adotados para análise da qualidade da água do rio Vermelho.

<b>Variável</b>	<b>Métodos</b>
Temperatura da água (°C)	Termômetro
pH (-)	Sonda de pH-meêtro
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sonda de condutivímetro
Turbidez (NTU)	Aparelho turbidímetro
Cor (U.C.)	Espectrofotometria
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sonda do oxímetro
Alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$ )	Potenciométrica
Dureza Total (mg/L)	Titulométrico - E.D.T.A
DQO (mg/L $\text{O}_2$ )	Potenciômetro
Nitrogênio Total (mg/L)	Espectrofotométrico – Método Ácido ascórbico
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Espectrofotométrico – Método Fenato
Nitrogênio Nitrito (mg/L N)	Espectrofotometria
Nitrogênio Nitrato (mg/L)	Espectrofotométrico
Fósforo Total (mg/L P)	Espectrofotométrico – Ácido fenoldissulfônico
Ortofosfato (mg/L P)	Espectrofotométrico – Método Ácido ascórbico

Cloreto (mg/L)	Titulométrico Cromatografia de ions
Sulfato (mg/L)	Espectrofotométrico – Cloreto de Bário
DBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	Potenciômetro
Resíduo Não filtrável (mg/L)	Gravimétrico
Resíduo Total (mg/L)	Gravimétrico
Coliformes Totais (NMP/100ml)	Colilert
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	Colilert

### 3.3.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos da qualidade da água foram avaliados através do Índice de Qualidade da Água (IQA) de nove parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais, conforme descrito no manual da SEMA (2014). Foi escolhido este cálculo de IQA, pois é o mesmo utilizado pela SEMA/MT, desta forma foi possível comparar os dados obtidos em 2014 com a série histórica.

O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades da água correspondente aos nove parâmetros acima citados, através da seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde: IQA - Índice de Qualidade da Água, um número entre 0 e 100;  $q_i$  - qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;  $w_i$  - peso correspondente do  $i$ -ésimo parâmetro, um  $n^\circ$  entre 0 e 1, atribuído em função de sua importância para a conformação global da qualidade, portanto:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Onde:  $n$  = número de parâmetros que entram no cálculo. A qualidade de águas brutas, indicada pelo IQA, numa escala de 0 a 100, pode ser classificada para abastecimento público, segundo a graduação apresentada na Tabela 2.



**Tabela 2:** Valores e categorias de qualidade da água do IQA.

Classificação	Faixa de variação
ÓTIMO	$91 < IQA \leq 100$
BOA	$71 < IQA \leq 90$
MÉDIA	$51 < IQA \leq 70$
RUIM	$21 < IQA \leq 50$
MUITO RUIM	$00 < IQA \leq 20$

Fonte: SEMA, 2014.

Esse índice é utilizado como acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados e representam a qualidade da água numa escala numérica, pois fornecem um meio de julgar a efetividade de medidas de controle ambiental, permitindo uma comparação entre diferentes corpos hídricos e também o comportamento do mesmo corpo hídrico em diferentes períodos (SEMA, 2014).

### 3.4 GEOTECNOLOGIAS

#### 3.4.1 Extração da bacia hidrográfica do rio Vermelho

O modelo digital de elevação (MDE) utilizado para a extração automática das redes de drenagens da bacia do rio Vermelho foi obtido pelo projeto TOPODATA (2014). As cartas utilizadas referente à área de estudo foram: 15S54\_ZN, 15S555ZN, 16S54\_ZN, 16S555ZN, 17S54\_ZN e 17S555ZN no qual dados da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) são compatíveis com os mapeamentos na escala 1:250.000, interpoladas no Brasil de 90 m para 30 m por Krigagem (VALERIANO; ROSSETTI, 2008).

Foram extraídas as redes de drenagem no SIG através de diversos tratamentos. O primeiro passo foi mapear a direção e acumulação de fluxo e converter para o formato GRID; o segundo passo foi eliminar todas as depressões indevidamente, pois segundo Vieira et al. (2005), estas depressões impedem ou desviam o escoamento superficial o que acarretaria em uma delimitação errônea das bacias de contribuição; o terceiro passo foi gerar os mapas contendo as direções de fluxo acumulado, sendo que através deste ultimo processo, foram extraídas as redes de drenagem; o quarto passo foi a ordenação das redes de drenagem pelo método de Strahler (1989) a fim de possibilitar a individualização dos canais; no quinto a rede de drenagem foi convertida em vetor; e o sexto foi criar um ponto de exutório (Cândido; Santos, 2011) antes da confluência com o rio São Lourenço; finalizando o SIG delimitou automaticamente a bacia hidrográfica do rio Vermelho.

### 3.4.2 Classificação do uso e ocupação do solo

Para determinar quais os usos da bacia do rio Vermelho foram utilizadas imagens de 2014 obtidas pelo sensor Mapeador Temático (TM) do satélite Landsat 8, referentes ao ponto 225/071 e 225/072, de 13/07/2014. As imagens possuem sete bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 metros para bandas 1 a 5 e 7. A resolução espacial para a banda 6 (infravermelho térmico) é de 120 metros, mas é refeita a 30 metros de pixel. Estas imagens foram adquiridas gratuitamente junto à Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2014). Para melhorar a qualidade da resolução das imagens, foi realizada fusão utilizando a banda pancromática onde a resolução espacial de 30 m passou para 15 m.

O método de classificação utilizado foi o supervisionado, devido ao conhecimento prévio da área de estudo. A classificação foi realizada no SIG a partir de imagens Landsat 8 TM e foram utilizadas 6 bandas: 2, 3, 4, 5, 6 e 7, conforme Cândido (2012). Estas imagens foram escolhidas, devido suas características relevantes ao trabalho, em termos de discriminação da vegetação nativa e de outras classes de uso, como pastagem, solo exposto e corpo hídrico.

O algoritmo adotado foi o Máximo Verossimilhança, que classifica os pixels desconhecidos de acordo com a seguinte fórmula:

$$P_c = \left[ -0,5 \log_e (\text{Det}(V_c)) \right] - \left[ 0,5 (x - M_c)^T (V_c)^{-1} (x - M_c) \right] \quad \dots(1)$$

Onde:  $X$  = vetor de medidas dos pixels desconhecidos;  $P_c$  = probabilidade de o vetor  $X$  ser assinalado na classe  $c$ ;  $V_c$  = matriz de covariância da classe  $c$  contemplando todas as bandas ( $K, \dots, L$ );  $\text{Det}(V_c)$  = determinante da matriz de covariância  $V_c$ ;  $M_c$  = vetor das médias para cada classe  $c$ ; e  $T$  = matriz transposta.

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Vermelho foram adotadas cinco classes, sendo elas: área urbanizada, cultura temporária, pastagem, mata e área descoberta, seguindo as classes descritas no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Após a classificação da imagem com as respectivas classes, foi necessário verificar a veracidade do mapa através de uma matriz de confusão do Índice Kappa. Como não houve coleta de campo, a geração da matriz de confusão fundamentou-se na identificação de pontos assumidos como verdade de campo a partir de interpretação visual da imagem de mais alta resolução disponível do Google Earth Pro (SILVA et al., 2011).

No trabalho, as classificações foram avaliadas pelo índice de concordância Kappa, gerando as matrizes de confusão e comparando os valores produzidos a uma tabela de referência (Tabela 3) de relacionavam uma qualidade a essas classificações. Foi definido um

conjunto de 32 amostras pontuais aleatórias para a imagem. Essas amostras foram utilizadas para a construção da matriz de confusão, comparando as classes temáticas obtidas pelas classificações e as feições identificadas visualmente.

**Tabela 3:** Limiares do índice Kappa utilizados

<b>Índice Kappa</b>	<b>Concordância</b>
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Silva et al., 2011.

Num segundo momento a bacia do rio Vermelho foi subdividida em sub-bacias, segundo a proposta de Horton e modificada por Strahler (1989). Segue-se o princípio de que onde a ordem da bacia hidrográfica é designada como a ordem do rio que passa pelo exutório, obtendo uma sub-bacia. Posteriormente, o arquivo de classificação gerado no formato matricial foi convertido para o formato vetorial (shapefile). Essa conversão possibilitou o cálculo da área de cada classe de uso.

### **3.4.3 Extração da área de proteção permanente (APP) do rio Vermelho**

O procedimento de análise dos diferentes uso e ocupação do solo da área de Preservação Permanente (APP) do rio Vermelho fundamentou-se no Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012). Com base neste código a APP foi delimitada via Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio de um buffer de 100 metros de largura em ambas margens do rio Vermelho.

Depois de delimitada a área foi sobreposta na imagem de satélite do Software Google Earth Pro de 15 de março de 2014. Para a realização do mapeamento apoiou-se na abordagem de Refosco (2011) que também utiliza imagens de alta resolução espacial capturadas pelo programa Google Earth para a criação de vetores shapefile com o objetivo de interpretar os usos do solo.

A região de APP foi mapeada através de uma classificação visual, estabelecidas as seguintes categorias de usos: solo exposto, pastagem, estrada, construção civil, corpos d'água, extração mineral, mata ciliar, vegetação em recuperação, cultura e outros usos adaptado do IBGE (2013). Para melhor caracterizar as classes de usos da Área de Proteção Permanente do rio Vermelho foram feitas observações em campo para aferir dados e georeferenciar locais

com distintos usos.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para verificar a similaridade espacial (estações) e temporal (meses) utilizando as variáveis limnológicas, foram aplicadas duas Análises de Agrupamento Hierárquico (AAH), através o método de ligação Ward, com distância euclidiana como medida de similaridade (Dlink/Dmáx). O método Ward foi utilizado por ser amplamente aplicado em agrupamentos hierárquicos com variáveis de qualidade da água (JUAHIR et al., 2010) e apresentar a maior capacidade de agrupamento e menor poder de distorção espacial. A matriz de similaridade foi comparada com uma matriz cofenética, através do teste de Mantel, a fim de avaliar o grau de distorção proporcionado pelo método de agrupamento sobre os dados originais no processo de construção do dendograma. Como critério de fidelidade foi adotado o valor de correlação cofenética (cc) mínimo = 0,7 (KOPP et. al., 2007). Posteriormente, foi realizada uma inspeção gráfica nos dendogramas para observação dos grupos similares formados.

Para verificar se existe variação significativa entre os grupos formados pela AAH no espaço e no tempo, foram realizadas Análises de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA).

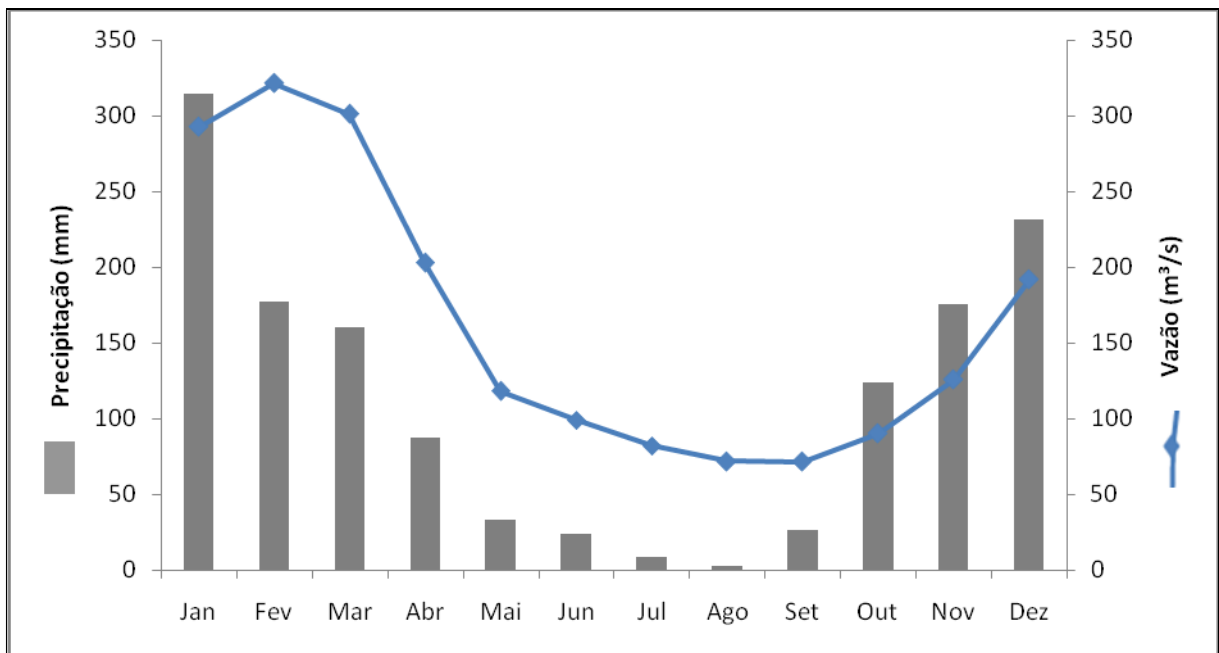
Para identificar quais variáveis limnológicas foram determinantes no padrão de similaridade observado na AAH no espaço (5 estações) e no tempo (12 meses) foram realizadas Análises de Componentes Principais (ACP) em cada grupo formado. Para realização da análise, inicialmente as 18 variáveis foram padronizadas por terem unidade de medidas distintas. Foram aceitos para interpretação os eixos da ACP com autovalores maiores que 1,0 de acordo com o critério de Kaiser-Guttman. Para formação dos “loadings” dos eixos da ACP foi utilizado o método de rotação pelo algoritmo “varimax”. Apenas variáveis com “loadings” maior que  $\pm 0,75$  foram consideradas como formadoras dos eixos da ACP (Hair et al., 2009). O método varimax foi utilizado, pois estudos indicam a necessidade desta rotação para uma melhor interpretação da matriz fatorial obtida (COLLETI et al. 2010).

Para verificar quais variáveis limnológicas utilizadas no IQA variaram entre as estações seca e chuvosa foi realizado o Teste de Wilcoxon para amostras pareadas, pois não foi atingindo os pressupostos de normalidade dos dados. Foram realizadas correlações de Pearson para verificar as relações existentes entre as formas do uso do solo (pastagem, cultura, área urbana, solo exposto, mata) e o IQA no ano de 2014.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 VARIAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E FLUVIOMÉTRICA

A precipitação média anual do rio Vermelho foi 114 mm, com médias máximas no verão no mês de janeiro de 314 mm e mínimas em agosto com 3 mm no inverno, o que confirmou uma marcante sazonalidade climática na região (Figura 9). A vazão média anual no período entre 2004 e 2014 foi de 164 m<sup>3</sup>/s, com máxima em fevereiro (322 m<sup>3</sup>/s, verão) e mínima em setembro (71 m<sup>3</sup>/s, primavera) (Figura 9).



**Figura 9:** Variação média da precipitação na cidade de Rondonópolis (Posto n° 83410) e as vazões médias do rio Vermelho (Posto n° 66450001), ambos para o período de 2004 a 2014. Fonte: INMET (2015) e ANA (2015).

### 4.2 ANÁLISE LIMNOLÓGICAS

A temperatura da água variou em média de 26,8 °C (estação 1) até 29,6 °C (estação 4), sendo que apresentou variação temporal média de 22,7 °C (julho) a 31,3 °C (outubro) (Tabela 3). As análises mostram que esta variável foi muito similar mensalmente, sendo que em novembro ocorreram os valores mais elevados e em julho os menores valores (Figura 10).

A condutividade elétrica variou em média de 31,6 µS/cm (estação 1) até 54,2 µS/cm (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 26,6 µS/cm (agosto) a 51,8 µS/cm (dezembro). As análises mostram que esta variável teve valores heterogêneos. Em outubro e novembro ocorreram os valores mais elevados e em agosto o menor quando

comparado com os demais valores mensais (Figura 10).

O potencial hidrogeniônico (pH) variou em média de 6,9 (estações 1 e 2) até 7,3 (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 6,7 (setembro) a 7,5 (junho). Esta variável nas estações e meses estiveram do dentro limite do CONAMA 357/2005 (Figura 10).

A cor variou em média de 77,2 U.C. (estação 3) até 161,0 U.C. (estação 2) (Figura 10), sendo que apresentou variação temporal média de 30,1 U.C. (agosto) a 224,7 U.C. (dezembro). As análises mostram que esta variável esteve fora do limite do CONAMA 357/2005 em todas as estações. Temporalmente esteve em média nos meses janeiro, fevereiro, maio, julho e setembro valores aceitáveis, as demais estiveram acima do limite da classe II (Figura 11).

A turbidez variou em média de 60,0 UNT (estação 3) até 151,3 UNT (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 15,8 UNT (agosto) a 268,8 UNT (janeiro). As análises mostram que a variação média na estação 4 esteve fora limite do CONAMA 357/2005. Nos meses janeiro, fevereiro, outubro e dezembro estiveram acima deste limite, porém a turbidez do rio Vermelho nos demais meses apresentou valores aceitáveis (Figura 11).

A dureza total variou em média de 11,1 mg/L CaCO<sub>3</sub> (estação 2) até 14,8 mg/L CaCO<sub>3</sub> (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 2,3 mg/L CaCO<sub>3</sub> (janeiro) a 21,5 mg/L CaCO<sub>3</sub> (agosto). Esta variável também foi similar nas estações. Destacando-se que em agosto teve valor mais elevado e em janeiro foi abaixo das demais concentrações (Figura 11).

O oxigênio dissolvido (OD) variou em média de 6,7 mg/L O<sub>2</sub> (estação 4) até 7,1 mg/L O<sub>2</sub> (estação 1) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 6,3 mg/L O<sub>2</sub> (janeiro) a 7,8 mg/L O<sub>2</sub> (agosto). As análises mostram que esta variável esteve dentro do limite do CONAMA 357/2005 (Figura 11).

Os sólidos totais variaram em média de 188,8 mg/L (estação 5) até 284,5 mg/L (estação 4) (Tabela 3), e tiveram variação temporal média de 57,0 mg/L (agosto) a 505,7 mg/L (março). As análises mostram que os valores desta variável são similares nas estações. No mês de março teve valor mais elevado, já no mês de agosto foi abaixo das concentrações médias registradas para a série de dados (Figura 12).

