

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS DE JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

WELLMO DOS SANTOS ALVES

**ASPECTOS FÍSICOS E QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS, NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE, SUDOESTE DE
GOIÁS**

Jataí – GO
2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1 **1. Identificação do material bibliográfico:** **Dissertação** **Tese**

1 **2. Identificação da Tese ou Dissertação**

2

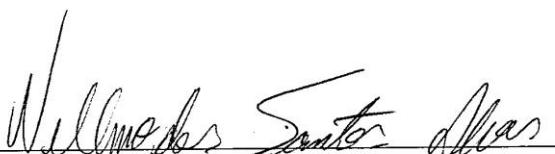
Nome completo do autor: Wellmo dos Santos Alves

Título do trabalho: **ASPECTOS FÍSICOS E QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS, NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE, SUDOESTE DE GOIÁS**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 08 /12 /2016

WELLMO DOS SANTOS ALVES

**ASPECTOS FÍSICOS E QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS, NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE, SUDOESTE DE
GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado), da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, com exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Organização do Espaço nos Domínios do Cerrado Brasileiro.

Linha de pesquisa: Análise Ambiental do Cerrado

Orientador: Prof. Dr. Iraci Scopel.

Co-orientador: Prof. Dr. Alécio Perini Martins.

Jataí – GO

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

ALVES, Wellmo dos Santos

Aspectos físicos e qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, no município de Rio Verde, Sudoeste de Goiás [manuscrito] / Wellmo dos Santos ALVES. - 2016.

CLXXI, 171 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Iraci SCOPEL; co-orientador Dr. Alécio Perini MARTINS.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Estudos Geográficos, Jataí, Programa de Pós Graduação em Geografia, Jataí, 2016.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Geotecnologias. 2. Gestão Ambiental. 3. Qualidade da Água. 4. Recursos Hídricos. I. SCOPEL, Iraci, orient. II. Título.

CDU 911

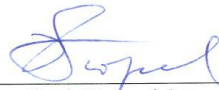
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
Wellmo dos Santos Alves

Aos vinte e oito dias de Outubro de 2016, a partir das 14h 30min, na sala do Mestrado em Geografia – Unidade Regional Jataí da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Dissertação de Mestrado de Wellmo dos Santos Alves intitulada “**Aspectos físicos e qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, no município de Rio Verde, Sudoeste de Goiás**”. A Banca Examinadora foi composta, conforme a Designação n.º 01/2016 do Programa de Pós-Graduação em Geografia UFG/REJ, pelos seguintes membros: Prof. Dr. Iraci Scopel (Presidente), Prof. Dr. Wilker Alves Morais (Membro Externo), Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral (Membro Interno). Os examinadores arguiram na ordem citada, tendo o candidato, respondido satisfatoriamente. Às 17 horas e 30 minutos a Banca Examinadora passou ao julgamento em sessão secreta, tendo o candidato obtido o seguinte resultado:

Resultado final: Aprovado (X) Reprovado ()

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dr. Iraci Scopel UFG/REJ
Presidente



Prof. Dr. Wilker Alves Morais IEF/Goiano
Membro externo



Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral UFG/REJ
Membro interno

DEDICATÓRIA

*A Deus por tudo.
À minha família.
Aos meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Não obstante, deixo consignados meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições, que contribuíram grandemente na realização deste trabalho:

aos Professores Dr. Iraci Scopel e Dr. Alécio Perini Martins, pelos conhecimentos a mim transmitidos e pelas orientações decisivas no decorrer deste trabalho;

ao amigo Wilker Alves Moraes, pela feitura árdua e competente no apoio nos trabalhos de campo;

aos meus amigos, pela força e energia transmitidas através de suas palavras.

ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFG/Regional Jataí pela oportunidade de realizar este sonho;

ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde e Reitoria, pelo apoio decisivo para a concretização deste projeto;

à Superintendência Municipal de Meio Ambiente de Rio Verde (GO), pelo seu grande apoio no fornecimento de recursos para a realização deste projeto;

a todas as outras pessoas que contribuíram positivamente para que eu pudesse concretizar a ideia deste trabalho.

RESUMO

O Ribeirão das Abóboras é o principal corpo hídrico que abastece a população de Rio Verde (GO) e é um dos principais afluentes do Rio São Tomás; este é a principal fonte de fornecimento de água da cidade de Santa Helena de Goiás (GO). Esses municípios estão localizados na microrregião Sudoeste de Goiás, com economia baseada no agronegócio, sendo o município de Rio Verde a principal economia dessa microrregião. Objetivou-se avaliar as características físicas e a qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde (GO). As características físicas avaliadas, com uso de geotecnologias, foram a morfometria, o uso da terra e cobertura vegetal de 1985 a 2015 e a fragilidade ambiental. As variáveis de qualidade da água avaliadas foram temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), concentração de sólidos suspensos (CSS), cor aparente (CA), cor verdadeira (CV), turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrato e fósforo total (FT), sendo as médias comparadas com os limites para água doce classe 2 estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05. Foi realizado ainda o estudo do estado trófico com aplicação do Índice de Estado Trófico (IET) para FT. Foi constatado, através desse estudo, que: a área desta bacia é caracterizada como de forma mais alongada, ou seja, apresenta menor propensão a grandes enchentes, se comparada com uma bacia circular; o Ribeirão apresenta características de curso de água com predominância em relevo suave ondulado, facilitando as práticas agrícolas; a bacia é caracterizada como de média densidade de drenagem, inferindo-se que o substrato geológico e o material pedológico são mediantemente porosos; o uso da terra e a cobertura vegetal, diversificados a partir de 2005 e de forma desordenada, sem respeitar os limites impostos pelas legislações ambientais vigentes, causou danos ambientais importantes, dentre eles, poluição da água, como variáveis DBO e FT em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/05 e altos índices de estado trófico, que variaram de mesotrófico a hipereutrófico. Tais impactos podem causar danos ao fornecimento de água apropriada para usos múltiplos. Com isso, é necessário planejamento do uso da terra e cobertura vegetal, conciliando os interesses econômicos com a preservação ambiental e principalmente a melhoria da qualidade de vida da população de Rio Verde e de Santa Helena de Goiás.

Palavras-chaves: Geotecnologias. Gestão Ambiental. Qualidade da Águas. Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Ribeirão das Abóboras (Abóboras Creek) is the main water body which supplies the population of Rio Verde (GO) and it's one of the main affluent of São Tomás River; the last being the main source of water supply of the city of Santa Helena de Goiás (GO). These municipalities are located in the microregion of Southeast of Goiás, with an economy based on agribusiness, whereas the municipality of Rio Verde is the main economy of this microregion. The physical characteristics evaluated, with the use of technologies, were the morphometry, the land use and vegetation coverage from 1985 to 2015 and the environmental fragility. The quality of water variables were temperature (T), hydrogen potential (pH), dissolved oxygen (DO), electric conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), suspended solids concentration (SSC), apparent color (AC), true color (TC), turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), nitrate and total phosphorus (TP), since the averages compared with the limits for class 2 fresh water established by CONAMA Resolution 357/05. It was accomplished a study of the trophic state with the application of the Trophic State Index (TSI). It was possible to verify, through this study, that: this basin's area is characterized as of a longer shape, in other words, it presents a lower propensity to great floods, if compared to a circular basin; the Creek presents water course characteristics with predominance of soft wavy relief, making it easy for agricultural practices; the basin is characterized as of average drainage density, inferring that the geological substrate and the pedological material are moderately poriferous; the land use and vegetation coverage, diversified from 2005 and in a deranged way, without respecting the limits imposed by the present environmental legislations, have caused important environmental damages, among them, water pollution, such as BOD and TP variables in disagreement with CONAMA Resolution 357/05 and high trophic state indexes, which vary from mesotrophic to hypereutropic. Such impact can cause damages to a proper water supply for multiple uses. Therefore, it's necessary a land use and vegetation coverage planning, reconciling the economical interests with the environmental preservation and mainly the improvement of the quality of life of the population of Rio Verde and Santa Helena de Goiás.

Keywords: Geotechnologies. Environmental Management. Water Quality. Water Resources.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média mensal de precipitação de janeiro de 1996 a dezembro de 2015, no município de Rio Verde (GO)	69
Gráfico 2 – Uso da terra e cobertura vegetal, correspondentes em %, para os anos avaliados (A) 1985, (B) 1995, (C) 2005 e (D) 2015, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localiza no município de Rio Verde (GO)	99
Gráfico 3 – Média da soma das vazões ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) obtidas nas campanhas do período chuvoso (novembro de 2015 a janeiro de 2016) e média das somas das vazões obtidas no período de estiagem (junho a setembro de 2016) nos pontos amostrais P1 ao P7 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	135
Gráfico 4 – Médias dos resultados da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	137
Gráfico 5 – Médias dos resultados do potencial hidrogeniônico (unidade de pH) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	140
Gráfico 6 – Médias dos resultados de oxigênio dissolvido ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	143
Gráfico 7 – Médias dos resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	145
Gráfico 8 – Médias dos resultados de sólidos totais dissolvidos ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a	

setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	148
Gráfico 9 – Médias dos resultados de concentração de sólidos suspensos (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	148
Gráfico 10 – Médias dos resultados de cor aparente (mg.Pt.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	150
Gráfico 11 – Médias dos resultados de cor verdadeira (mg.Pt.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	152
Gráfico 12 – Médias dos resultados de turbidez (UNT) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	154
Gráfico 13 – Médias dos resultados de demanda bioquímica de oxigênio (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	157
Gráfico 14 – Médias dos resultados de demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	157
Gráfico 15 – Médias dos resultados de nitrato (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de	

2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	161
Gráfico 16 – Médias dos resultados de fósforo total (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	163

LISTA DE FOTOS

- Foto 1 – (A) Perfil de solo obtido na área de Latossolo Vermelho Distrófico e (B) perfil de solo obtido na área de associação de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura argilosa + Latossolo Vermelho textura média, todos Distróficos, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 78
- Foto 2 – (A) Perfil de solo obtido na área de associação de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura média + Neossolo Quartzarênico, todos Distróficos e (B) perfil de solo obtido na área de associação de Argissolo Vermelho Distrófico + Argissolo Vermelho Eutrófico + Latossolo Vermelho Distroférrico, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 78
- Foto 3 – Declividades planas observadas na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 82
- Foto 4 – Declividades forte onduladas observadas na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)..... 82
- Foto 5 – (A) Área de plantação de milho safrinha, (B) área de pastagem, (C) mata de galeria, (D) mata ciliar na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 101
- Foto 6 – (A) Indústria Brasil Foods-BRF, antiga Perdigão S. A., (B) granjas de avicultura na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 101
- Foto 7 – (A) Área de silvicultura e (B) área de cascalheira/solo exposto na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 102
- Foto 8 – (A) Área de preservação permanente ocupada por pastagem na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, próximo a nascente deste, (B) área de preservação permanente ocupada por pastagem e agricultura nas margens do Córrego Marimbondo, afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO) 105
- Foto 9 – (A) Área de preservação permanente ocupada por pastagem na margem direita do Córrego dos Paletes, afluente do Ribeirão das Abóboras, e (B) área

de preservação permanente ocupada por residência rural (círculo vermelho) e com presença de assoreamento no Córrego do Queixada, afluente do Ribeirão das Abóboras.....	105
Foto 10 – (A) Ambiente do ponto amostral 1, (B) ambiente do ponto amostral 2, (C) ambiente do ponto amostral 3 e (C) ambiente do ponto amostral 4 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	125
Foto 11 – (A) Ambiente do ponto amostral 5, (B) ambiente do ponto amostral 6, (C) ambiente do ponto amostral 7 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	126
Foto 12 – Medição de vazão na seção do ponto amostral 1 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	127
Foto 13 – (A) Frascos usados para amostragem de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e concentração de sólidos suspensos, (B) frascos usados para amostragem de demanda bioquímica de oxigênio, (C) frascos usados para amostragem de demanda química de oxigênio, nitrato e fósforo total, (D) caixa térmica usada para preservar as amostras	128
Foto 14 – (A) Sonda portátil multiparamétrica modelo ORION STAR A326, (B) condutivímetro modelo Sension5	129
Foto 15 – (A) Sistema Combisart® usado para filtrar, em fibra de vidro, as amostras para análise de concentração de sólidos suspensos e cor verdadeira, (B) fibras de vidro usadas nas análises de concentração de sólidos suspensos, (C) balança analítica modelo AW 220 usada nas análises de concentração de sólidos suspensos, (D) estufa modelo Nova Ética 4000.5 usada nas análises de concentração de sólidos suspenso	130
Foto 16 – (A) Membranas fibra de vidro usadas nas análises de cor verdadeira, (B) espectrofotômetro modelo DR 5000 usado para análise de cor aparente e verdadeira, demanda química de oxigênio, nitrato e fósforo total, (C) aparelho modelo 2100P para as análises de turbidez, (D) incubadora BOD modelo LT 320 TFP II usada para incubação das amostras para análise de demanda bioquímica de oxigênio	131
Foto 17 – Aparelho digestor modelo DRB usado para digerir as amostras de DQO e fósforo total	132

