

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DOS FATORES AMBIENTAIS
INTERVENIENTES NA QUALIDADE DA ÁGUA EM
TRECHO DO RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA NO
MUNICÍPIO DE RONDONÓPOLIS – MT**

CLÁUDIA PEREIRA GUIMARÃES

**Profa. Dra. LUCIANA SANCHES
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT
Fevereiro de 2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DOS FATORES AMBIENTAIS
INTERVENIENTES NA QUALIDADE DA ÁGUA EM
TRECHO DO RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA NO
MUNICÍPIO DE RONDONÓPOLIS – MT**

CLÁUDIA PEREIRA GUIMARÃES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutora em Física Ambiental.

**Profa. Dra. LUCIANA SANCHES
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT
Fevereiro de 2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P436a Pereira Guimarães, Claudia.
ANÁLISE DOS FATORES AMBIENTAIS INTERVENIENTES NA
QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DO RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA NO
MUNICÍPIO RONDONÓPOLIS – MT / Claudia Pereira Guimarães. -- 2020
79 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Luciana Sanches.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Uso e Ocupação do Solo. 2. Análise de Variância (ANOVA). 3. Análise
Multivariada. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ANÁLISE DOS FATORES AMBIENTAIS INTERVENIENTES
NA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DO RIBEIRÃO
PONTE DE PEDRA NO MUNICÍPIO RONDONÓPOLIS – MT**

AUTORA: CLÁUDIA PEREIRA GUIMARÃES

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 10 de fevereiro de 2020, pela
comissão julgadora:



Profa. Dra. Luciana Sanches
Orientadora
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e
Tecnologia/UFMT



**Profa. Dra. Gersina Nobre da Rocha
Carmo Junior – Examinadora Interna**
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e
Tecnologia/UFMT



Prof. Dr. Edgar Nascimento
Examinador Externo
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT



Prof. Dr. Josué Ribeiro da Silva Nunes
Examinador Externo
Universidade do Estado de Mato Grosso -
UNEMAT



Prof. Dr. Wilson Conciani
Examinador Externo
Instituto Federal de Brasília – IFB/DF

DEDICATÓRIA

Ao meu presente de Deus para toda a vida,
minha inspiradora, minha fonte de amor e
entusiasmo e sempre compreensiva com as
minhas ausências: CLARA GUIMARÃES
ÁVILA.

AGRADECIMENTOS

- À Deus, por me dar direcionamento e sabedoria para cumprir todos os desafios e a realização desse grande sonho;
- A minha família, especialmente a minha mãe, Maria Rosângela Pereira Guimarães pela parceria, amor e incentivo de sempre e meu pai Moacir Amaro Guimarães (*in memoriam*);
- À tia Ondina Guimarães pelo cuidado e carinho de sempre e a amiga do coração e conselheira Dona Benedita Domingas;
- À amiga Neli Assunção pela leitura e observações realizadas no trabalho;
- Ao professor Ibraim Fantin pela ajuda em conseguir parte dos dados junto ao órgão ambiental;
- À Prof.^a Dr.^a Luciana Sanches pela amizade, parceria e orientação para desenvolver esse trabalho;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pelo apoio e competência com a qual coordena o Programa de Pós-graduação em Física Ambiental;
- Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da UFMT;
- Ao Cesário e Soilce, pela amizade e trabalho realizado na secretaria deste curso de Pós-graduação;
- Aos colegas de Doutorado, em especial a Keylyane Alves, Larissa Leite Pavão, Bruno Abdala e Ana Clara Alves Justi, pelo apoio, amizade e valiosa ajuda;
- Ao Réginal Exavier do Programa de Pós - graduação em Geografia da UFMT, amigo que apareceu em um momento onde estava toda perdida usando o software de processamento de imagens e que mesmo na correria com as suas atividades não hesitou em dar assistência;
- À Congregação da Faculdade de Engenharia do Campus de Várzea Grande da UFMT, por aprovarem meu afastamento parcial das atividades docentes, posteriormente autorizado pela Secretaria de Gestão de Pessoas;

- À Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) em nome do Superintendente de Recursos Hídricos, Engenheiro Sanitarista Noqueli pelo atendimento às solicitações e a toda equipe da outorga em especial Ariane Carla de Jesus e Helen Pantoja;
- Ao projeto Rede de Monitoramento Ambiental Multifuncional do Sistema Planalto-Pantanal (REMAPP) em especial ao professor Dr. Peter Zeilhofer;
- A todos que de alguma forma, contribuíram para a realização dessa pesquisa, seja com uma ajuda efetiva ou palavras de apoio.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. JUSTIFICATIVA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. BACIA HIDROGRÁFICA	4
2.2. QUALIDADE DA ÁGUA	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOMÉTRICA DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA	13
3.2.1. Sistema de Informação Geográfica	13
3.2.1.1. <i>Área de Drenagem e Perímetro</i>	14
3.2.1.2. <i>Indicadores das Características da Bacia Hidrográfica</i>	15
3.3. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA	19
3.4. DINÂMICA DE OCUPAÇÃO DO SOLO	20
3.5. TRATAMENTO DOS DADOS	22
3.5.1. Análise de Variância (ANOVA)	22
3.5.2. Análise de Componentes Principais (ACP)	24
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	26
4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA	26
4.1.1. Hierarquia dos Cursos D'Água	27
4.1.2. Altimetria da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra	28

4.1.3. Declividade da Bacia	30
4.2. FORMAÇÃO GEOLÓGICA E SOLOS DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA.....	32
4.3. DINÂMICA DE OCUPAÇÃO E USO DA BACIA DO RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA.....	36
4.4. QUALIDADE DA ÁGUA NOS PERÍODOS DE CHUVA E ESTIAGEM.....	39
4.5. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	47
4.5.1. Análise das Variáveis Físico – Químicas no Período de Chuva.....	47
4.5.2. Análise das Variáveis Físico – Químicas no Período de Estiagem.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
6.1. REFERÊNCIAS CITADAS.....	54
6.2. REFERÊNCIAS CONSULTADAS	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Unidades de relevo do Estado de Mato Grosso com identificação da área de estudo.....	5
FIGURA 2 – Mapa com a localização da área da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis – MT, dos trechos em estudo representados pelos Pontos de Coleta 1(PC1), 2 (PC2) e 3(PC3)	10
FIGURA 3 – Mapa da área da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, com as Unidades de Conservação e zonas de amortecimento.....	11
FIGURA 4 – Box - plot da mediana mensal da precipitação (mm) na cidade de Rondonópolis no período 2000 a 2015 (posto N°83410;INMET) e da mediana mensal da vazão (m ³ /s) do Ribeirão Ponte de Pedra no período 1995 a 2006 (posto N°6545500 ; Hidroweb/ANA)	12
FIGURA 5 – Fluxograma apresentando a sequência de procedimentos usados no software ArcGis 10.3 para obtenção de mapas temáticos e cálculo de parâmetros físicos e morfométricos na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT..	13
FIGURA 6 – Fluxograma com a sequência de procedimentos usado no software ArcGis 10.3, para obtenção da altimetria do canal fluvial principal, para gerar o perfil longitudinal na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT	18
FIGURA 7 – Hidrografia, localização dos pontos de coleta e das hidrelétricas no trecho em estudo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT	19
FIGURA 8 – Modelo de reclassificação de cobertura do solo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra usando Dinâmica – EGO.....	21
FIGURA 9 – Modelo de cálculo das áreas por classe de cobertura do solo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra usando Dinâmica – EGO.....	22
FIGURA 10 – Mapa de ordenamento dos cursos d’água da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso	28
FIGURA 11 – Mapa de classes de elevação (hipsometria), com box- plot acoplado da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso.....	29
FIGURA 12 – Perfil longitudinal do curso d’água Ribeirão Ponte de Pedra/MT (linha sólida preta) e do trecho em estudo (linha sólida vermelha)	30

FIGURA 13 – Mapa de classes de declividade com gráfico de frequência acoplado da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso	30
FIGURA 14 – Formação geológica da área de estudo, Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso	33
FIGURA 15 – Pedologia na área de estudo, Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso	35
FIGURA 16 – Dinâmica de uso e ocupação do solo da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso entre 2007 a 2017.....	37
FIGURA 17 - Dinâmica de uso e ocupação com percentuais de Floresta, Agropecuária, Corpos d'Água, Floresta Natural não Florestal e Área não Vegetada da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT entre 2007 a 2017	38
FIGURA 18 – Uso e ocupação do solo da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso 2007 e 2017.....	39
FIGURA 19 - Box – plot do pH, Temperatura da Água (°C), Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Turbidez (NTU), Cor (uH), Sólidos em Suspensão (mg/L), Fósforo Total (mg/L), Nitrogênio Total (mg/L), Nitrato (mg/L) e Nitrogênio Amoniacal (mg/L) em período de chuva (1) e estiagem (2) entre os anos 2007 a 2017. Linha preta sólida representa a mediana e a linha sólida ponto tracejada a média.....	46
FIGURA 20 - <i>Biplot</i> da componente 1 (Dim 1) versus a componente 2 (Dim2) sobre as variáveis físico-químicas no trecho do Ribeirão Ponte de Pedra, Mato Grosso no período de chuva de 2007 a 2017.....	47
FIGURA 21 - <i>Scree plot</i> dos autovalores dos componentes principais, no período de chuva.	48
FIGURA 22 - <i>Biplot</i> da componente 1 (Dim 1) versus a componente 2 (Dim 2) sobre as variáveis físico-químicas no trecho do Ribeirão Ponte de Pedra, Mato Grosso, no período de estiagem de 2007 a 2017.....	50
FIGURA 23 - <i>Scree plot</i> dos autovalores dos componentes principais, no período de estiagem.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Atributos morfométricos e fisiográficos empregados na caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ponte de Pedra.....	15
TABELA 2 – Classe de declividade definida na área de estudo.....	18
TABELA 3 – Classes altimétricas definidas na área de estudo	18
TABELA 4 – Descrição dos locais de coleta	19
TABELA 5 – Datas, períodos e números de amostras de água coletadas na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra entre 2007 e 2017	20
TABELA 6 – Síntese dos métodos de coleta e análise de água	20
TABELA 7 – Atributos fisiográficos e morfométricos da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra.....	27
TABELA 8 – Teste de significância de Fisher (F) entre as variáveis: temperatura da água ($T_{\text{água}}$), pH, condutividade (C), turbidez, cor, fósforo total (P_{total}), nitrogênio total (N_{total}), nitrato, nitrogênio amoniacal ($N_{\text{amon.}}$) e sólidos em suspensão (SS), por períodos de chuva e estiagem nos pontos de coleta (PC) 1, 2 e 3.....	39
TABELA 9 – Estatística descritiva das variáveis temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), turbidez (NTU), cor (uH), fósforo total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), nitrato (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L) e sólidos em suspensão (mg/L), nos períodos de chuva e estiagem no Ribeirão Ponte de Pedra nos anos 2007 a 2017.....	45
TABELA 10 – Autos valores e percentual da variância das componentes, no período de chuva	49
TABELA 11 – Autos valores e percentual da variância das componentes, no período de estiagem.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Análise de componentes principais
ANA	Agência Nacional de Águas
BAP	Bacia do Alto Paraguai
ANOVA	Análise de Variância
C	Condutividade
Cm	Coefficiente de manutenção
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cr	Coefficiente de rugosidade
Dd	Densidade de drenagem
Dr	Frequência da rede de drenagem
H	Declividade média da bacia
Hm	Amplitude altimétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de circularidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Ir	Índice de rugosidade
Kf	Fator de forma
Kc	Coefficiente de compacidade
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N _{total}	Nitrogênio Total
N _{amon.}	Nitrogênio Amonicacal
PC1	Ponto de Coleta 1
PC2	Ponto de Coleta 2
PC3	Ponto de Coleta 3
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
pH	Potencial Hidrogeniônico

P _{total}	Fósforo Total
R _r	Relação de relevo
SEPLAN	Secretaria de Estado e Planejamento
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
Sin	Sinuosidade do rio principal
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SS	Sólidos em Suspensão
T	Razão de textura
T _{água}	Temperatura da Água
UTM	Universal Transversa de Mercator

RESUMO

GUIMARÃES, C. P. **Análise dos fatores ambientais intervenientes na qualidade da água em trecho do Ribeirão Ponte de Pedra no município de Rondonópolis - MT.** Cuiabá, 2020, 79 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A avaliação dos dados de qualidade de água envolve uma grande quantidade de variáveis, tornando muitas vezes dispendiosa e dificultando a efetiva gestão. Este trabalho teve por objetivo analisar a influência dos fatores ambientais intervenientes na qualidade da água superficial em trecho de uma bacia hidrográfica em unidade de conservação bioma Cerrado, nos períodos de chuva e estiagem, durante 10 anos, com intuito de ajudar o órgão ambiental na tomada de decisão com relação ao monitoramento da qualidade de água. A Bacia Ribeirão Ponte de Pedra localiza-se na região sul do Estado de Mato Grosso, Brasil e encontra-se em uma área de transição Planalto – depressão interplanáltica / Pantanal. Foram monitorados as variáveis físico-químicas: pH, temperatura da água, cor, turbidez, condutividade elétrica, fósforo total, série de nitrogênio e sólidos em suspensão em 3 pontos de coleta (PC1, PC2 e PC3) no período 2007 – 2017. Inicialmente foi realizada a análise de variância (ANOVA), onde foi verificado o nível de significância de cada variável separados pelos períodos de chuva e estiagem nos pontos de coleta, após a análise houve a possibilidade de transformar o estudo em um único trecho. Em relação a sazonalidade não houve diferenças significativas entre os períodos para a maioria das variáveis analisadas. Com exceção do pH, Nitrogênio Amoniacal e Sólidos em Suspensão. Os resultados de pH, período de estiagem, apresentaram maiores valores refletindo na diminuição do nitrogênio amoniacal e aumento do nitrato o que é esperado uma vez que observou-se temperatura propícia para que a conversão acontecesse, o oposto foi verificado no período de chuva com maiores concentrações de nitrogênio amoniacal e menores concentrações de nitrato no mesmo período mesmo com temperaturas propícias para o fenômeno de conversão acontecer. Com relação a temperatura da água verificou-se os menores resultados ocorrido no período de estiagem, que coincidem com as menores temperaturas médias do ar. Já no período de chuva observou-se as maiores temperaturas da água que possivelmente deve estar relacionado a presença de maiores concentrações de sólidos em suspensão no mesmo período, condição que eleva o conteúdo de calor na água, pois esses materiais absorvem radiação subaquática. A variável fósforo total apesar de não ter apresentado diferenças significativas com relação a sazonalidade quando é avaliada com relação a Resolução CONAMA 357/2005 os valores médios são compatíveis com rios de classe 3. O valor máximo de fósforo total encontrado no período de chuva possivelmente deva estar relacionado com a mudança de cobertura do solo de pecuária para agricultura. Com relação a redução do número de variáveis a serem monitoradas utilizando a técnica de análise de componentes principais (PCA) foi observado uma redução de dez variáveis da base de dados original para quatro perdendo cerca de 18% das informações, no período de chuva, e para três perdendo cerca de 23,9% das informações no período de estiagem.

Palavras-chave: Uso e Ocupação do Solo, Análise de Variância (ANOVA), Análise Multivariada

ABSTRACT

GUIMARÃES, C. P. **Analysis of environmental factors involved in water quality in a stretch of Ribeirão Ponte de Pedra in the city of Rondonópolis - MT.** Cuiabá, 2020, 79 f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics); Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

The evaluation of water quality data involves a large number of variables, often making it expensive and difficult to manage effectively. This work aimed to analyze the influence of the environmental factors involved in the quality of the surface water in a stretch of a river basin in a biome conservation unit Cerrado, during the rains and droughts, for 10 years, in order to help the environmental agency in decision making regarding water quality monitoring. The Ribeirão Ponte de Pedra Basin is located in the southern region of the State of Mato Grosso, Brazil and is located in a transition area Plateau – interplanaltic depression / Pantanal. Physico-chemical variables were monitored: pH, water temperature, color, turbidity, electrical conductivity, total phosphorus, nitrogen series and suspended solids at 3 collection points (PC1, PC2 and PC3) in the period 2007 – 2017. Initially, the analysis of variance (ANOVA) was performed, where the level of significance of each variable was verified separated by the periods of rain and drought at the collection points, After the analysis, it was possible to transform the study into a single section. Regarding seasonality there were no significant differences between periods for most of the variables analyzed. Except for pH, ammoniacal nitrogen and suspension solids. The results of pH, period of drought, presented greater values reflecting in the decrease of the ammoniacal nitrogen and increase of the nitrate what is expected once it was observed propitious temperature for the conversion to happen, the opposite was verified in the rainy period with higher concentrations of ammoniacal nitrogen and lower concentrations of nitrate in the same period even with temperatures propitious for the conversion phenomenon to happen. In relation to the water temperature, the lowest results occurred in the drought period, which coincide with the lowest average air temperatures. Already in the rainy period it was observed the biggest temperatures of the water that should possibly be related to the presence of higher concentrations of solids in suspension in the same period, condition that elevates the heat content in the water, because these materials absorb underwater radiation. The total phosphorus variable although it did not present significant differences with respect to seasonality when it is evaluated in relation to Resolution CONAMA 357/2005 the mean values are compatible with class 3 rivers. The maximum value of total phosphorus found in the rainy period should possibly be related to the change of land cover from livestock to agriculture. Regarding the reduction of the number of variables to be monitored using the main component analysis technique (PCA) was observed a reduction of ten variables from the original database to four losing about 18% of the information, in the rainy period, and for three losing about 23.9% of the information in the drought period.

Keywords: Land Use and Occupation, Analysis of Variance (ANOVA), Multivariate Analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A bacia hidrográfica é a área de captação natural da precipitação, que converge os escoamentos por diversos tributários direcionados para um curso principal e posteriormente para o exutório, carreando em seu percurso material de origem natural e/ou antrópica que influenciará na qualidade da água do escoamento superficial (COLLISCHONN, 2015; TUCCI, 2012).

Instituída pela Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 a Política Nacional dos Recursos Hídricos considera a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e prevê mecanismos de proteção às nascentes, por meio de leis e decretos que protejam a qualidade da água das mesmas. Neste sentido tem-se a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 357, de 17 de março de 2005 e suas modificações nas resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento dos recursos hídricos, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes que podem ser lançados em bacias hidrográficas (BRASIL, 2005).

A qualidade da água em curso d'água reflete a influência da geologia, vegetação, solos, clima e, sobretudo, do homem. No caso da influência antrópica, os rios assimilam materiais provenientes de esgotos, atividades agrícolas, indústrias e construção civil, ou seja, de qualquer atividade em que as condições naturais da bacia são alteradas em função da expansão urbana, atividades agrícolas, mineradoras, represamento entre outras. Tais fatores podem ser atenuados ou mascarados pelos processos naturais como, por exemplo, as chuvas, variações climáticas e o escoamento superficial.

Desta maneira, considera-se ainda a bacia hidrográfica como o espaço físico de gestão onde diversos elementos naturais interagem em consonância, mas mediante os impactos ambientais negativos da ação antrópica repercutem principalmente na qualidade da água. Segundo Von Sperling (2005) a qualidade da água está ligada as condições naturais e do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica.