Os sólidos não filtráveis variaram em média de 22,8 mg/L (estações 2) até 83,7 mg/L (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 14,1 mg/L (agosto) a 137,3 mg/L (dezembro). Na estação 2 os valores foram sempre menor que nas demais

estações, além disso, houve ampla variação nos valores ao longo do tempo (Figura 12).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variou em média de 1,2 mg/L O<sub>2</sub> (estação 2 e 4) até 1,5 mg/L O<sub>2</sub> (estação 3) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 1,0 mg/L O<sub>2</sub> (janeiro e junho) a 2,0 mg/L O<sub>2</sub> (outubro). As análises mostram que esta variável nas estações e meses considerados neste estudo estão dentro limite do CONAMA 357/2005 (Figura 12). A demanda química de oxigênio (DQO) variou em média de 17,6 mg/L O<sub>2</sub> (estação 1) até 24,7 mg/L O<sub>2</sub> (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 13,0 mg/L O<sub>2</sub> (julho) a 26,2 mg/L O<sub>2</sub> (dezembro). Para a DQO não houve ampla variação entre as estações. No mês de dezembro teve valor mais elevado e em julho o menor valor registrado para o período (Figura 12).

O nitrogênio Kjeldahl total variou em média de 0,59 mg/L N (estação 2) até 0,97 mg/L N (estação 3) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,26 mg/L N (agosto) a 2,5 mg/L N (janeiro). No mês de janeiro teve valor mais elevado e em agosto esteve abaixo das concentrações médias (Figura 13).

A nitrogênio nitrato variou em média de 0,08 mg/L N (estação 2) até 0,19 mg/L N (estação 3 e 5) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,07 mg/L N (abril) a 0,30 mg/L N (agosto). As análises mostram que os resultados desta variável nas estações e meses estiveram dentro do limite do CONAMA 357/2005 (Figura 13).

A nitrogênio nitrito variou em média de 0,006 mg/L N (estação 1) até 0,010 mg/L N (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,006 mg/L N (fevereiro, março, agosto e dezembro) a 0,014 mg/L N (outubro). Para o nitrito os resultados estão dentro do limite do CONAMA 357/2005 (Figura 13).

A nitrogênio amoniacal variou em média de 0,12 mg/L N (estação 1) até 0,28 mg/L N (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,07 mg/L N (março) a 0,29 mg/L N (outubro). As análises mostram que esta variável nas estações e meses estiveram dentro do limite estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (Figura 13).

O fósforo total variou em média de 0,16 mg/L P (estação 2) até 0,22 mg/L P (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,06 mg/L (agosto) a 0,32 mg/L (março). Os resultados mostram que espacialmente o fósforo esteve acima do limite do CONAMA 357/2005, também esteve na maioria dos meses acima deste limite, sendo que somente em março e agosto é que as concentrações do fósforo total do rio Vermelho apresentaram valor abaixo do limite para rio de classe II (Figura 14).

O ortofosfato variou em média de 0,011 mg/L P (estação 2) até 0,215 mg/L P (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 0,011 mg/L P (agosto) a

0,233 mg/L P (dezembro). As análises mostram que esta variável na estação 4 foi mais elevada em relação as outras estações. Nos meses de novembro e dezembro foram registrados valores mais elevados, quando comparados aos demais meses em que as concentrações foram muito similares (Figura 14).

O cloreto variou em média de 0,7 mg/L (estação 2) até 2,0 mg/L (estação 4) (Tabela 3), com variação temporal média de 0,7 mg/L (janeiro) a 2,9 mg/L (fevereiro) (Figura 14). Quanto ao sulfato houve variação média de 4,6 mg/L (estação 1) até 5,5 mg/L (estação 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 3,0 mg/L (agosto) a 7,7 mg/L (fevereiro). Esta variável nas estações e meses estão dentro do limite do CONAMA 357/2005 (Figura 14).

A alcalinidade variou em média de 11,8 mg/L CaCO<sub>3</sub> (estação 1) até 13,0 mg/L CaCO<sub>3</sub> (estação 3 e 4) (Tabela 3), sendo que apresentou variação temporal média de 9,8 mg/L CaCO<sub>3</sub> (novembro) a 14,7 mg/L CaCO<sub>3</sub> (agosto). As análises mostram que esta variável foi similar nas estações. No mês de agosto teve valor mais elevado e em novembro foi ligeiramente menor que nas demais épocas (Figura 15).

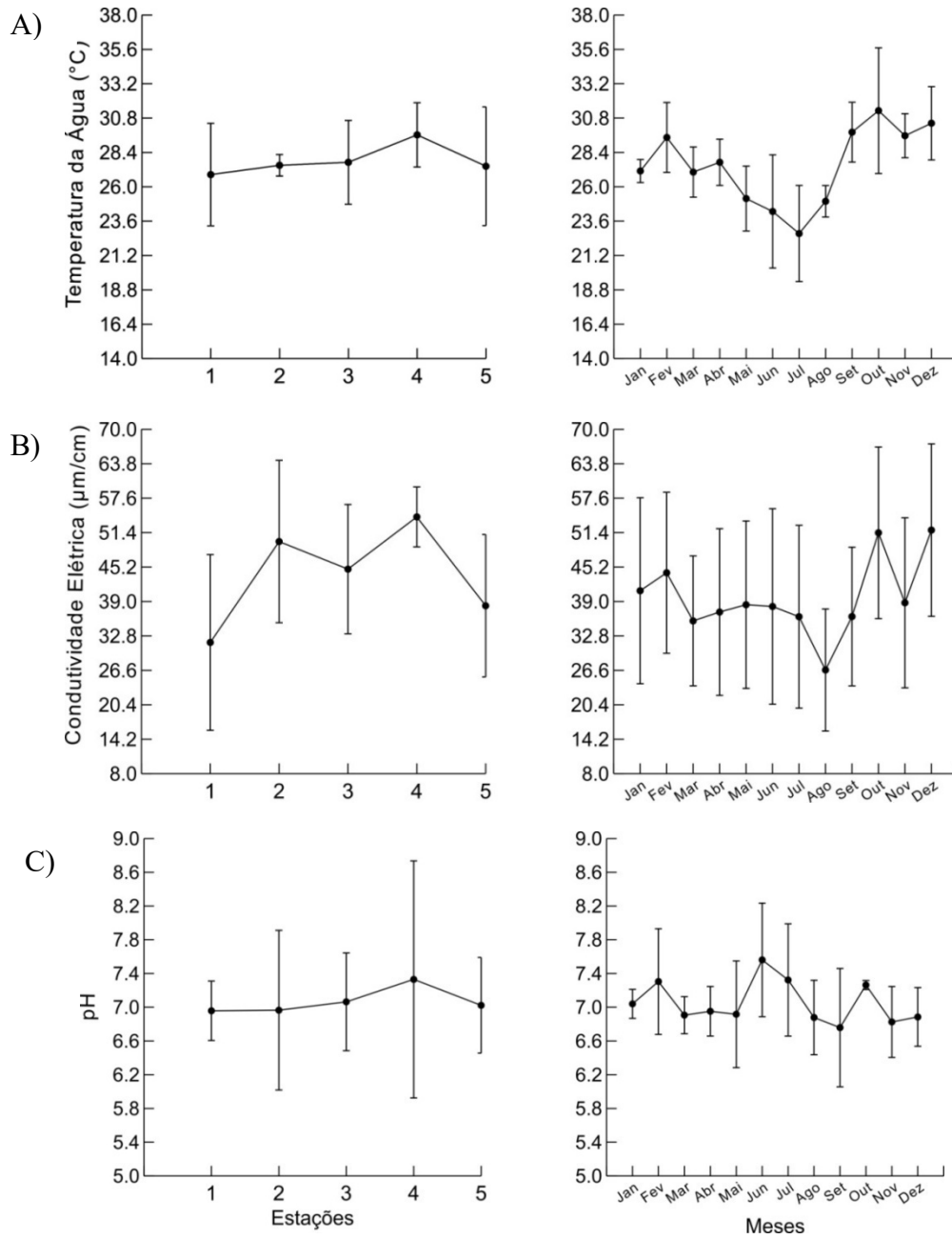
Os coliformes totais variaram em média de 2168 NMP/100mL (estação 2) até 24196 NMP/100mL (estação 4) (Tabela 3), cuja variação temporal média foi de 7233 NMP/100mL (agosto) a 24193 NMP/100mL (janeiro). Na estação 4 os valores de coliformes foram sempre acima das demais estações, e historicamente janeiro e outubro tiveram valores mais elevados, já e agosto esteve abaixo das concentrações médias (Figura 15).

Os valores de *Escherichia coli* variaram em média de 1325 NMP/100mL (estação 2) até 12134NMP/100mL (estação 4) (Tabela 3). Apresentou variação temporal média de 1258 NMP/100mL (agosto) a 90030 NMP/100mL (maio). As análises mostram que esta variável em todas as estações e meses esteve acima do limite do CONAMA 357/2005 (Figura 15).

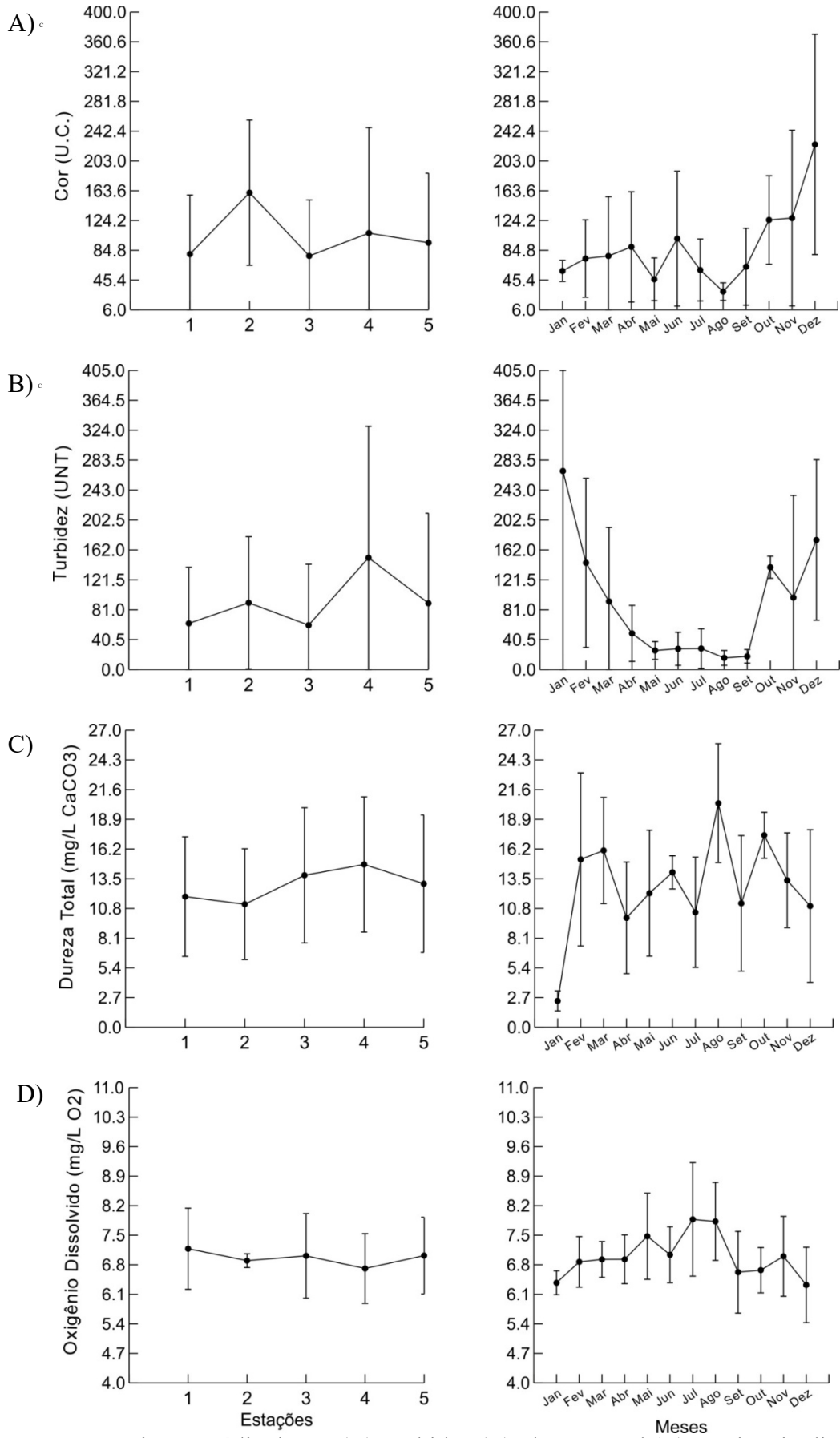


**Tabela 4:** Valores médios das variáveis limnológicas nas estações amostradas no rio Vermelho, entre janeiro/2004 a dezembro/2014.

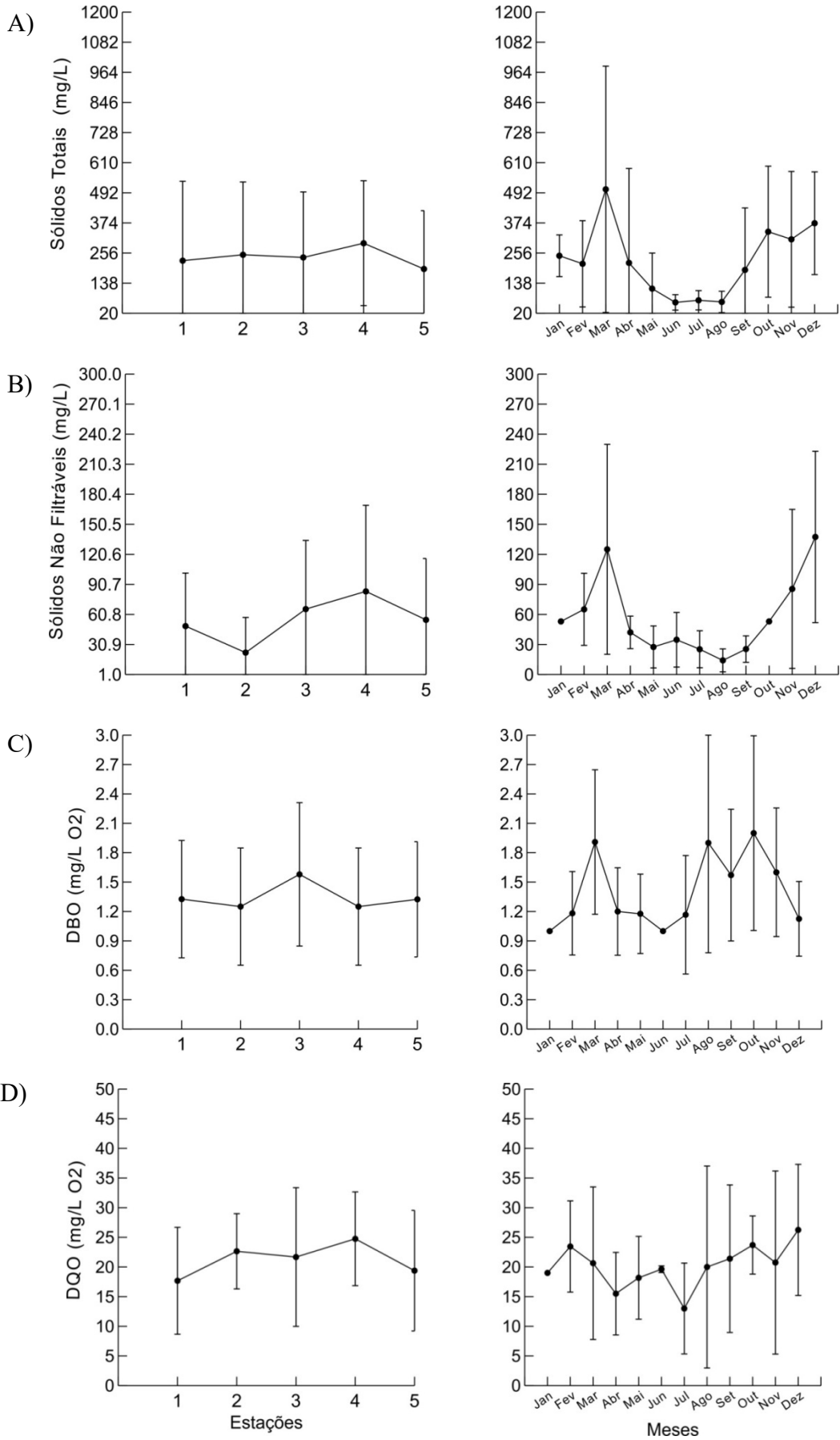
Variável	CONAMA 357/2005	1	2	3	4	5
Tem. da água (°C)	-	26,8	27,5	27,7	29,6	27,4
pH (-)	6,0 a 9,0	6,9	6,9	7,0	7,3	7,0
Con. Elétrica (µS/cm)	-	31,6	49,7	44,8	54,2	38,2
Turbidez (NTU)	≤ 100	62,5	90,4	60,0	151,3	89,8
Cor (U.C.)	≤ 75	79,7	161,0	77,2	107,4	94,7
OD (mg/L)	≥ 5,0	7,1	6,8	7,0	6,7	7,0
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	-	11,8	12,1	13,0	13,0	12,0
Dureza Total (mg/L)	-	11,8	11,1	14,1	14,8	13,0
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	-	17,6	22,6	21,6	24,7	19,3
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	≤ 5,0	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3
Nitrogênio Total (mg/L)	-	0,78	0,59	0,97	0,90	0,82
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 3,7	0,12	0,20	0,18	0,28	0,15
Nitrogênio Nitrato (mg/L)	≤ 10	0,09	0,08	0,19	0,18	0,19
Nitrogênio Nitrito (mg/L N)	≤ 1,0	0,006	0,009	0,009	0,010	0,009
Fósforo Total (mg/L P)	≤ 0,1	0,19	0,16	0,20	0,22	0,19
Ortofosfato (mg/L P)	-	0,035	0,011	0,058	0,215	0,042
Cloreto (mg/L)	≤ 250	1,3	0,7	1,5	2,0	1,4
Sulfato (mg/L)	≤ 250	4,6	5,1	5,1	5,5	5,1
Sólidos Total (mg/L)	-	226,1	249,2	238,7	284,5	188,8
Sólidos Não filtrável (mg/L)	-	49,2	22,8	66,1	83,7	55,4
Coliforme Totais (NMP/100ml)	-	17340	2168	21213	24196	17943
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	≤ 1000	3390	1328	11910	12134	9531