Foto 18 – (A) e (B) Resíduos oriundos de granjas com disposição inadequada na área de contribuição do Córrego Marimbondo, principal afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	142
Foto 19 – (A) Saída da tubulação e (B) lançamento dos efluentes oriundos dos processos produtivos da BRF na margem esquerda do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	143
Foto 20 – (A) e (B) Efluente da fábrica de ração da BRF sendo lançado sem tratamento no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	160

LISTA DE IMAGENS

- Imagem 1 – Superfície regional de aplainamento IIIB com cotas entre 650 e 750 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 76
- Imagem 2 – Superfície regional de aplainamento IIB com cotas entre 800 e 1000 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 76
- Imagem 3 – (A) Complexo industrial e (B) Área urbanizada circundados por agricultura e pastagem na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO) 102

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área de estudo	68
Mapa 2 – Geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	75
Mapa 3 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	77
Mapa 4 – Unidade de mapeamento de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	79
Mapa 5 – Hipsometria da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	80
Mapa 6 – Declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	81
Mapa 7 – Hidrografia do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	84
Mapa 8 – Ordem dos cursos de água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), conforme metodologia de Horton (1945), modificada por Strahler (1952)	85
Mapa 9 – (A) Uso da terra e cobertura vegetal para o ano de 1985, (B) para o ano de 1995, (C) para o ano de 2005 e (D) para o ano de 2015, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	100
Mapa 10 – Fragilidade para a declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	116
Mapa 11 – Fragilidade para os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	117
Mapa 12 – Fragilidade para os diferentes usos da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	118
Mapa 13 – Fragilidade ambiental potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	119
Mapa 14 – Fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	120

Mapa 15 – Espacialização dos pontos amostrais ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO	126
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das bandas das imagens Landsat 5.....	38
Quadro 2 – Características das bandas das imagens Landsat 8.....	39
Quadro 3 – Classes de estado trófico e suas características principais.....	60
Quadro 4 – Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente Kappa	97
Quadro 5 – Classes de erosividade da chuva (média anual)	113
Quadro 6 – Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	114
Quadro 7 – Relação entre os graus de fragilidade e os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	114
Quadro 8 – Relação entre os graus de proteção e os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	114
Quadro 9 – Coordenadas dos pontos amostrais planejados ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO)	124
Quadro 10 – Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Lamparelli (2004)	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	75
Tabela 2 – Classes de geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	77
Tabela 3 – Unidade de mapeamento de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	79
Tabela 4 – Classes de declividade (S) em %, da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	81
Tabela 5 – Resultados obtidos para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), agrupados em características da geometria, do relevo e da rede de drenagem	83
Tabela 6 – Uso da terra e cobertura vegetal, correspondentes em km ² , para os anos avaliados, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	98
Tabela 7 - Classes de fragilidade para declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	116
Tabela 8 – Classes de fragilidade para os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	117
Tabela 9 – Classes de proteção para as categorias de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	118
Tabela 10 – Classes de fragilidade potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	119
Tabela 11 – Classes de fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO)	120
Tabela 12 – Vazão obtida para cada campanha do período chuvoso (novembro de 2015 a janeiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) em cada ponto amostral no Ribeirão das Abóboras (P1 ao P7), localizado no município de Rio Verde (GO)	134
Tabela 13 – Valores de temperatura obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a	

setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	136
Tabela 14 – Valores de potencial hidrogeniônico obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	138
Tabela 15 – Valores de oxigênio dissolvido obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	141
Tabela 16 – Valores de condutividade elétrica obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	144
Tabela 17 – Apresenta os valores de sólidos totais dissolvidos obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	146
Tabela 18 – Valores de concentração de sólidos suspensos obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	147
Tabela 19 – Valores de cor aparente obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	149
Tabela 20 – Valores de cor verdadeira obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho	

a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	151
Tabela 21 – Valores de turbidez obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	153
Tabela 22 – Valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	155
Tabela 23 – Valores de demanda química de oxigênio (DQO) obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	156
Tabela 24 – Valores de nitrato obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	158
Tabela 25 – Valores de fósforo total (FT) obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	162
Tabela 26 – Valores médios de Índice de Estado Trófico (IET) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7)	165

LISTA DE EQAÇÕES

Equação 1 – Índice de Estado Trófico proposto por Lamparelli (2004)	59
Equação 2 – Coeficiente de compacidade	71
Equação 3 – Fator de forma	71
Equação 4 – Índice de rugosidade	72
Equação 5 – Índice de circularidade	72
Equação 6 – Densidade hidrográfica	72
Equação 7 – Declividade do canal principal	72
Equação 8 – Amplitude altimétrica máxima	73
Equação 9 – Índice de sinuosidade	73
Equação 10 – Razão de relevo	73
Equação 11 – Densidade de drenagem	73
Equação 12 – Coeficiente de manutenção	74
Equação 13 – Extensão do percurso superficial	74
Equação 14 – Índice Kappa	96
Equação 15 – Média mensal do índice de erosividade	113
Equação 16 – Cálculo da vazão	127
Equação 17 – Índice de Estado Trófico para fósforo total.....	133

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
%	Percentual
.shp	shapefile
α	Constante que varia inversamente proporcional à temperatura
μg	Micrograma
$\mu\text{g.L}^{-1}$	Microgramas por litro
μg	Micrograma
μm	Micrômetro
μS	Microsegundo
$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Microsegundo por centímetro
1 ^a	Primeira
2 ^a	Segunda
4 ^a	Quarta
A	Área da bacia
Ast	Média da área da seção transversal do ribeirão
AAI	Avaliação Ambiental Integrada
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
alt	Altitude
ANA	Agência Nacional de Águas
ANAVA	Análise de Variância
APHA	American Public Health Association
APP	Área de Preservação Permanente
BDGs	Bases de dados geográficos
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BR	Brasil
BRF	Brasil Foods
C	Coefficiente ou fator de correção
C1	Campanha 1
C2	Campanha 2

C3	Campanha 3
C4	Campanha 4
CA	Cor aparente
canais.km ⁻²	Canais por quilômetros quadrados
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
cm	Centímetro
Cm	Coefficiente de manutenção
CO ₂	Dióxido de carbono
COMIGO	Cooperativa Mista dos Produtores de Goiás
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CSAT	Concentração de saturação de um gás na água em função da temperatura
CSS	Concentração de sólidos suspensos
CV	Cor verdadeira
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Dd	Densidade de drenagem
DF	Distrito Federal
Dh	Densidade hidrográfica
DQO	Demanda química de oxigênio
EDUFU	Editores da Universidade Federal de Uberlândia
EI30	Média mensal do índice de erosividade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Eps	Extensão do percurso superficial
ES	Espirito Santo
ESRI	Environmental Systems Research Institute
Ev	Equivalente vetorial médio em linha reta
f.	Folha
FCO	Fundo Constitucional do Centro-Oeste
FeS	Sulfeto de ferro
FT	Fósforo total
GO	Goiás
GPS	Sistema de Posicionamento Global
h	Hora

H ₂ CO ₃	Ácido carbônico
ha	Hectares
Hm	Amplitude altimétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de circularidade
ICUMSA	Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar
IET	Índice do Estado Trófico
IGC	Índice Geral de Curso
INPE	Instituto de Pesquisa Espacial
Ir	Índice de rugosidade
Is	Índice de sinuosidade
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Kc	Coefficiente de compacidade
Kf	Fator de forma
km	Quilômetro
km.km ⁻¹	Quilômetros por quilômetros
km/km ²	Quilômetros por quilômetros quadrados
km ²	Quilômetro quadrado
Lp	Comprimento em nível do curso de água principal
L	Litro
La	Comprimento da área de medição
Lax	Comprimento axial da bacia
ln	Logaritmo natural
Lt	Comprimento total dos canais
LVD1	Latossolo Vermelho distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, textura muito argilosa ou argilosa
LVD11	Latossolo Vermelho mais Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura argilosa mais Latossolo Vermelho textura média, todos distróficos, horizonte A moderado
LVD16	Latossolo Vermelho mais Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura média mais Neossolo Quartzarênico, todos distróficos e horizonte A moderado
m	Metro

m.m ⁻¹	Metro por metro
m ²	Metros Quadrados
m ³	Metros cúbicos
m ³ .s ⁻¹	Metros cúbicos por segundo
MA	Maranhão
MDE	Modelos Digitais de Elevação
mg	Miligramas
MG	Minas Gerais
mg.L ⁻¹	Miligramas por litro
mg.Pt.L ⁻¹	Miligramas por ponto por litro
MJ	Megajoule
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	Megajoule por milímetro por hectare por hora por ano
mm	Milímetros
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
Ncp	Número de canais de primeira ordem
N	Nitrogênio
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	Bicarbonato de sódio hidratado
NaHCO ₃	Bicarbonato de sódio
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
n ^o	Número
O	Oeste
°C	Grau Celsius
OD	Oxigênio Dissolvido
OLI	Operacional Terra Imagem
Org.	Organizadores
P	Perímetro da bacia
Pp	Média dos totais anuais de precipitação
p.	Página

P1	Ponto 1
P2	Altitude da foz
P2	Ponto 2
P3	Ponto 3
P4	Ponto 4
P5	Ponto 5
P6	Ponto 6
P7	Ponto 7
p _{gás}	Pressão exercida pelo gás sobre a superfície do líquido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PI	Ponto mais alto
PII	Ponto mais baixo
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
POLOCENTRO	Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste
PPA	Programa Produtores de Água
PR	Paraná
Pt	Ponto
PT	Fósforo Total
PVd12	Argissolos Vermelhos distróficos, Argissolos Vermelhos eutróficos e Latossolos Vermelhos distroféricos
Q	Vazão
r	Média dos totais mensais de precipitação
RA'E GA	O Espaço Geográfico em Análise
RGB	Red, Green e Blue
RJ	Rio de Janeiro
Rr	Razão de relevo
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundos
S	Classes de declividade
S	Sul
S1	Declividade do canal principal
SGM	Superintendência de Geologia e Mineração
SIC	Secretaria Estadual de Indústria e Comércio

SIEG	Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
SRAIIB-RT	Superfície regional de aplainamento IIB com dissecação média e associada a relevos tabulares
SRAIIIB-RT	Superfície regional de aplainamento IIIB com dissecação média e associada a relevos tabulares
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
STD	Sólidos totais dissolvidos
T	Temperatura
t	Tempo
TIRS	Sensor Infravermelho Termal
tn	Toneladas
tn mm ha ⁻¹ ano ⁻¹	Toneladas por milímetro por hectare por ano
tn.ha ⁻¹ .ano	Toneladas por hectare por ano
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
v	Volume
W	Oeste
WWF	World Wildlife Fund
XXI	Vinte e um

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	5
AGRADECIMENTOS	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
LISTA DE FOTOS	12
LISTA DE IMAGENS.....	15
LISTA DE MAPAS.....	16
LISTA DE QUADROS	18
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE EQUAÇÕES	22
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	23
SUMÁRIO	29
INTRODUÇÃO	33
1 MEIO FÍSICO, QUALIDADE DAS ÁGUAS E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: apontamentos teórico-metodológicos	35
1.1 Análise integrada de bacia hidrográfica	35
1.2 Geotecnologias	36
1.2.1 Software de geoprocessamento	37
1.2.2 Bases de dados geográficos	37
1.2.3 Classificação supervisionada de imagens	40
1.3 Análise física e morfométrica	42
1.4 Fragilidade ambiental	48
1.5 Variáveis de qualidade da água	50
1.5.1 Temperatura (T)	50
1.5.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	50
1.5.3 Oxigênio dissolvido (OD)	51
1.5.4 Condutividade elétrica (CE)	53
1.5.5 Sólidos dissolvidos totais (STD) e concentração de sólidos suspensos (CSS)	53
1.5.6 Cor aparente (CA) e cor verdadeira (CV)	54
1.5.7 Turbidez	55

1.5.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)	56
1.5.9 Nitrato e fósforo total	57
1. 6 Estado trófico	58
Referências	61
2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS	67
2.1 Introdução	67
2.2 Material e métodos	68
2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo	68
2.2.2 Bases de dados geográficos	69
2.2.3 Processamento dos dados	70
2.2.3.1 <i>Coefficiente de compacidade</i>	71
2.2.3.2 <i>Fator de forma</i>	71
2.2.3.3 <i>Índice de rugosidade</i>	72
2.2.3.4 <i>Índice de circularidade</i>	72
2.2.3.5 <i>Densidade hidrográfica</i>	72
2.2.3.6 <i>Declividade do canal principal</i>	72
2.2.3.7 <i>Amplitude altimétrica máxima</i>	73
2.2.3.8 <i>Índice de sinuosidade</i>	73
2.2.3.9 <i>Razão de Relevô</i>	73
2.2.3.10 <i>Densidade de drenagem</i>	73
2.2.3.11 <i>Coefficiente de manutenção</i>	74
2.2.3.12 <i>Extensão do percurso superficial</i>	74
2.3 Resultados e discussão	74
2.3.1 Geologia, geomorfologia e solos	74
2.3.2 Morfometria	83
2.4 Conclusão	89
Referências	89
3 USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2015	93
3.1 Introdução	93