O Ribeirão Ponte de Pedra faz parte da Bacia do Paraguai com área de 176.800 km² (GUIMARÃES, 2010) e abriga o Pantanal Mato-grossense, uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, declarado como Patrimônio Nacional, Reserva da Biosfera da Unesco e Patrimônio Natural da Humanidade, tornando-se a terceira maior reserva do mundo no gênero (MMA, 2006).

A dinâmica estabelecida entre o planalto (cabeceiras) e a planície (Pantanal) faz com que sejam mantidos os pulsos de inundação dos rios que compõem o Pantanal, com interdependência entre as fases de cheia e seca, ora contribuindo para a produtividade do sistema terrestre, ora para a produtividade do sistema aquático. Dinâmica essa de extrema importância para a sobrevivência dos ecossistemas terrestres e aquáticos regionais e sua diversidade (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989).

O uso dos recursos naturais de forma desordenada e sem planejamento, vem gerando impactos ambientais negativos, nos espaços urbanos e rurais. A bacia hidrográfica caracterizada também como uma unidade de planejamento apropriada, por integrar vários elementos como solo, água, vegetação e a fauna interagem e respondem as interferências naturais e antrópicas (COLLISCHONN, 2015).

O conhecimento das características físicas de uma bacia é de grande importância para a compreensão de vários fatores, desde o arranjo dos variados tipos de uso ao longo das décadas, possíveis problemas ou soluções, execução de projetos para o planejamento adequado, frente as suas limitações e potencialidades. Dessa forma, as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio da água das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARA; POLITANO; FERRAUDO, 2004).

Vários métodos são constantemente aplicados para obtenção de dados capazes de quantificar os parâmetros hidrológicos em uma bacia hidrográfica e dentre eles estão à caracterização morfométrica (TUCCI, 2012).

1.2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica no fato de que a dinâmica espaço-sazonal da qualidade da água superficial são decorrentes de fatores ambientais intervenientes e sua bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento necessitam de conhecimento para seus projetos, monitoramento de riscos e impactos ambientais no sentido de incrementar a eficiência dos processos e atendimento a legislação ambiental vigente.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo geral analisar a influência dos aspectos ambientais na qualidade da água superficial em trecho do Ribeirão Ponte de Pedra na Região de Rondonópolis – MT nos períodos de chuva e estiagem.

Para alcançar tal objetivo geral, estabeleceu-se objetivos específicos, tais como:

- (a) Caracterizar física e morfológica da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra;
- (b) Analisar a evolução decenal do uso e ocupação do solo na bacia;
- (c) Analisar as variações na qualidade da água superficial por meio de variáveis físico e químicas nos períodos de chuva e estiagem entre os anos 2007 a 2017.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BACIA HIDROGRÁFICA

A compreensão relativa aos processos hidrológicos é fundamental em estudos ambientais, na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas. O tempo em que a água permanece nas diversas partes da hidrosfera influencia, entre outros, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de inundações e a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes (ZANETTI et al., 2009).

Nos estudos de bacia hidrográfica a mensuração e a análise morfométrica da configuração da superfície terrestre são usadas nas estimativas das características da bacia hidrográfica, quanto à forma e às dimensões de sua paisagem (SUCUPIRA et al., 2006).

Neste sentido, vários métodos são constantemente aplicados para obtenção de dados capazes de mostrar de forma qualitativamente as variáveis dentro de uma bacia hidrográfica e dentre elas estão à caracterização morfométrica.

Para tanto são usadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto baseados nas proposições de Horton (1945), Stralher (1952) e Christofolletti (1980).

O relevo da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra constitui-se de terrenos aplainados, com chapadões levemente ondulados e escarpas abruptas, principalmente próximo à sua foz. O ponto mais elevado na Serra da Jibóia atinge 718 metros e a altitude mínima é 188,20 metros, verificados às margens do rio Vermelho. Situa-se na borda noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná, contendo sedimentos depositados sobre uma vasta área do Continente Gondwânico (ROSS, 2001).

Segundo Ross (2001), essa região enquadra-se na unidade de relevo Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná e estudos geomorfológicos regionais definem como sendo parte da unidade geomorfológica Planalto do Taquari/Itiquira (Franco; Pinheiro, 1982), domínio da Chapada do rio Corrente/Itiquira (BORGES et al., 1997). É limitada a norte, pela Depressão de Rondonópolis, a sul pelas depressões de Pedro Gomes e Taquari, a oeste pela Depressão de São Jerônimo e pela Planície e Pantanaís Matogrossenses e a leste, pelos Planaltos e Chapadas da bacia do Paraná (Figura 1).

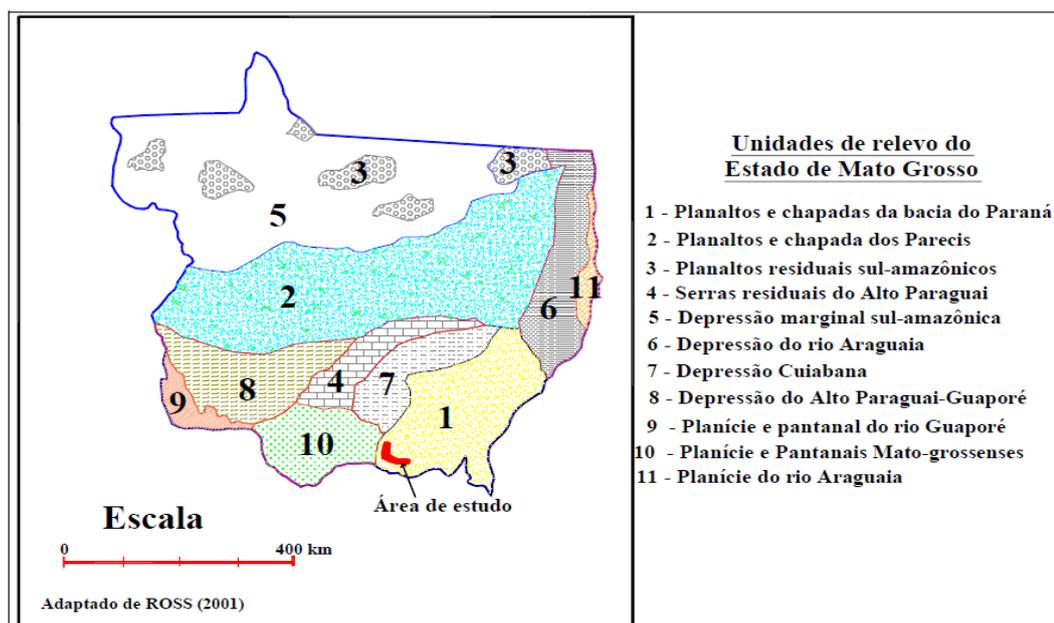


FIGURA 1 – Unidades de relevo do Estado de Mato Grosso com identificação da área de estudo.

FONTE: Adaptado de Ross, 2001

O Ribeirão Ponte de Pedra é meândrico no médio curso, à montante paralelo e subparalelo à jusante, com sentido do fluxo de leste para oeste até os limites da Serra de São Jerônimo (parte central da bacia) e daí, para norte, até o rio Vermelho que por sua vez tem padrão de drenagem predominantemente dentrítico. O sistema hidrográfico da bacia está representado pelos córregos: Anhumas, Buriti, da Onça, da Jibóia, do Birro, da Vertente Comprida e da Mateirinha (ROSS, 2001).

A sub bacia do córrego Anhumas, está localizada na margem direita do Ribeirão Ponte de Pedra, abrangendo uma área 197,75 km², com eixo principal contendo 27,50 km de comprimento, largura 7,04 km e perímetro 60 km. Seu desnível é 138,46 m entre a nascente até a foz, a declividade média é 3%, sendo a densidade de drenagem da ordem de 0,28 km/km². O padrão de drenagem é subparalelo com baixa densidade e o curso d'água considerado é de 3ª ordem.

A sub bacia do córrego Buriti, que também está localizada na margem direita, possui área 56,25 km², comprimento axial de 12,50 km, largura média de 4,5 km, perímetro 35 km, desnível 133,34 m, declividade média de 4,4 % e densidade de drenagem da ordem de 0,31 km/km². O padrão de drenagem é sub paralelo e seu curso é classificado como sendo de 2ª ordem.

A sub bacia do córrego Vertente Comprida deságua pela margem direita do Ribeirão Ponte de Pedra, apresenta uma área de 168,75 km², comprimento axial de 22,50 km, largura média de 7,5 km, perímetro de 58,75 km, com desnível de 77,41 m verificado entre a nascente e sua foz. A declividade média da bacia está na ordem de 3% e a densidade de drenagem de 0,20 km/km². O padrão de drenagem enquadra-se no modelo subparalelo, com relevo suave, baixa densidade de drenagem e curso de 2^a ordem.

Já a sub bacia do córrego Mateirinha, está localizada a esquerda do Ribeirão Ponte de Pedra, perfaz de 50,00 km² de área, comprimento axial de 12,50 km, largura média de 4,0 km, perímetro de 32,50 km e seu desnível, entre as nascentes localizadas na Serra do Espigão Mestre e sua foz é de 210,0 m, sendo que a declividade média desta sub bacia é de 7%; com densidade de drenagem da ordem de 0,37 km/km². O padrão de drenagem é semelhante aos demais exibindo um relevo suave, baixa densidade de drenagem e curso classificado como sendo de 2^a ordem.

2.2. QUALIDADE DA ÁGUA

Os critérios estabelecidos de qualidade das águas consistem em limites de concentração de alguns parâmetros importantes para a saúde humana, bem como para a manutenção da flora e da fauna aquática, sendo obtidos tanto no próprio meio, quanto em experimentos laboratoriais.

No Brasil, o instrumento responsável pelo controle desses padrões é a resolução 357/2005 – CONAMA, que detém o controle sobre 13 classes, indicadores de qualidade de águas e mais 90 substâncias potencialmente prejudiciais. A resolução contempla ainda padrões para corpos de água onde haja pesca ou cultivo de organismos aquáticos para fins de consumo intensivo. As classes estão subdivididas em águas doces, salinas e salobras, de acordo com o uso a que se destina.

As águas classificadas de classe 2 a 4 de acordo com resolução 357/2005 – CONAMA permitem o lançamento de efluentes domésticos e industriais, desde que obedeçam aos padrões de emissão do registro receptores, estabelecidos nesta resolução. Porém, um corpo hídrico poderá ter mais de uma classificação ao longo de seu curso de acordo com a variação física ou uso de suas águas ao longo da bacia.

A água na biosfera faz parte de um ciclo denominado ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é um processo contínuo de transporte de massas de água do oceano para a atmosfera, e desta, por meio das chuvas, escoamento superficial e subterrâneo, novamente para o oceano (VINÁTEA ARANA, 1997).

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos (as três fases em que a água existe no planeta Terra) são partes do ciclo dinâmico da água, ciclo este, perpétuo. A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização (TUNDISI, 2003).

Em seu trajeto, a água dissolve numerosas substâncias do solo, que a tornam uma solução mais ou menos diluída de sais minerais e compostos orgânicos. Além dessas substâncias dissolvidas, a água arrasta no seu caminho partículas não solúveis, colóides e partículas maiores, tornando-se uma suspensão mineral ou orgânica.

A qualidade da água superficial pode ser mensurada por meio de variáveis como os sólidos, pH, temperatura da água, condutividade elétrica, cor, turbidez e nutrientes.

CETESB (2009) o potencial hidrogeniônico (pH) reflete de forma direta os ecossistemas naturais, em função de seu efeito sobre a fisiologia de diversas espécies e ainda afetando o metabolismo destes. E de forma indireta podem deixar o meio propício para precipitação de elementos químicos tóxicos como por exemplo, metais pesados; e ainda podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução nº 357/2005, estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2005). Logo, por meio do potencial hidrogeniônico é possível medir a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. Com o pH é possível obter importantes informações sobre processos químicos e biológicos dos corpos de água natural. A escala de análise do pH varia de 0 a 14, em que 7 significa neutro, pH inferior a 7 ácida e maior que 7 a saturação de base ou alcalinidade (ESTEVEZ, 2011).

Por influenciar alguns parâmetros físico-químicos, como viscosidade e tensão superficial, a temperatura da água é considerada como a característica mais

importante do meio aquático (CETESB, 2009). Benetti; Bidone (2012) relatam que temperaturas fora do limite de tolerância, para os organismos aquáticos, causam impactos sobre o crescimento e reprodução dos mesmos.

Fellenberg (1980) ressalta que a variação da temperatura da água nos corpos hídricos pode estar associada aos fenômenos climáticos, a ação antrópica, por meio de lançamento de poluentes industriais e domésticos, descargas de torres de resfriamento das usinas térmicas alimentadas ou com combustíveis fósseis (carvão e petróleo) ou por energia nuclear.

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (VON SPERLING, 2005).

Outra variável importante para avaliação da qualidade da água em corpos hídricos é a turbidez atribuída a presença dos sólidos em suspensão que reduzem a transparência fazendo com que haja uma diminuição da transmissão da luz solar ao meio aquático (VON SPERLING, 2005).

Um fenômeno característico onde há aumento da turbidez da água refere-se ao processo natural da erosão das margens dos rios durante um evento chuvoso, devido ao transporte de argila e areia (CETESB, 2009).

Garcia (2002) ressalta que estudos têm demonstrado a presença de turbidez em mananciais que recebem descargas de esgotos domésticos com a presença de micro-organismos patogênicos, e que a turbidez nos dias atuais não é vista somente como questão estética contudo um requisito sanitário.

Neste sentido, a portaria do Ministério da Saúde que trata da água para consumo humano N°. 2914/2011 tem se atentado para a turbidez como parâmetro sanitário e determinado diferentes valores para situações distintas (BRASIL, 2011).

Com relação a estudos realizados mundialmente referente a qualidade das águas destaca-se Carreón et al. (2013) que estudaram a qualidade na lagoa Yuriria no México nos períodos de 2005 e 2009-2010 com a finalidade de avaliar variações espaciais e temporais das características da água. Outro estudo realizado por Goher et al. (2014) no canal de Ismaíla no rio Nilo no Egito, avaliaram o índice de qualidade

da água (IQA) e de alguns metais pesados. Em outro estudo realizado, Chán Santisteban e Peña (2015) avaliaram alguns parâmetros de qualidade da água numa bacia da Guatemala que abastece a cidade para o consumo urbano.

Com relação a estudos realizados no Brasil Oliveira; Cunha (2014), realizado no rio Jari - AP, avaliou a variabilidade da qualidade da água sob influência da precipitação mensal. Observa-se que estes estudos são importantes fontes de informações para conhecer as características e os efeitos de ações naturais e antrópicas exercidas nos corpos de água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, que faz parte da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em território brasileiro, ocupando uma área de 27.726,00 km² (MMA, 2006), tendo as principais nascentes localizadas nos planaltos dos Guimarães e do Taquari-Itiquira.

O Ribeirão Ponte de Pedra, com área 2.102,12 km², drena terras dos municípios de Rondonópolis, Pedra Preta e Itiquira, no sudeste do Estado de Mato Grosso; escoando para o rio Vermelho, tributário do rio São Lourenço, um dos principais rios que integram o Pantanal Matogrossense. O Ribeirão Ponte de Pedra está localizado nas coordenadas geográficas de referência 16°32'19,02"S e 54°46'52,76"O (Figura 2).

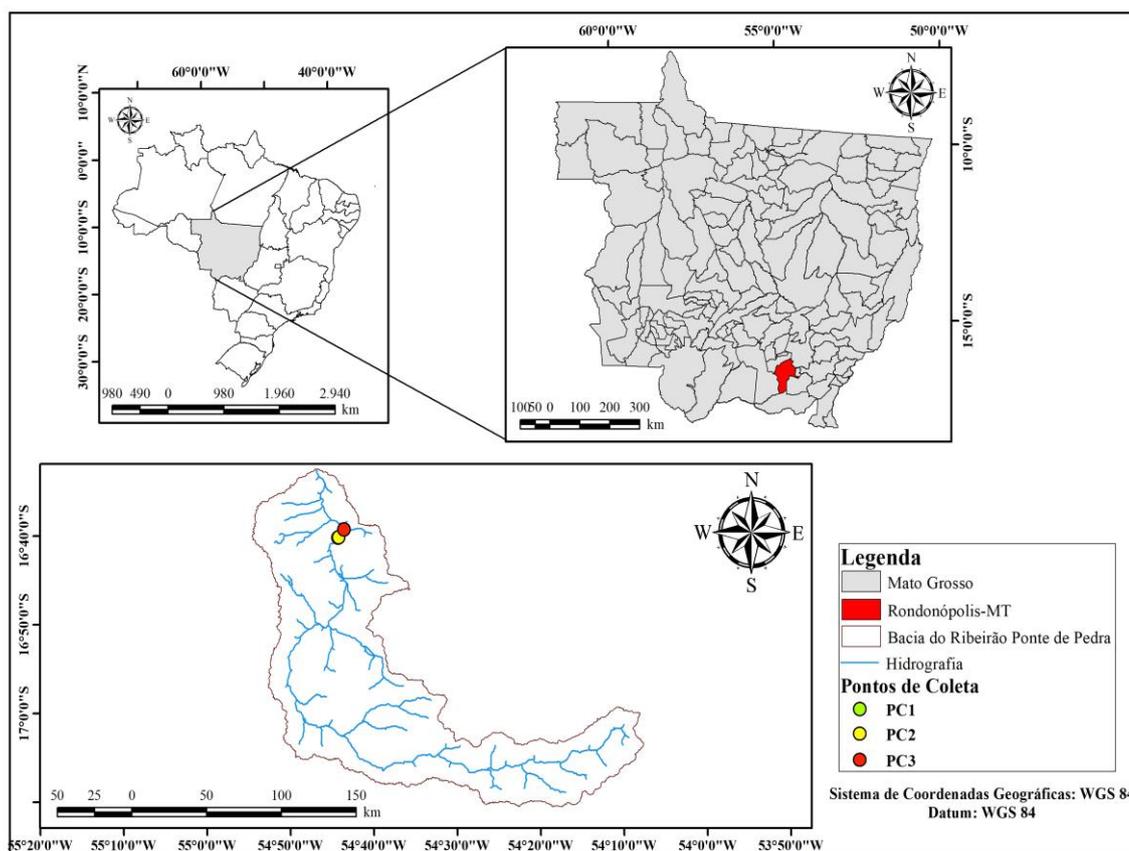


FIGURA 2 – Mapa com a localização da área da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis – MT, dos trechos em estudo representados pelos Pontos de Coleta 1(PC1), 2 (PC2) e 3(PC3)

Com relação a Unidades de Conservação na foz do Ribeirão Ponte de Pedra consta junto a Secretaria de Estado de Meio Ambiente a Unidade de Conservação Reserva Particular do Patrimônio Natural Federal Parque Ecológico João Bosco e o Parque Estadual Dom Osório Stoffel como zona de amortecimento (SEMA/MT, 2019; Figura 3).