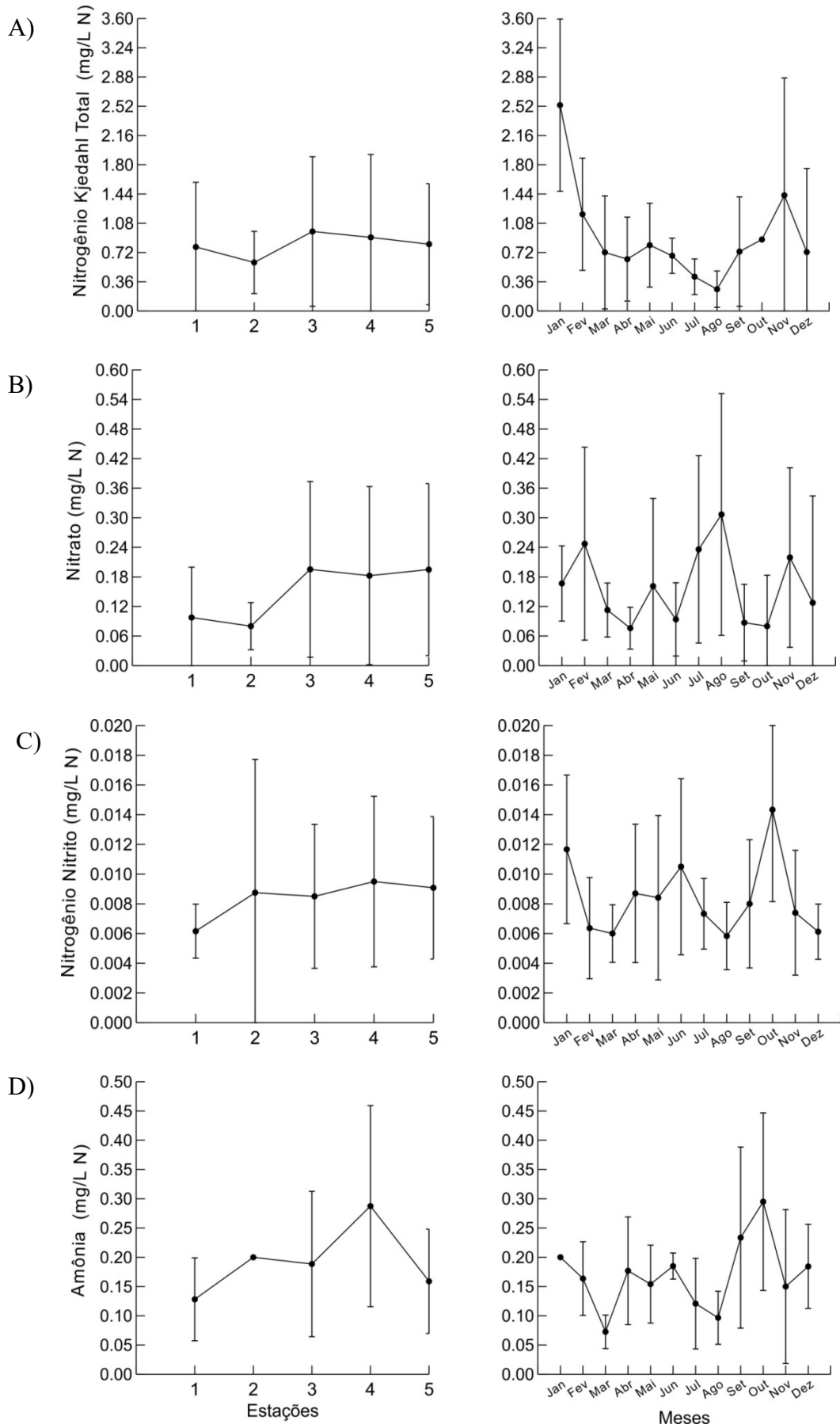
**Figura 10:** Variação média da temperatura da água (A), condutividade elétrica (B) e pH (C) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.



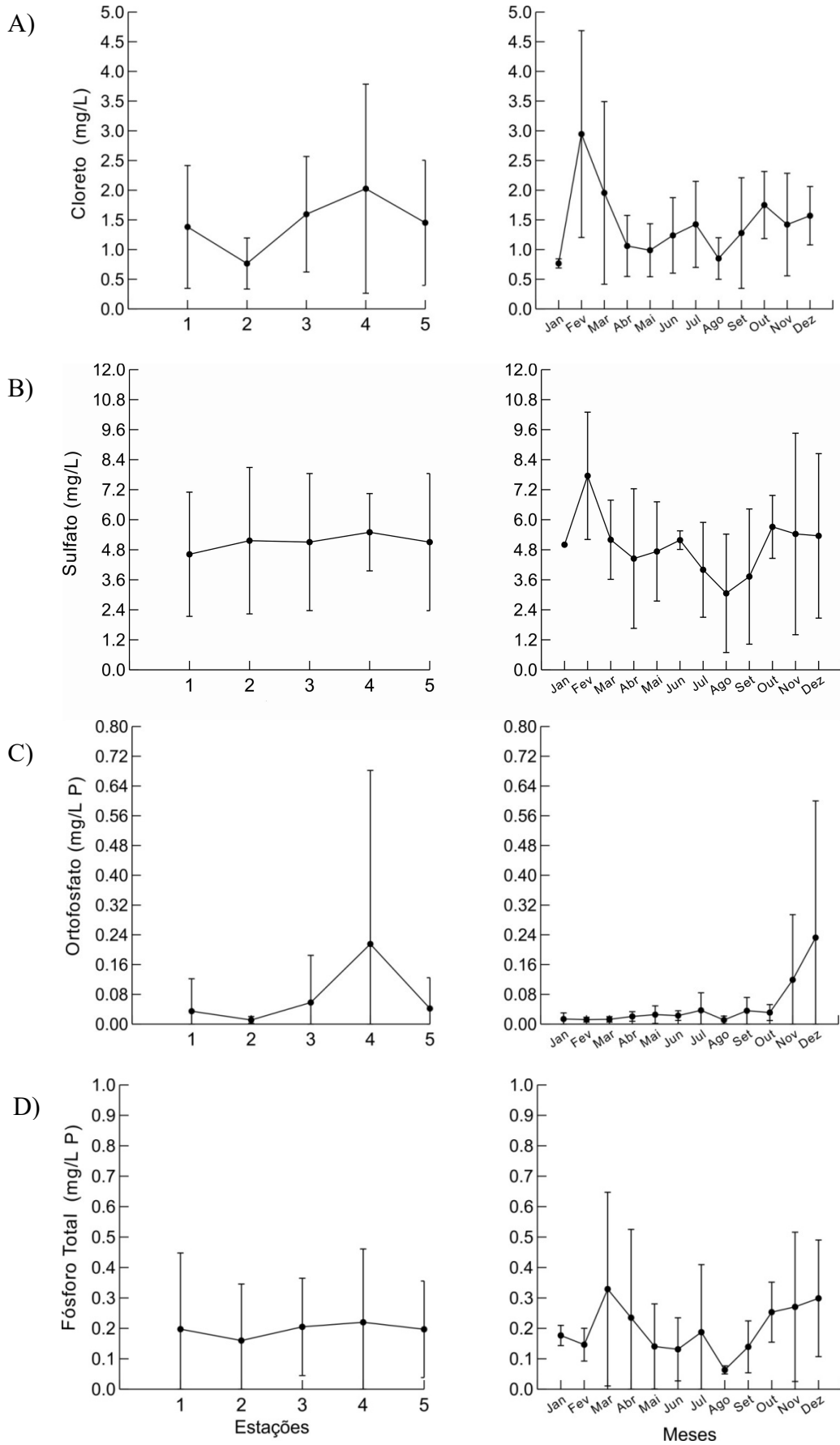
**Figura 11:** Variação média da cor (A), turbidez (B), dureza total (C) e oxigênio dissolvido (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.



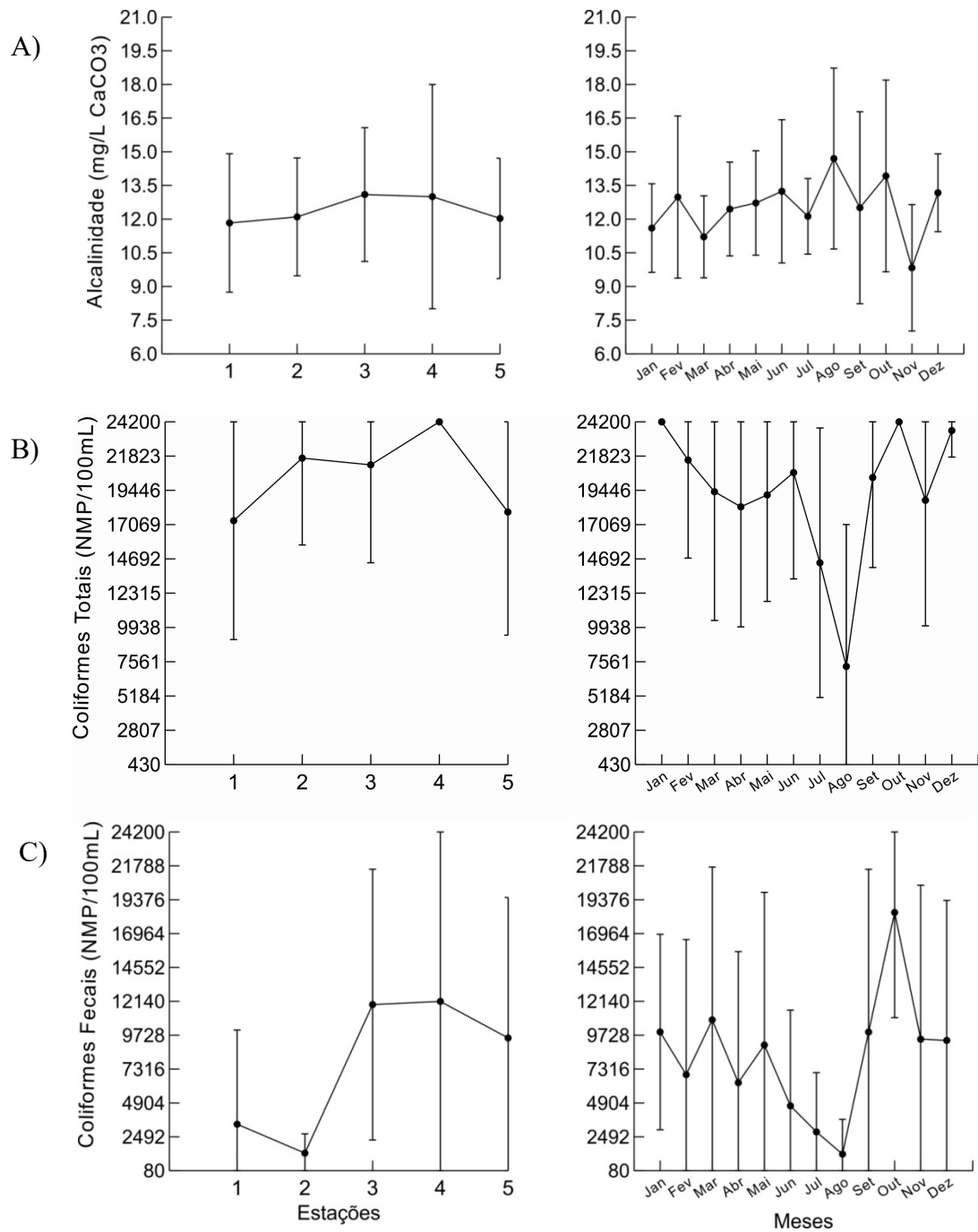
**Figura 12:** Variação média dos sólidos total (A), sólidos não filtráveis (B), DBO (C) e DQO (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.



**Figura 13:** Variação média da nitrogênio Kjeldahl (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônia (D) no espaço e tempo nas águas do rio Vermelho.



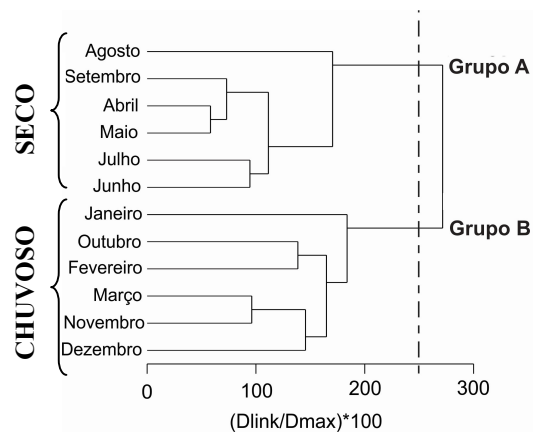
**Figura 14:** Variação média do cloreto (A), sulfato (B), ortofosfato (C) e fósforo total (D) no espaço e no tempo nas águas do rio Vermelho.



**Figura 15:** Variação média da alcalinidade (A), coliformes totais (B) e coliformes fecais (C) no espaço e no tempo nas águas do rio Vermelho.

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) temporal (meses) resultou em cinco grupos (correlação cofenética;  $r = 0,71$ ). Os meses de abril a setembro formam o grupo A, correspondendo ao período de seco. O grupo B, formado pelo mês de dezembro a março e caracterizaram o período chuvoso (Figura 16). Foi observada variação significativa no conjunto de variáveis limnológicas amostradas entre os grupos A e B formados ( $F=3,33$ ;  $p=0,004$ ).



**Figura 16:** Dendrograma do agrupamento temporal das variáveis limnológicas do rio Vermelho.

Através da ACP foi observado para o grupo A a formação de cinco eixos que juntos explicaram 99,9% da variância total dos dados. O eixo VF1 capturou 25,7% da variabilidade dos dados. A temperatura da água, OD e dureza apresentaram relação positiva com VF1, enquanto, turbidez e nitrogênio total foram as variáveis que apresentaram relação negativa. O VF2 capturou 20,6% da variabilidade dos dados, sendo DQO relacionada positivamente e cor e ortofosfato relacionadas negativamente com este eixo. O VF3 capturou 17,5% da variabilidade dos dados, sendo alcalinidade a variável relacionada positivamente com o eixo e *E. coli* relacionada negativamente. O VF4 capturou 18,3% da variabilidade dos dados, nitrato e sulfato apresentaram relação positiva com VF4, enquanto, fósforo e sólidos totais foram relacionadas negativamente. O VF5 capturou 17,65% da variabilidade dos dados, e apenas a amônia apresentou relação negativa com o eixo (Tabela 5).

O grupo B foi representado por quatro eixos que juntos explicaram 95,6% da variabilidade total dos dados. O eixo VF1 capturou 18,7% da variabilidade dos dados, sendo a turbidez e o fósforo relacionados positivamente, enquanto, DQO esteve relacionado negativamente com o eixo. O VF2 capturou 32,5% da variabilidade dos dados. A temperatura da água, amônia, sólidos totais e *E. coli* foram as variáveis relacionadas positivamente e OD

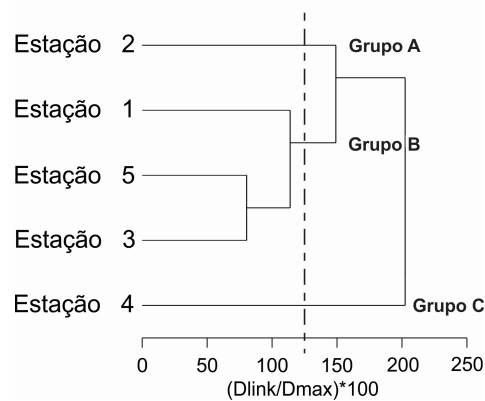


relacionada negativamente com VF2. O VF3 capturou 23,9% da variabilidade dos dados, sendo cor relacionada positivamente, enquanto, pH e sulfato foram relacionadas negativamente com VF3. O VF4 capturou 20,8% da variabilidade dos dados e as variáveis ortofosfato apresentaram relação positiva com eixo, enquanto, alcalinidade foi relacionada negativamente (Tabela 5).

**Tabela 5:** Matriz temporal da Análise do Componente Principal de componentes rotacionada por varimax para a bacia do rio Vermelho.

Variáveis	A					B			
	VF1	VF2	VF3	VF4	VF5	VF1	VF2	VF3	VF4
Temp. água	<b>0,819</b>	0,498	0,065	0,034	0,273	0,039	<b>0,963</b>	-0,206	0,006
pH	0,142	-0,386	0,550	0,439	0,578	0,051	-0,595	<b>-0,755</b>	0,026
Cond. elétrica	0,006	0,596	0,391	0,019	0,700	0,272	0,237	0,643	0,660
Turbidez	<b>-0,939</b>	-0,003	0,188	0,147	0,244	<b>0,914</b>	0,121	0,352	-0,051
Cor	0,123	<b>-0,951</b>	-0,016	-0,236	0,150	0,398	0,258	<b>0,828</b>	-0,009
OD	<b>0,768</b>	-0,422	-0,338	0,174	-0,291	-0,052	<b>-0,891</b>	-0,380	-0,078
Alcalinidade	0,072	0,214	<b>0,765</b>	0,014	0,602	-0,486	-0,172	-0,205	<b>-0,830</b>
Dureza	<b>0,980</b>	0,012	0,160	-0,091	0,069	-0,540	-0,359	-0,341	-0,679
DQO	0,341	<b>0,758</b>	0,480	0,059	0,272	<b>-0,774</b>	0,552	0,037	-0,305
Nitrogênio total	<b>-0,831</b>	-0,406	0,316	0,157	0,137	-0,040	0,609	0,509	0,492
Amônia	-0,134	0,098	0,068	0,041	<b>-0,982</b>	-0,054	<b>0,822</b>	0,386	0,333
Nitrato	-0,007	-0,042	-0,286	<b>0,896</b>	-0,334	-0,246	-0,717	-0,603	-0,237
Fósforo	0,344	0,332	-0,170	<b>-0,817</b>	-0,272	<b>0,882</b>	0,152	0,214	0,387
Ortofosfato	-0,038	<b>-0,972</b>	-0,182	-0,119	-0,066	0,063	0,063	0,032	<b>0,914</b>
Sulfato	0,418	-0,080	0,411	<b>0,804</b>	0,044	0,164	0,038	<b>-0,902</b>	0,249
Sólidos totais	0,340	0,056	0,092	<b>-0,851</b>	-0,383	0,499	<b>0,839</b>	-0,123	0,174
Coliforme totais	-0,414	0,103	0,618	0,299	0,587	0,080	0,529	0,662	0,521
<i>E. coli</i>	0,285	0,100	<b>-0,946</b>	0,111	-0,023	-0,078	<b>0,774</b>	0,125	0,549
Autovalor	6,16	5,17	3,55	2,08	1,02	9,56	3,89	2,15	1,59
Variança total%	25,76	20,68	17,54	18,34	17,65	18,57	32,59	23,59	20,85

Especialmente (estações), a Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) demonstrou a formação de três grupos (correlação cofenética;  $r = 0,82$ ). O grupo A foi formado pela estação 2, enquanto o grupo B, foi formado pelas estações 1, 3 e 5, estando agrupados pela similaridade na variação dos dados limnológicos. O grupo C, esteve representado somente pela estação 4 (Figura 17). Foi observada variação significativa no conjunto de variáveis limnológicas entre os agrupamentos formados no espaço (Grupo A, B e C) ( $F=3,25$ ;  $p=0,03$ ).