3.2 Material e métodos	95
3.2.1 Bases de dados geográficos	95
3.2.2 Processamento dos dados	95
3.3 Resultados e discussão	97
3.4 Conclusão	107
Referências	107
4 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS	111
4.1 Introdução	111
4.2 Material e método	112
4.2.1 Bases de dados geográficos	112
4.2.2 Processamento dos dados	112
4.3 Resultados e discussão	115
4.4 Conclusão	121
Referências	121
5 QUALIDADE E ESTADO TRÓFICO DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS	123
5.1 Introdução	123
5.2 Material e método	124
5.2.1 Pontos amostrais	124
5.2.2 Medição de vazão	127
5.2.3 Coleta e preservação das amostras	128
5.2.4 Análise em campo e em laboratório	129
5.2.5 Análise dos dados	132
5.2.6 Estudo do estado trófico	133
5.3 Resultados e discussão	134
5.3.1 Vazão	134
5.3.2 <i>Variáveis de qualidade da água</i>	<i>134</i>
5.3.2.1 <i>Temperatura (T)</i>	<i>135</i>
5.3.2.2 <i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	<i>138</i>
5.3.2.3 <i>Oxigênio dissolvido (OD)</i>	<i>140</i>
5.3.2.4 <i>Condutividade elétrica (CE)</i>	<i>143</i>

<i>5.3.2.5 Sólidos totais dissolvidos (STD) e Concentração de sólidos suspenso_s (CSS)</i>	<i>145</i>
<i>5.3.2.6 Cor aparente (CA) e cor verdadeira (CV)</i>	<i>149</i>
<i>5.3.2.7 Turbidez</i>	<i>152</i>
<i>5.3.2.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)</i>	<i>154</i>
<i>5.3.2.9 Nitrato e Fósforo total (FT)</i>	<i>157</i>
<i>5.3.3 Estado trófico</i>	<i>164</i>
Conclusão	166
Referências	167
CONSIDERAÇÃO FINAIS	171

INTRODUÇÃO

No território brasileiro, desde a colonização até a atualidade, o uso da terra não ocorreu dentro de uma visão de desenvolvimento e sustentabilidade ambiental. Embora o Brasil possua uma das legislações ambientais mais modernas do mundo, descentralizadas tomada de decisões, dando maior autonomia aos estados e municípios quanto à gestão ambiental, é possível observar ao longo de cursos hídricos e no entono de nascentes, bem como em outras áreas estabelecidas por lei como de proteção ambiental, o uso inadequado da terra.

A expansão das atividades antrópicas ao longo dos tempos provocou uma carga de impactos negativos decorrentes da exploração dos recursos da natureza, notadamente dos recursos hídricos e de suas zonas de recarga, localizadas nas pequenas bacias de cabeceiras ou microbacias hidrográficas, sendo que essa expansão torna-se cada vez mais preocupante porque tem avançado sobre áreas, reconhecidamente, protetoras, ou seja, as áreas de preservação permanente (APP), dos recursos naturais, comprometendo sua função ambiental (CARDOSO; AQUINO, 2013). Outro problema ambiental é o grande volume de despejos de resíduos e dejetos industriais e orgânicos sem tratamento apropriado nos cursos hídricos, causando impactos negativos na qualidade da água e, conseqüentemente, danos à fauna, flora e aos próprios seres humanos.

No Centro-Oeste do Brasil, políticas governamentais de incentivo à expansão da fronteira agrícola e aos programas de desenvolvimento agrícola tornaram possível, financeiramente, a implementação de uma agricultura nos moldes industriais de produção, no intuito de atender a demanda do mercado interno e externo (PRADO, 2009). A microrregião Sudoeste de Goiás destaca-se, a partir do ano de 1970, como um modelo da modernização agropecuária implantada no Brasil (SOUSA et al., 2006). Rio Verde é um dos principais municípios dessa microrregião, pois apresenta altos índices de produtividade de soja, milho, aves, suínos e possui diversas agroindústrias instaladas. Essas atividades, apesar de serem econômica e socialmente importantes, quando não conduzidas de maneira sustentável, podem causar impactos ambientais negativos nas bacias hidrográficas da região.

A bacia hidrográfica foi realçada, na Política Nacional de Recursos Hídricos, como unidade de estudo e gestão (BRASIL, 1997), e pode ser entendida como uma área com perímetro definido topograficamente, drenada por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, de forma que toda a vazão efluente seja descarregada em uma única saída (TUCCI, 2009).

Com o propósito de facilitar, de forma mais efetiva e econômica, a caracterização e as análises físicas de bacias hidrográficas, como morfometria, uso da terra e cobertura vegetal e a

fragilidade ambiental, tanto o sensoriamento remoto quanto o geoprocessamento se tornaram ferramentas muito usadas no tratamento dos dados e na implementação de mapas temáticos, facilitando a análise e compreensão realidade ambiental.

Através de variáveis morfométricas (características da geometria, drenagem e relevo) de bacia hidrográfica, torna-se possível o entendimento da estrutura e funcionamento de corpos d'água, possibilitando a associação desses atributos com a qualidade da água, especialmente no que diz respeito ao seu grau de trofia.

O estudo da mudança do uso da terra e da cobertura vegetal possibilita compreender os processos de alteração do espaço geográfico, bem como os efeitos dessas ações sobre o mesmo, podendo ser considerado o primeiro passo para elaboração de um trabalho de planejamento e gestão territorial.

O estudo da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas proporciona o entendimento da vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. A fragilidade ambiental é relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, como a propensão dos solos à erosão, quanto antropogênica, por exemplo, o manejo inadequado do solo.

A qualidade da água e o estado trófico (níveis de nutrientes) de um curso hídrico refletem os efeitos agregados de vários processos ao longo do caminho percorrido pela mesma e é influenciada pelas características da bacia em que se encontra. Logo, é importante avaliar a qualidade e estado trófico da água para adequá-la ao consumo.

O conjunto das informações relativas à morfometria, ao uso e cobertura da terra, à fragilidade ambiental, à qualidade e ao estado trófico da água de uma bacia hidrográfica colaboram para o melhor entendimento desta, promovendo estratégias de gestão, minimizando os impactos ambientais.

Diante do exposto, objetiva-se analisar os aspectos físicos e a qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras (BHRA), localizada no município de Rio Verde (GO). Os objetivos específicos consistem em caracterizar analisar: a morfometria da bacia hidrográfica; o uso e a cobertura da terra; a fragilidade ambiental; as variáveis de qualidade e do estado trófico da água dessa bacia hidrográfica; e integrar as informações no intuito de identificar zonas de risco de erosão e de impactos na qualidade da água.

A BHRA foi escolhida por: ser a principal fonte de abastecimento da atual e das futuras gerações da cidade de Rio Verde (GO); fornecer água e ser o corpo receptor de efluentes da BRF-Brasil Foods (antiga Perdigão S. A.) e por abastecer o complexo produtivo desta empresa, além de ser um dos principais afluentes do Rio São Tomás, que é a principal fonte abastecedora de água da cidade de Santa Helena de Goiás (GO).

1. MEIO FÍSICO, QUALIDADE DAS ÁGUAS E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: apontamentos teórico-metodológicos

1.1 Análise integrada de bacia hidrográfica

O estudo do meio físico sob um enfoque sistêmico é definido como “a totalidade estruturada em equilíbrio dinâmico, com vários aspectos, guardando relações de interdependência com os demais componentes”, afirma Fornasari Filho et al. (1990).

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2009), a Avaliação Ambiental Integrada (AAI) de bacias hidrográficas é uma abordagem metodológica, desenvolvida para organizar e integrar as informações de variáveis indicadoras do estado do ambiente para inúmeros processos significativos relacionados à fragmentação da rede hidrográfica, considerada como um sistema conectado tanto de jusante para montante, pelos fluxos de água e materiais em suspensão e dissolvidos, como pelos fluxos de jusante para montante, devidos aos movimentos migratórios dos seres vivos e através do transporte antrópico.

O estudo integrado do meio físico permite determinar se uma dada área é susceptível a desenvolver processos erosivos, apresenta potencial à inundação, instabilidade de encostas e movimentos de massa, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, etc. Estes processos integrados permitem determinar as áreas mais frágeis quanto à ocorrência física dos fenômenos, muitas vezes, potencializados pela atuação conjunta ou minimizados pela interferência que um aspecto exerce sobre o outro (REIS, 2012).

A análise integrada do meio antrópico resulta do índice de impermeabilidade, infraestrutura urbana e conflitos de uso da terra e cobertura vegetal. Esta permite apontar áreas onde a ação antrópica ocorre de forma mais intensa e em conflito com as normas legais (REIS, 2012), como expansão agropecuária, urbana e industrial desordenadas.

Assim, a AAI é um processo interdisciplinar e social, ligando conhecimento e ação no contexto de decisão nas diversas esferas da gestão pública (municipal, estadual e federal), no intuito de identificar, analisar e avaliar todos os processos naturais importantes e recursos no tempo e espaço nas escalas apropriadas, possibilitando e/ou facilitando a definição e implementação de políticas e estratégias em prol do desenvolvimento em um meio ecologicamente equilibrado.

Para a análise integrada de bacia hidrográfica é necessário o conhecimento das suas diversas características físicas e antrópicas. Dentre elas, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a morfometria, o uso da terra e cobertura vegetal, a qualidade e o estado trófico da água.

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica podem ser obtidas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), assunto que será tratado em seguida.

1.2 Geotecnologias

As geotecnologias (geoprocessamento, sensoriamento remoto, GPS, cartografia automatizada, sistema de informação geográfica) nos permitem fazer uma análise integrada do ambiente de forma a entender como questões relacionadas às alterações ambientais se comportam no espaço, permitindo que o ambiente seja estudado em parte e entendido como um todo (PIRES, 2012).

1.2.1 Software de geoprocessamento

Os softwares de geoprocessamento tornaram-se uma ferramenta robusta em aparatos tecnológicos organizados para uso em ambiente computacional. Aplicados nas diversas áreas do conhecimento, estes softwares agilizam a obtenção de dados voltados para o planejamento e gestão agrícola e ambiental, como mapas de declividade, morfométricos, de uso da terra e da cobertura vegetal, da fragilidade ambiental entre outros. Conforme IBGE (2013), o software SIG reúne uma série de métodos e técnicas que permitem coletar, identificar, explorar, tratar, processar e analisar dados espaciais, permitindo que se conheça a estrutura de entes espaciais – os elementos de base cartográfica e elementos temáticos e a posição de cada um no espaço geográfico. Permite, também, a integração entre atributos que podem ser pesquisados em diferentes temas, alimentando o pesquisador de novas informações.

Características fisiográficas de uma bacia hidrográfica podem ser obtidas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), ou seja, em software de geoprocessamento. Um dos softwares de geoprocessamento mais usados no mundo todo é o ArcGIS, sendo este um conjunto integrado de softwares desenvolvidos pela empresa americana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) desde o fim da década de 1990. Este software possui ferramentas fundamentadas em padrões para realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, geoprocessamento e geração de mapas.

O uso de software de geoprocessamento permite o tratamento dos dados geográficos, na sequência: entrada, edição, armazenamento e, finalmente, as análises ambientais das informações registradas nos produtos gerados. E estes, na maioria das vezes, são gerados a partir de bases geográficas em escalas maiores.

1.2.2 Bases de dados geográficos

As principais fontes de informação aplicadas à análise de bacias hidrográficas são as cartas topográficas, consideradas indispensáveis, que somadas a novas tecnologias como o uso do SIG, de dados disponibilizados de radares espaciais (MNT - Modelo Numérico do Terreno) e interpretação de imagens de satélite, possibilitam um levantamento mais rápido e detalhado de uma determinada bacia, sobretudo para as de médio e grande portes. Várias informações morfométricas podem ser derivadas dos MNTs, a exemplo dos índices da geometria, do relevo e da rede de drenagem (COELHO, 2007).

Entre os MNTs, destaca-se o SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução de 30 m, obtidos através de interferometria, por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas (RABUS et al., 2003), disponibilizado por órgão públicos.