FIGURA 3 – Mapa da área da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, com as Unidades de Conservação e zonas de amortecimento

FONTE: adaptado de SEMA/MT, 2019

A região estudada pertence à Eco-região do Cerrado (Savana) (MMA, 2006). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante é Aw,

Clima de Savana, com temperaturas médias anuais variando entre 22,5 e 26,5°C. O mês de novembro é o mais quente (em média de 27°C) e o de julho, o mais frio (em média 21°C). O período de chuva ocorre entre outubro e abril, devido aos ventos de quadrante norte da massa equatorial continental (BRASIL, 2006).

A mediana anual da precipitação acumulada nos anos de 2000 a 2015 foi 1.245 mm/ano, sendo 49% no verão (máximo em janeiro) e apenas 2% no inverno (mínimo em julho e agosto), indicando marcante sazonalidade climática (OLIVEIRA, 2016, Figura 4). A mediana anual da vazão do Ribeirão Ponte de Pedra é 30,0 m³/s, com variabilidade mensal semelhante a pluviométrica, com defasagem de um mês, e máxima em março (54,0 m³/s) e mínima em agosto (19,0 m³/s) (Figura 4).

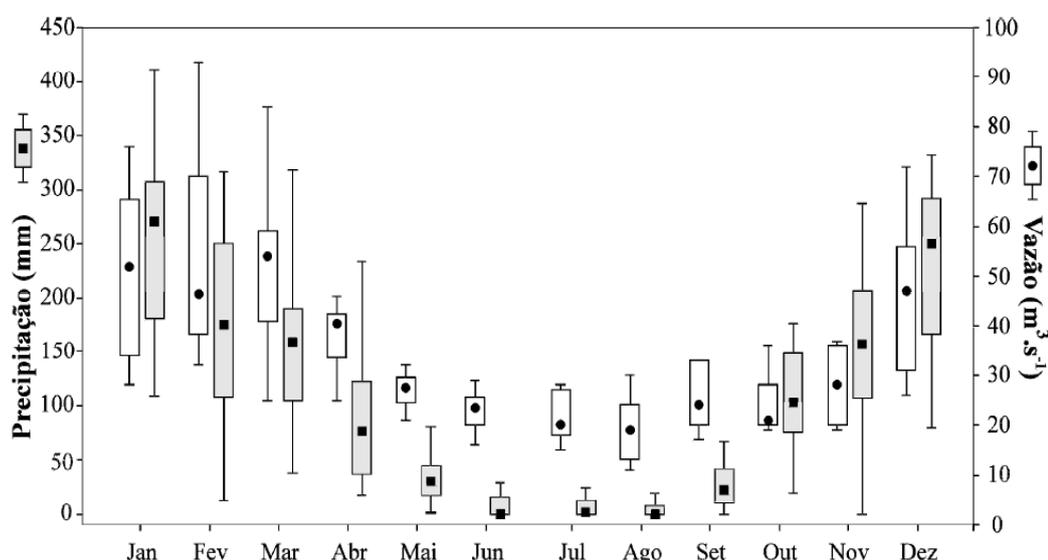


FIGURA 4 – Box - plot da mediana mensal da precipitação (mm) na cidade de Rondonópolis no período 2000 a 2015 (posto N°83410;INMET) e da mediana mensal da vazão (m³/s) do Ribeirão Ponte de Pedra no período 1995 a 2006 (posto N°6545500 ; Hidroweb/ANA)

FONTE: OLIVEIRA, 2016

Na área de drenagem da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra estão em operação 2 PCHs, a PCH Engenheiro José Gelázio com capacidade de 24,45 MW, 0,13 km² de área e a PCH Rondonópolis com capacidade de 26,60 MW, 0,02 km² de área; ambas funcionando em cascata e possuem descarregador de fundo, vertedor livre e captação superficial (ANEEL, 2019).

3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOMÉTRICA DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA

3.2.1. Sistema de Informação Geográfica

Para o estudo foram utilizadas ferramentas do software de sistema de informações geográficas (SIG) ArcView produzido pela *ESRI - Environmental Systems Research Institute*, para o desenvolvimento do mapa de localização da área de estudo; mapa das curvas de nível, mapa do Modelo Digital de Elevação/TIN (MDE), mapa com a delimitação da bacia e sua rede de drenagem.

A análise espacial foi realizada com base cartográfica do Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Mato Grosso com base nas escala de 1:250.000; 1:1.000.000, e 1:1.500.000, obtido junto a Secretaria de Estado e Planejamento e Coordenação Geral SEPLAN (2000); SEMA – Secretaria do Meio Ambiente; UTM - Universal Transversa de Mercator, zona 21, latitude (hemisfério) sul e imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos junto ao Serviço Geológico Americano (USGS) que disponibiliza informações sobre o relevo, como fonte primária, os modelos digitais de elevação, com aproximadamente 30m x 30 m de resolução espacial.

Na sequência é apresentada a metodologia utilizada para a elaboração dos mapas temáticos:

- Área (limite) da bacia: Para tanto foi utilizado o software ArcGis 10.3, acessando as ferramentas apresentadas na Figura 5.



FIGURA 5 – Fluxograma apresentando a sequência de procedimentos usados no software ArcGis 10.3 para obtenção de mapas temáticos e cálculo de parâmetros físicos e morfométricos na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT

- Rede de drenagem (cursos principais): a partir do limite já existente, foi sobreposta a hidrografia de todo o estado do Mato Grosso junto ao limite. Foi feita a clipagem (corte) das cartas para trabalhar somente com a hidrografia dentro da área de estudo.

- Curvas de nível: o mesmo procedimento de clipagem foi adotado para a realização deste mapa. A partir das curvas foi possível obter dados importantes sobre a altitude do terreno.
- Modelo Digital de Elevação (MDE): A base de dados SRTM necessita de uma série de tratamentos. Para tanto, utilizou-se a extensão de processamento *raster* para ArcInfo, a qual permite realizar análises de relações espaciais cartográficas, por meio de operadores de álgebras de mapas, entre as cadeias de números referenciados (os *rasters* propriamente dito), com controle da geometria da grade de saída (tamanho da célula, extensão, máscara de análise e projeção). Os MDEs são gerados por interferometria de radar. Os dados originais estão disponíveis em formato raster, com resolução radiométricas de 16 bits, em formato TIFF, projeção geográfica, elevações referenciadas para o geóide WGS84 EGM96 e datum horizontal WGS 84 Miranda (2005), assim para melhores resultados as imagens foram processadas para o sistema de referência SIRGAS 2000 com auxílio de software SIG.

A partir da delimitação da área, do perímetro e dados planialtimétricos da bacia, obtidos a partir do SIG, foi possível determinar as características físicas. As principais características físicas da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra obtidas por meio de programa SIG, foram: área, perímetro e comprimento axial da bacia, comprimento do rio principal, extensão total da rede de drenagem, altitudes máximas e mínimas e extensões das curvas de nível dentro da área da bacia.

3.2.1.1. Área de Drenagem e Perímetro

Para a caracterização da Bacia Hidrográfica considerou-se como toda área drenada pelo sistema fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal e o perímetro que constitui no comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005). A área de contribuição do Ribeirão Ponte de Pedra que, segundo esse parâmetro, define-se o rio principal de uma bacia hidrográfica como aquele que drena a maior área no interior da bacia, como apontado por Tucci (2012).

O cálculo da geometria da bacia hidrográfica, área (km²) e perímetro (km), foi realizado por meio do software ArcGis 10.3 utilizando as seguintes ferramentas: Calculate Geometry, contido na Attribute Table, desta forma o SIG pela extração das

coordenadas do arquivo da bacia, calcula Xmin, Ymin, Xmax, Ymax e avalia a área total e perímetro.

3.2.1.2. Indicadores das Características da Bacia Hidrográfica

Com base nas características físicas da bacia, formam determinados indicadores como: fator de forma (Kf) coeficiente de compacidade (Kc); índice de circularidade (Ic); frequência da rede de drenagem (Dr); sinuosidade do rio principal (Sin); coeficiente de manutenção (Cm); densidade de drenagem (Dd); razão de textura (T); declividade média da bacia (H); amplitude altimétrica (Hm); relação do relevo (Rr); índice de rugosidade (Ir) e coeficiente rugosidade (Cr), segundo relatado por Calil (2009) e Politano; Pissarra (2003), definidos na Tabela 1.

TABELA 1 – Atributos morfométricos e fisiográficos empregados na caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ponte de Pedra

Atributo	Abreviatura	Definição
Fator de forma	Kf	$kf = \frac{Lm}{L^2}$
Coeficiente de compacidade	Kc	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$
Índice de circularidade	Ic	$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2}$
Frequência da rede de drenagem	Dr	$Dr = \frac{N}{A}$
Sinuosidade do rio principal	Sin	$Sin = \frac{Lt}{L}$
Densidade de drenagem	Dd	$Dd = \frac{\sum L}{A}$
Coeficiente de manutenção	Cm	$Cm = \frac{1000}{Dt}$
Razão de textura	T	$T = \frac{Nt}{P}$
Declividade média da bacia	H	$H = 1000 \left(\sum Ln \frac{\Delta h}{A} \right)$
Amplitude altimétrica	Hm	$Hm = Hmáx - Hmín$
Relação de relevo	Rr	$Rr = \frac{Hm}{Lt}$
Índice de rugosidade	Ir	$Ir = Hm * Dd$
Coeficiente de rugosidade	Cr	$Cr = Dd * H$

L - comprimento axial da bacia (km); Lm - largura média da bacia (km); P - perímetro bacia (km); A - área da bacia (km²); N - número total de cursos d'água da bacia; Lt - comprimento do rio principal (km); $\sum L$ - extensão total dos cursos de água (km); Nt - relação entre o número total de segmentos de rios de 1ª ordem da bacia e seu respectivo perímetro; h - equidistância entre duas curvas de nível subsequentes (km); Ln - o comprimento das curvas de nível compreendidas na bacia (km); Hmáx - Hmín - diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia. Para o cálculo do Ic - índice de circularidade (adimensional), A é a área de drenagem (km²) e P o perímetro (km).

3.2.1.2.1. Forma da Bacia

Para a determinação da forma da bacia hidrográfica, foram considerados os seguintes coeficientes:

a) Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia com a de um círculo, constituindo a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia.

b) Fator de Forma (K_f)

O fator de forma (K_f) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Para sua obtenção, o comprimento mais longo é medido desde a desembocadura até à cabeceira mais distante da bacia.

A largura média L_m foi obtida dividindo-se a área A pelo comprimento da bacia L , conforme a equação 1:

$$L_m = \frac{A}{L} \quad \text{Equação 1}$$

em que, L_m é a largura média da bacia (m ou km), L o comprimento da bacia, ou seja o comprimento do rio mais longo (m ou km), A é a área da bacia (m^2 ou km^2).

O fator de forma constitui um índice da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita às enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma.

3.2.1.2.2. Índice de Circularidade

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade (I_c) tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. Miller (1953) menciona que o índice de circularidade representa a relação existente entre o perímetro da bacia e a área que possui.

3.2.1.2.3. Sistema de Drenagem (Ordem)

A caracterização do sistema de drenagem, ou determinação da ordem da bacia indica o grau de ramificação ou bifurcação dentro da bacia. A ordem dos cursos d'água foi determinada de acordo com os critérios de ordenamento de Strahler (1957) em que se numera todos os cursos d'água, a partir da nascente, de montante para jusante, colocando ordem 1 nos trechos sem confluência (TORRES, 2012).

Segundo critérios propostos por Christofolletti (1980), com o objetivo de definir os rios principais, foram medidas as distâncias ao longo dos cursos de água desde suas desembocaduras (áreas de confluência com o rio Vermelho) até sua respectiva nascente, medida como a soma do comprimento dos seus ligamentos.

a) Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é definida como a soma do comprimento de todos os cursos d'água no interior da bacia, incluindo cursos efêmeros ou intermitentes, dividida pela área da bacia (COSTA; LANÇA, 2001).

Em uma região com características climáticas relativamente homogêneas, a densidade de drenagem é função principalmente das características do solo e da litologia da bacia hidrográfica. Quando os solos e a litologia são mais permeáveis (solos arenosos e rochas de arenito, por exemplo), a densidade de drenagem é mais baixa. Quando os solos são menos permeáveis, ou são rasos, e as rochas do subsolo são menos porosas e apresentam baixa permeabilidade, a densidade de drenagem é mais alta (COLLISCHONN, 2015).

b) Padrão de Drenagem

Os padrões de drenagem dizem respeito ao arranjo dos cursos de água, o que é influenciado pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela geomorfologia da região e pelas diferenças de declive. Para identificar o padrão de drenagem da bacia foi utilizada a metodologia adotada por Costa; Lança (2001).

3.2.1.2.4. Declividade do Curso d'Água Principal e Hipsometria (elevação)

O arquivo raster com valores de declividade e a hipsometria (elevação) foram gerados por meio de dados altimétricos fornecidos pelas imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), o qual fornece modelo digital de elevação (MDE). De posse do MDE da Bacia Hidrográfica Ribeirão Ponte de Pedra, foram computados os valores de declividade para toda sua extensão. Em seguida, a imagem gerada foi fatiada, permitindo a geração de distintas classes conforme indica o Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico, Classificação de Terras (EMBRAPA, 2006). Além disso, a análise seguiu as orientações de IBGE (2015). Depois desses procedimentos, obteve-se o mapa de declividade e hipsométrico.

Pela metodologia adotada, a declividade foi representada em seis diferentes classes (Tabela 2), as quais possibilitaram qualificar o relevo de acordo com a inclinação da superfície em relação ao plano do horizonte.

TABELA 2 – Classe de declividade definidas na área de estudo

Nome da Classe	Declividade (%)
Plano	0 - 3
Suave ondulado	3,1 - 8
Moderadamente ondulado	8,1 - 13
Ondulado	13,1 - 20
Forte ondulado	20,1 - 45
Montanhoso ou escarpado	> 45

Para a hipsometria (elevação) utilizou-se o método de “quantil (quantile)” para a determinação dos intervalos na legenda, divididos em quatro classes (Tabela 3), o que permitiu visualizar melhor as irregularidades no padrão de distribuição das altitudes no terreno.

TABELA 3 – Classes altimétricas definidas na área de estudo

Número da Classe	Altitude (m)
1	196,00 – 447,25
2	447,25 – 489,50
3	489,50 – 538,42
4	538,42 – 763,00

A obtenção da altimetria do canal fluvial principal, para gerar o perfil longitudinal, foi realizada no software ArcGis 10.3 utilizando-se as ferramentas apresentadas na Figura 6.



FIGURA 6 – Fluxograma com a sequência de procedimentos usado no software ArcGis 10.3, para obtenção da altimetria do canal fluvial principal, para gerar o perfil longitudinal na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT

Após extrair a altitude, as informações foram trabalhadas em um programa de planilhas eletrônicas para gerar um gráfico (de dispersão) o qual representa o perfil.

3.3. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para a análise da qualidade da água foram considerados três pontos amostrais, a descrição dos locais coletados estão na Tabela 4 e ilustrados da Figura 7. As escolhas dos pontos de amostragens foram realizadas tentando diversificar os trechos, no intuito de ampliar a representatividade da qualidade da água na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra.

TABELA 4 – Descrição dos locais de coleta

Ponto	Local da Coleta	Sigla	Coordenadas (UTM)
1	Montante das PCHs Eng ^o José Gelásio da Rocha e Rondonópolis.	PC1	Latitude 16.66844444 Longitude: 54.73941667
2	Montante das PCHs Eng ^o José Gelásio da Rocha e Rondonópolis.	PC2	Latitude: 16.66655556 Longitude: 54.73550000
3	Jusante das PCHs Eng ^o José Gelásio da Rocha e Rondonópolis.	PC3	Latitude : 16.64683333 Longitude: 54.72836111

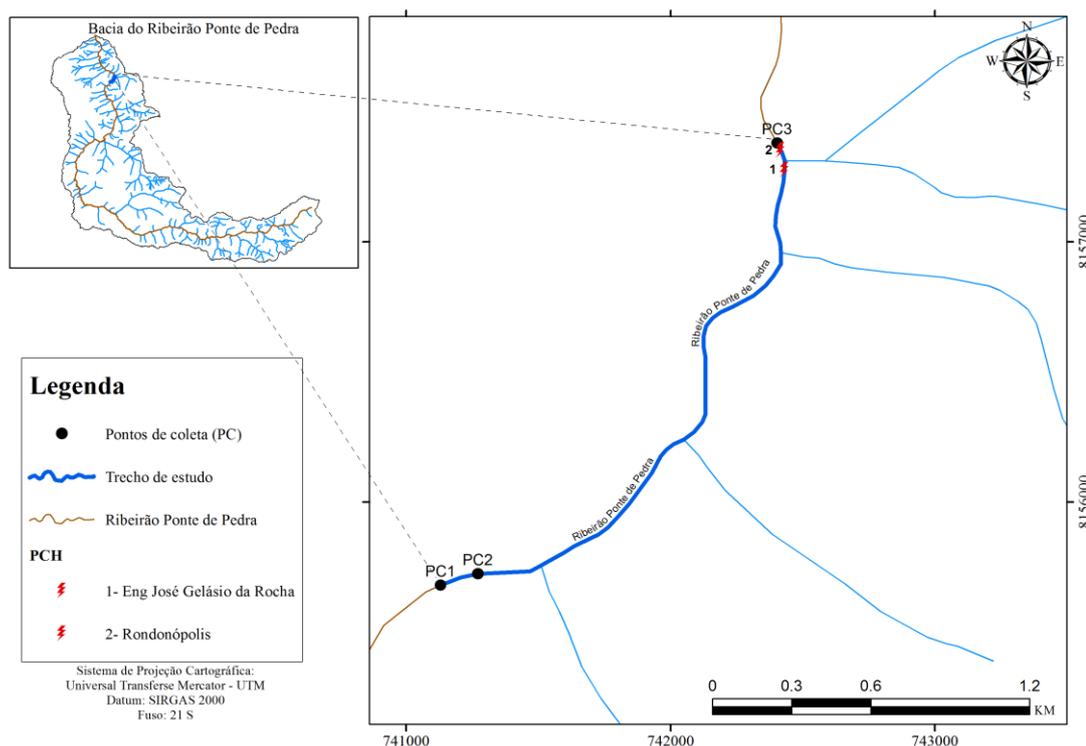


FIGURA 7 – Hidrografia, localização dos pontos de coleta e das hidrelétricas no trecho em estudo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT

As coletas, para avaliação da qualidade da água, foram realizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente em 22 eventos entre 2007 e 2017 (Tabela 5) por meio de monitoramento semestral. As amostras de cada período foram coletadas

no mesmo dia e em 3 pontos distintos, sendo 11 meses no período de chuva (janeiro) e 11 meses no período estiagem (julho).

TABELA 5 – Datas, períodos e números de amostras de água coletadas na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra entre 2007 e 2017

Data	Frequência	Período	Número de Locais de Coleta	Número de amostras / local de coleta	Número de amostras / período
Jan.07 a Jan.17	mensal	chuva	3	11	33
Jul.07 a Jul.17	mensal	estiagem	3	11	33

A temperatura da água (°C), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$, corrigida a 25°C), pH foram medidas em campo por meio de uma sonda multiparâmetros (YSI Professional Plus (Pro Plus), YSI)

As análises laboratoriais, assim como as coletas, foram realizadas seguindo as normas da APHA (Standard Methods, 22ª ed., 2012), CETESB (2011) e ABNT (1992), conforme a Tabela 6.