**Figura 17:** Dendrograma do agrupamento das variáveis limnológicas por pontos de amostragem do rio Vermelho.

Utilizando a ACP foi observado para o grupo A a formação de três eixos que juntos explicaram 99,2% da variância total dos dados. O eixo VF1 capturou 46,1% da variabilidade dos dados. A DQO, nitrato e sólidos totais, apresentaram relação positiva com VF1, enquanto, pH, fósforo, ortofosfato e coliformes fecais foram as variáveis que apresentaram relação negativa com o eixo. O VF2 capturou 33,0% da variabilidade dos dados, sendo amônia e sulfato variáveis relacionadas positivamente e condutividade elétrica, dureza e nitrogênio total relacionadas negativamente com o eixo. O VF3 capturou 20,1% da variabilidade dos dados e as variáveis turbidez, cor e coliformes totais apresentaram relação positiva com eixo (Tabela 6).

O grupo B foi representado por seis eixos que juntos explicaram 65,8% da variabilidade total dos dados. O eixo VF1 capturou 11,3%, sendo o fósforo e sólidos relacionados positivamente com VF1. O VF2 não apresentou variável relacionada (loading > 0,75). Para os eixos VF3 (9,9%), VF4 (8,5%), VF5 (14,2%) e VF6 (7,4%), respectivamente, as variáveis ortofosfato, dureza, sulfato e pH apresentaram relação positiva (Tabela 6). Por fim, a ACP para o grupo C foi formada por três eixos que juntos explicaram 99,9% da variabilidade dos dados. O eixo VF1 capturou 37,9% da variabilidade dos dados. O DQO, amônia, sólidos totais e *E. coli*, apresentaram relação positiva com VF1, enquanto, pH e alcalinidade foram as variáveis que apresentaram relação negativa. O VF2 capturou 30,4% da variabilidade dos dados, sendo a condutividade elétrica, dureza, fósforo, ortofosfato as variáveis relacionadas positivamente, enquanto, cor e nitrogênio total, foram aquelas relacionadas negativamente com o eixo. O VF3 capturou 31,6% da variabilidade dos dados, sendo a temperatura da água, turbidez e nitrato relacionadas positivamente com eixo, enquanto, sulfato e coliformes totais foram relacionadas negativamente (Tabela 6).

**Tabela 6:** Matriz espacial da Análise do Componente Principal de componentes rotacionada por varimax para a bacia do rio Vermelho.

Variáveis	A			B						C		
	VF1	VF2	VF3	VF1	VF2	VF3	VF4	VF5	VF6	VF1	VF2	VF3
Temp. água	0,694	0,529	0,489	0,030	0,417	0,135	0,100	0,119	-0,475	0,093	0,136	<b>0,986</b>
pH	<b>-0,990</b>	0,033	-0,140	-0,066	0,107	0,061	-0,016	0,077	<b>0,841</b>	<b>-0,984</b>	0,171	0,040
Cond. Elétrica	-0,624	<b>-0,758</b>	0,190	-0,240	0,416	0,576	-0,044	0,205	0,057	0,362	<b>0,776</b>	-0,516
Turbidez	-0,354	-0,521	<b>0,777</b>	0,270	0,176	0,199	-0,109	0,612	0,170	-0,180	-0,232	<b>0,956</b>
Cor	0,176	-0,212	<b>0,961</b>	0,078	-0,031	0,178	-0,336	0,626	-0,239	0,142	<b>-0,911</b>	0,388
OD	0,683	0,277	-0,676	-0,660	-0,623	-0,341	0,258	-0,111	0,242	0,728	0,244	-0,641
Alcalinidade	0,651	-0,701	0,290	-0,296	0,408	0,218	0,498	-0,120	0,202	<b>-0,989</b>	0,131	0,074
Dureza	-0,000	<b>-0,844</b>	-0,536	0,024	-0,002	-0,076	<b>0,872</b>	0,227	-0,179	-0,143	<b>0,943</b>	0,300
DQO	<b>0,837</b>	0,545	-0,039	0,003	0,235	0,217	0,239	0,696	-0,056	<b>0,954</b>	-0,080	-0,288
Nitrogênio Total	0,122	<b>-0,979</b>	0,166	0,390	0,291	-0,138	0,028	0,527	0,070	0,085	<b>-0,924</b>	0,373
Amônia	-0,241	<b>0,937</b>	-0,254	-0,102	0,714	-0,118	0,052	0,166	-0,065	<b>0,926</b>	0,103	-0,364
Nitrato	<b>0,837</b>	-0,545	0,039	0,152	-0,090	0,638	0,398	-0,204	0,294	-0,493	0,242	<b>0,835</b>
Fósforo	<b>-0,960</b>	0,194	0,200	<b>0,891</b>	0,035	0,093	-0,056	0,026	0,007	0,177	<b>0,907</b>	0,383
Ortofosfato	<b>-0,947</b>	0,270	-0,176	0,140	-0,107	<b>0,804</b>	-0,115	0,134	-0,144	0,086	<b>0,919</b>	0,384
Sulfato	0,295	<b>0,901</b>	-0,318	0,037	0,130	-0,190	0,242	<b>0,801</b>	0,020	-0,490	0,059	<b>-0,869</b>
Sólidos totais	<b>0,947</b>	-0,286	0,145	<b>0,782</b>	0,147	0,051	0,003	0,298	-0,146	<b>0,979</b>	-0,203	-0,005
Coliforme Totais	0,440	0,000	<b>0,898</b>	0,225	0,636	-0,003	0,010	0,272	0,189	0,432	0,406	<b>-0,806</b>
<i>E. coli</i>	<b>-0,962</b>	-0,265	0,069	0,362	0,729	-0,080	0,183	0,060	0,072	<b>0,833</b>	-0,414	-0,367
Autovalor	9,199	6,367	2,434	4,118	2,008	1,710	1,425	1,375	1,202	9,330	5,660	3,010
Variança total%	46,080	33,089	20,089	11,266	14,390	9,896	8,549	14,246	7,421	37,920	30,422	31,657

#### 4.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizados para os cálculos se Índice de Qualidade da Água (IQA) foram analisados para comparar os períodos seco e chuvoso. Na Tabela 7, além das médias também são apresentadas as variações mínimas e máximas das variáveis que compõem o IQA.

**Tabela 7:** Valores médios, máximo e mínimo dos dados limnológicos de 2004 e 2014 do rio Vermelho no período chuvoso e seco, entre 2004 – 2014.

Variável	Período	Série	Chuvoso		Seco	
		Média	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura		27,41	24,80	37,90	14,50	32,70
OD		7,05	4,39	8,70	5,0	10,70
pH		7,0	5,59	8,40	5,02	9,0
DBO		1,40	1,0	3,0	1,0	3,0
Nitrato		0,16	0,01	0,6	0,02	0,60
Fósforo total		0,19	0,05	1,0	0,02	1,0
Turbidez		73,97	3,4	405	1,5	141
Sólidos totais		221,7	33	1200	19,5	1200
<i>E. coli</i>		8165	200	24196	85	24196

Nos onze anos considerados neste estudo para cálculo do IQA na bacia do rio Vermelho, verificamos que na estação 1(Ponte de Jarudore) a qualidade da água em média apresentou classificação BOA no período seco e MÉDIA no período chuvoso. O mesmo resultado pode ser evidenciados na estação 2 (Ponte de Guiratinga) com IQA BOA no período seco e MÉDIA no período chuvoso. Na estação 3 (cidade de Rondonópolis) a qualidade média do IQA foi considerada MÉDIA no período seco e chuvoso.

Na estação 4 (Coronel Osvaldo) em média a qualidade da água apresentou classificação MÉDIA no período seco e RUIM no período chuvoso. Na estação 5 (Ponte de Pedra) observou-se comportamento semelhante ao da estação 3, com predominância da classificação de IQA MÉDIA no período seco e chuvoso.

Vale a pena ressaltar que a classificação MÉDIA é aplicável para todo o período considerado neste estudo, quando avaliadas as medias anuais de IQA. Os níveis da qualidade de IQA resultou dos elevados valores de *E. coli*, fósforo total, resíduo total e turbidez, principalmente nos períodos chuvosos. A Tabela 8 mostra o comportamento do IQA ao longo da série histórica na bacia do rio Vermelho, demonstrando a classificação do IQA desde as proximidades da nascente até a jusante da principal cidade desta bacia.

**Tabela 8:** Variação temporal do Índice de Qualidade da Água do rio Vermelho, entre 2004 a 2014.

E	P	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Média
1	C	Média	Média	Boa	Média	Média	Média	Média	Ruim	Média	Média	Média	Média
	S	Boa		Boa	Boa	Boa	Boa		Boa	Boa	Boa	Boa	Boa
2	C											Média	Média
	S											Boa	Boa
3	C	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Média
	S	Média		Média	Média	Média	Média		Média	Média	Média	Média	Média
4	C											Ruim	Ruim
	S											Média	Média
5	C	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Ruim	Ruim	Ruim	Média	Ruim	Média
	S	Boa		Média	Boa	Média	Média		Média	Média	Média	Média	Média

Legenda: P- Estação de coleta; P- Período; C- Chuvoso; S - Seco.

Entre as variáveis que compõem o IQA, somente o nitrato ( $W=19,77$ ;  $p<0,001$ ) e a *E. coli* ( $W=31,60$ ;  $p<0,001$ ) apresentaram variação significativa entre o período seco e chuvoso. Desta forma, as oscilações das demais variáveis não foram suficientes para variarem significativamente (temperatura da água  $W=4,82$ ;  $p=0,30$ ; pH  $W=1,36$ ;  $p=0,85$ ; turbidez  $W=2,99$ ;  $p=0,55$ ; DBO  $W=4,27$ ;  $p=0,37$ ; fósforo  $W=3,75$ ;  $p=0,44$ ; sólidos totais  $W=3,71$ ;  $p=0,44$  e OD  $W=3,61$ ;  $p=0,46$ ).

Através da correlação de Pearson entre as cinco classes de uso e ocupação do solo (pastagem, cultura, área urbana, solo exposto e mata) apenas cultura ( $r=0,91$ ;  $p=0,03$ ) e a área urbana ( $r=0,87$ ;  $p=0,05$ ) apresentaram correlação significativa com o IQA. Os demais usos não apresentarão correlações significativas (pastagem  $r=0,64$ ;  $p=0,20$ ; solos exposto  $r=0,74$  e  $p=0,15$  e mata  $r=0,77$  e  $p=0,12$ ).

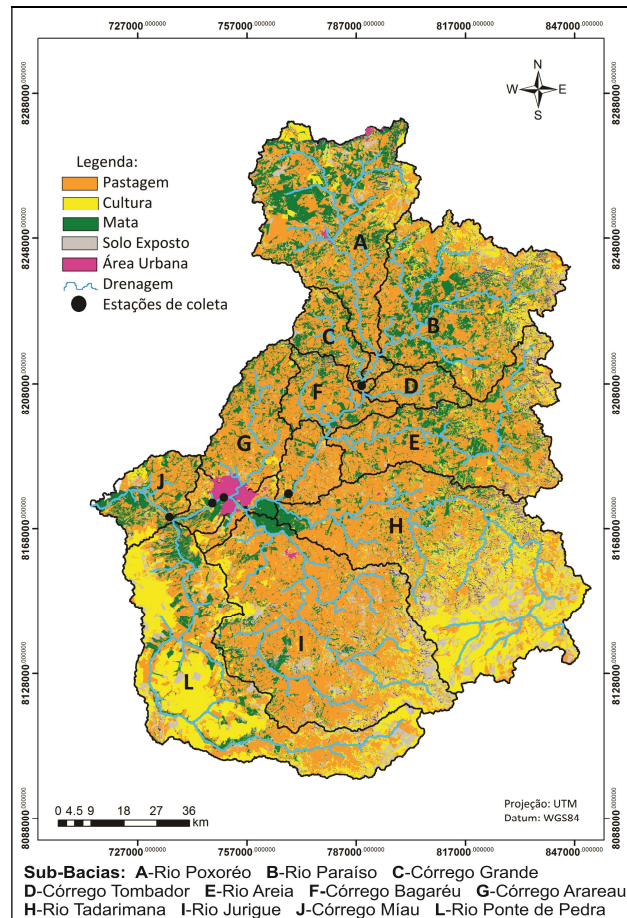
#### 4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

##### 4.5.1 Bacia hidrográfica do rio Vermelho

A bacia do rio Vermelho é usada na maior parte de sua área pela pastagem, com 51,70% (77964 hectares) da área total. O segundo maior uso é representado por cultura com 19,47% (29361 hectares). Os demais usos da bacia do rio Vermelho foram mata com 17,17% (25892 hectares), o solo exposto com 11,14% (16799 hectares) e a área urbana do município de Rondonópolis 0,52% (786 hectares) (Tabela 9 e Figura 18). A classificação supervisionada da bacia do rio Vermelho resultou numa classificação de cinco classes e com um valor de 0,71 no Índice Kappa.

**Tabela 9:** Quantificação do uso e ocupação do solo na bacia do rio Vermelho no ano de 2014.

<b>Classes de uso de solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Pastagem	77964	51,70
Cultura	29361	19,47
Mata	25892	17,17
Solo exposto	16799	11,14
Área urbana	786	0,52
<b>Área total</b>	<b>150802</b>	<b>100</b>



**Figura 18:** Espacialização do uso e ocupação do solo da bacia do rio Vermelho (2014) estações de monitoriamento da água e suas sub-bacias (A – L). Fonte: USGS (2014), IBGE (2013).

#### 4.5.2 Uso e ocupação do solo por sub-bacias

Para entender os reflexos do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Vermelho a região foi dividida em 11 sub-bacias: pertencentes ao rio Poxoréo e córregos Grande, Bagaréu, Arareau, Míau pela margem esquerda; bem como os rios Paraíso, Areia, Tadarimana, Jurigue, Ponte de Pedra e córrego Tombador pela margem direita do rio Vermelho.

##### 4.5.2.1 Sub-bacias da estação 1

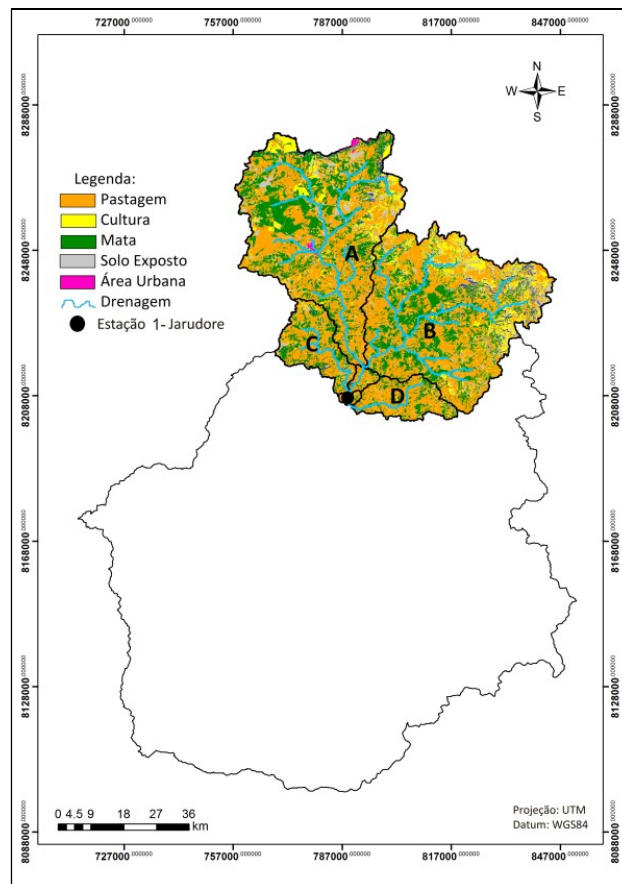
As sub-bacias do rio Poxoréo e córrego Grande pela margem esquerda e rio Paraíso e córrego Tombador pela margem direita (Figura 19) corresponde a região próxima a estação 1 (Ponte de Jarudore).

Neste local o solo é utilizado na maior parte para pastagem, com 51,13% (21072 hectares) da área total. Na segunda maior área é mantida a mata, com 27,81% (11442 hectares) da área da sub-bacia. Os demais usos são a cultura, com 11,46% (4692 hectares), o

solo exposto com 9,40% (3869 hectares) e área urbana 0,20% (82 hectares) (Tabela 10).

**Tabela 10:** Quantificação do uso e ocupação do solo das sub-bacias da estação 1 no monitorado no rio Vermelho, no ano de 2014.

<b>Classes de uso de solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Pastagem	21072	51,13
Cultura temporária	4692	11,46
Mata	11442	27,81
Solo exposto	3869	9,40
Área urbana	82	0,20
<b>Área total</b>	<b>41158</b>	<b>100</b>



**Figura 19:** Espacialização do uso e ocupação do solo no ano de 2014 nas sub-bacias do rio Poxoréo (A) e córrego Grande (C) pela margem esquerda e rio Paraíso (B) e córrego Tombador (D) pela margem direita do rio Vermelho. Fonte: USGS (2014), IBGE (2013).