Outras bases de dados geográficos (BDGs) importantes são fornecidas em formatos como *shapfile (shp)* e GeoTiff, também disponibilizadas por órgãos públicos. Entre esses órgãos, o Instituto de Pesquisa Espacial (INPE, 2016), o Serviço Geológicos dos Estados Unidos (USGS, 2016), a EMBRAPA, Monitoramento por Satélite, e o Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016) disponibilizam diversas BDGs que podem ser aplicadas na análise, planejamento e gestão ambiental, como os mapas geológico, geomorfológico, pedológico, hidrográfico, divisão política, e as imagens obtidas por sensoriamento remoto. Entre essas imagens, destacam-se as do Sensor TM acoplado ao Satélite Landsat 5 (operou de 1984 a 2011, com período de revisita de 16 dias) e as dos Sensores OLI e TIRS acoplados ao Satélite Landsat 8 em operação desde 2013, com período de revisita de 16 dias.

O SIEG apenas disponibiliza bases de outros órgãos, não elabora bases cartográficas e temáticas. Por exemplo as imagens do Satélite Landsat 5/Sensor TM, Landsat 8/Sensores OLI e TIRS e imagem SRTM são geradas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS). Neste, o SIEG obtém algumas bases de dados e disponibiliza em seu sistema.

As imagens, também chamadas de cenas, Landsat 5/Sensor TM cobrem, cada uma, uma área de 185 x 185 km. O produto digital contém sete bandas. Cada banda representa, também, a resposta do solo em uma certa faixa espectral, conforme podem ser observadas no Quadro 1, com respectiva faixa espectral. Cada pixel da imagem tem uma resolução espacial de 30 m, com exceção da banda 6, que tem uma resolução espacial de 120 m. Apresenta resolução radiométrica de 8 bits (INPE, 2016).

Quadro 1 – Características das bandas das imagens Landsat 5.

Sensor	Banda	Faixa espectral (μm)		Resolução (m)
TM	1	0,45 a 0,52	Azul	30
TM	2	0,52 a 0,60	Verde	30
TM	3	0,63 a 0,69	Vermelho	30
TM	4	0,76 a 0,90	Infravermelho próximo	30
TM	5	1,55 a 1,75	Infravermelho médio	30
TM	6	10,4 a 12,5	Infravermelho termal	30
TM	7	2,08 a 2,35	Infravermelho distante	30

Fonte: INPE (2016).

O INPE (2016) recomenda as seguintes combinações para imagens coloridas do Landsat 5/TM:

Bandas 1, 2 e 3: imagens em "cor natural", com boa penetração na água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.

Bandas 2, 3 e 4: define melhor os limites entre o solo e a água, ainda informando algum detalhe em águas pouco profundas, e mostrando as diferenças na vegetação que aparece em tonalidades de vermelho.

Bandas 3, 4 e 5: mostra mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação melhor discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa.

Bandas 2, 4 e 7: mostra a vegetação em tons verdes e permite discriminar a umidade tanto da vegetação como do solo.

As imagens Landsat 8/Sensor OLI (Operacional Terra Imagem) e TIRS (Sensor Infravermelho Termal) são fornecidas em 16 Bits, sendo necessário realizar rescale para 8 bits (conversão radiométrica). No USGS essas imagens são entregues na Projeção UTM, Datum WGS 1984, orientadas ao norte verdadeiro, sendo necessário reprojeta-las. O tamanho aproximado da cena Landsat 8/Sensor OLI e TIRS é de 170 km ao norte-sul, e de 183 km a leste-oeste. A banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros e de aerossol; a banda 9 (cirro) é útil para a detecção de nuvens; as faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas. Outras características das bandas desse satélite estão apresentadas no Quadro 2 (USGS, 2016).

As sugestões para combinações de bandas R/G/B (vermelho/verde/azul) para as imagens do Satélite Landsat 8/OLI são: 5/4/3 com infravermelho, 4/3/2 com cor natural, 6/5/4, 7/6/4 e 7/5/3 para falsa cor (USGS, 2016).

Quadro 2 – Características das bandas das imagens Landsat 8.

Sensor	Banda	Faixa espectral (μm)		Resolução (m)
OLI ¹	1	0,43 a 0,45	Aerossol	30
OLI	2	0,45 a 0,51	Azul	30
OLI	3	0,53 a 0,59	Verde	30
OLI	4	0,64 a 0,67	Vermelho	30
OLI	5	0,85 a 0,88	Infravermelho próximo	30
OLI	6	1,57 a 1,65	SWIR ³	30
OLI	7	2,11 a 2,29	SWIR	30
OLI	8	0,50 a 0,68	Pancromática	15
OLI	9	1,36 a 1,38	Cirro	30
TIRS ²	10	10,60 a 11,19	Infravermelho termal	100
TIRS	11	11,50 a 12,51	Infravermelho termal	100

¹OLI: Sensor Operacional Terra Imagem; ²TIRS: Sensor Infravermelho Termal;

³SWIR: natural com remoção atmosférica.

Fonte: USGS (2016).

A partir das bases de dados geográficas e com aplicação do processamento digital e classificação de imagens, em ambiente SIG, com o Software ArcGIS, geram-se produtos finais importantes para o planejamento e gestão ambiental, como produtos aplicados à análise integrada de bacia hidrográfica.

Através do MDE, em ambiente SIG, obtém-se índices secundários e geram-se produtos como mapa de declividade, altimétrico entre outros fundamentais para a análise morfométrica da bacia hidrográfica. As imagens do Landsat 5 e 8 podem ser usadas na análise da dinâmica do uso da terra e da cobertura vegetal, fornecendo informações valiosas da ação antrópica no ambiente. Estes assuntos serão tratados mais adiante.

O conhecimento da geologia, morfologia e de solos de uma bacia hidrográfica também são extremamente importantes na análise da dinâmica natural de uma bacia hidrográfica, sendo possível extrair essas informações de bases de dados com escalas maiores disponibilizadas gratuitamente por órgãos públicos, como os citados anteriormente, ou gerados os produtos

finais por empresas privadas a um custo que varia conforme a complexidade e tamanho do produto.

1.2.3 Classificação supervisionada de imagens

A classificação de imagens é um processo estatístico e probabilístico que tenta ao máximo aproximar o mapa digital à realidade. O resultado da classificação deve ser avaliado com base no desempenho do classificador proposto e validado por critérios numéricos para estimar a precisão e a sua acuracidade (MENESES et al., 2012).

A classificação de imagem é uma regra baseada somente no valor do dado espectral. Um algoritmo de classificação realiza automaticamente essa operação, com a vantagem de trabalhar num espaço n dimensional, o qual seria impossível para nós representá-lo graficamente (MENESES et al., 2012).

A classificação supervisionada requer conhecimentos prévios das classes de alvos, a fim de classificar a imagem nas classes de interesse pré-fixadas pelo analista. O algoritmo necessita ser treinado para poder distinguir as classes uma das outras. O treinamento supervisionado é controlado de perto pelo analista (MENESES et al., 2012).

Nesse processo o analista escolhe pequenas áreas de amostras na imagem, contendo poucas centenas de pixels que sejam bem representativos, espectralmente, de padrões ou feições dos alvos por ele reconhecidos, ou que podem ser identificados com a ajuda de outras fontes, tais como dados coletados no campo ou de mapas. É necessário o conhecimento dos dados e das classes de objetos que existem na área, antes de se iniciar o processo de classificação. Não há nenhuma restrição no número de classes a serem classificadas, apenas que o analista faça uma seleção de classes bem distintas porque, caso contrário, no final da classificação ocorrerá muita confusão entre as classes. Se o treinamento tiver uma boa precisão, as classes resultantes representam as categorias dos dados que o analista identificou originalmente (MENESES et al., 2012).

Também, para assegurar uma boa classificação, as imagens devem ser corrigidas dos efeitos atmosféricos, se severos, e da presença de ruídos. As características estatísticas das classes que são estimadas das amostras de treinamento dependem do método de classificação que é utilizado (MENESES et al., 2012). Há vários métodos de classificação supervisionada, entre os quais, a interativa, que é realizada por meio de um classificador interativo, presente no software de geoprocessamento ArcGIS.

O ArcGIS é um software apropriado para classificação supervisionada e um módulo de filtro conhecido como filtro majoritário (MAJORITY FILTER), tem a função de minimizar

ruídos, proporcionando um satisfatório grau de acurácia. Este software apresenta uma interface fácil de trabalhar, além dos aspectos de agilidade, compatibilização de informações de diferentes fontes, bem como possibilita que o banco de dados seja permanentemente alimentado e atualizado com novas informações (RODRIGUES; RODRIGUES; TAGLIARINE, 2014).

A ferramenta de classificação supervisionada interativa executa uma classificação sem criar explicitamente um arquivo de assinaturas. Além disso, esta ferramenta acelera a velocidade da classificação. Durante a classificação, faz uso de todas as bandas disponíveis na camada de imagem selecionada. Um melhor resultado é obtido ao colocar a imagem de entrada em pirâmide. Quando pirâmides estão presentes para a imagem de entrada, a classificação supervisionada interativa utiliza a resolução associada com o nível atual de pirâmide no visor. Além disso, o zoom em uma pequena extensão da imagem fará a classificação mais rápida porque a ferramenta processa apenas os pixels em exibição atual (ESRI, 2016).

O algoritmo da extensão do filtro majoritário realinha automaticamente as respostas espectrais de algumas classes, assim elevando o grau de acurácia nos dados classificados, onde alguns usos possam ter seus valores subestimados, como a classe pastagem que pode ter seu valor subestimado ao solo em cultivo (RODRIGUES, 2015).

Rodrigues (2015, p.27) destaca que

atualmente boa parte do mapeamento digital do uso e cobertura do solo é elaborado a nível regional, sendo efetivado através de imagens de sensoriamento remoto, mais precisamente por meio de técnicas de classificação supervisionada associadas ao processamento digital de imagens, tendo proporcionado bons resultados no que se refere aos dados de saída referente às informações que arranjam determinado espaço de interesse do analista da região, porém, toda modelagem de classificação supervisionada ou não supervisionada estará sempre exposta a erros dos mais variados tipos e derivados de inúmeras fontes.

Cardoso et al. (2013), nas análises do uso da terra e cobertura vegetal das microbacias hidrográficas do riacho do Roncador - Timon (MA), constataram que as técnicas de sensoriamento remoto aliadas ao geoprocessamento no Software ArcGIS, otimizaram os resultados obtidos.

Prado et al. (2010) obtiveram resultados interessantes com o uso do Software ArcGIS no mapeamento e caracterização do padrão de uso da terra e cobertura vegetal na microbacia do córrego Pito Aceso, em Bom Jardim (RJ).

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal gerado através do processo de classificação de imagem em software de geoprocessamento é um produto cartográfico importante, juntamente com o mapa de declividade e solos, no estudo da fragilidade ambiental em bacia hidrográfica.

1.3 Análise física e morfométrica

Conforme relatam Crepani et al. (2001), a contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Estes autores definem o grau de coesão das rochas como a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem, sendo o grau de coesão das rochas a informação básica utilizada para a definição de valores que representem maior estabilidade ou vulnerabilidade. Assim, ressaltam os autores, processos de intemperismo e formação de solos prevalecem nas rochas mais coesas, e os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese) prevalecem nas rochas menos coesas.

Crepani et al. (2001) afirmam que a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha, sendo que estas, quando associadas a solos impermeáveis, dificultam a infiltração das águas pluviais e, por conseguinte, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno. Conforme estes autores, a maior quantidade de água em superfície implica em um número maior de canais de drenagem, maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial e, conseqüentemente, uma maior capacidade erosiva ou de promover a morfogênese.

A ação da chuva sobre os solos é a causa fundamental das diversas formas da erosão hídrica, sendo a chuva o agente ativo da erosão e o solo o agente passivo, conforme Crepani et al. (2001).

O manejo do solo pode ser subdividido em manejo da terra, que se refere aos diferentes tipos de uso da terra, como silvicultura, pastagens e agricultura, e manejo da cultura que se refere especificamente às técnicas de agricultura, como tipo de cultura, métodos de preparo de solo e plantio, tipo de cultivo, etc (CREPANI et al., 2001). O manejo inadequado da terra e da cultura sem a visão de sustentabilidade pode causar perdas ambientais, além de prejuízos econômicos.

A maior ou menor suscetibilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores e os seguintes são os mais importantes: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis (CREPANI et al., 2001).

Devido à complexidade em dividir o que é erosão natural e antrópica, Crepani et al. (2001) consideram que deve ser levado em conta que o processo natural de erosão é acelerado

pela ação humana, o que é importante saber seria qual o nível de erosão a partir do qual a capacidade do solo em sustentar a vida fica prejudicada e o material transportado para fora da área de erosão vai provocar problemas em outro local.

A situação ideal seria aquela em que o solo somente fosse utilizado de maneira que o seu uso pudesse ser sustentado, indefinidamente, e isso poderia ser conseguido se a taxa média de perda superficial de solo por erosão não excedesse a taxa média de formação ou renovação superficial de solo pelos agentes de intemperismo (CREPANI et al., 2001).

As práticas conservacionistas no manejo do solo são extremamente importantes, uma vez que, conforme Crepani et al. (2001), o tempo de formação de 1 cm de solo desenvolvido requer centenas a milhares de anos, sendo que, com manejo inadequado, pode se perder em apenas uma safra.