TABELA 6 – Síntese dos métodos de coleta e análise de água

Parâmetro	L.D.	Armazenamento da amostra-coleta	Preservação da amostra	Método analítico
Cor verdadeira	2,00	Frasco de polietileno	Refrigeração	SMWW 2120 C - D
Turbidez	0,01			SMWW 2130 B
Sólidos em suspensão	1,00			SMWW 2540 D
Nitrato ($\text{NO}_3^- \text{N}$)	0,01			ABNT – NBR 12620
Nitrogênio Kjeldahl total	0,01	Frasco de vidro âmbar	Ácido sulfúrico	ABNT – NBR 13796
Nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+ \text{N}$)	0,01			SMWW4500NH3F, adaptado
Fósforo total ($\text{PO}_4^{3-} \text{P}$)	0,01			SMWW 4500P - E

L.D.: Limite de detecção do método.

3.4. DINÂMICA DE OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise da dinâmica de ocupação do solo foi realizada utilizando base de dados disponibilizados em sites de acesso público como do Projeto Mapbiomas (coleção 3.1), para vegetação e usos do solo, e MMA e Serviços Geológicos do Brasil - CPRM para hidrologia, geologia e pedologia (base de dados 2007). A partir disso, foram realizados mapas utilizando o programa ArcGis 10.3.

Para produção de mapas de uso e cobertura da terra (UCT), via os produtos do MapBiomas foi realizado o procedimento a seguir:

- 1) Baixar os produtos (2007 - 2017) de UTC na plataforma do MapBiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019);
 - 2) Recortar (clipar) todos os mapas para a área de estudo (Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra) no programa ArcGis ;
 - 3) Reclassificação dos produtos em 5 classes (Floresta; Formação Natural não Florestal; Agropecuário; Área não Vegetada; Corpos d'água) segundo a classificação do MapBiomas;
- 3.1 Criação de um modelo de reagrupamento das sub-classes em 5 classes com o programa Dinâmica-EGO (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009);
- 3.2 Criação de uma iteração deste modelo sobre todos os mapas (Figura 8);
- 3.3 Esse modelo devolve como saída todos os mapas reclassificados em 5 classes de UCT em formato.tif.
- 4) Cálculo da área de cada uma das 5 classes por cada ano;
 - 5) Criação de um modelo Figura 9 que calcula a área de cada classe por cada ano iterativamente;
 - 6) Esse modelo tem como saída uma tabela com as áreas calculadas (Figura 9).

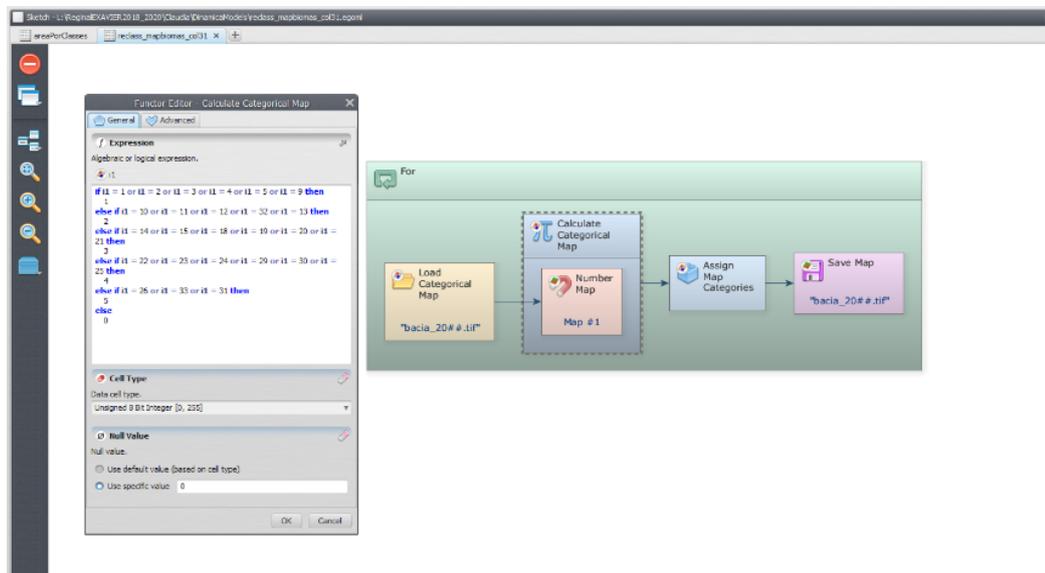


FIGURA 8 – Modelo de reclassificação de cobertura do solo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra usando Dinâmica – EGO

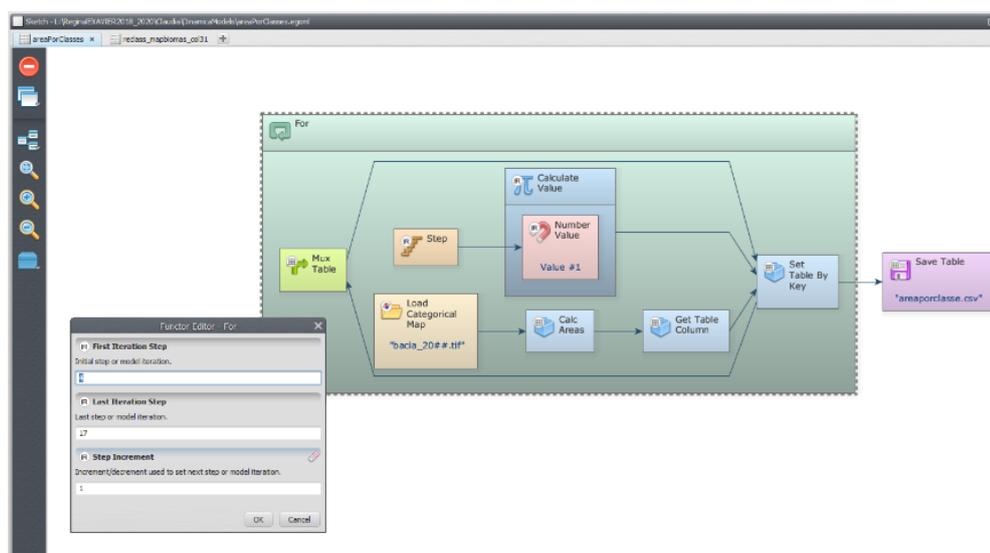


FIGURA 9 – Modelo de cálculo das áreas por classe de cobertura do solo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra usando Dinâmica – EGO

3.5. TRATAMENTO DOS DADOS

A descrição e a análise estatística dos dados foram feitas no *software* R versão 3.6.1 (R Development Core Team, 2019).

As análises gráficas foram feitas a partir de *boxplot* obtidos do *software* SigmaPlot versão 11.0. Na sequência estão explicados os métodos utilizados.

3.5.1. Análise de Variância (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística usada para comparação de mais de dois níveis de uma ou mais variáveis de teste. No início calcula-se a média e o desvio padrão para os diferentes níveis das variáveis testadas e realiza-se uma análise gráfica para verificar se existe uma diferença entre elas, ou seja, se as diferenças são significativas ou é simplesmente uma variação de médias amostrais.

Na ANOVA a hipótese nula (H_0) usada é que não exista diferença significativa entre as variáveis do teste, ou seja, as médias amostrais está centrada em um mesmo valor.

$H_0 = \mu_{Pc1} = \mu_{Pc2} = \mu_{Pc3}$, sendo: μ_{Pc1} = média das variáveis no ponto de coleta 1; μ_{Pc2} = média das variáveis no ponto de coleta 2; e μ_{Pc3} = média das variáveis no ponto de coleta 3.

Outra hipótese alternativa (H_1) é que pelo menos uma dos níveis da variável tenha diferença na média, ou seja:

$$H_1: \begin{cases} \mu_{Pc1} \neq \mu_{Pc2} \text{ e/ou} \\ \mu_{Pc1} \neq \mu_{Pc3} \text{ e/ou} \\ \mu_{Pc2} \neq \mu_{Pc3} \end{cases}$$

Para avaliar estas hipóteses, ou seja, para concluir positivamente pela aceitação ou pela rejeição a suposição é que se a hipótese nula (H_0) for verdadeira a estimativa da variância desta população de resultados ela pode ser feita de duas maneiras:

1ª) a partir da variância amostral (variação de cada uma das amostras), como no estudo temos 3 pontos de coleta uma melhor estimativa de variância amostral é dada pela média entre as 3 variâncias.

2ª) estimar a variância a partir da variância da distribuição de médias amostrais, ou seja, como no estudo tem-se 3 pontos de coleta de uma população única de resultados, essas três amostras pertencem a uma distribuição de médias amostrais cuja variância, desta distribuição de médias amostrais, se relacionam com a variância da população de resultados que gerou a amostra. Esta relação é dada por n que é o tamanho das amostras usadas para o cálculo das médias amostrais.

Esta relação entre as duas estimativas define uma estatística que é a estatística F (Fisher), cuja distribuição de probabilidades é tabelada e é calculada pela relação entre a estimativa a partir da variância entre as médias amostrais e a estimativa a partir da variância dentro das médias.

Se o valor de F calculado for grande, ou seja, muito maior que 1 significa que estamos tentando estimar uma variância, mas na verdade temos resultados muito diferentes o que nos leva a supor que não temos uma população única de resultados nós temos então diferentes populações com a mesma variância mais centradas em valores diferentes, logo, isso nos leva a rejeição da hipótese nula (H_0).

De outro modo se o valor de F for 1 ou aproximadamente 1 a hipótese inicial H_0 não foi rejeitada, ou seja, temos 2 formas de estimar a variância. Portanto, isso nos leva a aceitar ou não rejeitar a hipótese nula (H_0) (VIEIRA,2006).

A análise de variância (ANOVA) no estudo foi realizada no *software* Sigma Plot versão 11.0 , onde foi verificado o nível de significância de cada variável

separados pelos períodos de chuva (janeiro) e estiagem (julho) nos pontos de coleta (PC1, PC2 e PC3).

As variáveis analisadas foram: Temperatura da água, pH, condutividade, turbidez, cor, fósforo total, nitrogênio total, nitrato, nitrogênio amoniacal e sólidos em suspensão.

O período de estudo considerado foi 2007 a 2017. Optou-se pelo ano de 2007 em função do início de funcionamento das PCHs Engenheiro José Gelásio da Rocha e Rondonópolis que estão inseridas no curso d'água objeto deste estudo e pela disponibilidade de informações no MAPBIOMA com imagens até 2017.

3.5.2. Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. Inicialmente descrita por Pearson (1901) e, posteriormente, uma descrição de métodos computacionais práticos desenvolvido por Hotelling (1933, 1936), com o objetivo de analisar as estruturas de correlação. Esta técnica estatística de análise multivariada objetiva transformar linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original.

A ACP é a técnica mais conhecida associada à redução de massa de dados, com menor perda possível da informação, contudo é importante ter uma visão conjunta de todas ou quase todas as técnicas da estatística multivariada para resolver a maioria dos problemas práticos, também é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados (MANLY, 1986 ; HONGYU, 2016).

Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (JOHNSON; WICHERN, 1998; HONGYU, 2016).

O gráfico “variables factor map”- PCA é utilizado para identificar quais variáveis têm o maior efeito em cada componente. As cargas fatoriais podem variar de -1 a 1. As cargas fatoriais próximas de -1 ou 1 indicam que a variável influencia fortemente o componente. As cargas fatoriais próximas de 0 indicam que a variável tem uma influência fraca no componente.

Neste estudo, após a análise de variância (ANOVA) explicado no item 3.5.1 anterior, foi realizada a análise de componentes principais (ACP) para verificação dos autovalores e autovetores utilizando o *software* R versão 3.6.1 (R Development Core Team, 2019). Para os procedimentos de estatística multivariada utilizou-se o pacote *FactoMineR* e *Factoextra*.

Para a ACP foram utilizados as variáveis temperatura da água, pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, fósforo total, nitrogênio total, nitrato, nitrogênio amoniacal e sólidos em suspensão.

Para selecionar o número de componentes foi utilizado o screeplot (gráfico de cotovelos) com porcentagem de pelo menos 70% para os primeiros componentes.

Para selecionar o número de componentes a usar com base no tamanho dos autovalores foram utilizados os gráficos *scree*. Neste caso, o padrão ideal é uma curva acentuada, seguida de uma dobra e depois de uma linha reta. Deve-se usar os componentes na curva acentuada antes do primeiro ponto que inicia a tendência da linha. O critério de Kaiser que escolhe todos os componentes dos autovalores superiores a 1(um) foi utilizado neste estudo.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA

A Tabela 7 apresenta o resumo dos atributos das características fisiográficas e morfométricas da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra.

A Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra/MT tem uma área de drenagem de 2.102,12 km² e perímetro de 369,63 km (Tabela 7).

As características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ponte de Pedra/MT indicam uma área pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos extremos, esse fato foi confirmado pelo coeficiente de compacidade com valor afastado da unidade (2,26) e, quanto ao seu fator de forma, exibir um valor baixo (0,002).

O índice de circularidade foi 0,19 indicando que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência a forma alongada. Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (MILLER,1953; SCHUMM,1956). Em bacias com forma circular, há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (cheias rápidas), o que não ocorre em bacias alongadas.

A densidade de drenagem foi 0,72 km/km². A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia, pois esses valores permitem o planejamento do manejo da bacia hidrográfica, sendo que valores 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km² ou mais, em bacias bem drenadas, indicando que a bacia em estudo possui baixa capacidade de drenagem (CARDOSO et al., 2006).

TABELA 7 – Atributos fisiográficos e morfométricos da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra

Atributos fisiográficos e morfométricos		Resultados	Unidade
Geométricas	Área	2.102,12	Km ²
	Perímetro	369,63	km
	Índice de Circularidade (Ic)	0,19	-
	Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,26	m m ²
	Fator de Forma (Kf)	0,002	-
	Frequência da Rede de Drenagem (Dr)	0,62	-
Relevo	Cota máxima da bacia	763	m
	Cota mínima da bacia	196	m
	Altitude média	480	m
	Índice de sinuosidade (Sin)	2,05	Km/km
	Razão de Relevo (Rr)	0,03	m/m
Rede de Drenagem	Cota máxima do canal	689,09	m
	Cota mínima do canal	199	m
	Amplitude altimétrica do canal	490,09	m
	Densidade de drenagem (Dd)	0,72	km km ²
	Comprimento do canal principal	162,27	km
	Comprimento axial	78,79	km
	Comprimento dos canais de 1ª ordem	827,69	km
	Comprimento dos canais de 2ª ordem	332,88	km
	Comprimento dos canais de 3ª ordem	160,26	km
	Comprimento dos canais de 4ª ordem	65,39	km
	Comprimento dos canais de 5ª ordem	130,14	km
	Comprimento total dos canais	1.516,36	km
	Nº de canais de 1ª ordem	657	-
	Nº de canais de 2ª ordem	289	-
	Nº de canais de 3ª ordem	149	-
	Nº de canais de 4ª ordem	61	-
Nº de canais de 5ª ordem	154	-	
Nº total de canais	1310	-	

4.1.1. Hierarquia dos Cursos D'Água

O sistema de drenagem da bacia em estudo, de acordo com a hierarquia de Strahler, possui ramificação de quinta ordem.

Com relação a hierarquia na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra possui 1310 cursos d'água. Deste total, 50,15% são de ordem um, ou seja, nascentes, 22,06% são de

ordem dois, 11,37% são de ordem três, 4,66% são de ordem quatro e 11,7 6% são de quinta ordem (Figura 10, Tabela7).

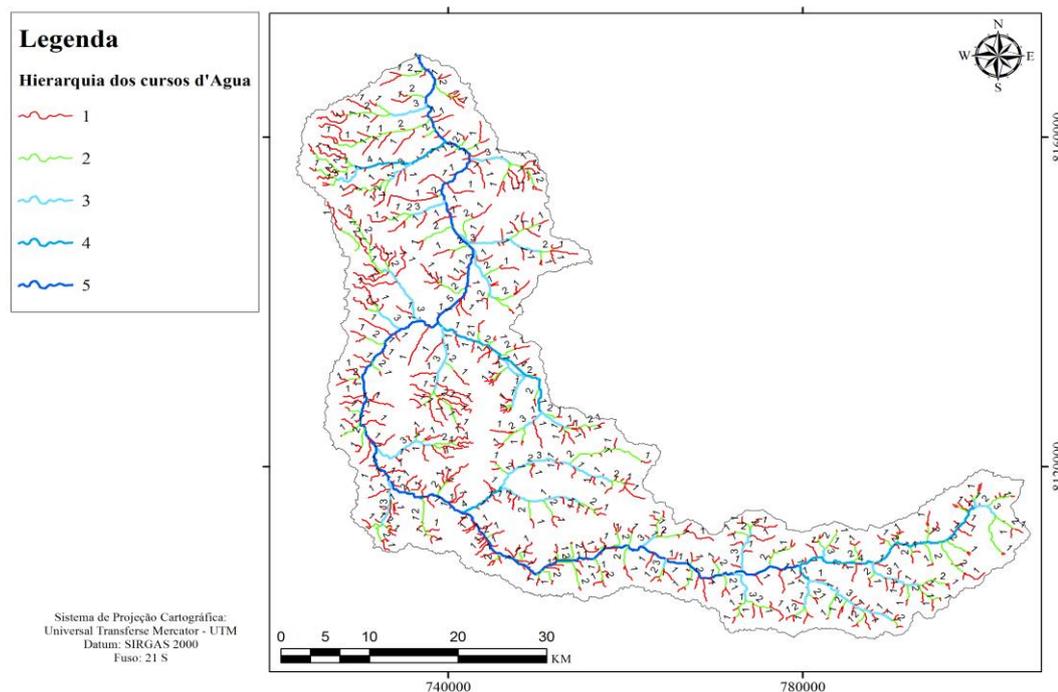


FIGURA 10 – Mapa de ordenamento dos cursos d'água da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso

4.1.2. Altimetria da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra

A Figura 11 apresenta a elevação da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, em que as maiores altitudes predominam as regiões das nascentes, principais formadoras do Ribeirão Ponte de Pedra. A bacia apresentou altitude média de 480 m, com máxima e mínima altitude de 763 m e 196 m, sendo assim um desnível de 567 m. E, 50% das declividades da bacia estão concentradas entre 447,5 a 538,42 m conforme box – plot (Figura 11).

As características do relevo indicam a proporção na qual um processo erosivo se desencadeia, visto que descrevem os processos relacionados com o desenvolvimento da topografia e da conformação das bacias hidrográficas, assim quanto maior desnível de um terreno maior probabilidade de processos erosivos (PISSARA et al., 2004). Entretanto, para analisar os processos erosivos de uma bacia hidrográfica além da sua forma de relevo, deve-se associar parâmetros como características do solo, cobertura solo, densidade de drenagem.