#### 4.5.2.2 Sub-bacias da estação 2

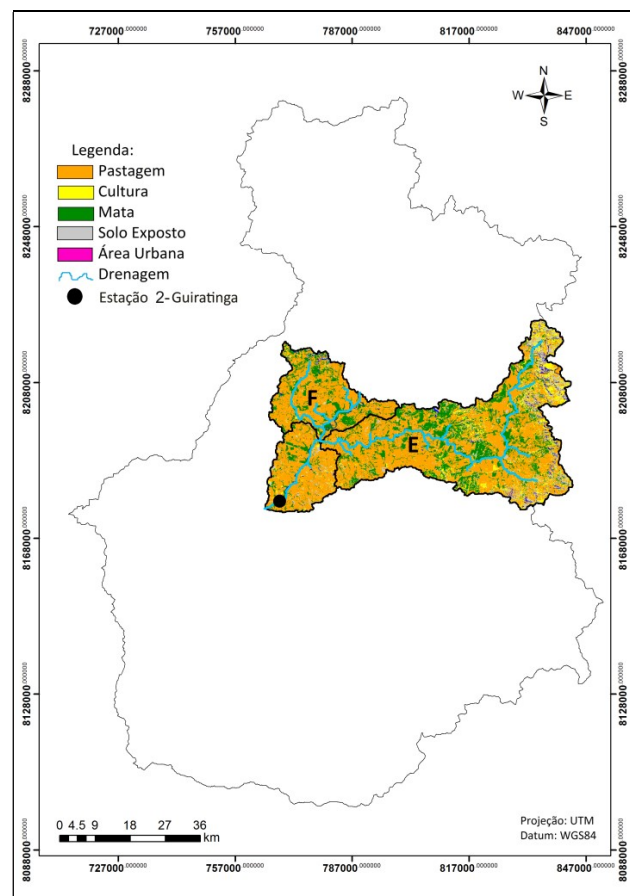
As sub-bacias do córrego Bagaréu pela margem esquerda e rio Areia pela margem direita (Figura 20) corresponde a região próxima a estação 2 (Ponte de Guiratinga).

A porção da bacia do rio Vermelho que compreende as sub-bacias da estação 2 caracterizou-se por dois usos mais evidentes, a pastagem com 62,30% (13294 hectares), seguida pela cultura com 20,83% (4445 hectares). Os demais usos apresentaram suas áreas

compostas por mata 8,92% (1903 hectares), e por solo exposto com áreas de 7,95% (1696 hectares) (Tabela 11).

**Tabela 11:** Quantificação do uso e ocupação do solo as sub-bacias da estação 2 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.

Classes de uso de solo	Área (ha)	%
Pastagem	13294	62,30
Cultura temporária	1903	8,92
Mata	4445	20,83
Solo exposto	1696	7,95
Área urbana	0,0	0,0
<b>Área total</b>	<b>2133,8</b>	<b>100</b>



**Figura 20:** Espacialização do uso e ocupação do solo (2014) na sub-bacia do córrego Bagaréu (F) pela margem esquerda e rio Areia (E) pela margem direita do rio Vermelho. Fonte: USGS (2014), IBGE (2013).

#### 4.5.2.3 Sub-bacias da estação 3 e 4

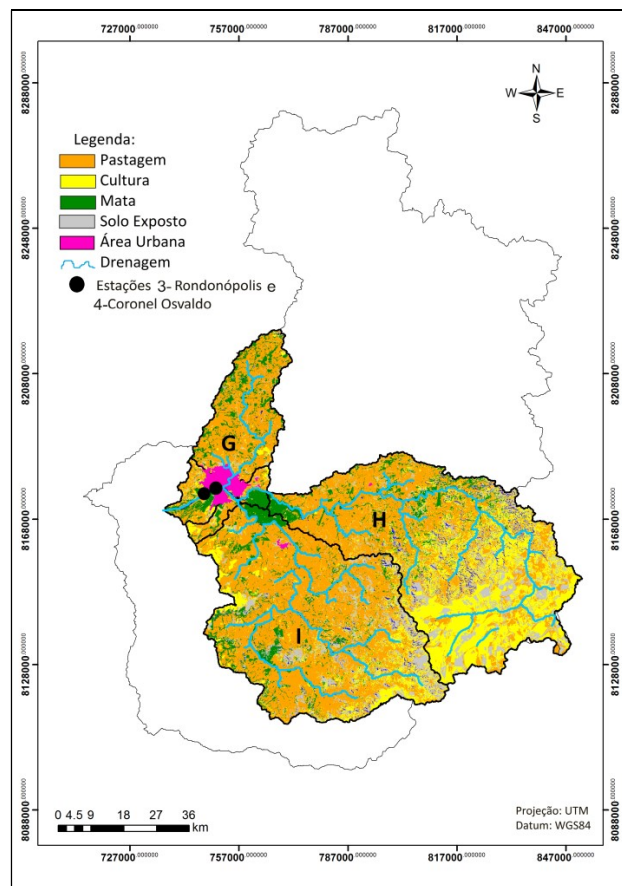
As sub-bacias do córrego Arareau pela margem esquerda e rios Tadarimana e Jurigue pela margem direita (Figura 21) corresponde a região próxima a estação 3 (Ponte de Rondonópolis/BR-364) e estação 4 (Coronel Osvaldo).



A área deste local é composta na maior parte por pastagem, com 53,13% (33387 hectares) das sub-bacias, a ocupação com a cultura representou 21,52% (13522 hectares). Já as áreas de matas inseridas dentro da sub-bacia apresentaram 13,50% (8483 hectares), o solo exposto representou uma área de 10,73% (6743 hectares) e a área urbana 1,12% (704 hectares) (Tabela 12).

**Tabela 12:** Quantificação do uso e ocupação do solo da sub-bacias da estação 3 e 4 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.

Classes de uso de solo	Área (ha)	%
Pastagem	33387	53,13
Cultura temporária	13522	21,52
Mata	6743	10,73
Solo exposto	8483	13,50
Área urbana	704	1,12
<b>Área total</b>	<b>62839</b>	<b>100</b>



**Figura 21:** Espacialização do uso e ocupação do solo (2014) na sub-bacia do córrego Arareau (G) pela margem esquerda e rios Tadarimana (H) e Jurigue (I) pela margem direita do rio Vermelho. Fonte: USGS (2014), IBGE (2013).

#### 4.5.2.4 Sub-bacias da estação 5

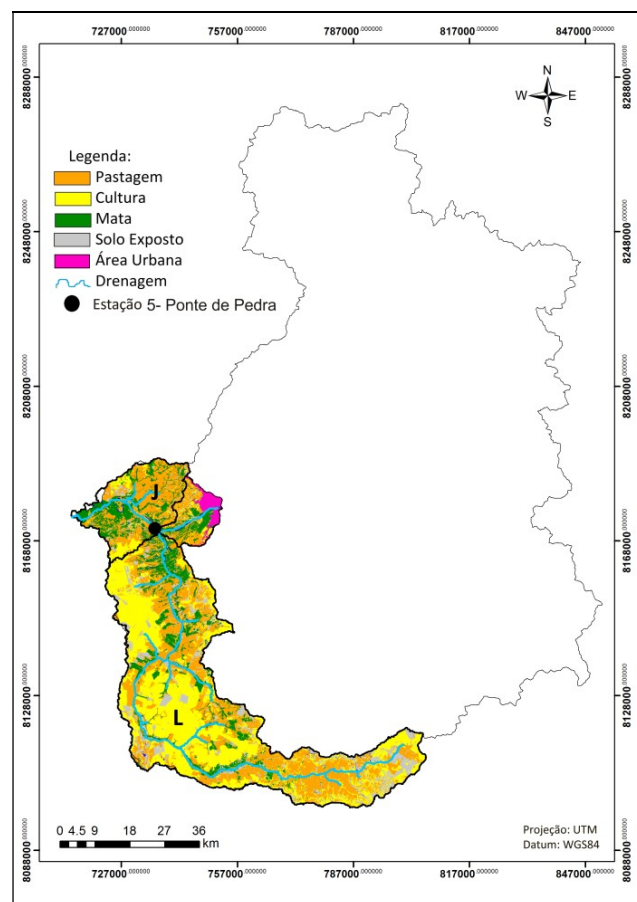
As sub-bacias do córrego Míau pela margem esquerda e rio Ponte de Pedra pela

margem direita (Figura 22) corresponde a região próxima a estação 5 (Ponte de Pedra).

Neste local o maior uso é determinado por pastagem, com 37,74% (9611 hectares). A segunda maior área é usada para cultura, o que representa 35,00% (8914 hectares) da área das sub-bacias. Os demais usos são a mata, com 14,63% (3726 hectares), solo exposto com 10,97% (2794 hectares) e a área urbana Rondonopolitana que representou uma área de 1,66% (422 hectares) (Tabela 13).

**Tabela 13:** Quantificação do uso e ocupação do solo da sub-bacias da estação 5 monitorada no rio Vermelho, no ano de 2014.

Classes de uso de solo	Área (ha)	%
Pastagem	9611	37,74
Cultura	8914	35,00
Mata	3726	14,63
Solo exposto	2794	10,97
Área urbana	422	1,66
<b>Área total</b>	<b>25467</b>	<b>100</b>



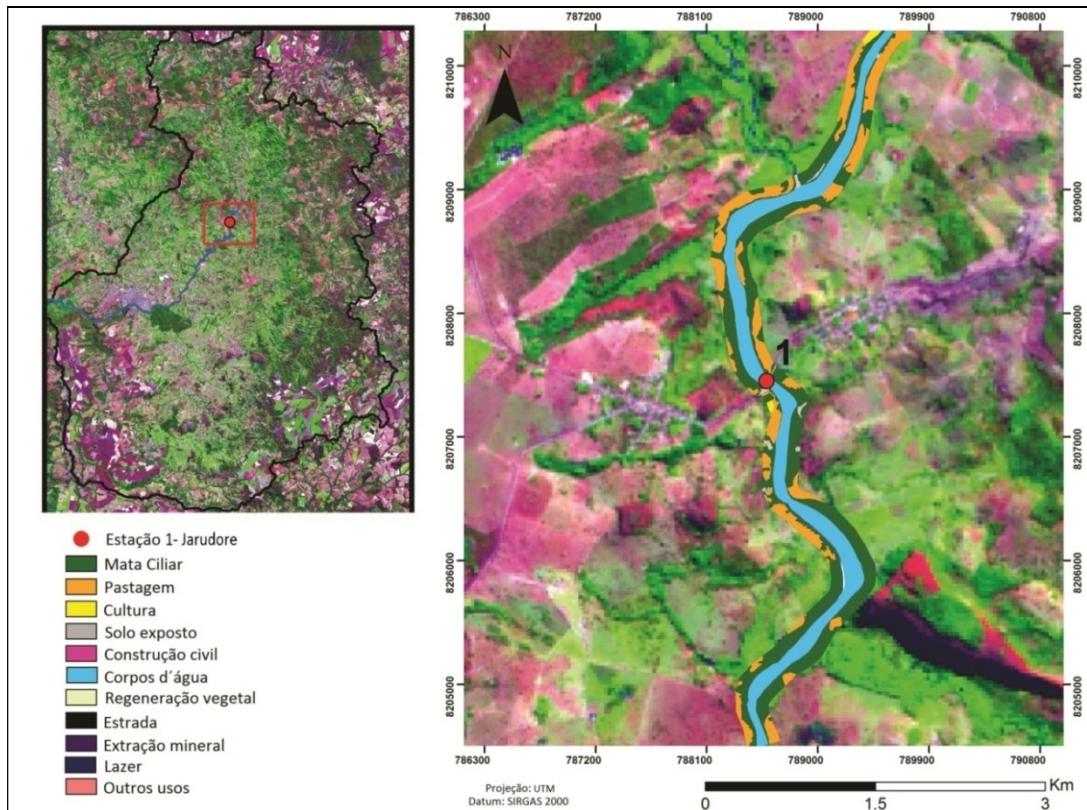
**Figura 22:** Espacialização do uso e ocupação do solo no ano de 2014 na sub-bacia do córrego Míau (J) pela margem esquerda e rio Jurigue (L) pela margem direita do rio Vermelho. Fonte: USGS (2014), IBGE (2013).

#### 4.7 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) DO RIO VERMELHO

Tomando como base a especificidade da Área de Preservação Permanente dos cursos d'água, os usos e ocupação desta região marginal ao rio Vermelho foram analisados separadamente. Neste sentido, na estação 1, localizada na proximidade da ponte do Distrito Jarudore a 50 km da sede do município de Poxoréo, a área desta região tem 40% (58,33 ha) já desmatada e está sendo atualmente ocupada por outras atividades. Destas cerca de 36,05% (52,43 ha) está antropizada pela pastagem; 0,08% (0,13 ha); para construção civil; 1,93% (2,81 ha) para cultura e cerca de 0,03% (0,05 ha) é utilizado por estradas; 1,15% (1,68 ha) tem solo exposto; 0,84% (1,23 ha) representa corpos d'água (córregos, represas). A mata ciliar remanescente ocupa 59,90% (87,07 ha) da área, conforme Tabela 14 e Figura 23.

**Tabela 14:** Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 1 (Ponte de Jarudore).

<b>Classes de uso de solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Pastagem	52,43	36,05
Construção civil	0,13	0,08
Cultura	2,81	1,93
Estradas	0,05	0,03
Solo exposto	1,68	1,15
Corpos d'água	1,23	0,84
Mata ciliar	87,07	59,90
<b>Área total</b>	<b>145,40</b>	<b>100</b>

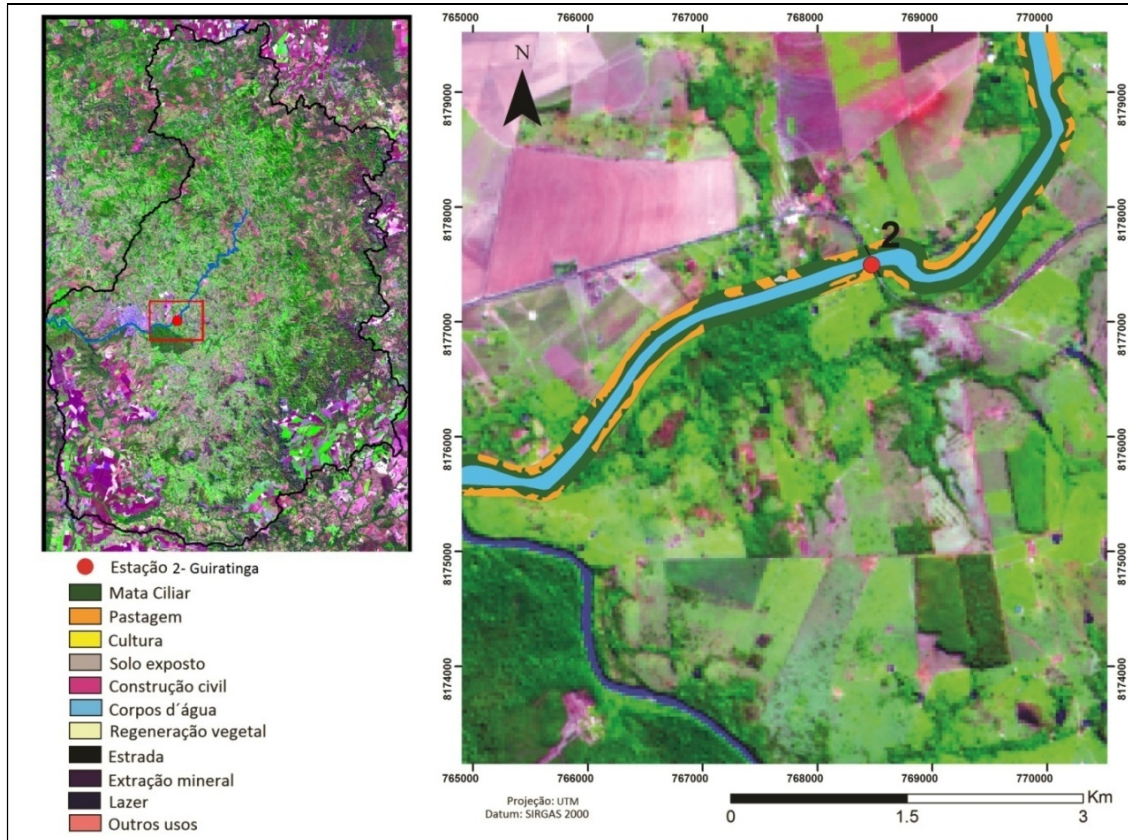


**Figura 23:** Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 1 (Ponte de Jarudore). Fonte: Google Earth (2014).

Nas proximidades da estação 2, na zona rural do município de Rondonópolis, o estudo dos usos da Área de Proteção Permanente do rio Vermelho mostrou que 33,51% (51,30 ha) já foi desmatada, ou é utilizada para outras atividades, cerca de 32,26% (49,4 ha) é usada para pastagem; 0,23% (0,36 ha) é utilizado como estradas; 0,31% (0,48 ha) é solo exposto; 0,71% (1,09 ha) representa corpos d'água (córregos, represas) e a mata ciliar remanescente ocupa 66,49% (101,79 ha) da área de APP (Tabela 15 e Figura 24).

**Tabela 15:** Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 2 (Ponte de Guiratinga MT-270)

Classes de uso de solo	Área (ha)	%
Pastagem	49,4	32,26
Estradas	0,36	0,23
Solo exposto	0,48	0,31
Corpos d'água	1,09	0,71
Mata ciliar	101,79	66,49
<b>Área total</b>	<b>153,10</b>	<b>100</b>



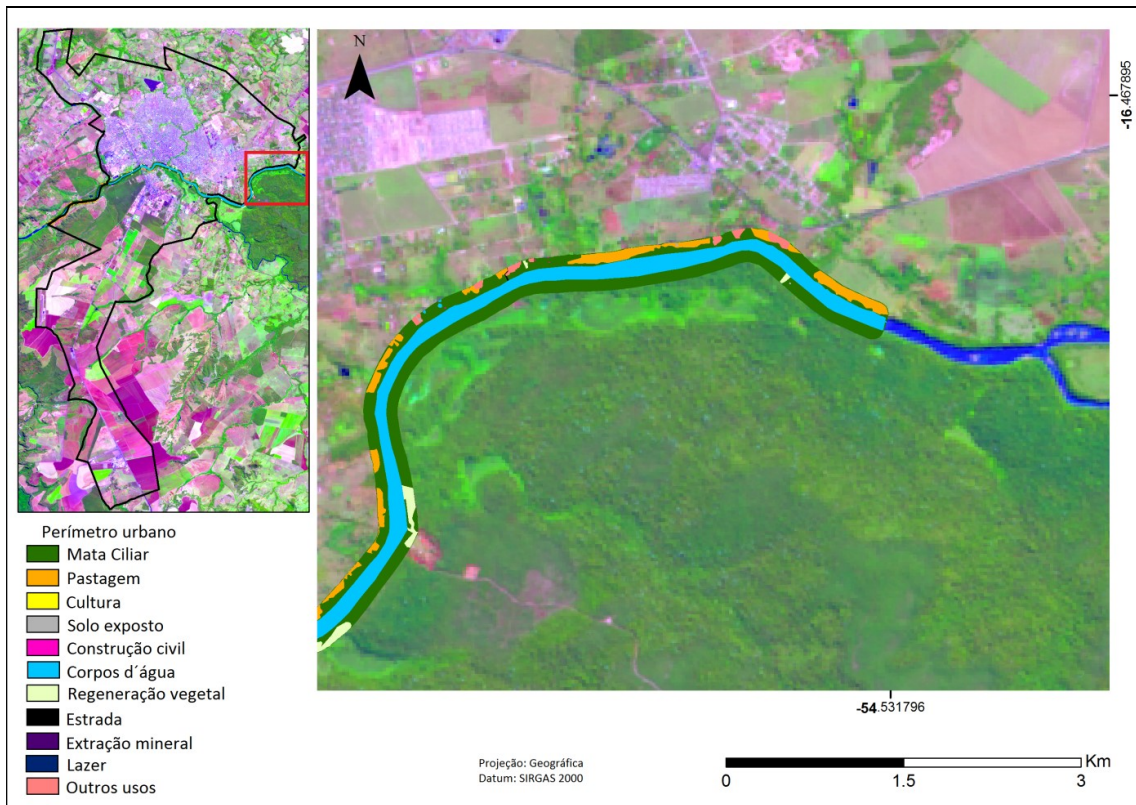
**Figura 24:** Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 2 (Ponte de Guiratinga MT-270). Fonte: Google Earth (2014).