Portanto, a caracterização da geologia, geomorfologia e pedologia fornece informações qualitativas e quantitativas importantes para análises em conjunto com outras informações/variáveis obtidas em estudos voltados para bacias hidrográficas, no sentido de subsidiar o manejo agrícola sustentável e a gestão ambiental.

O estudo da morfometria foi iniciado na década de 1940 por Robert Elmer Horton, tendo como objetivo entender a configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem. A partir de 1950, novas variáveis foram propostas por Strahler (1952), Schumm (1956), Melton (1957), Strahler (1957), Schumm (1963), Christofolletti (1970), Villela e Mattos (1975), Christofolletti e Machado (1977), entre outros.

Christofolletti (1970) integrou os índices e parâmetros desenvolvidos e, a partir de então, os dados fornecidos pela análise morfométrica permitem a caracterização da estrutura das redes de drenagem, com base na comparação das diversas ordens dos cursos hídricos.

Esses estudos caracterizam as bacias hidrográficas através de índices quantitativos (valor numérico) da geometria, do relevo e da rede de drenagem.

Conforme afirma Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial, sendo este composto pelo conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, caracterizado por índices que correspondem aos atributos medidos das bacias hidrográficas.

Com a análise das características morfométricas procura-se entender a relação solo-superfície, em decorrência dos processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas (PISSARRA et al. 2004).

As características físicas de uma bacia hidrográfica são de grande importância para o comportamento hidrológico, uma vez que há uma estreita correspondência entre esse comportamento e os elementos físicos, que constituem a mais conveniente possibilidade de se conhecer a variação, no espaço, dos elementos do regime hidrológico da área em estudo (VILLELA; MATTOS, 1975).

A geometria de uma bacia hidrográfica pode ser caracterizada através das seguintes variáveis:

- a. Área: toda superfície drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal, sendo elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos (TONELLO, 2005).
- b. Perímetro: comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005).
- c. Número de canais: total de todos os canais dentro de uma bacia hidrográfica, pode influenciar na ordem dos cursos d'água e tem relação direta com a densidade hidrográfica.
- d. Comprimento axial: comprimento do ponto mais distante do exutório em linha reta, e tem relação inversa com o fator de forma.
- e. Coeficiente de compacidade: corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia (CARDOSO et al., 2006), sendo adimensional e varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho e quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade (índice igual a uma unidade corresponde a uma bacia circular e valor significativamente superior a um corresponde a uma bacia alongada (VILLELA; MATTOS 1975).
- f. Fator forma: relação da forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia, e pode atuar sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica (VILLELA; MATTOS 1975).
- g. Índice de rugosidade: corresponde ao produto da densidade de drenagem pela declividade média da bacia, sendo tanto maior quanto mais acidentada for uma bacia e mais dissecada estiver pela erosão fluvial (MELTON, 1957).
- h. Densidade hidrográfica: também conhecida como frequência de drenagem, é a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia (HORTON,

1945), tendo por finalidade comparar a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão (CHRISTOFOLETTI, 1969).

- i. Índice de circularidade: relaciona a área da bacia à área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia (MÜLLER, 1953), tende para unidade à medida que a bacia se aproxima a forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO et al., 2006).

O relevo de uma bacia hidrográfica pode ser caracterizado com o uso das variáveis seguintes:

- a. Ponto mais alto e mais baixo: o primeiro é o de maior altitude e o segundo, o de menor, em relação ao nível do mar, a diferença entre os dois resulta na amplitude altimétrica máxima;
- b. Amplitude altimétrica: desnivelamento que tem influência sobre a energia potencial da água, sendo que uma bacia será tanto mais acidentada quanto maior for esse índice.
- c. Altitude média: média obtida da altimetria da bacia hidrográfica, associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, conseqüentemente sobre o deflúvio médio, sendo que as grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração e na precipitação anual (TEODORO et al., 2007).
- d. Declividade do canal principal: trata-se da relação da amplitude média e o curso de água principal, superestima a declividade média do curso d'água e, conseqüentemente, o pico de cheia, sendo tanto maior quanto maior o número de quedas do rio (VILLELA; MATTOS, 1975).
- e. Índice de sinuosidade: relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal (SCHUMM, 1963), sendo um fator controlador da velocidade de escoamento das águas (VILELA e MATTOS, 1975).
- f. Razão de relevo: relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e sua maior extensão medida paralelamente à principal linha de drenagem, e quanto mais elevado o seu valor, maior o desnível entre a cabeceira e a foz (SCHUMM, 1956).

O estudo do relevo pode ser representado em mapas altimétrico e de declividade, elaborados a partir da MDE em software de geoprocessamento.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013) estabelece as seguintes classes de declividade, muito importantes na gestão agrícola e ambiental podendo ser aplicadas na elaboração dos mapas de declividades de bacias hidrográficas: 0 a 3% (plano, superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos); 3 a 8% (suave ondulado, superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves); 8 a 20% (ondulado, superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados); 20 a 45% (fortemente ondulado, superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, elevações de 50 a 100 m e de 100 a 200 m de altitudes relativas, respectivamente, e raramente colinas, com declives fortes); 45 a 75% (montanhoso, superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes); e acima de 75% (escarpado, áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes).

Quanto as variáveis que caracterizam a rede de drenagem, destacam-se:

- a. Comprimento do canal principal: distância da nascente principal a foz, aplicado para determinar a declividade do canal principal, o índice de sinuosidade e a razão de relevo.
- b. Comprimento total dos canais: soma da medida de todos os canais dentro da bacia hidrográfica.
- c. Equivalente vetorial médio em linha reta: comprimento de cada segmento hídrico de determinada ordem, medido em linha reta e se estende da nascente ao término do canal.
- d. Densidade de drenagem: Conforme Christofolletti (1980), a densidade de drenagem é reconhecidamente uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias de drenagem, representando o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, ou expressando a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas. O comportamento hidrológico das rochas, em um mesmo

ambiente climático, vai repercutir na densidade de drenagem, ou seja, onde a infiltração é mais dificultada há maior escoamento superficial, gerando possibilidades maiores para esculturação de canais permanentes e, conseqüentemente, densidade de drenagem mais elevada (TEODORO et al., 2007). A densidade de drenagem, além de ser indicador da permeabilidade do substrato geológico, é também importante por ser indicador de contato da água com as fontes de poluição. Quanto maior for esta, maior será o contato entre o meio aquático e o meio terrestre, facilitando o aporte de poluentes (PRADO; NOVO; FERREIRA, 2010).

- e. Coeficiente de manutenção: calculado pela relação inversa da densidade de drenagem e fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento, considerado como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem (SCHUMM, 1956).
- f. Extensão do percurso superficial: corresponde à distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um curso de água permanente (HORTON, 1945), e seu índice também serve para caracterizar a textura topográfica (LOPES; ASSUNÇÃO; SCOPEL, 2007).
- g. Ordem dos cursos hídricos: processo de estabelecimento da classificação de determinado curso d'água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Horton (1945) propôs critérios para ordenação dos cursos d'água, onde os canais de primeira ordem são os que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, e também de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior, e assim por diante. Posteriormente, outra metodologia para caracterizar a ordem dos cursos d'água de bacia hidrográfica foi proposta por Strahler (1952), sendo que nesta os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores, e assim por diante.

A elaboração de mapas de hidrografia e de hierarquia dos cursos hídricos são importantes para a análise morfométrica, pois através deles são obtidas informações, como número de cursos hídricos e ordem da bacia, úteis na análise integrada dos índices levantados.

1.4 Fragilidade ambiental

A fragilidade ambiental se fundamenta no princípio “a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicos e bióticos”. Esse princípio tem como base o conceito de Unidade Ecodinâmica, concepção ecológica em que o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico (ROSS, 1994).

Contudo, esse equilíbrio pode ser alterado pelo homem, gerando estados de desequilíbrios reversíveis (na maioria das vezes, a longo prazo) ou irreversíveis. Neste último caso, por exemplo, a exploração extensiva e intensiva das terras, em busca de ganhos em produtividade, por meio de desmatamento de grandes áreas para produção agropecuária, deixando unidades hidrográficas susceptíveis à erosão (ROSS, 1994).

O conceito de fragilidade ambiental é definido como a vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente, como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos) quanto antropogênica (a exemplo do mau uso do solo e de intervenções em regimes fluviais), conforme ressalta Tamanini (2008).

Os trabalhos de planejamento e gerenciamento dos recursos naturais requerem muitos tipos de dados importantes, como uso do solo, solos, declividade, superfícies de água, vegetação entre outros. Para cada problema, um cenário deve ser desenvolvido com o propósito de identificar os tipos de dados quantitativos; eles são necessários para produzir a informação quantitativa para o planejamento e a tomada de decisão; este cenário identifica os dados básicos que permitam conduzir a análise dos recursos e avaliação, de modo a prover informações para o planejamento ambiental (PAREDES, 1994).

No estudo da fragilidade ambiental, destacam-se dois termos distintos: a fragilidade potencial e a fragilidade emergente. A primeira é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas, baseada na declividade e o tipo de solo, enquanto que a segunda além de considerar essas características, contempla também o grau de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal da terra (KAWAKUBO et al, 2005).

Os diferentes padrões de fragilidade são representados através das Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial) e das Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente); sendo assim, o produto cartográfico para análise da Fragilidade Potencial é gerado a partir do cruzamento das informações de solos e declividade, e o mapa de Fragilidade Emergente, a partir do cruzamento do mapa de Fragilidade Potencial com as informações de uso da terra e vegetação (ROSS, 1994).

A caracterização e análise da fragilidade dos ambientes é importante no Planejamento Ambiental, como na gestão de recursos hídricos, em que a identificação dos ambientes naturais e suas distintas categorias de fragilidades (potenciais e emergentes) tornam possível subsidiar o zoneamento e à gestão territorial.

Conforme destacam Cabral et al. (2011, p. 52)

os procedimentos operacionais para a construção de um modelo de fragilidade exigem estudos de relevo em termos de dissecação ou declividade, erodibilidade do solo, erosividade dos solos em relação à energia cinética das gotas de chuva, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada, gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está inserido, Ross (1994) estabeleceu uma hierarquia de fragilidade com nome seguido de valor numérico ou peso que varia do menor ao maior grau de fragilidade: muito fraca (menor grau de fragilidade), com peso 1, fraca, peso 2, média, peso 3, forte, peso 4, e muito forte (maior grau de fragilidade), peso 5. Esses pesos são atribuídos às distintas categorias do relevo, do solo, do uso e cobertura vegetal do ambiente objeto de estudo e da erosividade.

Bahr e Carvalho (2012) aplicaram a metodologia de Ross (1994) na identificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Uvaranal, como subsídio ao projeto de expansão urbana de Telêmaco Borba (PR), e obtiveram resultados satisfatórios, visto que o objetivo de identificar a fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica do Arroio Uvaranal foi alcançado, assim como a identificação da fragilidade da área de expansão urbana de Telêmaco Borba.

Em outro trabalho, tendo como objetivo o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), Cabral et al. (2011) adotaram a metodologia proposta por Ross (1994), utilizando técnicas de geoprocessamento, e julgaram ser eficiente, podendo ser adequada para aplicação em outras áreas de estudo.

Gonçalves et al. (2011) também aplicaram a metodologia proposta por Ross (1994) na determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas, e observaram a possibilidade de se adaptar esta metodologia à determinação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas.

1.5 Variáveis de qualidade da água

A seguir são apresentadas as características e definições das 13 variáveis físico-químicas analisadas para caracterizar a água da BHRA.

1.5.1 Temperatura (T)

Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical, sendo a temperatura superficial influenciada por diversos fatores, dentre eles: latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade do corpo hídrico (CETESB, 2015; ESTEVES, 2011; TUNDISI, 2008).

A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2015).

Conforme afirma CETESB (2015, p. 3)

a temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.

Como a T é condicionante de várias outras variáveis e pode interferir nas condições naturais do meio aquático, torna-se necessário mensurá-la em amostras de águas destinadas ao monitoramento de corpos hídricos.

1.5.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente na água, o pH é um parâmetro importante no monitoramento de recursos hídricos (CETESB, 2015).

Conforme Weiner (2000), essa variável é importante no ecossistema aquático, sendo capaz de determinar a dissolução, precipitação, oxidação, redução de várias substâncias e o metabolismo dos organismos aquáticos.

Conforme CETESB (2015, p. 24)

a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do Estado de São Paulo. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

Esteves (2011) destaca que, em geral, os corpos d'água continentais apresentam valores de pH entre 6 e 8,5, mas valores extremos são encontrados em regiões com características peculiares. Em lagos amazônicos, por exemplo, que apresentam solos ácidos, ou os ecossistemas de águas escuras, ricos em substâncias húmicas, o pH apresenta valor ácido, em torno de 5.