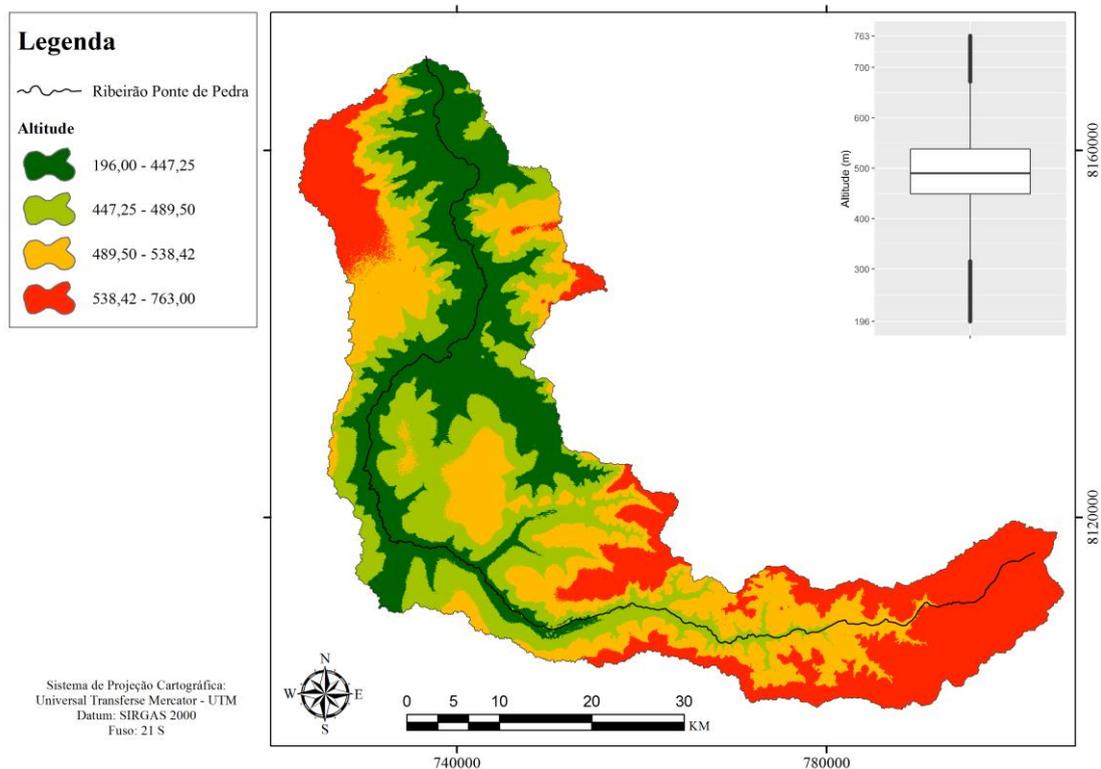


FIGURA 11 – Mapa de classes de elevação (hypsometria), com box-plot acoplado da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso

A partir de dados de altitude da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra (Figura 11), obteve-se se o perfil longitudinal no trecho em estudo (Figura 12). O PC1 localiza-se na cota 324,43 m, o PC2 na cota 331 m e PC3 na cota 265,22m, contemplando um trecho de estudo de 2,5 km.

A declividade equivalente do leito principal foi estimada pelo método da média aritmética, sendo 3,02 m/km e no trecho em estudo 23,68 m/km.

Comparando com outros rios de Mato Grosso, como por exemplo, Araguaia, Xingu e Guaporé com declividade de 0,5 m/km ou ainda com rios pantaneiros, cuja declividade varia entre 0,03 e 0,015 m/km, pode-se considerar a declividade equivalente do Ribeirão Ponte de Pedra elevada, o que resulta em menor tempo de concentração.

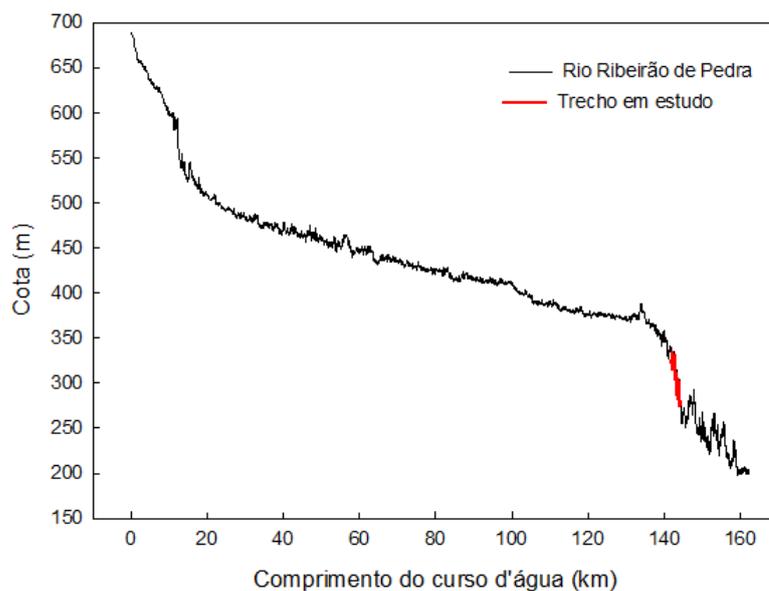


FIGURA 12 – Perfil longitudinal do curso d'água Ribeirão Ponte de Pedra/MT (linha sólida preta) e do trecho em estudo (linha sólida vermelha)

4.1.3. Declividade da Bacia

Pela distribuição das classes de declividade na Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, a predominância de declives entre as classes plano a moderado ondulado, com declividade média inferior a 10% (Figura 13), indicando forte predominância no trecho em estudo de Areias Quartzosas e Solos Litólicos (Figura 15) ocupados com 74,58% agropecuária, e 24,56 % com floresta (Figura 17).

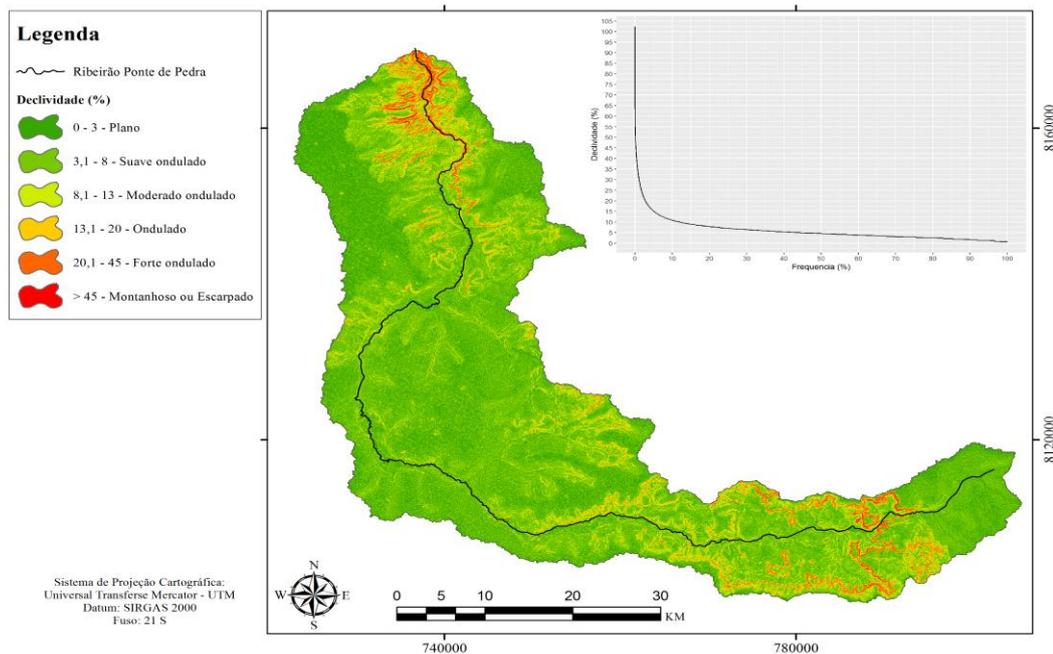


FIGURA 13 – Mapa de classes de declividade com gráfico de frequência acoplado da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso

Para Bordas e Semmelmann (2001), a produção de sedimentos em uma bacia pode ser dividida em três grandes compartimentos: os interflúvios ou vertentes, que constituem a área de captação e produção de sedimentos; os leitos ou calhas, em que se concentra o escoamento e que têm o papel principal realizar a propagação dos sedimentos produzidos pelos interflúvios até a saída da bacia; e as planícies aluviais ou várzeas, que circulam calhas e que funcionam como receptores dos sedimentos produzidos mais a montante.

Kramer e Meyer (1969) relatam que nas porções elevadas de uma bacia hidrográfica há maior erosão e transporte de sedimentos, devido principalmente à acentuada declividade dessas áreas, que acaba por gerar maiores velocidades de escoamento. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia, na medida em que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia, há muita formação de depósitos sedimentares, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui pelos terrenos (FOSTER, 1982).

Ainda segundo Walling (1983), a magnitude da taxa de entrega de sedimentos para uma determinada bacia é influenciada pela variação dos fatores geomorfológicos e ambientais, incluindo natureza, extensão e localização das fontes de sedimento, relevo e características do declive, padrão de drenagem e hidráulica de canais, cobertura vegetal, uso do solo, textura e estrutura do solo.

Segundo Carvalho (2011), os sedimentos que chegam ao curso d'água apresentam diversas formas, tamanhos e pesos, sendo submetidos a um processo de transporte diferenciado, de acordo com as condições do local e do escoamento. Uma das formas de transporte nos canais é a carga de sólidos em suspensão. Dentre o material particulado carregado em suspensão, os sedimentos mais finos, que compreendem as frações das classes silte e argila, possuem um padrão de velocidade de deposição distinto com relação a outros grãos maiores, sendo influenciado por fatores intrínsecos como a salinidade, a própria concentração de sedimentos e a matéria orgânica na coluna d'água, além da própria composição mineralógica.

4.2. FORMAÇÃO GEOLÓGICA E SOLOS DA BACIA RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA

A Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, na área de drenagem do presente estudo, se desenvolve sobre as formações e solos abaixo descritos, conforme os Mapas Geológico e de Solos (Figuras 14 e 15).

As litologias aflorantes na bacia pertencem as seguintes unidades litoestratigráficas: Grupo Paraná (formação Furnas e Ponta Grossa) de idade Devoniana; Grupo Itararé (Formação Aquidauana) de idade Carbonífera; Grupo Guatá (Formação Palermo) de idade Permiana; Grupo São Bento (Formação Botucatu) de idade Jurássica; Grupo Bauru de idade Cretácea; e Formação Cachoeirinha do Terciário. Os processos erosivos atuantes na região possibilitaram a formação de depósitos de aluviões recentes (LACERDA FILHO, 2004).

Em relação a geologia, a Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra é bastante heterogênea (Figura 14), as principais são descritas abaixo:

- Formação Ponta Grossa: Siltitos e folhelhos de cor cinza e violácea, com intercalações subordinadas de arenitos muito finos (DEL`ARCO et al., 1982).
- Formação Aquidauana: Constituída essencialmente por uma sequência sedimentar com intensa variação faciológica, predominantemente arenosa e de coloração vermelho arroxeadada, na qual distinguem-se dois níveis: superior - formado por arenitos com estratificação cruzada e siltitos vermelho-tijolo, finamente estratificados; Médio, com arenitos finos a muito finos, estratificação plano-paralela e intercalações de siltitos, folhelhos e diamictitos subordinados; Inferior, contendo arenitos avermelhados, com lentes de diamictitos, intercalações de argilitos, arenitos grosseiros esbranquiçados, arcóseos e conglomerado basal.
- Formação Furnas: ocorre nas porções norte e centro sul da bacia, principalmente, na borda leste da Serra de São Jerônimo e a Oeste da Serra da Onça. Na região da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra, esta unidade assenta-se, discordantemente, sobre os metassedimentos do Grupo Cuiabá que aflora na porção oeste da Serra de São Jerônimo e margens do rio Itiquira.

Sobrepondo-a, por passagem gradual e concordante, jaz a Formação Ponta Grossa e por discordância erosiva, a Formação Aquidauana, as coberturas arenosas da Formação Cachoeirinha e as Aluviões Recentes. Localmente observa-se contato

tectônico por falhamento normal com as formações Ponta Grossa e Aquidauana e com as rochas do Grupo Cuiabá.

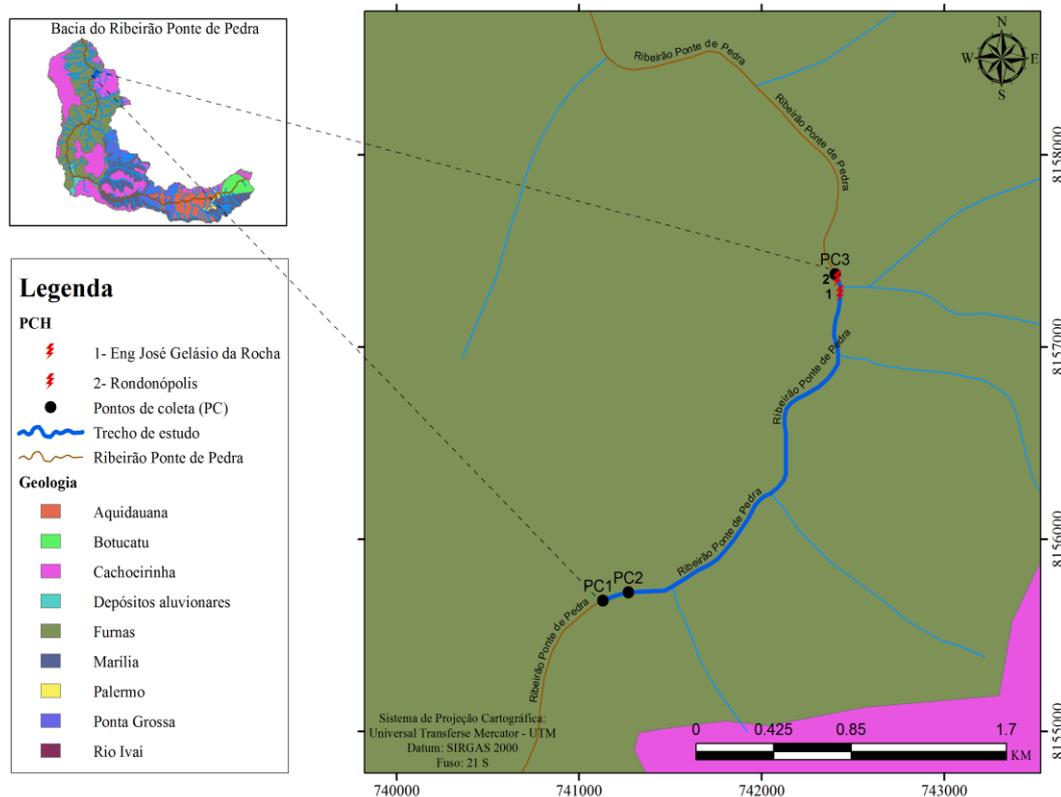


FIGURA 14 – Formação geológicas da área de estudo, Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso

A pedologia da Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra são representados, sua maioria, segundo Scilewski et al. (1998) e Sturza (1999), por Latossolo Vermelho-Escuro Álico, Podzólico Vermelho – Amarelo com equivalente eutrófico e distrófico, Areias Quartzosas Álicas e Areias Quartzosas.

A predominância nos trechos estudado foram de solos litólicos e areias quartzosas, conforme figura 15.

➤ **Litólicos Distróficos:** São solos imaturos, rasos, com no “maximo 50 cm ate o contato com o substrato rochoso, de textura e fertilidade variáveis, estando esta última relacionada, principalmente, ao material de origem e ao clima” (CUNHA; GUERRA, 1998). São muito pedregosos e bastante permeáveis.

Do ponto de vista químico, os solos desenvolvidos de arenitos são os mais pobres em nutrientes, apresentando-se com caráter distrófico ou álico.

➤ Latossolo Vermelho-Escuro Álico: São solos minerais, não hidromórficos, altamente intemperizados, com predominância de argilas. Apresentam sequência dos horizontes A, B e C. Compreendem solos do horizonte B textural de grande profundidade, bem drenados e textura variando de argilosa a muito argilosa. Desenvolvem-se sobre relevo plano e suave plano, principalmente na Serra de São Jerônimo e na Serra da Onça, na superfície plana do topo das Serras do Espigão Mestre e da Serra da Jibóia, tornando-se agricultáveis com adubação e a calagem.

➤ Podzólico Vermelho - Amarelo: Os Podzólicos Vermelho - Amarelo eutróficos, são solos ácidos desenvolvidos a partir de rochas da Formação Ponta Grossa, representando horizonte A moderado ou chernozêmico contendo ou não cascalhos e /ou concreções, com argila de atividades alta e baixa. Os relevos variam de ondulado a fortemente ondulado e são convertidos, em sua maioria, em pastagens, podendo render altas lucratividades nas culturas neles empregados.

Os Podzólicos Vermelho - Amarelo distróficos são solos ácidos, de estrutura fraca a moderada, desenvolvidos a partir de rochas da Formação Furnas. São solos de baixa fertilidade natural, porém devido ao relevo plano, apresenta boa aptidão agrícola, desde que corrigida a falta de nutrientes.

➤ Areias Quartzosas Álicas: São solos minerais desenvolvidos a partir de rochas de formações Furnas e Aquidauana; são permeáveis, porosos, não plásticos, sem estruturas desenvolvidas, constituídas por grãos simples. Os relevos dominantes são planos e suavemente ondulados. Estes solos são, em sua maioria, utilizados para pastagem, apesar de sua baixa fertilidade natural.

➤ Areias Quartzosas: São solos não hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em sua extensão do perfil e sequência de horizontes com pouca diferenciação, sendo formados em sua totalidade por minerais dificilmente intemperizáveis, na sua maioria, quartzo. São solos muito pobres, ácidos, “com baixa saturação por bases e normalmente com alta saturação por alumínio trocável, com deficiência de macro e micro nutrientes” (JACOMINE, 2001). Estas áreas quando desprovidas de cobertura vegetal tornam-se expostas à erosão devido a escassez de materiais agregados (argila e matéria orgânica).