O perímetro urbano de Rondonópolis representado pelas estações 3 e 4 tem 23,83% (126,5 ha) de área desmatada na APP do rio Vermelho. Da área total antropizada cerca de 15,95% (77,6 ha) é usada para pastagem; 3,47% (16,8 ha) são locais em regeneração florestal; 1,64% (7,9 ha) é usada para construção civil; 1,02% (4,9 ha) tem atividades de mineração; e cerca de 0,90% (4,3 ha) são estradas; 0,76% (3,6 ha) é usada como lazer; 0,29% (1,3 ha) é solo exposto; 0,17% (0,8 ha) representa corpos d' água (córregos, represas) e 1,75% (8,51 ha) tem outros usos; a mata ciliar remanescente ocupa 74% (365,0 ha) da área total (Tabela 16). A Figura 25A e B mostram o uso e ocupação do solo da APP no perímetro urbano de Rondonópolis; a Figura 26A mostra a estação de coleta na ponte de Rondonópolis (BR-364) e a Figura 26B mostra estação de coleta Coronel Osvaldo, ambas no perímetro urbano de Rondonópolis.

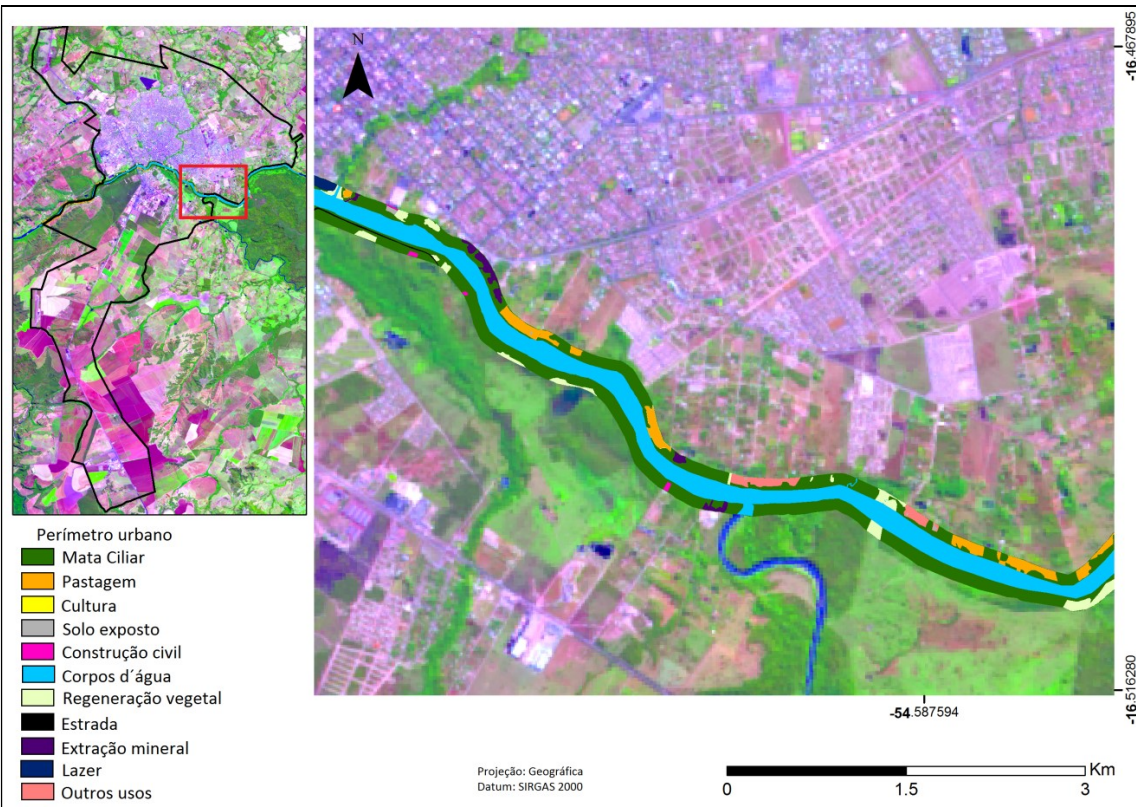
**Tabela 16:** Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 3 (Ponte de Rondonópolis BR-364) e 4 (Coronel Osvaldo).

<b>Classes de uso de solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Pastagem	77,60	15,95
Área de recuperação	16,8	3,47
Construção civil	7,9	1,64
Mineração	4,9	1,02
Estradas	4,3	0,90
Lazer	3,6	0,76
Solo exposto	1,3	0,29
Corpos d'água	0,8	0,17
Mata ciliar	365,0	74,0
Outros usos	8,51	1,75
<b>Área total</b>	<b>486,7</b>	<b>100</b>

A)

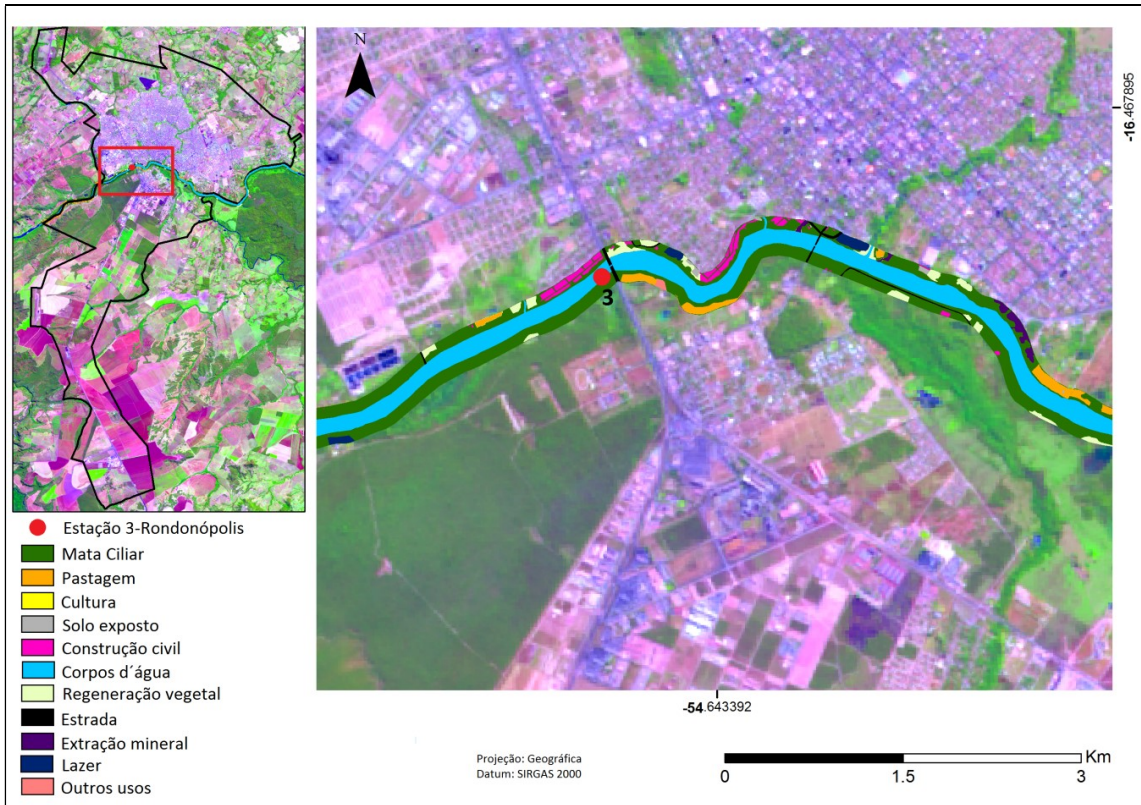


B)

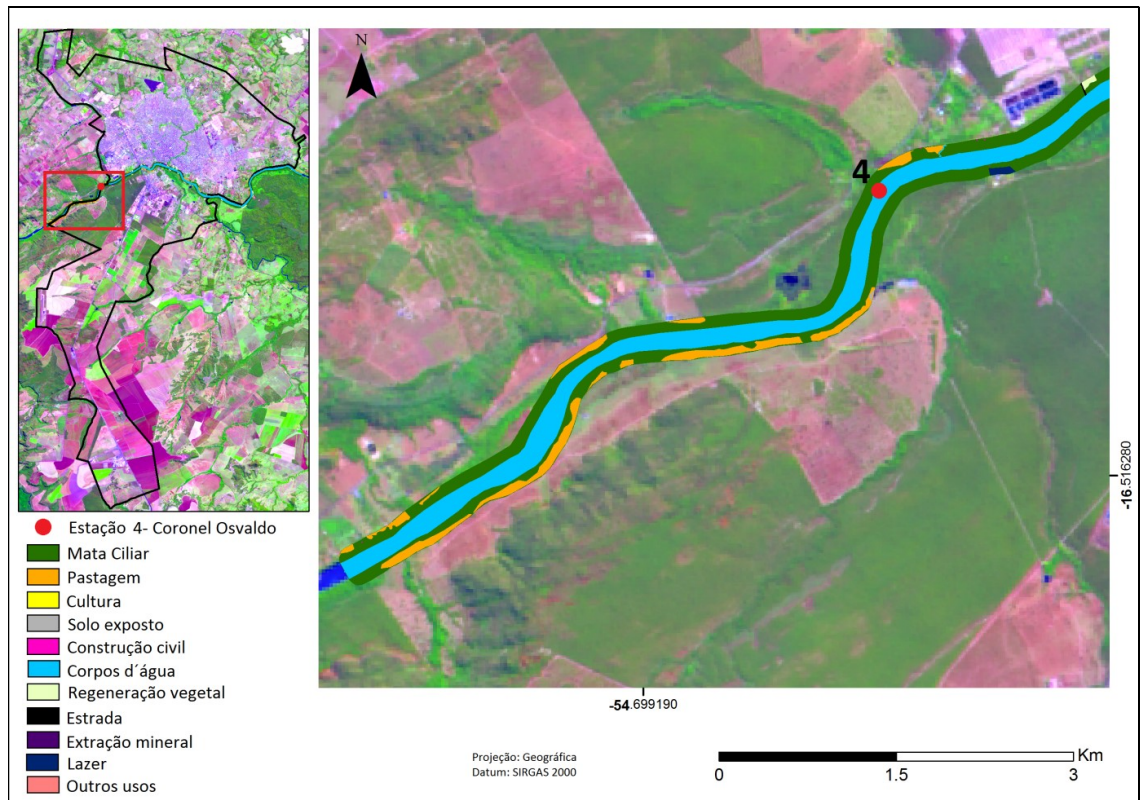


**Figura 25:** Uso e ocupação do solo da APP no perímetro urbano de Rondonópolis (A e B).  
Fonte: Google Earth (2014).

A)



B)



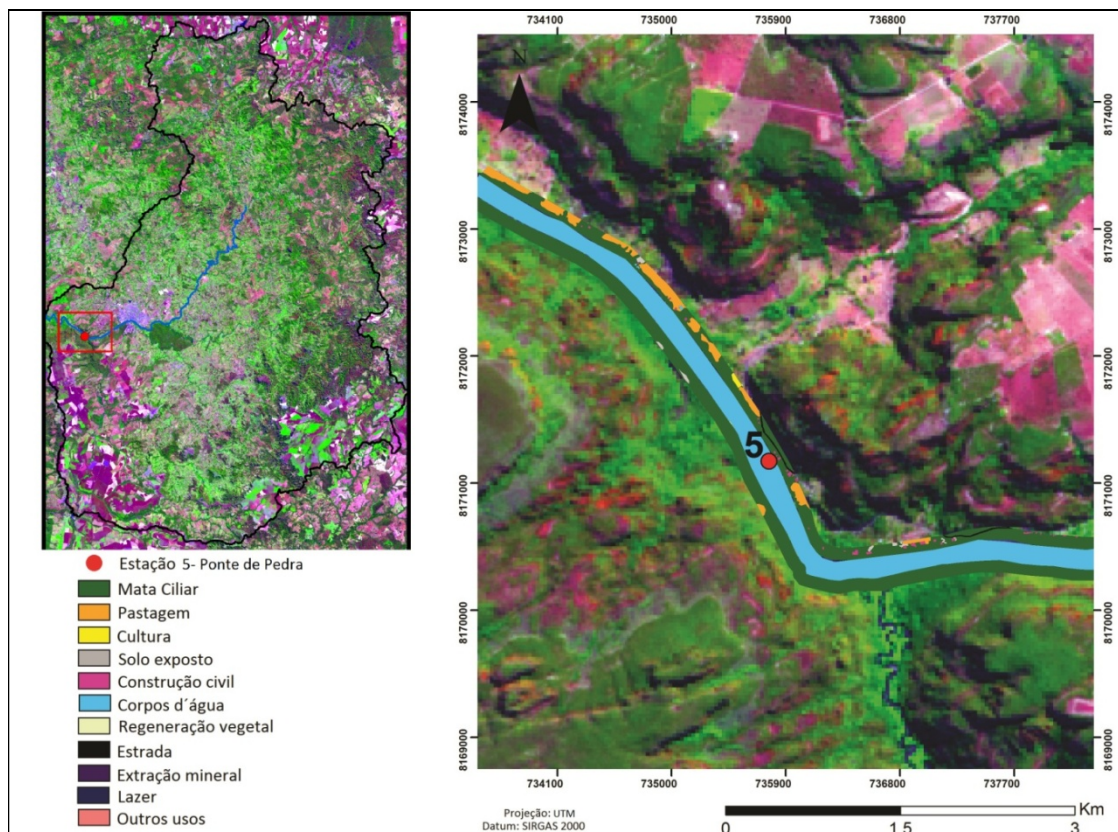
**Figura 26:** Uso e ocupação do solo da APP no perímetro urbano de Rondonópolis das estações 3-Ponte de Rondonópolis (A) e 4-Coronel Osvaldo (B). Fonte: Google Earth (2014).



A estação 5 está localizada na região localmente denominada como Ponte de Pedra, também na zona rural do município de Rondonópolis MT-471. A análise da Área de Proteção Permanente do rio Vermelho mostrou que 13,17% (18,59 ha) dessa região já foi desmatada, assim a mata ciliar remanescente ocupa 86,83% (122,55 ha) da área total. Os usos antrópicos ocupa cerca de 9,90% (13,99 ha) com pastagem; 0,26% (0,38 ha) com cultura; 0,94% (1,34 ha) para construção civil; e cerca de 0,89% (1,26 ha) é utilizado como estradas; 0,82% (1,17 ha) é solo exposto; e 0,36% (0,51 ha) representa corpos d'água (córregos, represas) (Tabela 15 e Figura 27).

**Tabela 17:** Quantificação do uso e ocupação do solo da APP na estação 5 (Ponte de Pedra).

Classes de uso de solo	Área (ha)	%
Pastagem	13,99	9,90
Cultura	0,38	0,26
Construção civil	1,34	0,94
Estradas	1,26	0,89
Solo exposto	1,17	0,82
Corpos d'água	0,51	0,36
Mata ciliar	122,55	86,83
<b>Área total</b>	<b>141,20</b>	<b>100</b>



**Figura 27:** Uso e ocupação do solo da APP nas proximidades da estação 5 (Ponte de Pedra).  
Fonte: Google Earth (2014).

## 5 DISCUSSÃO

Os dados pluviométricos confirmaram a sazonalidade regional, com máximas na época chuvosa e mínimas na seca. Corroborando para o estudo na bacia do rio Vermelho realizado por Sette et al. (2002) que mostrou que o clima local é altamente úmido e seco, e concentra a maior parte da pluviosidade de outubro a março, enquanto a estiagem tem início em abril e se prolonga até setembro. Este mesmo padrão foi obtido para a variação pluviométrica onde os níveis oscilaram acompanhando as precipitações, fato registrado por Nunes da Cunha et al. (2014) para diferentes rios de áreas úmidas do Brasil .

A precipitação sazonal da região vem influenciando na ótica da água (sólidos, cor e turbidez) do rio Vermelho uma vez que, os valores acima do limites máximos permitidos para rios de classe II ocorrem especialmente nos períodos chuvosos. Também foi um fator determinante para diminuir os valores de IQA e definir classes inferiores nestas épocas.

As elevadas concentrações de sólidos determinam elevação representativamente na turbidez da água (CETESB, 2010). Esta situação foi observada no rio Vermelho, onde fatores como a erosão das margens são destacados por Silva (2010) como determinantes de alterações nos processos relacionados as mudanças óticas da água, especialmente nas estações chuvosas, que por sua vez, afetam as comunidades biológicas fotossintetizantes.

Em estudos na bacia do rio Nhapindazal-PR, Lubenow (2012) averiguou que o alto valor de cor e turbidez podem estar associados à questão de erosão das margens em locais com baixa quantidade de área de preservação permanente. Em concordância, Padilha Junior e Nunes (2014) estudaram a qualidade da água do rio Coxipó-MT e verificaram os maiores valores de cor aparente e turbidez na estação chuvosa. O trabalho de Alves et al. (2008) examinou a qualidade da água da bacia do rio Pirapó-PR e verificou que a concentração de cor verdadeira e turbidez no período chuvoso estiveram acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe II.