Vasconcelos (2009) afirma que na maioria dos casos, em águas naturais, o pH ocorre entre 4 e 9.

Tundisi (2008) afirma que o pH da água está interrelacionado com suas propriedades químicas, com a geoquímica da bacia hidrográfica, além de sofrer influência de processos biológicos, tais como a fotossíntese, a respiração e a decomposição de organismos. Afirma ainda que a água da chuva com pH ácido influencia a composição química da água que flui para rios e lagos, a partir das bacias de drenagem.

Esteves (2011) destaca que, entre as substâncias que podem provocar alterações nos valores de pH, estão as moléculas orgânicas, como ácidos orgânicos ou substâncias húmicas, derivadas dos produtos de excreção e/ou decomposição da matéria orgânica.

Conforme Vasconcelos (2009, p. 42)

os valores de pHs mais baixos geralmente estão associados à acidez originada a partir da oxidação de sulfetos (FeS ; $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$, entre outros). Em águas naturais que apresentam valores de pH entre 5,0 e 6,5, os ácidos presentes são fracos; frequentemente se incluem ácido carbônico (H_2CO_3) e em pequenas quantidades ácidos orgânicos, como os ácidos húmicos. A ocorrência de pHs altos, em torno de 8 e 10, está associada com a presença de minerais como carbonatos, silicatos e alumínio-silicatos. Valores de pHs em torno de 10 e 11 são causados pela dissolução de minerais de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e de bicarbonato de sódio hidratado ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Valores muito altos (acima de pH 11) ou muito baixos (abaixo de pH 3) podem não estar relacionados à existência de minerais que possam causá-los, e sim à contaminação por ácidos ou bases fortes de origem antrópica.

1.5.3 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido na água é um dos gases mais importantes na dinâmica e caracterização de um corpo hídrico, participa de inúmeras reações químicas, sendo que sua dissolução na água depende da interação ar/água, em outras palavras, depende da temperatura

e pressão (CETESB, 2015; ESTEVES, 2011; TUNDISI, 2008;). Conforme estes autores, as principais fontes de oxigênio para um corpo hídrico são a atmosfera e a fotossíntese.

CETESB (2015, p. 22) afirma que

o oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura: $CSAT = \alpha \cdot p_{gás}$, onde α é uma constante que varia inversamente proporcional à temperatura e $p_{gás}$ é a pressão exercida pelo gás sobre a superfície do líquido. No caso do oxigênio, ele é constituinte de 21% da atmosfera e, pela lei de Dalton, exerce uma pressão de 0,21 atm. Para 20°C, por exemplo, α é igual a 43,9 e, portanto, a concentração de saturação de oxigênio em uma água superficial é igual a $43,9 \times 0,21 = 9,2$ mg/L.

A fotossíntese de algas não é uma fonte de nitrogênio muito significativa na água nos trechos de rios à jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. Sendo que a contribuição fotossintética de oxigênio passa a ser expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias clarificando as águas e permitindo a penetração de luz (CETESB, 2015).

CETESB (2015, p. 23) destaca que

num corpo d'água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode "mascarar" a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação. No entanto, um corpo d'água com crescimento excessivo de algas pode apresentar, durante o período diurno, concentrações de oxigênio bem superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20°C, caracterizando uma situação de supersaturação.

A oxidação da matéria orgânica, resultado da atividade dos microrganismos, perda para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como por exemplo o ferro e o manganês, contribuem para a redução da concentração do oxigênio na água (ESTEVES, 2011).

Conforme Esteves (2011, p. 180)

dentre as variáveis limnológicas que apresentam maiores variações diárias destaca-se o oxigênio dissolvido. As grandes variações diárias de oxigênio ocorrem por estar este gás diretamente envolvido com o processo de fotossíntese e respiração e/ou decomposição, que por sua vez estão diretamente relacionados com o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a temperatura. Assim, pode-se dizer que as variações diárias de oxigênio estão diretamente acopladas a estas variáveis, podendo, no entanto, outros fatores como o vento e as chuvas terem importância eventual.

1.5.4 Condutividade elétrica (CE)

A CE, também denominada de condutância específica, é um indicador da salinidade resultante da concentração de sais, ácidos e bases nas águas naturais. Sua medição é realizada pelo conteúdo eletrolítico das águas, através do fluxo da corrente entre dois eletrodos de platina: quanto mais elevado, maior a concentração. Expressa um grande número de fenômeno complexos: depende da concentração iônica; há uma relação da condutividade e os nutrientes de fitoplâncton e macrófitas (TUNDISI, 2008).

A CE apresenta relação direta com a concentração de sólidos dissolvidos totais (STD), ou seja, à medida que os STD aumentam, a CE também aumenta. A CE é a 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 (CETESB, 2015; ESTEVES, 2011).

Além da temperatura, o pH também pode influenciar na condutividade elétrica. Um corpo de água rico em compostos húmicos e com pH baixo (cerca de 4) pode apresentar altos valores de CE da água sem, no entanto, apresentar concentrações adequadas de íons limnologicamente importantes. Nestes ecossistemas, outro fator pode conduzir a erros na determinação da condutividade elétrica: várias substâncias orgânicas são ionizáveis, podendo contribuir para a elevação do valor de condutividade da amostra (ESTEVES, 2011).

A CETESB (2015) define ainda que, em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados. Conforme Couto et al. (2006), nos ambientes aquáticos, a CE com valor até $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ reflete as condições de águas de boa qualidade e, acima desse valor, são águas caracterizadas como inadequadas ao consumo humano.

Altos valores de CE podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2015), causar danos em equipamentos de usinas hidrelétricas, abastecimento públicos, entre outros.

A CE também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes (CETESB, 2015), por isso não é considerada na classificação dos corpos de água pela Resolução CONAMA 357/05 e nem como padrão de potabilidade pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/11.

1.5.5 Sólidos dissolvidos totais (STD) e concentração de sólidos suspensos (CSS)

Conforme afirma CETESB (2015), em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado.

No recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2015; GONÇALVES, 2009).

Valores altos de STD estão relacionados a maior concentração de íons na água aos fatores como: alta pluviosidade, dissolução ou intemperização de rochas e solos da região e atividades antrópicas no entorno (ROCHA, 2010; TERRA, 2010).

Com o aumento da precipitação e conseqüente aumento dos sólidos em suspensão, ocorrem picos nos valores de turbidez nos meses chuvosos, pois eles impedem o feixe de luz de penetrar na água (ARCOVA; CICCIO, 1999).

Conforme afirma a CETESB (2015, p. 2)

nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante.

1.5.6 Cor aparente (CA) e cor verdadeira (CV)

A água pura virtualmente não apresenta cor. E a cor verdadeira é a cor da água sem turbidez, quando esta é removida. A cor aparente inclui não somente as substâncias dissolvidas na água, mas também aquela que envolve a matéria orgânica em suspensão.

O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população (CETESB, 2015). Sperling (1996) afirma que, normalmente, a cor na água é devida aos ácidos húmicos e taninos originados de decomposição de vegetais e, assim, não apresenta risco algum à saúde. Entretanto, segundo este autor, quando de origem industrial, pode ou não apresentar toxicidade.

A cor da água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico (CETESB, 2015).

A CETESB (2015, p. 1) relata que

dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos domésticos se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais, que contêm taninos (efluentes de

curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos etc.), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira etc.).

Compostos inorgânicos também são capazes de causar cor na água, sendo os principais os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, contudo, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz (CETESB, 2015).

1.5.7 Turbidez

Conforme CETESB (2015), a turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A turbidez pode alterar o sabor e o odor da água, devido a presença da matéria orgânica (TOFOLI, 2010). Os principais fatores responsáveis pela turbidez da água, bem como pela dispersão da radiação, são as partículas suspensas – bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos e inorgânicos – e em menor proporção os compostos dissolvidos (ESTEVES, 2011).

A CETESB (2015, p. 3) relata que

a erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas.

Índices altos de turbidez reduzem a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade dos peixes. Contudo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. E ainda pode afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2015).

Vasconcelos (2009, p. 86) afirma que

em razão do uso inadequado das bacias hidrográficas, sobretudo do desmatamento, esse é um dos problemas mais sérios que afetam rios, lagos e represas. Muitas consequências ocorrem, resultantes do aumento da turbidez, tais como redução da produção primária fitoplancônica e da capacidade do fluxo; danos à pesca, às turbinas e à tubulação em represas; e alterações na linha térmica de rios e represas.

1.5.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável; e a DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio (CETESB, 2015).

Normalmente a DBO é considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica, sendo um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20} (CETESB, 2015).

Os maiores aumentos em termos de DBO e DQO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, como efluentes doméstico e industrial com matéria orgânica em sua composição. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2015).

As causas da variação da DQO são a influência do comportamento hidrológico e características do lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais no rio (VASCO, 2011). A matéria orgânica pode ter origem natural (vegetal, animal e microrganismos) e antrópica (despejos domésticos e industriais). A matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteína, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade (SPERLING, 2007).

A CETESB (2015) relata que um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente (CETESB, 2015, p. 13).

1.5.9 Nitrato e fósforo total

Há diversas fontes que contribuem para o aporte de nitrogênio nas águas naturais, sendo que os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água. A atmosfera é outra fonte importante, devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos (CETESB, 2015).

Outras fontes que contribuem para o aporte de nitrogênio orgânico e amoniacal na água, conforme CETESB (2015), são os frigoríficos, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados e nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

Logo, há múltiplas fontes de nitrogênio, favorecendo o aporte desse nutriente nos cursos hídricos de difícil controle e, em certos casos, incontrolável, como a fixação por bactérias e algas.

Conforme CETESB (2015, p. 26)

o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. 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. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos se encontram distantes.

É importante ressaltar que os nitratos são tóxicos, conforme relata a CETESB (2015), causa uma doença letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). E por este motivo, é padrão de potabilidade com limite máximo de 10 mg.L^{-1} (nitrato como N) exigido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de

indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais. Este elemento pode estar presente na água de três formas: fosfato orgânico, ortofosfato e polifosfato. A primeira é a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como as de um detergente, por exemplo; a segunda é representada pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas; e a terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais (CETESB, 2015).

Esteves (2011, p. 262) afirma que

a liberação do fósforo, a partir da forma cristalina dos minerais primários da rocha, ocorre através da desagregação desta pelo intemperismo. O fosfato liberado da rocha é carregado pelas águas de escoamento superficial e pode alcançar os diferentes ecossistemas aquáticos sob duas formas principais: solúvel (menos provável) e adsorvido às argilas. Esta última é sem dúvida a via mais importante de aporte de fosfato aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à frequência de solos argilosos (solos antigos e muito intemperizados) nesta região.

Esteves (2011) destaca ainda que as mais importantes fontes de fósforo artificiais são: esgoto domésticos e industriais. Sendo estas fontes presentes na área de estudo, conforme citado anteriormente. Tundisi et al. (2008) afirmam que a aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo aumenta a vulnerabilidade dos corpos de água a estes contaminantes e aumenta os custos do tratamento das águas.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz a processos de eutrofização das águas naturais (CETESB, 2015).

1.6 Estado trófico

Conforme Esteves (2011), a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades. E a CESTESB (2016, p. 27) afirma que

a eutrofização pode possibilitar o crescimento mais intenso de seres vivos que utilizam nutrientes, especialmente as algas. Estas grandes concentrações de algas podem trazer prejuízos aos múltiplos usos dessas águas, prejudicando seriamente o abastecimento público ou causando poluição decorrente da morte e decomposição desses organismos. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio é comprometido pela multiplicidade de fontes, algumas muito difíceis de serem controladas como a fixação do nitrogênio atmosférico, por parte de alguns gêneros de

algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo (CETESB, 2015).

A eutrofização de rios, entre outros corpos de água, é uma das consequências dos usos excessivos de fertilizantes na agricultura, os quais, combinados com alterações de drenagem, podem aumentar consideravelmente e com rapidez os índices de estado trófico (TUNDISI, 2008). O aumento de nutrientes nos corpos hídricos em geral é em decorrência de atividades antrópicas (LAMPARELLI, 2004).

Conforme CETESB (2015), os detergentes têm sido responsabilizados também pela aceleração da eutrofização. Além da maioria dos detergentes comerciais empregados possuir fósforo em suas formulações, sabe-se que exercem efeito tóxico sobre o zooplâncton, predador natural das algas.

Muitos danos podem ser causados pela eutrofização, como, por exemplo, mau odor, alterações na biodiversidade aquática, mortes de peixes, contaminação da água destinada ao abastecimento público, processos industriais de alimentos, irrigação, produção pecuária, recreação e outros usos.

Muitas algas produzem toxinas, e estas podem estar presentes na água mesmo depois de ter sido tratada, podendo causar danos à saúde humana e a de outras espécies.

O crescimento excessivo de algas pode prejudicar o funcionamento das usinas hidrelétricas e, com isso, afetar a produção de energia.