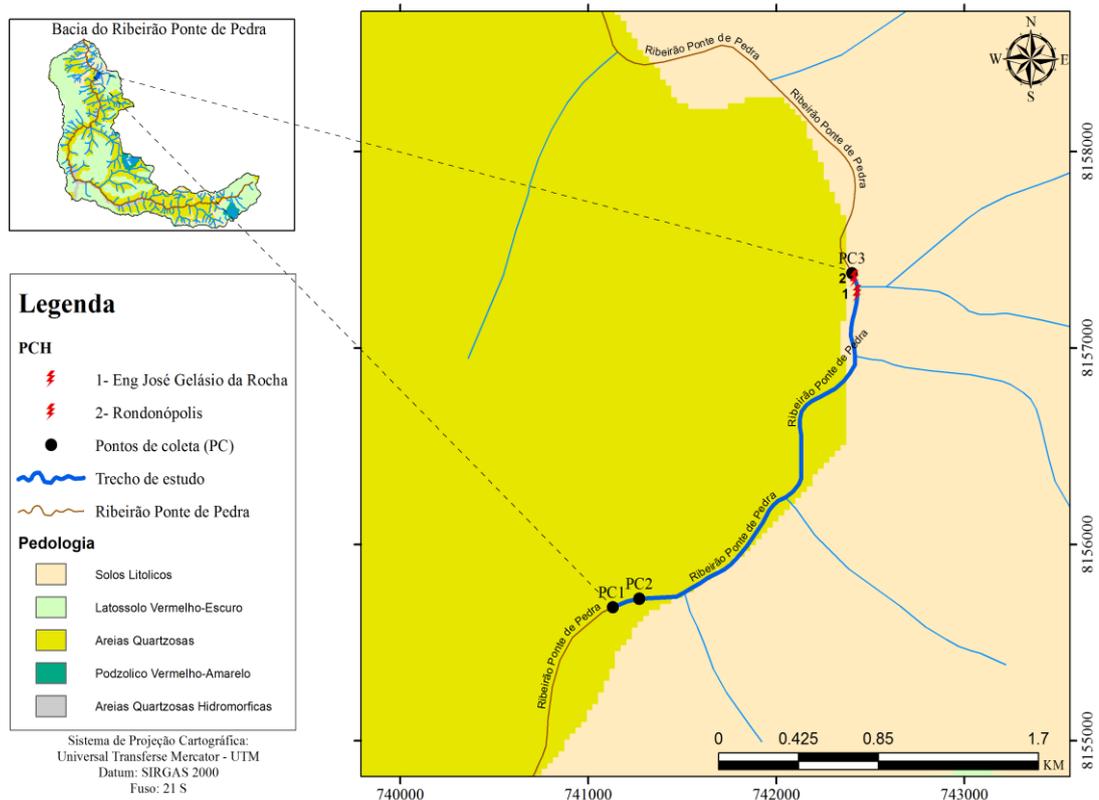


FIGURA 15 – Pedologia na área de estudo, Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso

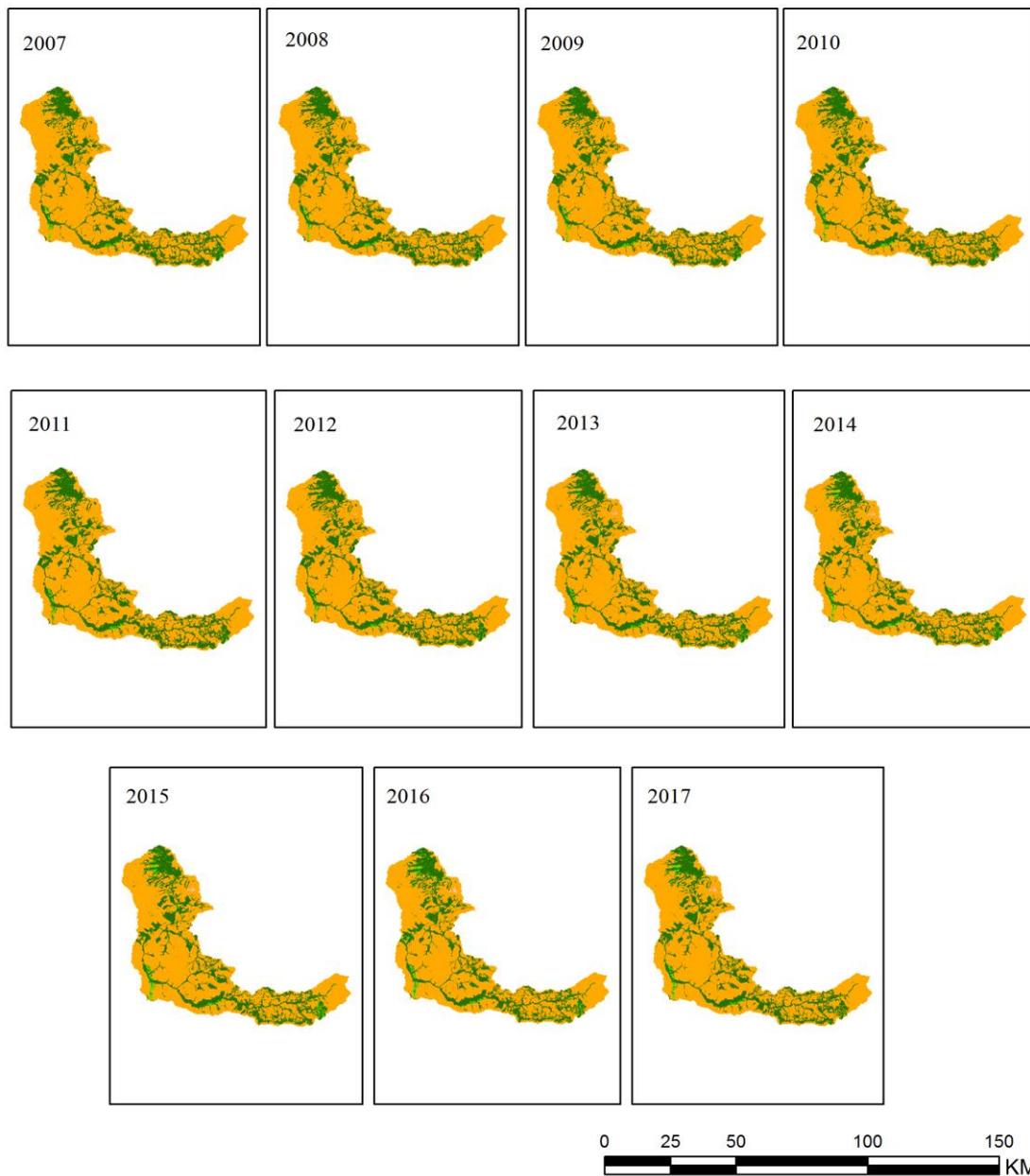
4.3. DINÂMICA DE OCUPAÇÃO E USO DA BACIA DO RIBEIRÃO PONTE DE PEDRA

Esta região possui vocação agrícola com culturas temporárias de soja, milho, algodão e criação extensiva de bovinos. A vegetação nativa é do tipo Formação Savânica, dos tipos: Cerrado e Cerradão, associada a vertentes e Floresta Estacional (SEPLAN, 2011).

Com relação a ocupação da bacia ocorreu a predominância da agropecuária com 74,58% nos anos de 2007 e 2017 seguido de área de floresta com 24,59% e 24,54% para os anos de 2007 e 2017 respectivamente (Figuras 16 e 17).

Ao ampliar as subdivisões da área ocupada a agricultura foi predominante com um aumento de cerca de 2 % entre os anos de 2007 e 2017 e uma redução quase proporcional, no mesmo período, com relação a área de pastagem (Figura 18).

Com relação a área de formação natural não florestal houve um acréscimo de quase 1% do ano 2007 a 2017, possivelmente devido a criação das Unidades de Conservação na confluência com rio Vermelho (Figura18).



Legenda

- Floresta
- Formação Natural não Florestal
- Agropecuária
- Área não vegetada
- Corpos D'Água

Sistema de Projeção Cartográfica:
 Universal Transverse Mercator - UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fuso: 21 S



FIGURA 16 – Dinâmica de uso e ocupação do solo da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso entre 2007 a 2017



FIGURA 17 - Dinâmica de uso e ocupação com percentuais de Floresta, Agropecuária, Corpos d'Água, Floresta Natural não Florestal e Área não Vegetada da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, MT entre 2007 a 2017

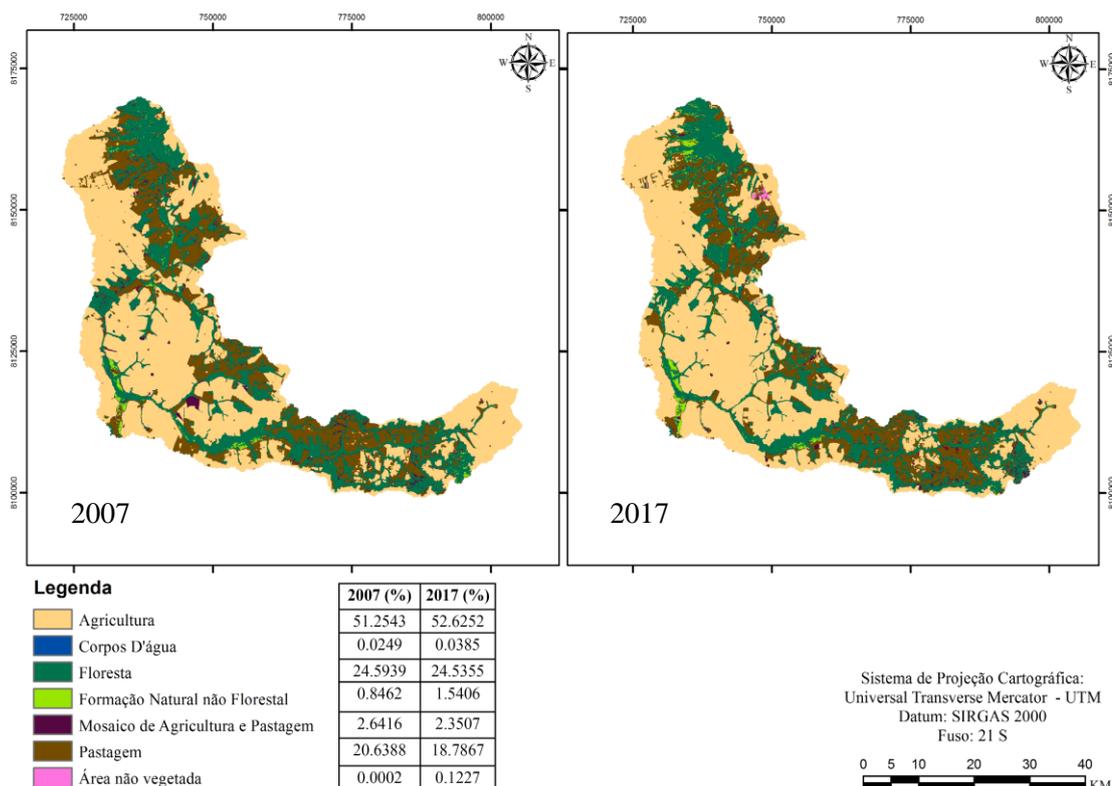


FIGURA 18 – Uso e ocupação do solo da Bacia Ribeirão Ponte de Pedra, Rondonópolis, Mato Grosso 2007 e 2017

4.4. QUALIDADE DA ÁGUA NOS PERÍODOS DE CHUVA E ESTIAGEM

As diferenças nos valores médios entre as variáveis física e químicas analisadas não foram grandes o suficiente para excluir a possibilidade de que a diferença seja devida à variabilidade da amostragem aleatória; ou seja não há diferença estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas nos pontos de coleta 1, 2 e 3 e para ambos os períodos de chuva e estiagem (Tabela 8).

TABELA 8 – Teste de significância de Fisher (F) entre as variáveis: temperatura da água ($T_{\text{água}}$), pH, condutividade (C), turbidez, cor, fósforo total (P_{total}), nitrogênio total (N_{total}), nitrato, nitrogênio amoniacal ($N_{\text{amon.}}$) e sólidos em suspensão (SS), por períodos de chuva e estiagem nos pontos de coleta (PC) 1, 2 e 3

Período	$T_{\text{água}}$	pH	C	Turbidez	Cor	P_{total}	N_{total}	Nitrato	$N_{\text{amon.}}$	SS
Chuva	0,814	0,245	0,977	0,983	0,960	0,800	0,959	0,864	0,909	0,991
Estiagem	0,822	0,508	0,896	0,963	0,946	0,893	0,975	0,765	0,289	0,696

Após a análise de variância (ANOVA), os pontos de coleta 1, 2 e 3 foram considerados como trecho único dando início a análise das variáveis de qualidade da água, nos períodos de chuva e estiagem.

a) Potencial Hidrogeniônico (pH)

Durante o período de chuva, detectou-se características ácidas a alcalinas, com um mínimo e máximo de pH 4,25 e 7,38, respectivamente, e média de 5,84. Já no período de estiagem um mínimo 4,38 e máximo 7,51, e média de 5,93 (Figura 19). Estes resultados estão de acordo com Pontes et al. (2012), que mencionaram em uma bacia em Minas Gerais durante o período de chuva, a qualidade de água foi mais ácida, indicando estar relacionado com o aumento do teor de ácidos orgânicos no local. E por Santi et al. (2012) em uma bacia no Acre, obtiveram resultados análogos, em períodos com pluviosidade mais elevada, indicando estar relacionado com as precipitações atmosféricas serem ácidas.

Os valores mínimos de pH ocorreram devido as características do solo da região, com predominância de solos litólicos e areias quartzosas (Figura 15), sendo solos muito pobres, ácidos e com deficiência de macro e micro nutrientes (JACOMINE, 2001).

Fatores naturais como a dissolução de rochas e a fotossíntese, ou fatores antrópicos como os esgotos domésticos e industriais também afetam o pH (VON SPERLING, 2007).

b) Temperatura da Água

No período de chuva mínima e máxima temperatura da água foi 25 °C e 31,1 °C, respectivamente, sendo a média 27,1 °C; e no período de estiagem a mínima e máxima temperatura da água foi 18 °C e 25,8 °C, respectivamente, com média 22,6 °C (Figura 19). Verificou-se os menores resultados ocorrido no período de estiagem, que coincidem com as menores temperaturas médias do ar, uma vez que esta é um dos principais fatores responsáveis pela variação da temperatura da água em rios. Com relação ao período de chuva, observou-se as maiores temperaturas da água que possivelmente deve estar relacionado a presença de maiores concentrações de sólidos em suspensão no mesmo período, condição que eleva o conteúdo de calor na água, pois esses materiais absorvem radiação subaquática (MAIER, 1978).

Os corpos de água naturais apresentam variações de temperaturas sazonais em razão do regime climático normal Oliveira et al. (2008), isso devido a fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia e profundidade influenciam a temperatura superficial. Considerando que o Ribeirão Ponte de Pedra é pouco profundo, houve forte influência da temperatura do ar sobre a temperatura da água durante o período de estiagem, entretanto, no período de chuva os tributários do Ribeirão Ponte de Pedra possivelmente influenciaram mais a temperatura da água do que a temperatura do ar em função do arraste do material em suspensão (Figura 19).

c) Condutividade Elétrica

Durante o período de chuva, as concentrações de condutividade elétrica foram maiores (Figura 19). Resultado similar foi obtido por Alvarenga et al. (2012) que avaliaram a qualidade da água em uma bacia afluenta ao rio Paraíba do Sul reportaram concentrações de condutividade elétrica de 26,00 a 50,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nos períodos de estiagem e chuva, respectivamente.

Von Sperling (2007), ressalta que a legislação vigente, referente a padrões de qualidade da água, não contempla a condutividade elétrica. Contudo, o mesmo autor em suas pesquisas constata que as águas naturais apresentam concentrações de condutividade elétrica na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figueiredo (2008) mencionou que na cabeceira do rio Casca/ MT e em quase toda a sua área de drenagem a predominância de solos do tipo Areias Quartzosas que de acordo com a autora são muito pobres em íons, com capacidade baixa de troca de cátions e de saturação de base, disponibilizando poucos íons aos corpos d'água da bacia em estudo, mantendo assim as águas com condutividade sempre baixas. Com relação a variação temporal da condutividade elétrica da água, não foi observada diferença significativa entre as épocas de chuva e estiagem.

d) Turbidez e Sólidos em Suspensão

O valor de turbidez máximo no período de estiagem possivelmente esteve relacionado ao momento de descarga de fundo das PCHs sendo um valor atípico já que as médias nos períodos de chuva e seca não oscilaram consideravelmente.

A turbidez atua como indicador da quantidade de sólidos suspensos na água. No trecho em estudo nota-se que a turbidez tem valores mais elevados no período de estiagem, com médias em faixas variadas, dependendo do período de chuva ou seco,

sendo no período de chuva o mínimo 6 NTU e máximo de 25 NTU e média em torno de 13 NTU. Já no o período de estiagem o mínimo foi 2 NTU e máximo 133 NTU, e a média em torno de 14 NTU (Figura 19, Tabela 9).

Neste sentido, foi considerado que a turbidez não esteve correlacionada com o nível de antropização, uma vez que não houve mudança significativa na cobertura e uso do solo (Figuras 16 e 17).

Analisando os limites para o parâmetro preconizados na resolução CONAMA 357/2005, constatou-se que os valores de turbidez enquadram-se predominantemente nas Classes 1 e 2 no períodos de chuva e estiagem.

Com relação aos sólidos em suspensão, no período de chuva, o mínimo foi 10 mg/L e máximo 56 mg/L e média 16 mg/L. Já no período de estiagem, o mínimo foi 3 mg/L e máximo 100 mg/L, e média 13 mg/L.

Ressalta-se que o valor máximo no período de estiagem acompanha o máximo no mesmo período de turbidez e ainda a média entre os dois períodos não alteram significativamente.

Figueiredo (2008), em estudo realizado no Rio da Casca/MT, observou as menores concentrações de turbidez e sólidos em suspensão no período de estiagem.

e) Cor Verdadeira

Os maiores valores de cor verdadeira ocorreram durante o período de chuva (Tabela 9), sendo aproximadamente três vezes maior que durante o período de estiagem, possivelmente em função do aumento da concentração de substâncias que conferem coloração a água levados no escoamento superficial e subterrâneo da bacia.

f) Fósforo Total

O fósforo é um nutriente limitante para o crescimento de algas e plantas aquáticas, estando relacionado ao processo de eutrofização dos recursos hídricos. Altas concentrações de fósforo e outros fatores (hidrodinâmicos, biológicos, físicos, químicos) desencadeiam o processo de eutrofização dos corpos d'água, caracterizado por uma grande proliferação da flora aquática que, em casos críticos, podem implicar em restrições do uso da água.

As variações das concentrações de P_{total} nos períodos de chuva e estiagem não foram significativas (Figura 19). O maior valor médio de P_{total} foi 0,48 mg/L durante o período de chuva (Tabela 9).

No período de chuva o valor mínimo 0,03 mg/L P; máximo 4,03 mg/L P e médio 0,48 mg/L P. Já no período de estiagem o valor mínimo 0,01 mg/L P; máximo 0,8 mg/L P e médio 0,13 mg/L P. O valor máximo encontrado no período de chuva pode estar relacionado com a mudança de cobertura do solo de pecuária para agricultura conforme observado na Figura 18, uma vez que o solo precisa ser preparado para receber determinada cultura usando calagem, defensivos agrícolas e nutrientes.

Em uma bacia hidrográfica, a topografia e a composição dos solos exercem razoável influência sobre o aspecto ótico das águas dos rios que a compõem, onde durante o período de chuva, grandes quantidades de partículas são erodidas do solo da bacia e carregadas pelas águas, resultando num acentuado aumento de turbidez bem como na concentração de sólidos em suspensão (MAIER, 1978). A mudança de uso e ocupação na bacia em estudo, de pecuária para agricultura (Figura 18) pode ter influenciado no aumento do aporte de materiais para o Ribeirão Ponte de Pedra, principalmente no período chuvoso, quando aumenta a erosão pela ação da chuva, indicado pelos valores de turbidez, fósforo e sólidos em suspensão na água e ocupação do solo por agricultura.