Na bacia pesquisada, os valores elevados de fósforo total tanto no período seco quanto no período chuvoso, indicam processos de eutrofização desses corpo d'água. Segundo Araújo (2012), o fósforo é essencial ao crescimento dos organismos das águas superficiais, especialmente as algas por se tratar do nutriente que limita a sua produtividade, no entanto, altas concentrações de fósforo dissolvido em águas podem promover eutrofização (PIVELI, 2005).

As altas concentrações de fósforo podem ser oriundas de formas naturais como a dissolução de compostos do solo e a decomposição orgânica, além de atividades antrópicas

como despejos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes sintéticos e lixiviações de criatórios animais (CETESB, 2010). Tal fato explica a alta concentração de fósforo total que foi encontrada nesta bacia, ratificando com os estudos de Araújo (2012) nas bacias do rio Cuiabá e São Lourenço, onde as concentrações de fósforo total estiveram acima dos limites permitidos pelo CONAMA 357/2005 devido principalmente ao acúmulo de matéria orgânica.

Efeito semelhante é apontado por Alves et al. (2008) na bacia do rio Pirapó-PR, na qual constatou maiores concentrações de fósforo total nos períodos chuvosos. Também Vasco et al. (2011) estudando a sub-bacia do rio Poxim-SE, obteve altas concentrações de fósforo total, indicando a possível influência do escoamento superficial na contaminação por esse nutriente.

Além dos valores alterados de cor, turbidez, sólidos e nutrientes, na bacia do rio Vermelho a variável *E. coli* sempre apresentou valores acima dos máximos permitidos para classe II, assim como foi averiguado por Souza e Gastaldini (2014) na bacia do rio Vacacaí-Mirim (MG) onde ocorreu de grande variabilidade de *E. coli*, devido principalmente à contribuição de efluentes domésticos. Nesse mesmo sentido são explicadas as altas concentrações de *E. coli* na bacia do rio Pirapó-PR, no qual apresentou valores sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para um corpo de água doce de classe II (ALVES et al., 2008).

Adicionalmente, as baixas concentrações de OD dentro dos limites aceitáveis observadas no rio Vermelho, sugerem uma boa autodepuração da bacia, como evidenciou Lima (2013) para a bacia do rio São Lourenço. Esse autor relatou que há boas condições para preservação da vida aquática e que, mesmo em locais onde se verifica degradação da qualidade da água por fósforo e nitrogênio, os teores de OD continuaram satisfatórios. Similarmente, Souza e Galtaldini (2014) demonstraram que elevadas concentrações de fosfato, nitrato e *E. coli* podem ser oriundos de efluente doméstico devido à contribuição elevada de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes.

As sub-bacias das estações 1, 3 e 5 (grupo B), apresentaram similaridade espacial determinada pela ocorrência de concentrações elevadas de fósforo total, sulfato e sólidos totais, sugerindo alteração da qualidade da água devido ao uso e ocupação predominantes de pastagem, culturas temporárias e área urbana. Em relação às altas concentrações de fósforo, Souza e Gastaldini (2014), estudando a bacia do rio Vacacaí Mirim-RS, evidenciaram que o principal agente dessa variável foi o uso urbano e agrícola do solo, o que evidência a influência da concentração de fosfato na deterioração da qualidade da água. Os locais com aumento de nitrogênio e fósforo podem ter o uso do solo principalmente destinado a pastagem

de gado, e como não há controle da eliminação do estrume animal os mesmos podem seguir para o canal dos córregos adjacentes onde podendo ocasionar degradação dos corpos hídricos (GARCÍA-GARCÍA et al., 2012).

Da mesma forma a maior concentração de sulfato é validado por Lima (2013), que em seu trabalho destaca concentração de sulfato na bacia do rio São Lourenço, devido a extensas áreas exploradas pela agricultura na região de planalto, grandes núcleos urbanos com uma quantidade de despejos domésticos, além da poluição advinda do escoamento superficial urbano e de pequenas propriedades rurais.

Da mesma forma, a maior concentração de sólidos totais no rio Vermelho é atribuída a abundância natural de sedimentos (CORRADINI; ASSINE, 2012), e ainda às atividades garimpeiras nas suas cabeceiras (ARAUJO; ZEILHOFER, 2011). Em relação as altas concentrações de sólidos totais, Andrade et al. (2013) analisou a bacia do córrego Palmital-MG e averiguou que os aumentos ocorrem em estação chuvosa causando erosão e escoamento de compostos orgânicos sobre o solo de pastagens.

Já as sub-bacias da estação 2 (grupo A) apresentaram similaridade determinada pela ocorrência de baixas concentrações de ortofosfato, nitrogênio total e *E. coli*, sugerindo reduzida alteração na qualidade da água mesmo em região com amplo uso para pastagem, além do mais, as áreas de culturas estão distantes do rio Vermelho e as áreas de mata ainda são consideráveis.

Em relação às baixas concentrações de ortofosfato registradas para o rio Vermelho, Guidolini et al. (2010) registrou dados inversos na bacia do rio Uberaba-MG com maiores valores de ortofosfato especialmente na região de grande produção agrícola e de esgoto doméstico da cidade. No caso das sub-bacias a montante da cidade de Rondonópolis as práticas de culturas estão muito distantes do rio Vermelho, além disso, não tem urbanização e esgoto nesses locais, o que contribui para os baixos valores de ortofosfato.

Para a bacia do rio Vermelho houve baixos valores de nitrogênio total o que se respalda nos estudos de Schneider et al. (2011) na bacia do rio Pirapó-PR onde foram registrados valores muito baixos de nitrogênio total na zona rural, onde as concentrações de nitrogênio apresentaram valores dentro da legislação CONAMA 357/2005 para rio de classe II.

Do mesmo modo, a menor concentração de *E. coli* é encontrada na estação 2, foi similar aos registros de Andrade et al. (2013), que encontrou na zona rural da bacia do córrego Palmital-MG valores inferiores de *E. coli* em relação a área urbana, que pode ser atribuída principalmente a pastagem, residências rurais e poluição por resíduos animais.

As sub-bacias da estação 4 (grupo C) apresentaram similaridade determinada pela ocorrência de altas concentrações de amônia, *E. coli* e nitrato sugerindo alteração da qualidade da água devido ao amplo uso e ocupação para pastagem e cultura, além disso, corresponde a região onde localiza-se a cidade de Rondonópolis e sua estação de tratamento de esgoto.

Nesse sentido, em relação as altas concentrações de amônia, Araújo (2012), estudando a bacia do rio São Lourenço evidenciou que a concentração aumentada desta variável está relacionada a proximidade com os centros urbanos onde existe lançamento de efluentes domésticos e industriais. Segundo MMA (2007), a bacia do rio Vermelho é caracterizada por expressiva ocupação, cuja cidade polo é Rondonópolis, local com baixas taxas de tratamento de esgoto doméstico.

Da mesma forma, a maior concentração de *E. coli* especialmente em áreas urbanas é confirmada por Oliveira Filho et al. (2012), que em seu trabalho destaca para a microbacia do rio Santa Rosa-PR, a associação de altos valores de *E. coli* com o tecido urbano, a falta de captação e de formas corretas de tratamento dos esgotos domiciliares. Segundo Lubenow et al. (2012) na bacia do rio Nhapindazal-PR a presença de *E. coli* é explicada pela existência de lançamento de esgoto in natura no corpo hídrico, ou mesmo a presença de fezes de animais, conferindo risco à saúde da população ribeirinha.

Outra variável que deve ser aqui considerada é o nitrato cujos elevados valores no rio Vermelho podem ser oriundos da agricultura e esgoto domésticos e industriais, ratificando com o trabalho de Alves et al. (2008) na bacia do rio Pirapó-PR, no qual as altas concentrações de nitrato foram atribuídos especialmente ao lançamento de esgoto clandestino no curso d'água e a incidência de produtos químicos a base destes compostos na água, em consequência da ocupação agrícola.

Os usos descontrolados de produtos químicos para melhorar a agricultura podem vir a contaminar os recursos hídricos, contribuindo para a carga de micropoluentes inorgânicos e orgânicos, nitrogênio e fosfato (OLIVEIRA FILHO et al., 2012). Na bacia do rio Gama-DF o nitrato e potássio têm origem associada ao núcleo rural, onde um aglomerado de agricultores produtores de hortifrutigranjeiros usam fertilizantes como insumos (MOURA et al., 2010).

A análise por sub-bacias para verificar a influência dos usos do solo sobre a qualidade da água mostrou que a pastagem e a cultura são amplamente difundidas em toda bacia do rio Vermelho, podendo haver influência difusa destes usos especialmente nas variáveis relacionadas a luz e nutrientes, a mesma interferência foi observada para as estações onde os usos urbanos já são notadamente capazes de alterar a qualidade da água do rio Vermelho.

Ainda que diferenças espaciais e temporais no IQA tenham sido encontradas ao longo da série histórica, a qualidade da água na bacia do rio Vermelho se enquadrava como MÉDIA, assim como, o documento da SEMA (2014) que define a qualidade da água na sub-bacia do rio São Lourenço como MÉDIA, nos trechos da nascente, em Campo Verde até a estação de Jaciara. Destacam que o rio Vermelho apresenta importante grau de degradação da qualidade desde a estação de Jarudore até a estação Ponte de Pedra, apresentando os mais acentuados registros na cidade de Rondonópolis, onde foram encontradas as mais baixas classificações da Região Hidrográfica do Paraguai.

As redes de monitoramento implantadas no Estado de Mato Grosso para a Região Hidrográfica do Paraguai mostraram que na sub-bacia do rio Paraguai a qualidade da água é considerada BOA, com degradação nas cabeceiras e nas proximidades dos centros urbanos de Alto Paraguai, Barra do Bugres e Cáceres (SEMA, 2014). Da mesma forma, no Mato Grosso do Sul nas estações monitoradas no ano de 2011, na maior parte do tempo, a qualidade de água é BOA pelos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos (IMASUL, 2013)

Destaca-se o IQA foi melhor no período seco, fato também detectado por Ortega e Carvalho (2013) para sub-bacia do córrego do Ipê-SP. Tal resultado sugere que seja uma resposta ao intenso escoamento superficial no período chuvoso, o que proporciona o carreamento de sedimentos, nutrientes e contaminantes para os corpos hídricos, condição também registrada por Campos et al. (2011) em córregos da região de Caarapó-MS.

Tal resultado torna clara a influência da variação na pluviosidade no IQA ao longo da série histórica na bacia rio Vermelho. Em concordância, Arjolo et al. (2013) estudou a bacia do Taman Pertanian Universiti (Malásia) e detectou que o regime de chuva durante o período amostrado altera os parâmetros analisados. Campos et al. (2011) em estudos nos córregos da região sul de Mato Grosso do Sul também detectaram que os valores do IQA são menores no período chuvoso.

Analisando o IQA é possível afirmar que o nitrato e *E. coli* foram significativamente relacionados com a agricultura e uso urbano, respectivamente. Haddad e Magalhães (2010), em estudos na bacia do rio São Miguel-MG, observaram que a influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água são as formas mais evidente de poluição, *E. coli* através de lançamento de esgoto doméstico e industrial das áreas urbanas, juntamente com concentrações de nitrato e fósforo advindos do uso agropecuário.

Resultado semelhante é apontado por Kamjunke et al. (2013) que encontrou relação positiva entre a quantidade de nutrientes da agropecuária e a urbanização na bacia do rio Bode (Alemanha). Da mesma forma, Freire e Castro (2014) ao analisarem a correlação entre o uso

do solo e a qualidade da água em 13 sub-bacias do rio Itapemirim-ES, detectaram que as sub-bacias que se encontravam em regiões mais antropizadas possuíam índices mais elevados de degradação da qualidade da água.

Considerando o uso e ocupação do solo e relacionando com as estações de coleta ficou evidente que a qualidade da água do rio Vermelho é inferior em locais próximos à cidade, principalmente no período chuvoso. Braga et al. (2005) salienta que locais próximos a áreas urbanas apresentam menores valores do IQA, possivelmente devido ao despejo de efluentes domésticos in natura que contém alta taxa de nutrientes e coliformes.

Salienta-se que o processo de ocupação do Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e consequente destruição dos recursos naturais. Ao longo da história do país, a cobertura florestal nativa, representada pelos diferentes biomas, foi sendo fragmentada cedendo espaço para agricultura, pastagens e urbanização, causando um conjunto de problemas ambientais, como a extinção da fauna e da flora, as mudanças climáticas locais, a erosão dos solos e o assoreamento dos cursos d'água (MARTINS, 2001).

Para os quadrantes analisados na Área de Proteção Permanente do rio Vermelho ficou demonstrado que o uso para pastagem, urbano, estrada, solo exposto, entre outros usos, já se entendem até a área marginal do rio. Estudos nas APPs das microbacias do córrego da Ponte-MS (BAILLY et al., 2012), mostraram que a ocupação indevida de suas margens associadas a retirada da mata ciliar para dar lugar à atividade agropecuária e urbanização geram problemas drásticos como o desenvolvimento de processos degeneradores do ambiente aquático.

As áreas compostas pela ausência de manejo do solo, escoamento superficial, residencial de alta densidade e loteamento com alta densidade de estradas, favorecem o aumento da concentração de partículas sólidas nos corpos hídricos (SANTOS; HERNANDEZ, 2013). Portanto, a retirada de boa porção da mata ciliar nos leva a inferir que atualmente os usos praticados nas sub-bacias podem estar alterando a qualidade da água superficial do rio Vermelho.

Oliveira Filho et al., (2012) ressalta que a retirada da cobertura vegetal aumenta a probabilidade de erosão dos solos, pois as árvores servem de anteparo para as gotas de chuva, diminuindo seu impacto ao cair no solo e atuando também como obstáculo para o escoamento superficial. Na presença de chuva, o solo compactado e sem a mata ciliar gera maior proporção de água no escoamento superficial, que favorece o transporte do material disponível, comprometendo a qualidade da água, pois eleva o nível de coliformes termotolerantes, turbidez e concentração de fósforo (CAMPOS et al., 2011).

É fato que a má conservação do solo e a expansão das áreas urbanas associadas ao uso

em conflito com as APP influenciam diretamente na qualidade física e biológica da água do rio Vermelho especialmente no perímetro urbano. Assim, o monitoramento das águas é de fundamental importância para fins de se constituir um banco de dados e ao mesmo tempo identifique os fatores passíveis de afetar a disponibilidade hídrica que, sem dúvida, constitui um fator limitante para o abastecimento local, considerando que, na cidade de Rondonópolis 55% da água utilizada para abastecimento humano é captada desse rio (TONIN, 2013) e que esse corpo d'água recebe influência do processo de urbanização e dos usos praticados na bacia.

De acordo com Silva (2006), parte das dificuldades existentes sobre a real preservação das APPs se deve ao fato de a legislação ambiental utilizar os mesmos critérios para todo o país, quando se sabe que os ecossistemas brasileiros são muito diferentes, variando para cada região, inclusive com variações expressivas no relevo. Além disso, a legislação não faz nenhuma distinção das APPs em relação à área urbana e ao meio rural, que, também, constituem realidades e usos diferentes. Por isso, tais áreas devem ser tratadas de forma diferente, sob pena de continuarmos assistindo à degradação ambiental em detrimento de uma Lei que não se aplica concretamente, pois diverge dos fatos e da realidade nacional (COUTINHO et al., 2013).

Segundo Oliveira Filho et al. (2012), cabe ressaltar que a realização de estudos voltados às condições e aos níveis de degradação dos corpos hídricos pode servir de instrumento importante para o planejamento ambiental, orientando a alteração de procedimentos e o redirecionamento de políticas públicas no setor ambiental e na gestão dos recursos hídricos.



## 6 CONCLUSÕES

Os dados pluviométricos e fluviométricos confirmaram a sazonalidade regional, com máximas na época chuvosa e mínimas na seca, seguidos por maiores e menores níveis pluviométricos do rio Vermelho.

Dentro das 22 variáveis limnológicas analisadas entre 2004-2014 há referência de limites no CONAMA 357 para rios de classe II apenas para 12 variáveis. Destas apenas 4 apresentaram valores médios sempre acima dos valores máximos estabelecidos por esta Resolução. Assim, cor e turbidez tiveram valores médios excedentes durante o período chuvoso, e fósforo total e *E. coli* tanto para o período seco quanto chuvoso.

As variáveis limnológicas foram amplamente distintas quando comparadas ao longo da série histórica, porém agruparam-se por períodos seco ou chuvoso. Houve maior similaridade entre as estações 1, 3 e 5 (grupo B) seguido da estação 2 (grupo A) e a estação 4 (grupo C), sendo a última menos semelhante que as demais devido a influência da estação tratamento de esgoto.

Considerando os valores médio de IQA para todas as estações de coleta na serie temporal a água do rio Vermelho se enquadrou na classe de qualidade MÉDIA. Destaca-se que a época chuvosa alterou a qualidade da água, e a alterações estiveram relacionadas com as elevações nos valores com sólidos totais, turbidez, fósforo total e *E. coli*.

A bacia do rio Vermelho tem uso e ocupação do solo destinado majoritariamente para a pastagem, seguida por culturas temporárias e mata remanescente, além de solo exposto e a área urbana. Assim, as variáveis que definiram a classe de qualidade do rio Vermelho como o nitrato e *E.coli* significativamente relacionadas ao uso do solo para agricultura e área urbana.

Quando realizada a análise do uso e ocupação do solo por sub-bacias verificou-se que na região das estações 1, 3 e 5 houve predominância da pastagem, seguidas de culturas temporárias e área urbanas. Estes usos podem estar determinado valores similares de sólidos totais, ortofosfato, dureza, sulfato e pH em ambas as estações. Já na estação 2 há amplo uso para pastagem, além disso as áreas de culturas estão distantes do rio Vermelho e as áreas de mata ainda são consideráveis. Este conjunto de condições, aliadas as características próprias do sistema tem determinado as alterações nos elementos nitrogenados e fosfatados na água do rio Vermelho.

As sub-bacias que se relacionam com a estação 4 tem amplo uso para a pastagem e cultura, e corresponde a região onde se localiza-se a cidade de Rondonópolis e sua estação de tratamento de esgoto. A qualidade da água neste local demonstrou influência dos usos através

alterações na ótica da água e nutrientes fosfatados.