Lamparelli (2004) propôs um Índice do Estado Trófico adaptado para as condições brasileiras considerando o teor de FT, e tendo por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, esse índice avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por fósforo total e seu efeito relacionado ao crescimento demasiado das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. No referido índice, os resultados calculados é uma medida do potencial de eutrofização, visto que o FT é um dos nutrientes envolvidos nesse processo.

Conforme destaca Lamparelli (2004), em rios, o cálculo do IET, considerando os valores de FT, é feito pela equação 1:

$$IET (PT) = 10 * (6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln PT)) / \ln 2)) - 20 \quad (1)$$

Onde, PT é a concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$; e \ln é o logaritmo natural.

No Quadro 3 observam-se os valores do IET classificados segundo as classes de estado tróficos e respectivas características.

Quadro 3 – Classes de estado trófico e suas características principais.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
$IET > 67$	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Adaptado da CETESB (2015) e Lamparelli (2004).

Portanto, o Índice de Estado Trófico proposto por Lamparrelli (2004) fornece informações importantes para o planejamento e a gestão de recursos hídricos.

Referências

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. 1999. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 125-134, 1999.

BAHR, G. C.; CARVALHO, M. S. Identificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Uvaranal, como subsídio ao projeto de expansão urbana de Telêmaco Borba – PR. **RA'E GA: O Espaço Geográfico em Análise**, V. 26. P. 157-181, 2012.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra, 3º ed. Rio de Janeiro, 2013.

_____. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 de janeiro de 2012. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=39&data=14/12/2011>. Acesso em: 29 jun. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente: Projeto Relatório 1 – Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas. Santa Maria: UNIPAMPA/UFSM, 2009. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/1700811F/Avaliacao_Ambiental_Integrada_Estrategica_Processo.pdf. Acesso em: 29 jun. 2016.

_____. Lei nº 9.433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei Nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 9 de janeiro de 1997. Disponível em: < <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=4&data=09/01/1997>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F.; BEGAT, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce (GO), utilizando técnicas de Geoprocessamento. **Geofocus-Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de la Información Geográfica**, n. 11, p. 51–69, 2011.

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

CARDOSO, J. A.; AQUINO, Cláudia M. S. Mapeamento dos conflitos de uso nas áreas de preservação permanente (APPs) da microbacia do riacho Do Roncador, Timon (MA). **Revista Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 33, n. 3, p. 477-492, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. A Análise de Bacias Hidrográficas. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980, 102-121p.

_____. Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas. 1970. 375 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1970.

_____. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista de Geomorfologia**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. MACHADO, L. M. C. P A. A lei da constância na amplitude altimétrica aplicada em bacias hidrográficas brasileiras. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, SP, v. 17, n. 34, p. 33-46, 1977.

COELHO, A. L. N. Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007. p. 2437–2445.

COUTO, T. C.; FARIA, D. C.; NAVAL, L. P. 2006. Análise das variáveis físico-químicas da água do rio Javaés, ilha do bananal, entorno do Parque Nacional do Araguaia, Tocantins Brasil. In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, 2006, Punta Del Leste Uruguai. Resgatando Antiguos Principios para los Nuevos Desafíos del Milenio; p. 1-8.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO – CETESB. 2015. Publicações e relatórios. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CREPANI, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. SAE/INPE, São José dos Campos, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA; 2013.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/executing-the-interactive-supervised-classification-tool.htm>>. Acesso em: 17 de junho de 2016.

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

FORNASARI FILHO, N. et al. Processos de Meio Físico como objeto de estudo da Geologia de Engenharia nos estudos de Impactos Ambientais. In: VI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Salvador, **Anais...** Salvador: ABGE. 1990.

GONÇALVES, G. G. G. et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. *Floresta*, v. 41, n. 4, p. 797–808, 2011.

GONÇALVES, E. M. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2009.

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.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. *Divisão de geração de imagens*. Disponível em: [http:// <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php>](http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php). Acesso em: 02 fev. 2016.

KAWAKUBO, F. S; MORATO, R.G; CAMPOS, K.C; LUCHIARI, A E ROSS, J.L.S. (2005): Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia (GO). In: Anais do XII SBSR. Goiânia. INPE, p. 16-21.

LAMPARELLI M.C. **Grau de trofia em corpos d' água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A. N. C. SANO, E. E.; SOUZA, E. B. BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Universidad de Brasília, Brasília, 266 p., 2012.

MELTON M. A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. New York: Columbia University, 102 p., 1957.

MÜLLER VC. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, New York, Virginia and Tennessee**. New York: Columbia University; 1953.

PAREDES, E. A. Sistema de informação geográfica: (geoprocessamento) princípios e aplicações. São Paulo: Editora Érica Ltda, 1994. 690p.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). *Revista Geonorte*, v.2, n.4, p.1528 – 1538, 2012.

PISSARRA, T. 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 Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

PRADO, R. B. BARCELLOS, T. B. C. REGO, L. F. G. DONAGEMMA, G. K. TURETTA, A. P. D. **Mapeamento e caracterização do padrão de uso e cobertura da terra na microbacia do córrego Pito Aceso, Bom Jardim – RJ, utilizando imagens orbitais de alta**

resolução. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 150: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 37 p., 2010.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; FERREIRA, C. G. Mapeamento e caracterização dos fatores fisiográficos da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, p. 237 – 257, 2010.

PRADO, R. B.; FERREIRA, C. E. G.; BENITES, V. de M. NAUMOV, A. Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 148: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 54p. 2009.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R. The Shuttle Radar Topographic Mission – A New Class of Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57 n. 4, p. 241- 262. 2003.

REIS, J. T. Análise de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica urbana para subsidiar uma avaliação ambiental integrada. 2012. 227 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação espaço-temporal das águas dos afluentes de reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/GO. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 n. 1, p. 131-142, 2010.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINE, F. S. N. Comparação do desempenho de Sistemas de Informação Geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. **Revista Forum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.

RODRIGUES, M. T. Comportamento de sistemas de informações geográficas por meio de classificação supervisionada em diferentes bacias hidrográficas. 2015. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74, 1994.

SCHUMM, S.A. A tentative classification of alluvial river channels. U.S. Geological Survey Circular, n. 477, 1963.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em 25 maio 2016.

SOUSA, M. S. SCOPEL, I. PEIXINHO, D. M. CARVALHO, N. R. Compartimentação geomorfológica do Sudoeste de Goiás e relação com a situação de areais. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. GEOMORFOLOGIA TROPICAL E

SUBTROPICAL: PROCESSOS, MÉTODOS E TÉCNICAS. Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG, v. 1, 3^o ed., 2005.

SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG, v.2. 1996.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p.1117-1142, 1952.

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

TAMANINI, M. S. A. 2008. 105 f. **Diagnóstico Físico-Ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, n.20, 2007

TERRA, V. R.; PRATTE-SANTOS, R.; ALIPRANDI, R. B.; BARCELOS, F. F.; MARTINS, J. L. D.; AZEVEDO JR, R. R.; BARBIÉRI, R. S. Estudo limnológico visando avaliação da qualidade das águas do rio Jucu Braço Norte, ES. **Natureza On Line**, v. 8 n. 1, p. 8-13, 2010.

TOFOLI, L. A. **Monitoramento da qualidade da água em mananciais pertencentes à bacia hidrográfica do Tietê – Botucatu, SP**. 2010. 104 f. Dissertações (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2010.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

USGS – United States Geological Survey. Multimedia Gallery. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/products/multimedia-gallery/overview>>. Acesso em: 2016 jan. 20.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

VASCONCELOS, F. M.; TUNDISI, G. J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Avaliação da qualidade de água. 1ª ed., Sociedade Mineira de Engenheiros Agrônomos, 322 p., 2009.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WEINER, E.R. Applications of environmental chemistry: a practical guide for environmental professionals. Florida: CRC Press, Lewis Publishers, 288p., 2000.

2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS

2.1 Introdução

O contexto atual da sociedade e de seu desenvolvimento econômico não é, na maioria dos casos, acompanhado da preocupação ambiental, pois se verificam impactos negativos em função das principais atividades antrópicas, principalmente decorrentes do uso inadequado do solo e da água, cujas consequências são mais fortemente sentidas quando da ocorrência de inundações, desmatamentos, processos erosivos intensos, poluição e contaminação dos recursos naturais, dentre outros (SILVA et al, 2007).

O estudo de bacias hidrográficas, tanto em meio urbano quanto rural, é importante para obter o equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a sustentabilidade ambiental (VASCO et al., 2011). A caracterização morfométrica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas e/ou ambientais de bacias hidrográficas (TEODORO et al., 2007). A drenagem interna de uma bacia hidrográfica é o principal fator a ser considerado, pois a entrada da água, seguido da formação e da ação de seus cursos, pode ser entendido como um dos componentes dos processos morfogenéticos mais ativos na enculturação da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A caracterização da morfometria de bacias hidrográficas (estudos quantitativos do relevo), conforme Fraga et al. (2014), são necessários para a determinação das potencialidades e limitações quanto ao uso do solo, auxiliando no planejamento das atividades a serem desenvolvidas. Essa caracterização é realizada considerando as principais medidas físicas de uma bacia hidrográfica e pode subsidiar também outras aplicações ligadas à gestão dos recursos hídricos, como, por exemplo, o cálculo da lâmina e a vazão de escoamento superficial, a regionalização de vazões hidrológicas, a estimativa do tempo de concentração em bacias hidrográficas e a estimativa de disponibilidade hídrica.

O avanço tecnológico na área do geoprocessamento, em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e de Modelos Digitais de Elevação (MDE), tem contribuído muito na execução de estudos, visando a delimitação automática de bacias hidrográficas e a caracterização morfométrica, por possibilitar rapidez na obtenção de resultados representativos.

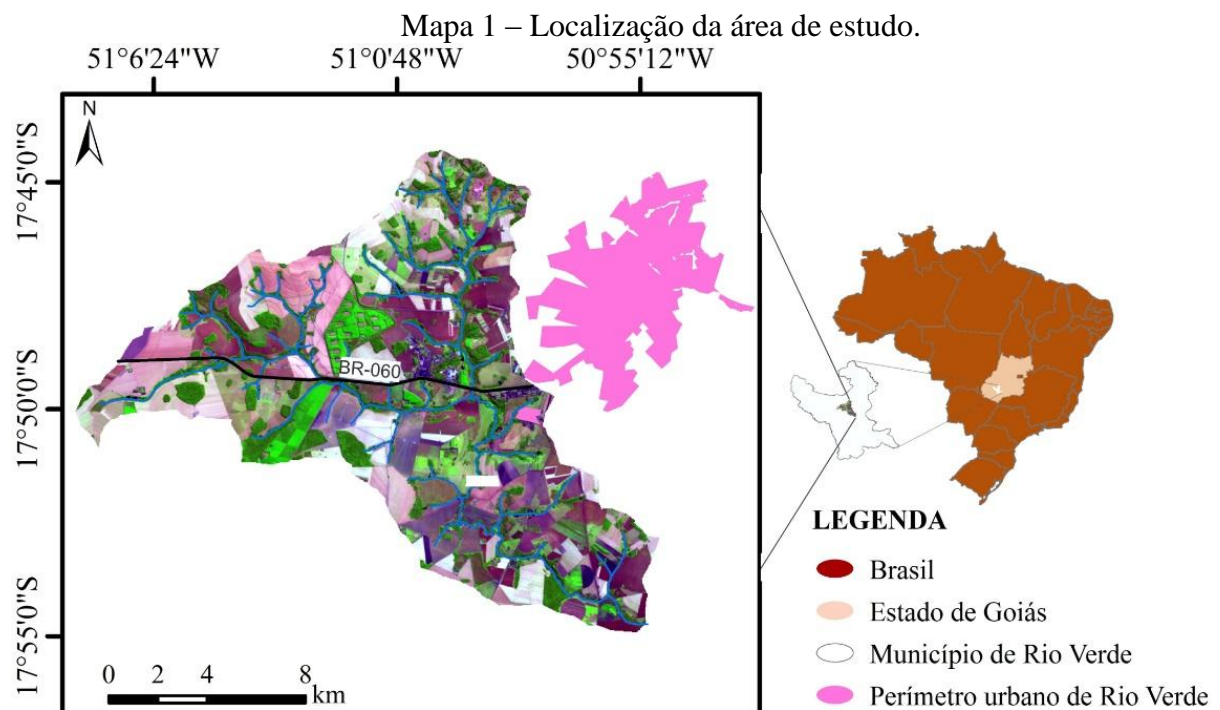
Objetivou-se caracterizar e analisar a morfometria, através de índices obtidos da geometria, relevo e da rede de drenagem, da bacia do hidrográfica Ribeirão das Abóboras, apoiado em técnicas de geoprocessamento, proporcionando, assim, subsídios adicionais à gestão dessa bacia hidrográfica.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na BHRA, localizada na área central do município de Rio Verde (Mapa 1), no Sudoeste de Goiás.