Destaca-se, um pico acentuado no período de chuva no trecho estudado, alguns estudos fazem inferência quanto a relação os usos do solo em áreas agrícolas com o aumento na concentração de fósforo em rios, advindos de fontes difusas (Figueiredo, 1996; Brigante et al., 2003), condição que possivelmente influenciou nas altas concentrações, destoantes das médias observadas. Considerando ainda que a principal fonte de fósforo para os ecossistemas aquáticos continentais provém de rochas da bacia (Esteves, 2011), torna-se difícil distinguir qual o grau de influência das condições naturais e antrópicas na variação do fósforo nesse ambiente aquático.

Com relação aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 observou-se que, os valores médios das concentrações de fósforo total para ambos os períodos são compatíveis com rios de Classes 3.

g) Série de Nitrogênio

O nitrogênio apresenta nos ambientes aquáticos nas seguintes formas: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4), óxido nitroso (N_2O),

nitrogênio orgânico dissolvido (aminas, aminoácidos) e nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) (LIMA, 2001).

Dentre os compostos nitrogenados dissolvidos na água, encontra-se uma forma ionizada, NH_4^+ , denominada íon amônio, ou simplesmente amônio, e outra não ionizada, NH_3 , conhecida como amônia. As duas formas juntas constituem a amônia total ou nitrogênio amoniacal total. Quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem da amônia total presente na forma de NH_3 não ionizada (forma tóxica) (PEREIRA; MERCANTE, 2005).

Ressalta-se que no trecho em estudo, período de estiagem, houveram maiores valores de pH refletindo na diminuição do nitrogênio amoniacal e aumento do nitrato, possivelmente devido ao nitrogênio amoniacal ser oxidado em nitrato pela ação das bactérias quimioautotróficas *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que transformam NH_4^+ em NO_2^- (nitrito) e NO_2^- em NO_3^- (nitrato) (VINÁTEA ARANA, 1997). Segundo Boyd (1989), as reações químicas são mais rápidas com pH entre 7 a 8 e temperaturas entre 25 a 35°C. Observa-se ainda valores de temperatura da água propícios para que tal fenômeno aconteça (Figura 19, Tabela 9). O contrário acontece no período de chuva com maiores concentrações de nitrogênio amoniacal e menores concentrações de nitrato no mesmo período mesmo com temperaturas propicias para o fenômeno de conversão acontecer mas, ressalta-se que o pH do meio encontra-se com características ácidas.

Outras fontes de nitrato podem ser da agricultura, devido aos fertilizantes a base de nitratos utilizados nos cultivos; ou da pecuária, devido a presença dos excrementos de animais. Com a precipitação, os níveis de nitrato podem aumentar, pois o esterco e a matéria orgânica presente no solo podem ser lixiviados ao manancial. Este fato foi verificado nos estudos realizados por Lee et al. (2010), pois nos pontos de amostragens próximos as atividades agropecuárias as concentrações de nitrato foram maiores.

No trecho em estudo foi verificado as seguintes concentrações para nitrogênio total período de chuva mínimo 0,12 mg/L, máximo 1,0 mg/L e média 0,47 mg/L. Já no período de estiagem mínimo 0,02 mg/L, máximo 5,0 mg/L e média 0,74 mg/L.

Segundo Von Sperling (2005), em um corpo d'água, a determinação da parcela predominante de nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição. Os compostos de nitrogênio, na forma orgânica ou de amônia, referem-se à poluição recente, enquanto que nitrito e nitrato à poluição mais remota.

Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

A presença de nitrogênio amoniacal na água pode indicar matéria orgânica em decomposição e que o ambiente está pobre em oxigênio. As análises dessas variáveis são usadas para avaliar o grau de eutrofização do corpo hídrico.

TABELA 9 – Estatística descritiva das variáveis temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidez (NTU), cor (uH), fósforo total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), nitrato (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L) e sólidos em suspensão (mg/L), nos períodos de chuva e estiagem no Ribeirão Ponte de Pedra, nos anos 2007 a 2017

Período de chuva										
Descrição	T _{água}	pH	C	Turbidez	Cor	P _{total}	N _{total}	Nitrato	N _{amon.}	SS
Mínimo	25,00	4,27	5,40	6,00	20,00	0,03	0,12	0,01	0,03	10,00
Mediana	27,00	5,87	7,37	12,00	67,00	0,19	0,50	0,08	0,14	11,60
Média	27,14	5,84	7,58	13,29	76,15	0,48	0,47	0,12	0,23	16,14
Máxima	31,10	7,38	10,26	25,00	169,0	4,03	1,00	0,35	0,55	56,00
Período de estiagem										
Descrição	T _{água}	pH	C	Turbidez	Cor	P _{total}	N _{total}	Nitrato	N _{amon.}	SS
Mínimo	18,00	4,38	3,10	2,00	3,00	0,01	0,02	0,01	0,01	3,00
Mediana	22,40	5,87	4,58	6,24	30,00	0,08	0,50	0,07	0,10	10,00
Média	22,65	5,93	5,36	13,83	34,55	0,13	0,74	0,14	0,18	12,83
Máxima	25,80	7,51	11,80	133,00	140,00	0,80	5,00	0,44	2,00	100,00

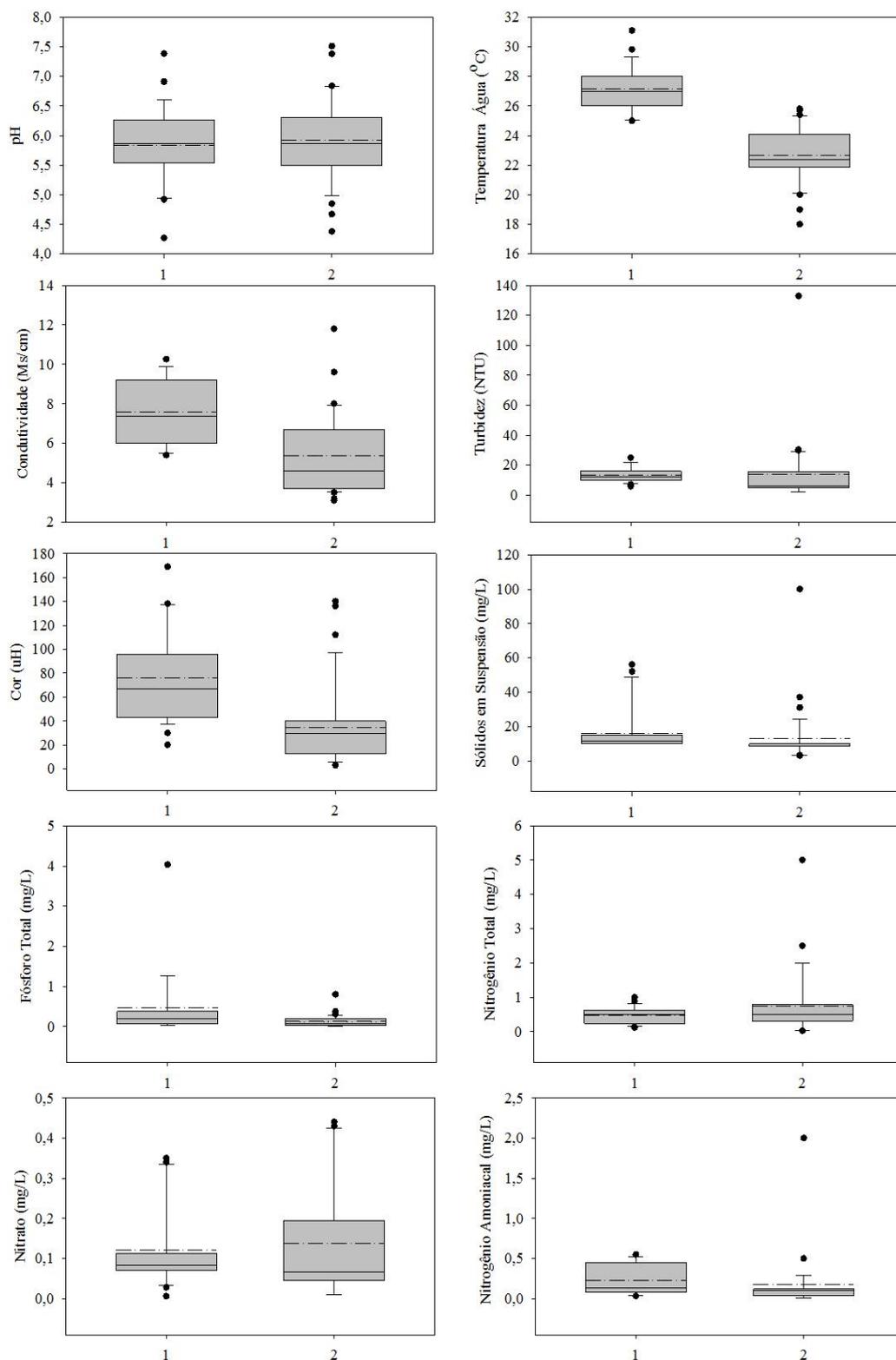


FIGURA 19 -Box – plot do pH, Temperatura da Água (°C), Condutividade elétrica (µS/cm), Turbidez (NTU), Cor (uH), Sólidos em Suspensão (mg/L), Fósforo Total (mg/L), Nitrogênio Total (mg/L), Nitrato (mg/L) e Nitrogênio Amoniacal (mg/L) em período de chuva (1) e estiagem (2) entre os anos 2007 a 2017. Linha preta sólida representa a mediana e a linha sólida ponto tracejada a média

4.5. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

4.5.1. Análise das Variáveis Físico – Químicas no Período de Chuva

O componente 1 (Dim 1) explicou 31,42% e o componente 2 (Dim 2) 24,20% da variabilidade dos dados, de modo que estas duas componentes juntas, explicaram 55,62% da variabilidade (Figura 20).

As variáveis condutividade elétrica, cor, fósforo total, nitrogênio total apresentaram maior efeito sobre o componente 1 (Dim 1), indicando que elas influenciaram o referido componente. Por outro lado, as variáveis temperatura da água, pH, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal e sólidos em suspensão apresentaram maior efeito e influenciaram a componente 2 (Dim 2). As modelagens dos auto vetores dos componentes 1 e 2 apresentados nas equações 2 e 3 corroboram com interpretação da Figura 20.

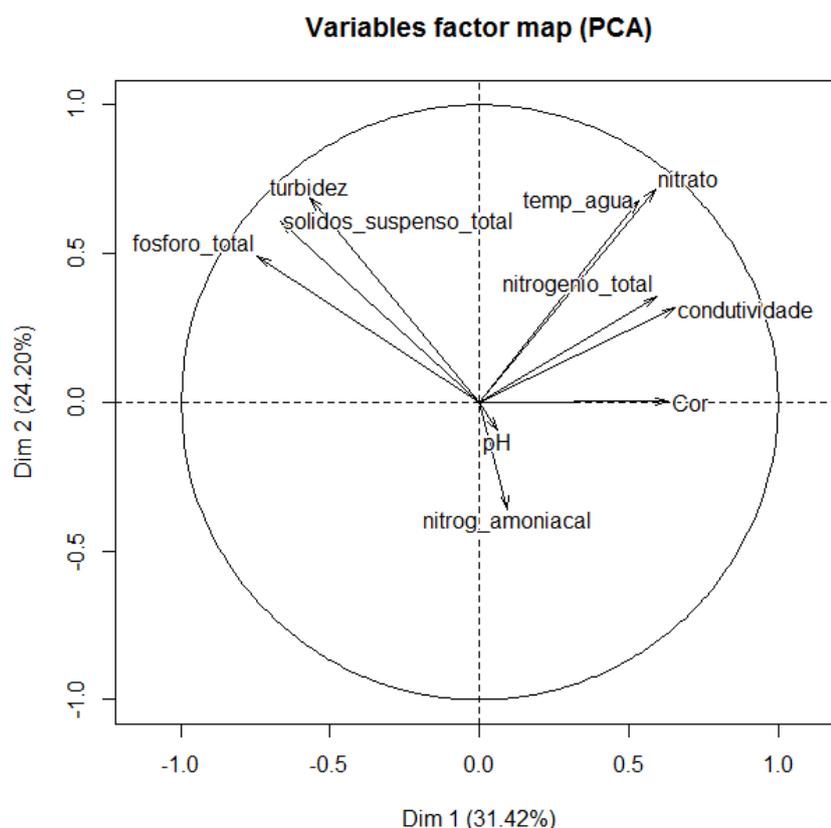


FIGURA 20 - *Biplot* da componente 1 (Dim 1) versus a componente 2 (Dim2) sobre as variáveis físico-químicas no trecho do Ribeirão Ponte de Pedra, Mato Grosso no período de chuva de 2007 a 2017

$$\text{Dim 1} = 9,06T_{\text{água}} + 0,12\text{pH} + 13,63\text{C} + 10,22\text{turbidez} + 12,7\text{Cor} + 17,57P_{\text{total}} + 11,22N_{\text{total}} + 10,98\text{Nitrato} + 0,28N_{\text{amon.}} + 14,18\text{SS} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Dim 2} = 18,91T_{\text{água}} + 0,36\text{pH} + 4,13\text{C} + 19,56\text{turbidez} + 0,0\text{Cor} + 10,03P_{\text{total}} + 5,18N_{\text{total}} + 21,21\text{Nitrato} + 5,33N_{\text{amon.}} + 15,28\text{SS} \quad \text{Equação 3}$$

A partir dos resultados apresentados na Figura 21, verificou-se os seguintes percentuais de variância explicada por cada um dos dez componentes principais: Componente 1 (31,4%), Componente 2 (24,2%), Componente 3 (15,6%), Componente 4 (10,7%), Componente 5 (8,1%), Componente 6 (5,1%), Componente 7 (1,9%), Componente 8 (1,6%), Componente 9 (1,1%) e Componente 10 (0,2%).

Deste modo, por meio da análise da Figura 21, e Tabela 10 e, utilizando o critério de Kaiser, recomenda-se a retenção dos componentes 1, 2, 3 e 4, respectivamente, na análise. Estes quatro componentes juntos, possuem um poder de explicação de 81,9% da variância total dos dados.

Ou seja, a análise destes quatro componentes principais, reduzirá número de dez variáveis da base de dados original para quatro, perdendo cerca de 18% das informações relacionadas a variabilidade dos dados.

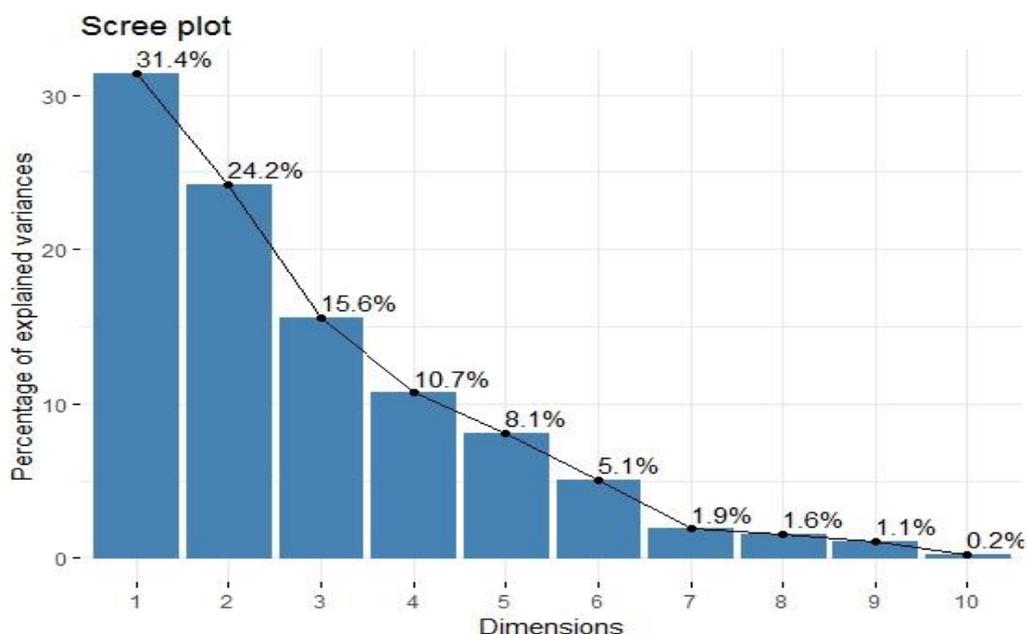


FIGURA 21 - Scree plot dos autovalores dos componentes principais, no período de chuva.

TABELA 10 – Autos valores e percentual da variância das componentes, no período de chuva

Componente	Valor	Percentual da Variância
1	3,14	31,42
2	2,42	24,19
3	1,56	15,61
4	1,07	10,71
5	0,81	8,12
6	0,51	5,09
7	0,19	1,89
8	0,16	1,59
9	0,11	1,11
10	0,02	0,24

4.5.2. Análise das Variáveis Físico – Químicas no Período de Estiagem

De acordo com o Biplot (Figura 22), o componente 1 (Dim 1) explicou 41,33% e o componente 2 (Dim 2) 23,26% da variabilidade dos dados, de modo que estas duas componentes juntas, conseguem explicar 64,59% da variabilidade.