Quando os resultados limnológicos são comparados ao CONAMA 357 aos valores de IQA ficou evidente a influência dos usos e ocupação do solo sobre as variáveis relacionadas a ótica da água (cor, turbidez e sólidos totais), a disponibilidade de nutrientes (fósforo e nitrato), os quais são relacionados com a eutrofização dos corpos d'água, além destes *E. coli* sempre com valores acima dos máximos permitidos são indicador de lançamento de efluente na área urbana. As variáveis foram fortemente relacionados com o período chuvoso determinantes de maiores concentrações de nutrientes, coliformes e menor disponibilidade de luz na coluna d'água.

Nos quadrantes analisados, os usos do solo nas APP do rio Vermelho deixou evidente que a pastagem, entre outras formas de uso se entendem até a área marginal do rio, portanto, a retirada de boa porção da mata ciliar nos leva inferir que atualmente os usos praticados nas sub-bacias podem estar alterando a qualidade da água superficial deste rio, condição esta demonstrada pelas alterações das variáveis limnológicas que em determinados locais e épocas já se mostram acima dos limites aceitáveis para rios da classe II.

Resumidamente, a influência dos usos do solo sobre a qualidade da água mostrou que a cultura/pastagem são amplamente difundidas em toda bacia do rio Vermelho podendo haver influência difusa destes usos especialmente nas variáveis relacionadas a luz e nutrientes, a mesma interferência foi observada para as estações onde os usos no perímetro urbano já são notadamente capazes de alterar a qualidade da água do rio Vermelho.

## REFERÊNCIAS

- AJORLO, M.; ABDULLAH, R. B.; YUSOFF, M. K.; HALIM, R. A.; HANIF, H. H. M.; WILLMS, W. D.; EBRAHIMIAN, M. Multivariate statistical techniques for the assessment of seasonal variations in surface water quality of pasture ecosystems. **Environmental Monitoring and Assessment**, Volume 185, Issue 10, 2013. 8649-8658 p.
- ALMEIDA, A. S., VIEIRA, I. C. G. Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um pólo de produção de biodiesel no Estado do Pará. *Rev. Ambiente & Água*, vol.9, n.3, 2014. 476-487 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 2014, 711-728 p.
- ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos microbiológicos. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, 2008. p. 39-48 p.
- ANA – Agência Nacional de Água. **Dados Hidrológicos**. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br/hm>>. Acessado em: 17 mai. de 2015.
- ANDRADE, L. C. R.; EDUARDO MARQUES, E. A. G.; FELICORI, T. C. Pedological characterization and land use and occupation: influences on water quality in a watershed located in the Zona da Mata (MG). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, 2013. 820-833 p.
- APHA - American Public Health Association. Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., and Greenberg, A.E (eds), **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21st ed, American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 2005. 1368 p.
- ARAÚJO, G. C. Padrões Espaciais da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá e Rio São Lourenço – Mato Grosso. 2012. 94 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2012.
- ARAÚJO, G. C.; ZEILHOFER, P. Padrões espaciais da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá e Rio São Lourenço - Mato Grosso. **Hygeia**, v. 7, n. 13,, 2011. 55-70 p.
- BAILLY, D.; FERNANDES, C. A.; SILVA, V. F. B.; KASHIWAQUI, E. A. L.; DAMÁSIO, J. F.; WOLF, M. F.; RODRIGUES, M. C. Diagnóstico ambiental e impactos sobre a vegetação ciliar da microbacia do córrego da ponte, Área de Proteção Ambiental do rio Iguatemi, MS. **Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n.2, 2012. 409-427 p.
- BOYACIOGLU, H. Utilization of the water quality index method as a classification tool. **Environ Monit Assess** , v.167, n. 1-4, 2010. 115-124 p.
- BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal**. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)> Acessado em: 17 mar. 2015.

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acessado em: 14 dez. 2014.

CAMPOS, F. F.; MATIAS, L. F. mapeamento das áreas de preservação permanente (APPs) e sua situação de uso e ocupação no município de Paulínia (SP). **Geociências**, v. 31, n. 2, 2012. 309-319 p.

CAMPOS, K. B. G.; RAMIRES; I., PAULA, S. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos de quatro córregos na região de Caarapó-MS. **Revista de Ciências Ambientais**. Vol. 5, Nº 2, 2011.77-92 p.

CANDIDO, A. K. A. A. Tratamento de imagens orbitais e suborbitais para caracterização ambiental da cabeceira do rio São Lourenço-MT. 2012. 93 f. **Dissertação** (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis – MT, 2012.

CANDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C. Avaliação de métodos de delimitação automática da sub-bacia da bacia hidrográfica do rio manso-MT a partir de MDE. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Curitiba, 2011. 1121-1128 p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Org. BRANDÃO, C. J. [et al.] – São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. Relatório 2010. Disponível em:<<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>> Acessado em: 10 fev. 2015.

CHAVES, H. M. L; SANTOS, L. B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, 2009. 922-930 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acessado em: 02 fev. 2014.

CORRADINI, F. A.; ASSINE, M. L. Compartimentação geomorfológica e processos deposicionais no megaleque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, p. 20-33, 2012.

COSTA, T. A; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A . S.; GLERIANI, J. M. Conflitos de uso da terra na microbacia do São Bartolomeu - Viçosa, MG. **Floresta Ambiente**, vol.20, n.3,

2013. 281-295 p.

COUTINHO, L. M.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; XAVIER, A.C. Usos da terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do rio da Prata, Castelo-ES. **Floresta e Ambiente** 20(4), 2013. 425-434 p.

DOTTO, S. E. Os Ritmos, as Paisagens e a Qualidade da Água na Bacia do Rio Tadarimana, MT. – Mato Grosso. 2009. 169 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2009.

FAVA, R. A. C. Caracterização quali-quantitativa da bacia hidrográfica do rio dos Bugres – MT visando o planejamento e gestão de recursos hídricos. 2012. 142 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2012.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F. C. Qualidade das Águas Superficiais e o Uso da Terra: Estudo de Caso Pontual em Bacia Hidrográfica do Oeste do Paraná. **Floresta e Ambiente**, 19(1), 2012. 32-43 p.

FINAZZI, A. E. M. Análise sensitiva do Índice de Qualidade de Água IQA<sub>CCME</sub>. 2012 105 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2012.

FIGUEIREDO, S. B. Avaliação da Qualidade da Água da Sub-Bacia do Rio Cuiabá-MT Aplicando Análise Multivariada. 2012 140 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2012.

FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 19, Nº 1, 2014. 41-49 p.

GARCÍA-GARCÍA, P. L.; MARTÍNEZ-JERÓNIMO, F.; VÁZQUEZ, G.; FAVILA, M. E.; NOVELO-GUTIÉRREZ, R. Effects of land use on water quality and Ceriodaphnia dubia reproduction. **Hidrobiológica**, 22(3), 2012. 229-243 p.

GUIDOLINI, J. F.; ABDALA, V. L.; CARMO, D. A.; Val, B. H. P.; JUNIOR, R. F. V. Ortofosfato como parâmetro indicador de qualidade da água em diferentes pontos da bacia do rio Uberaba. **III Seminário de iniciação científica e inovação tecnológica**, 2010. 1-3 p.

HADDAD, E.A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. **Geosul**. Vol. 25, Nº. 49, 2010. 79-102 p.

HAIR, J. F.; TATHAM, R. L; BLACK, W. C.; ANDERSON, R. E.; BABIN, B. J. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª Edição. Bookman, 2009. 688 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Downloads Geociências**. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acessado em: 09 mai. de 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 171 p.

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de Mato Grosso do Sul -2011**. Campo grande, MS, IMASUL, 2013. 185 p.

IMMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado em: 17 mai. de 2015.

JUAHIR, H.; ZAIN, S.; YUSOFF, M.; HANIDZA, T.; ARMI, A.; TORIMAN, M.; MOKHTAR, M. Spatial water quality assessment of Langat River Basin (Malaysia) using environmetric techniques, **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 173, 2010. 625-641 p.

KAMJUNKE, N.; BÜTTNER, O.; JAGER, C. G.; MARCUS, H.; VON TÜMPLING, W.; HALBEDEL, S.; NORF, H.; BRAUNS, M.; BABOROWSKI, M.; WILD, R.; BORCHARDT, D.; WEITERE, M. Biogeochemical patterns in a river network along a land use gradient. **Environmental Monitoring and Assessment**. Vol. 185, 2013.9221-9236 p.

KOPP, M. M. et al. Melhoria da correlação cofenética pela exclusão de unidades experimentais na construção de dendogramas. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**. Uruguiana v.14, n 2, 2007. 46-53 p.

LIMA, C. R. N. Variabilidade espacial de parâmetros de qualidade de água nas bacias do rio Cuiabá e São Lourenço. 2013. 86 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2013.

LOVERDE-OLIVEIRA, S. M.; FIQUEREDO, D. M.; NOQUEIRA, V. A. S. Avaliação da qualidade da água do córrego Arareau (Rondonópolis, MT): subsídios à gestão ambiental. **Saúde e Ambiente**, v 2, Cuiabá, 1999. 12-23 p.

LOVERDE-OLIVEIRA, S. M.; NASCIMENTO, F. A. S. **Ecologia e história do vale do rio São Lourenço**. Rondonópolis-MT, 2004. 57 p.

LOVERDE-OLIVEIRA, S. M.; SILVA, M. C. Limnologia dos ecossistemas fluviais do perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso. In:SANTOS, J.W.M.C. (Org.). Produção do espaço e transformações socioambientais das paisagens do Mato Grosso. Cuiabá: **EdUFMT**, 2010. 123-144 p.

LUBENOW, A. T.; FILHO, P. C. O.; VIDAL, C. M. S.; CAVALLINI, G. S.; CANTERLE, Y. C. Impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Nhapiindazal, Irati (PR). **Ambiência**, Guarapuava (PR) v.8 n.3, 2012. 845-858 p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 220 p.

MATSUBARA, H. Caracterização das ações antrópicas na sub-bacia do Rio Vermelho-MT e suas consequências hídricas e ambientais.1997. 79 f. **Monografia** (Departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 1997.

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, 2004. 33-38 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Brasília: MMA, 2006. 140 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Relatório Parcial**: Caracterização das Unidades Naturais e Configuração Atual dos Tipos de Usos/Ocupação da Terra do Estado de Mato Grosso. Cuiabá: MMA, 2007. 100 p.

MOJAHEDI, S. A.; ATTARI, J. A. **Comparative Study of Water Quality Indices for Karun River**. World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers, 2009. 1-9 p.

MOTA, S. **Gestão Ambiental de Recursos Hídricos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 343 p.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. S.; PINELLI, M.P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal. **Química Nova**, Vol. 33, No. 1, 2010. 97-103 p.

NARDINI, R. C.; CAMPOS, S.; GOMES, L. N.; MOREIRA, K. F.; PIZA, M. W. T. analysis of land use and occupancy in permanent preservation areas according to the hydrography of Ribeirão Água Fria - Bofete, SP – Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, 2012. 944-950 p.

NUNES DA CUNHA, C. ; JUNK, W. J. ; PIEDADE, M. T. F. ; LOURIVAL, R. ; WITTMANN, F. ; Kandus, P. ; LACERDA, L. D. ; BOZELLI, R. L. ; ESTEVES, F. A. ; MALTCHIK, L. ; Schöngart, J. ; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. ; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation**, v. 24, 2014. 5-22 p.

ORTEGA, D. J. P.; CARVALHO, S. L. Avaliação dos Efeitos das Atividades Antropólicas nos Recursos Hídricos na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Ipê – SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 18 n.3, 2013. 97-108 p.

PADILHA JUNIOR; A. G.; NUNES, J. R. S. As Variações da Qualidade da Água na Bacia do Rio Coxipó, Cuiabá-MT. **UNICIÊNCIAS**, v. 18, n. 1, 2014. 57-66 p.

PINHEIRO, A.; SCHOEN1, C.; SCHULTZ1, J.; HEINZ1, K.G.H.; PINHEIRO, I.G. DESCHAMPS,F.C. Relação Entre o Uso do Solo e a Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 19 n.3, 2014. 127-139 p.

PIVELI, R. P.; KATO M. T. **Qualidade da Água e Poluição**: aspectos físicos e químicos. São Paulo: ABES, 2005.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, 2012. 183-194 p.

REFOSCO. J. C. **Utilização do Google Earth para mapeamento do uso do solo em propriedades rurais**. Curso de Especialização em Georreferenciamento de Imóveis (lato senso). Centro de Ciências Tecnológicas. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau – SC. 22 de junho de 2011. Disponível em:

<[http://www.bc.furb.br/docs/mo/2011/348767\\_1\\_1.pdf](http://www.bc.furb.br/docs/mo/2011/348767_1_1.pdf)>. Acessado em: 12 de maio de 2014.

RODRIGUES, P. C. Caracterização do uso das margens do Rio Vermelho no perímetro urbano de Rondonópolis e as possíveis degradações ambientais. 2009. 43 f. **Monografia** (Departamento de Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2009.

ROMÃO, A. C. B. C.; SOUZA, M. L. Análise do Uso e ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão São Tomé, Noroeste do Paraná – pr (1985 e 2008). **RA'E GA**, v. 21, 2011. 337-364 p.

RONDONÓPOLIS. **LEI COMPLEMENTAR Nº 043, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2006.** Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Rondonópolis. Disponível em: <http://www.rondonopolis.mt.gov.br/Plano-Diretor.pdf>. Acesso em: 17 out. 2014.

SANTOS, G. O; HERNANDEZ, F. B. T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.1, 2013. 60-68 p.

SANTOS, J. B.; FILHO, J. C. P; DANTAS, M. J. F.; ZIMBACK, C. R. L; LESSA, L. G. F. Avaliação da adequação da ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente (APPs). **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, 2014. 333-344 p.

SCHMIDT, A.O. ; SAMPAIO, S.C.; DOS REIS, R.R.; SCHMIDT, C.J.; DA CUNHA, E.B.; ANDRADE, L.H. Trophic state index (TSI) applied in the assessment of anthropic impacts on the surface water of a watershed. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Volume 12, Issue 3-4, 2014. 400-404 p.

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 33, n. 3, 2011. 295-303 p.

SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2010 a 2011.** Organizado por FIGUEIREDO, S. B. et al., Cuiabá: SEMA/MT, 2014. 129 p.

SEPLAN-MT– Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Mato Grosso.** Cuiabá: Entrelinhas. 2011.100 p.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R.; GRIPP, W. G. O ritmo das chuvas e da qualidade das águas do rio Vermelho em Rondonópolis-MT. **INTERGEO** ano 2, nº 2, UFMT. Rondonópolis. 2002. 92-101 p.

SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B.; PRADO, B. R.; VIEIRA, M. A.; BARBARISI, B. F.; ORTIZ, M. J. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite GeoEye-1. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba-PR, 2011. 1576-1583 p.

SILVA, J. W. S.; CRUZ, E. A. L.; NUNES, P. A. S. S.; NUNES, J. R.S. Levantamento de impactos ambientais sobre os remanescentes de vegetação ciliar do córrego Figueiras em Tangará da Serra-MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta-MT, v.11, n.1,



2013. 89-98 p.

SILVA, M. A. S. Qualidade da água, caracterização física e a evolução do uso e ocupação da bacia do Alto Rio das Mortes no período de 2004 a 2009. 2010. 136 f. **Dissertação** (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2010.

SILVA V. G. **Legislação ambiental comentada**. 3. ed. Belo Horizonte: Fórum; 2006. 560 p.

SIQUEIRA, R. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, 39(2). 2011. 1-15 p.

SOARES, V. A.; MOREIRA, A. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; GLERIANI, J. M.; JUNIOR, J. G. Mapeamento de áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos legais de uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu - MG. **Revista Árvore** vol.35, n.3, 2011. 555-563 p.

SOUZA, A. V. V.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. Análise da qualidade da água do rio Vermelho em Mato Grosso: no período de cheia no ano de 2014. **Biodiversidade**, v.13, n 2, 2014. 115-126 p.

SOUZA, A.V.V.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. Variação temporal da qualidade da água do rio Vermelho, Mato Grosso. **INTERGEO-UFMT**. Rondonópolis. Prelo.

SOUZA, I. M. Relação do uso e cobertura da terra e a qualidade da água em microbacia hidrográfica no município de Rondonópolis-MT. 2013. 47 f. **Monografia de Graduação** (Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

SOUZA, M. A. Aspectos da poluição do Rio Vermelho no perímetro urbano de Rondonópolis. 1995. 52 f. **Monografia de Especialização** (Departamento de Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 1995.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental** v.19 n.3, 2014. 263- 274 p.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona, Ediciones Omega, 1989. 636 p.

TONIN, D. **Tarifa da água está mais cara em Rondonópolis**. A TRIBUNA MATO GROSSO DIGITAL, 14 de agosto de 2013. Disponível em: <<http://www.atribunamt.com.br/2013/08/tarifa-da-agua-esta-mais-cara-em-rondonopolis/>>. Acessado dia 18 de jun. de 2014.

TORRES, D. S. E. O impacto ambiental causado pela poluição do Rio Arareau. 2006. 54 f. **Monografia de Especialização** (Departamento de Biologia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2006.

USGS - **Serviço Geológico dos Estados Unidos**. Mato Grosso, 2014. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acessado em: 10 jun. 2014.

- VAEZA, R. F.; FILHO, P. C.O.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. **Floresta e Ambiente**, 17(1), 2010. 23-29 p.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; **TOPODATA**: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM; São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acessado em: 12 nov. 2014.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.1, 2010. 55-64 p.
- VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, 2011. 118-130 p.
- VIEIRA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; ALVES, M. G.; **Uso do MDT e Bacias de contribuição (Watershed) na seleção de pontos para o monitoramento da contaminação agrícola**. São José dos Campos: INPE, 2005. 3427-3432 p.; Disponível em: <<http://martedpi.inpe.br/col/tid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.22.05/doc/3427.pdf>>. Acessado em: 15 nov. 2014.
- VILELA, M. O. Mapeamento do uso e cobertura da terra e análise da qualidade das águas de duas microbacias hidrográficas no município de Rondonópolis-MT. 2014. 60 f. **Monografia de Graduação** (Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2014.
- WRUBLACK, S. C.; MERCANTE, E.; BOAS, M. A. V. Mapping of use and occupation of the soil and irrigation water quality in the city of Salto do Lontra-Paraná, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, 2013. 1024-1037 p.