As variáveis temperatura da água, condutividade, turbidez, cor, fósforo total, nitrato e sólidos em suspensão apresentaram maior efeito sobre o componente 1 (Dim 1), indicando que elas influenciaram o referido componente. Por outro lado as variáveis pH, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal apresentaram maior efeito e influenciaram a componente 2 (Dim 2). As modelagens dos auto vetores para as componentes 1 e 2 apresentados nas equações 4 e 5 corroboram com interpretação da Figura 22.

$$\text{Dim 1} = 11,39T_{\text{água}} + 2,18\text{pH} + 9,8C + 16,07\text{turbidez} + 21,15 \text{Cor} + 2,5P_{\text{total}} + 5,12N_{\text{total}} + 18,25\text{Nitrato} + 1,41N_{\text{amon.}} + 12,08 \text{SS} \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Dim 2} = 1,83T_{\text{água}} + 26,28\text{pH} + 0,0C + 0,18\text{turbidez} + 0,0\text{Cor} + 1,6P_{\text{total}} + 28,85N_{\text{total}} + 1,5\text{Nitrato} + 35,18N_{\text{amon.}} + 4,48\text{SS} \quad \text{Equação 5}$$

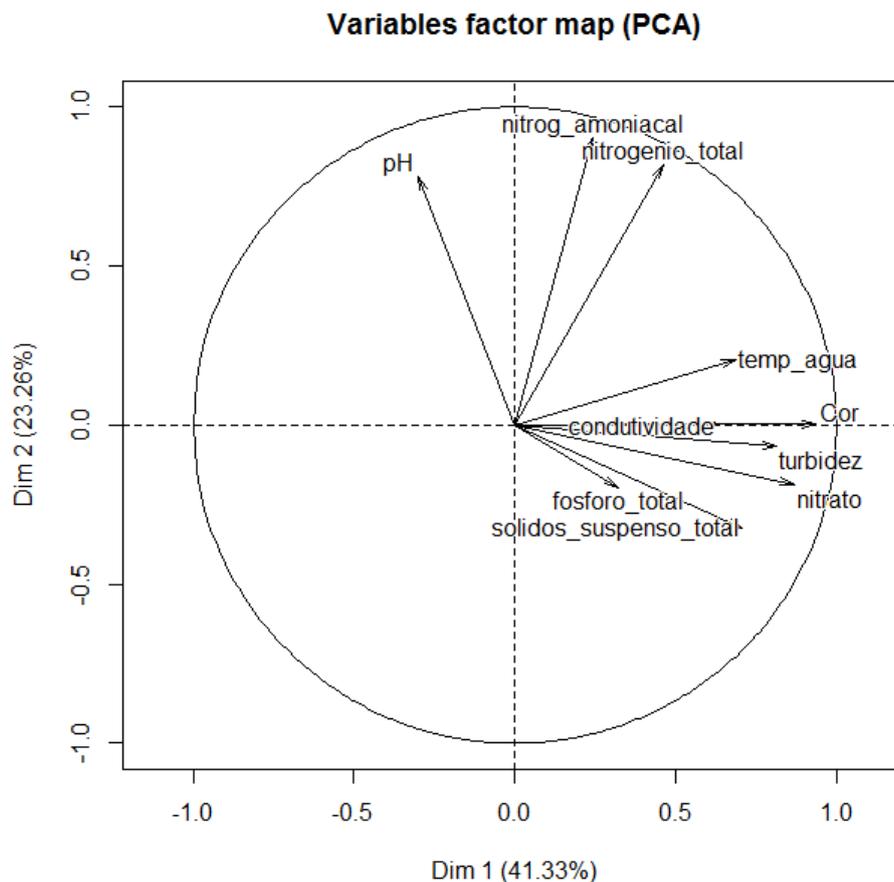


FIGURA 22 - *Biplot* da componente 1 (Dim 1) versus a componente 2 (Dim 2) sobre as variáveis físico-químicas no trecho do Ribeirão Ponte de Pedra, Mato Grosso, no período de estiagem de 2007 a 2017

Verificou-se os seguintes percentuais de variância explicada por cada um dos dez componentes principais: Componente 1 (41,3%), Componente 2 (23,3%), Componente 3 (11,5%), Componente 4 (8,5%), Componente 5 (6,5%), Componente 6 (4,2%), Componente 7 (2,4%), Componente 8 (1,2%), Componente 9 (0,8%) e Componente 10 (0,3%) (Figura 23).

Deste modo, por meio de análise do gráfico apresentado na Figura 23 e da Tabela 11 e, utilizando o critério de Kaiser, recomenda-se a retenção dos componentes 1, 2 e 3, respectivamente, na análise. Estes três componentes juntos, possuem um poder de explicação de 76,1% da variância total dos dados.

Isto quer dizer que, se optar por reter na análise estes três componentes principais, reduzirá o número de dez variáveis da base de dados original para três, perdendo 23,9% das informações relacionadas a variabilidade dos dados.

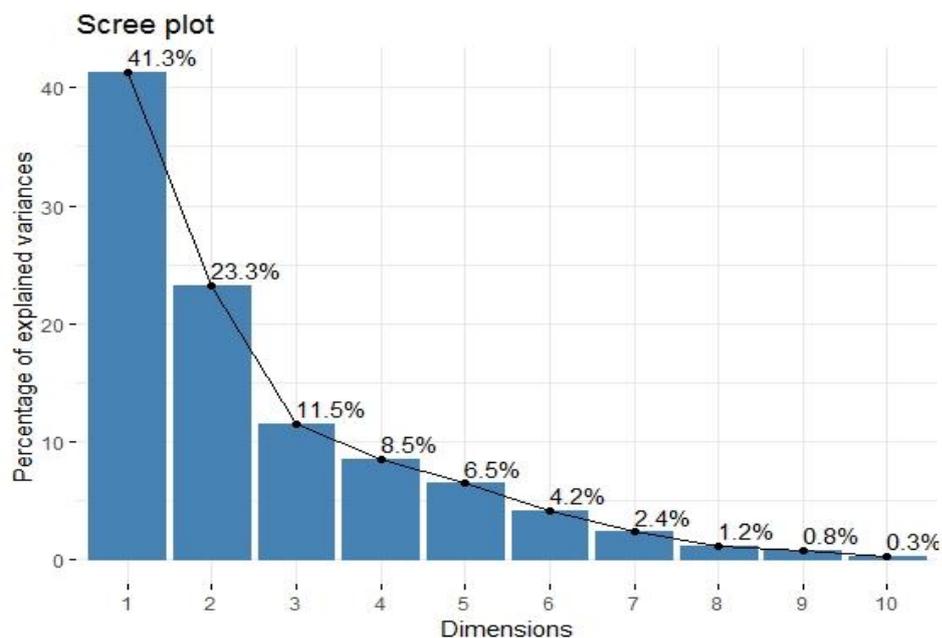


FIGURA 23 - *Scree plot* dos autovalores dos componentes principais, no período de estiagem.

TABELA 11 – Autos valores e percentual da variância das componentes, no período de estiagem

Componente	Valor	Percentual da Variância
1	4,13	41,32
2	2,32	23,26
3	1,15	11,53
4	0,85	8,51
5	0,64	6,47
6	0,41	4,16
7	0,23	2,36
8	0,11	1,17
9	0,08	0,84
10	0,03	0,32

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que:

A qualidade da água do Ribeirão Ponte de Pedra foi similar no período de chuva e estiagem;

Não houve alteração considerável no uso e cobertura do solo na área de estudo;

A caracterização física e morfométrica auxiliou na compreensão do tempo de resposta de um evento de chuva na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra e sua influência na qualidade da água superficial.

Com relação as análises físico-químicas, para avaliar a qualidade da água no trecho na bacia nos períodos de chuva e estiagem, observou-se que a turbidez tem valores mais elevados no período de estiagem, possivelmente relacionado ao momento de descarga de fundo da PCHs uma vez que a média nos dois períodos não oscilaram consideravelmente. Destaca-se ainda que há indicação de que a alteração da turbidez não está correlacionada com o nível de antropização do local, uma vez que não houve mudança na cobertura e uso do solo na área de estudo. Observou-se que as concentrações de sólidos em suspensão acompanharam a tendência da turbidez tendo seu pico máximo no período de estiagem e ainda a média dos dois períodos não alteram significativamente, corroborando com o entendimento de que possivelmente esteja relacionado com a descarga de fundo dos empreendimentos.

Durante o período de estiagem, os maiores valores de pH se devem a diminuição do nitrogênio amoniacal e aumento do nitrato, possivelmente porque o nitrogênio amoniacal é oxidado em nitrato pela ação das bactérias quimioautotróficas *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que transformam NH_4^+ em NO_2^- (nitrito) e NO_2^- em NO_3^- (nitrato). Este fato é confirmado também devido aos valores de temperatura da água propício para que tal fenômeno ocorresse. O contrário acontece no período de chuva com maiores concentrações de nitrogênio amoniacal e menores concentrações de nitrato no mesmo período, mesmo com temperaturas propícias para o fenômeno de conversão acontecer mas ressalta-se que o pH do meio encontra-se com características ácidas.

Quanto a análise de componentes principais, constatou-se no período de chuva que das dez variáveis analisadas durante o período 2007 a 2017 é possível a retenção de quatro componentes que possuem o poder de explicação de 81,9 % da variância total dos dados, uma redução de dez variáveis da base de dados original para quatro.

Com relação ao período de estiagem verificou-se que a retenção de três componentes explica 76,1% da variância total dos dados, representando uma redução de dez variáveis da base de dados original para três.

Acredita-se que a presente pesquisa contribuirá tanto para o meio científico quanto para os gestores públicos e planejamento ambiental, para um melhor entendimento das variações da qualidade da água nos períodos distintos na bacia hidrográfica em estudo, possibilitando aplicar de fato a bacia como unidade de planejamento, como preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos de forma a tentar reduzir custos com coleta e análise de amostragem, uma vez que a avaliação da qualidade de água envolve a determinação de um conjunto de variáveis físico – químicas, tornando muitas vezes dispendiosa e dificultando a efetiva gestão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. REFERÊNCIAS CITADAS

ALBOUKADEL, K.; FABIAN, M (2017). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>

ALVARENGA, L. A. et al. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul - São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações da Geração (BIG). Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/energiaassegurada.asp>. Acesso em 14/11/2019.

APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), 22nd edition, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12620. Águas Determinação de nitrato - Métodos do ácido cromotrópico e do ácido fenoldissulfônico - Método de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro. 1992.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Brasília: MMA, 140p. 2006.

BENETTI, A.; BIDONE, F. **O Meio ambiente e os recursos hídricos**. In: TUCCI I, C. E. M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2012. cap. 22, p. 849-875. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2 a Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. p. 915 – 943.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Resolução CONAMA Nº 357/2005**. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 15 maio. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde – **Portaria MS Nº. 2914/2011**. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 16 mar. 2018.

BOYD, C.; WATTEN, B. Aeration systems in aquaculture. **Rev. Aquat. Sci.**, 1 (3), p.425-472, 1989.

BORGES, C.A. et al. **Geomorfologia. In: BRASIL.** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP: Brasília. V.2, p. 75-119. 1997.

BRIGANTE, J.; ESPINDOLA, E.L.G.; POVINELLI, J.; NOGUEIRA, A.M. **Caracterização física, química e biológica da água do rio Mogi-Guaçu.** In: Brigante, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Limnologia Fluvial: um estudo no Rio Mogi – Guaçu. São Carlos, SP: RIMA, p. 55-76, 2003.

CALIL, P. M. **Potencial de uso por atributos morfométricos dos solos da bacia hidrográfica do alto Meia Ponte, Goiás.** 2009. 113f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, 2009.

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

CARVALHO, A.E.F. Análise limnológica e ecotoxicológica de sistemas lóticos e lênticos da bacia hidrográfica dos rios Itaqueri e Lobo. 2011. 226 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARREÓN, E. T.; SEDENO J. E. D.; LOPEZ E. L. Evaluación de la calidad del agua en La Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. **Revista Internacional Contaminación Ambiental**, v. 29, n. 3, p. 147-163, 2013.

CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos** . Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília; ANA,2011.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 44 p, 2009. (série relatórios). Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>.

Acesso em: 05 maio 2018.

CHAN SANTISTEBAN, M. L.; PENA, W. Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del SisIcán, Guatemala. **Cuadernos de Investigación UNED**, v. 7, n. 1, p. 19-23, 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de Bacias Hidrográficas. Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

COLLISCHONN, W. DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 336 p., 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Nº 430, de 13 de Maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial [da] União, n. 92, 16 maio 2011, p. 89. Brasília, 2011.

COSTA, T.; LANÇA, R. **Hidrologia de Superfície**. Faro, 79 p., 2001.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

DELL'ARCO, J.O. et al. **Geologia. In: Brasil**. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20 – Corumbá. Rio de Janeiro, p.25-143, 1982.

DREVER, J. I. **The Geochemistry of natural waters**. [S.l.]: Prentice Hall, 1988.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 826 p., 2011.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980.

FIGUEIREDO, R. M. **A influência dos fatores climáticos e geológicos e da ação antrópica sobre as principais variáveis físicas e químicas do rio Cuiabá, Estado de Mato Grosso**. 1996. 132 p. Mestrado (Programa de Pós Graduação em Ecol. e Conserv. da Biodiver.) - Inst. de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 1996.

FIGUEIREDO, D. M.; BIANCHINI-JR, I. Limnological patterns of the filling and stabilization phases in the Manso multiple-use reservoir (MT). **Acta Limnol. Bras.**, vol. 20, n. 4, p. 277-270, 2008.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D.L. **Hydrologic Modeling of small watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982.

FRANCO, M.S.M.; PINHEIRO, R. **Geomorfologia. In:Brasil**. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 e parte da Folha SE.20 – Corumbá. Rio de Janeiro, p. 161 – 224, 1982.

GARCIA, T.V. **Remoção de algas através da eletroflotação – tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no tratamento de água de abastecimento**. 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis- SC, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83184/184682.pdf?sequence=1>. Acesso em: mar. 2018.

GOHER, M. E.; HASSAN, A. M.; ABDEL-MONIEM, I. A.; FAHMY, A.H. EL-SAYED, S. M. Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 40, p. 225–233, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2014.09.001>

GUIMARÃES, C. P. **Outorga de Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Paraguai – Mato Grosso**. 2010. 87 p. Monografia (Especialização em Direito Ambiental à Distancia - UFMT) – Faculdade de Direito, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S - Engineering and Science**, v. 1, ed. 5, p.83 – 90, 2016.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275, 1945.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **The Journal Educational Psychology, Cambridge**, v.24, p.498-520, 1933.

HOTELLING, H. Simplified calculation of principal components. **Psychometrika, Williamsburg**, v.1, p.27-35, 1936.

IBGE, 2015. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3 ed. Rio de Janeiro. 430 p. (Manuais técnicos em geociências).

JACOMINE, P.K.T. **Solos sob matas ciliares**. In: RODRIGUES, Ricardo; LEITÃO FILHO, Hermógenes de Freitas (orgs.). *Matas Ciliares*. 2 ed., São Paulo: EdUSP, 2001.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816p.

JUNK, W.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian Special. **Publications Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, p. 110-127, 1989.

KRAMER, L.A.; MEYER, L.D. Small amounts of surface mulch reduce soil erosion and runoff velocity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 12, p. 638 – 641, 1969.

LACERDA FILHO, J.V. et al. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. Esc. 1.100.000. Goiânia: CPRM, 2004, (Convênio CPRM/SICME). 200p.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do rio Cuiabá**. 186 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

LEE, J. Y.; YANG, J. S; KIM, D. K.; HAN, M. Y. Relationship between land use and water quality in a small watershed in South Korea. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 11, p. 2607-2615, 2010.

MAIER, M. H. Considerações sobre características limnológicas de ambientes lóticos. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, SP, n.5, v.2, p. 75-90, 1978.
<https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/34/28>

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**. New York, Chapman and Hall, 1986. 159 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Brasília: MMA. 2006. Disponível em: <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_34_711200516717.html>. Acesso em: 14 de agosto 2019.

- MIRANDA, E.E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 8 de março de 2018.
- MORAES, J. M. **Geodiversidade do Estado do Mato Grosso**. 111p., 2010.
- MILLER, C.V. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. **Technical Report**, Department of Geology, Columbia University, s/n p., 1953.
- OLIVEIRA, V. A. **Diagnóstico dos usos da água e do solo na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT) e seus efeitos sobre a qualidade da água**. 2016. 65f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2016.
- OLIVEIRA, L. C.; GOMES, B. M.; BAUMGARTNER, G.; SEBASTIEN, N. Y. Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do Rio São Francisco Verdadeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 770-781, 2008.
- OLIVEIRA, B. S. S.de; CUNHA, A. C. da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p.261-275, 2014. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>
- PEREIRA, L. P. F; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **B. Inst. Pesca**, São Paulo, 31 (1): 81-88, 2005.
- PISSARA, Y. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. vol. 28, n. 2, pp. 297-305, 2004. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214034008> Acesso em 8 de agosto de 2019.
- POLITANO, W.; PISSARA, T.C.T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativas da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.23, p.179-186, 2003.
- ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil**. São Paulo. Edusp, 1995, p. 13-51. (didática, 3). 2001.
- 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. **Revista**

Água & Ambiente, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em:

<http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection#>. Acesso em: 6 ago. 2019.

R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S. A.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n.1, p. 23-31, 2012. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v11i1-2.422>

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p., 2006.

SEPLAN-MT – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Altas de Mato Grosso.** Cuiabá: Entrelinhas. 100 p., 2011.

SOARES-FILHO. B; RODRIGUES, H.; COSTA, W. **Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO.** 1. ed. Belo Horizonte: Britaldo Silveira Soares Filho, 2009.

SCILEWSKI et al. **Programa de Integração Mineral no Município de Rondonópolis, Socioeconomia,** Projeto PRIMAZ-MT, CPRM, Goiânia. 25p. Anexo I. 1998.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Bulletin of Geological Society of America**, n. 67, p. 597-646, 1956.

STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc. Am.**, v. 63. P.111-141, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union.** v.38. n.6. p. 913-920, 1957.

- STURZA J.A.I. **Paisagem e organização espacial na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra – MT.** 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso, 1999.
- SUCUPIRA P. A. P.; PINHEIRO, L. S.; ROSA, M. F. Caracterização morfométrica do médio e baixo curso do Rio Acaraú, Ceará, Brasil. **In: Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 6. Anais.Goiânia: UFG, 2006. CD-Rom, 2006.
- TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas**, Guanhães, MG. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- TUCCI, C. E .M.; (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.**4.ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 452 p. 2012.
- TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Cienc. Cult.**, Oct./Dec. 2003, vol.55, no.4, p.31-33. ISSN 0009-6725.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 632 p., 2008.
- VIEIRA, S. **Análise de Variância (ANOVA).** 1.ed. São Paulo: Atlas editora, 2004p., 2006.
- VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p., 1975.
- VINÁTEA ARANA, L. **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aquicultura: uma revisão para peixes e camarões.** 166 p. Florianópolis/SC: Ed. UFSC, 1997.
- VON SPERLING, M. **Noções de qualidade das águas.** **In: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 220 p., 2005.
- VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, Vol. 7. 452 p., 2007.
- WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 65, p. 209 - 237, 1983.

ZANETTI, S. S.; SILVA, J. M. A.; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. P. S.; ALMEIDA, F. T. Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica Parte I: Aprimoramento do modelo HidroBacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.429-434, 2009.

6.2. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA/GEF/PNUMA/OEA). **Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai**. Brasília: Projeto GEFPantanal/Alto Paraguai. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Síntese Executiva, 2004.

BRASIL. . Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (Brasília, DF). **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai**. Brasília, v.3. 369p. 1997.

CARPINETTI, L.C.R. **Planejamento e análise de experimentos**. Publicação EESC – USP, 223 p., 2009.

FANTIN DA CRUZ, Rúbia. **Impactos de Pequenas Centrais Hidrelétricas com Diferentes Arranjos na Bacia do Alto São**. 2018. 144 p. Tese (Programa de Pós Graduação em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

FIGUR, C.; REIS, J. T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Revista Ciência e Natura**, v.39, n 2, p.352-365, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Vol. 4. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS//São Paulo: EDUSP: ABRH. 1993.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH**. Cuiabá, 184 p., 2009.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, Superintendência de Geoinformação e Monitoramento Ambiental. **Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2010 e 2011**. Org. FIGUEIREDO et al. - Cuiabá: SEMA/MT; SGMA. 2014.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, Superintendência de Geoinformação e Monitoramento Ambiental. **Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2012 e 2014**. Org. FIGUEIREDO et al. - Cuiabá: SEMA/MT; SGMA. 2016.

MATO GROSSO. **Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água – Região Hidrográfica do Paraguai** - 2017. SGMA 2018.

MONTGOMEY, D.C. **Design and analysis of experiments**. John Wiley & Sons: New York. 1991. 649 p.