A nascente principal desse ribeirão nasce em altitude de 853 m, no local com coordenadas geográficas de $50^{\circ}58'8,239''\text{W}$ e $17^{\circ}45'4,927''\text{S}$, e sua foz está localizada na altitude de 640 m, nas coordenadas de $50^{\circ}55'0,677''\text{W}$ e $17^{\circ}54'43,223''\text{S}$, na margem direita do Rio São Tomás, sendo este afluente do Rio Verde, também conhecido regionalmente como Rio Verdão.

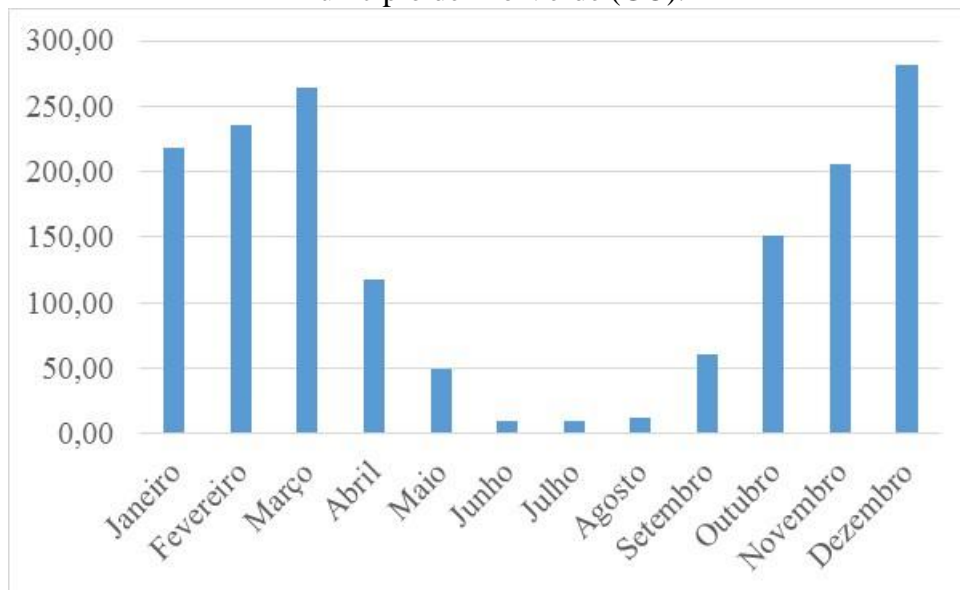


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

Em Rio Verde o clima apresenta duas estações bem definidas: uma seca (de maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a abril), caracterizada como mesotérmico úmido, com temperaturas amenas durante o inverno e calor no verão e, principalmente, na primavera. Nas estações outono-inverno são registradas as menores temperaturas, que podem variar de 6°C à 15°C . A temperatura média anual varia entre 20°C e 25°C (FERREIRA, 2010). A vegetação natural predominante é do bioma cerrado, com remanescentes localizados, principalmente, entre os vales fluviais na forma de matas de galeria, associados à maior umidade do ar (PRADO et al., 2009).

Em Rio Verde (GO), a precipitação média anual nos anos de 1996 a 2015 foi de 1615,1 mm, e os maiores níveis pluviométricos ocorram nos meses de outubro a abril e os menores, de maio a setembro, conforme dados observados na estação 83470 de Rio Verde (GO) obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP, 2016). As médias mensais constam no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Média mensal de precipitação (mm) de janeiro de 1996 a dezembro de 2015, no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da estação 83470 de Rio Verde (GO) disponibilizados pelo BDMEP (2016).

2.2.2 Bases de dados geográficos

As bases de dados usadas para a caracterização física e análise morfométrica da área de estudo foram:

- a. Imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 x 30 m, gerada pela cooperação entre *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), do DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos da América e das agências espaciais da Alemanha e da Itália; obtida através de arranjo projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria, a bordo do ônibus espacial Endeavour, entre o período de 11 a 22 de fevereiro de 2.000; e disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS, 2016).
- b. Drenagem da base cartográfica planialtimétrica do Estado de Goiás 1:1.000.000 IBGE, Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital gerada pela Agência

- Nacional de Água (ANA) geração 22 de julho de 2006; revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da carta pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC); e disponibilizada pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).
- c. Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, na escala 1:500.000, formato *shapefile (shp)*, geração em 13 de abril de 2.009, gerado pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC), e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).
 - d. Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, na escala 1:500.000, formato *shapefile (shp)*, geração 22 de julho de 2.006, gerado pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC), e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).
 - e. Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, formato *shapefile (shp)*, geração 01 de março de 2005, gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)/Fundação Rural Minas (Ruralminas); modelagem, alimentação do SIG e edição das cartas pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC); e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).

2.2.3 Processamento dos dados

A fase de processamento foi realizada no software ArcGIS 10.1[®], licenciado para o laboratório de Geoinformação da UFG/Regional Jataí.

A partir dos mapas Geológico e Geomorfológico do Estado de Goiás e Distrito Federal, de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, foram elaborados, respectivamente, os mapas de geologia, geomorfologia e solos da BHRA.

Um total de 24 variáveis morfométricas foram levantadas e analisadas, sendo 12 com dados obtidos por meio de SIG e 12 através da aplicação de equações específicas, utilizando os índices secundários obtidos dos dados anteriores.

A partir do SRTM foram extraídas curvas de nível com equidistância de 5 m, por meio da extensão *spatial analyst tools*, em *surface*, ferramenta *contour*. A partir das curvas de nível foi gerado um arquivo *shapefile (.shp)* com a delimitação da área da bacia, desenhada a partir da seção fluvial do exutório, ou seja, do ponto mais baixo, em direção ao divisor de água. Este *shp* foi utilizado para realizar o recorte por meio da ferramenta *clip*, das curvas de nível, para gerar o mapa de altimetria, através da extensão 3D *analysis*, ferramenta *create TIN* e *Edit TIN*. O

shp da delimitação da unidade de gestão foi aplicado também para extrair o SRTM da bacia a partir da base SRTM maior para gerar o mapa de declividade conforme a classificação da EMBRAPA (2013), por meio da extensão *spatial analyst*, com uso das ferramentas *slope* e *reclassify*.

O *shp* da delimitação da bacia foi aplicado ainda para extração da hidrografia da unidade, através da ferramenta *clip*, a partir da hidrografia de Goiás, para gerar o mapa de hidrografia e mapa de hierarquia dos cursos d'água. O mapa da hierarquização da rede de drenagem foi gerado conforme ordenação de Horton (1945), modificado por Strahler (1952), através da extensão *hydrology*, ferramenta *stream order*, com aplicação do algoritmo *strahler*. Todos os mapas foram gerados nas coordenadas geográficas, utilizando o Datum SIRGAS 2000.

Através de cálculos no Software ArcGIS 10.1[®] e dos mapas elaborados, foram obtidas as seguintes variáveis da BHRA: área (A), perímetro (P), número dos cursos hídricos (N), comprimento axial (La), ponto mais alto (PI), ponto mais baixo (PII), altitude, declividade da bacia, comprimento do canal principal (L), comprimento total dos canais (Lt), vetorial médio em linha reta (Ev) e ordem dos cursos hídricos.

As demais variáveis morfométricas calculadas obedecem às equações descritas, a seguir:

2.2.3.1 Coeficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade, segundo Fraga (2014), corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Obteve-se conforme equação 2 (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$Kc = 0,28(P/\sqrt{A}) \quad (2)$$

Onde, Kc é o coeficiente de compacidade, adimensional; P é o perímetro da bacia em km; e A é a área em km².

2.2.3.2 Fator de forma

Segundo Santos et al. (2012), o fator de forma relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz até o ponto mais distante do espigão. Obteve-se conforme equação 3 (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$Kf = A/Lax^2 \quad (3)$$

Onde, k_f é o fator forma, adimensional; A é a área da bacia em km^2 ; e L_{ax} é o comprimento axial da bacia em km .

2.2.3.3 Índice de rugosidade

O índice de rugosidade corresponde ao produto da densidade de drenagem pela declividade média da bacia (FRAGA et al., 2014). Obteve-se conforme equação 4 (MELTON, 1957):

$$I_r = H_m * D_d \quad (4)$$

Onde, I_r é o índice de rugosidade, adimensional; H_m é a amplitude altimétrica em m ; e D_d é a densidade de drenagem em km/km^2 .

2.2.3.4 Índice de circularidade

O índice de circularidade relaciona a área da bacia à área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Obteve-se conforme equação 5 (MULLER, 1953):

$$I_c = 12,57 A/P^2 \quad (5)$$

Onde, I_c é o índice de circularidade, adimensional; A é a área da bacia em km^2 ; e P é o perímetro da bacia em km .

2.2.3.5 Densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia (também conhecida como frequência de drenagem). Conforme Christofolletti (1980), o cálculo da densidade hidrográfica é importante por representar o comportamento hidrográfico da área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos hídricos. Obteve-se conforme equação 6 (HORTON, 1945):

$$D_h = N_{cp}/A \quad (6)$$

Onde, D_h é a densidade hidrográfica em número de canais por km^2 ; N_{cp} é o número de canais de primeira ordem, conforme sugestão de Christofolletti (1980); e A é a área da bacia em km^2 .

2.2.3.6 Declividade do canal principal

Lorenzon et al. (2014) afirmam que uma das características morfométricas muito importante para fins de análise da propensão à ocorrência de enchentes é a declividade do canal principal. Obteve-se conforme equação 7 (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$S_1 = 100 H_m/L_p \quad (7)$$

Onde, S_1 é a declividade do canal principal em %; H_m é a variação da cota entre os dois pontos extremos em m (declividade entre extremos, que é obtida através da diferença entre as cotas máximas na cabeceira e mínima, na foz); e L_p é o comprimento em nível do curso de água principal em m.

2.2.3.7 Amplitude altimétrica máxima

A amplitude altimétrica é a diferença entre a cota máxima e mínima. Obteve-se conforme equação 8 (STRAHLER, 1952):

$$H_m = P_I - P_{II} \quad (8)$$

Onde, H_m é a amplitude altimétrica da bacia em m; P_I é a altitude máxima do divisor topográfico; e P_{II} é a altitude da foz.

2.2.3.8 Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal (NARDINI et al., 2013). Obteve-se conforme equação 9 (SCHUMM, 1963):

$$I_s = L/E_v \quad (9)$$

Onde, I_s é o índice de sinuosidade, em km.km^{-1} ; L é o comprimento do rio principal em km; e E_v é o equivalente vetorial médio em linha reta em km.

2.2.3.9 Razão de Relevo

A razão de relevo relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e sua maior extensão medida paralelamente à principal linha de drenagem (ROCHA et al. 2014). Obteve-se conforme equação 10 (SCHUMM, 1956):

$$R_r = H_m/L \quad (10)$$

Onde, R_r é a razão de relevo em m.m^{-1} ; H_m é a amplitude topográfica máxima em m e L é o comprimento do canal principal em m.

2.2.3.10 Densidade de drenagem

Definida por Horton (1945), correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia, e o cálculo do comprimento total dos canais deve levar em conta tanto os rios perenes como os temporários (CHRISTOFOLETTI, 1969). Obteve-se conforme equação 11 (HORTON, 1945):

$$D_d = L_t/A \quad (11)$$

Onde, Dd é a densidade de drenagem em km.km^{-2} ; Lt é o comprimento total dos canais em km e A é a área da bacia em km^2 .

2.2.3.11 Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção é calculado pela relação inversa da densidade de drenagem e que fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Obteve-se conforme equação 12 (SCHUMM, 1956):

$$Cm = 1000/Dd \quad (12)$$

Onde, Cm é o coeficiente de manutenção em $\text{m}^2.\text{m}^{-1}$; Dd é a densidade de drenagem em km.km^{-2} .

2.2.3.12 Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada corresponde à distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um curso de água permanente. Obteve-se conforme equação 13 (HORTON, 1945):

$$Eps = 1/2 Dd \quad (13)$$

Onde, Eps é a extensão do percurso superficial em km ; Dd é a densidade de drenagem em km.km^{-2} .

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Geologia, geomorfologia e solos

Em função de suas características mineralógicas, textuais e estruturais, os corpos rochosos respondem diferentemente à ação dos processos exógenos, influenciando nas formas de relevo e tipos de solo (BOTELHO, 1999).

A bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras está inserida no Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná (SIEG, 2016).

As rochas que embasam a bacia do Ribeirão são de idades que oscilam entre o Cretáceo e o Neogeno. Os produtos litológicos são rochas sedimentares (Grupo Bauru - Formação Vale do Rio do Peixe, predominantes na bacia hidrográfica), coberturas detríticas indiferenciadas e ígneas vulcânicas (Grupo São Bento - Formação Serra Geral, menos representativa na bacia hidrográfica), podendo ser observado na Tabela 1 (SIEG, 2016).

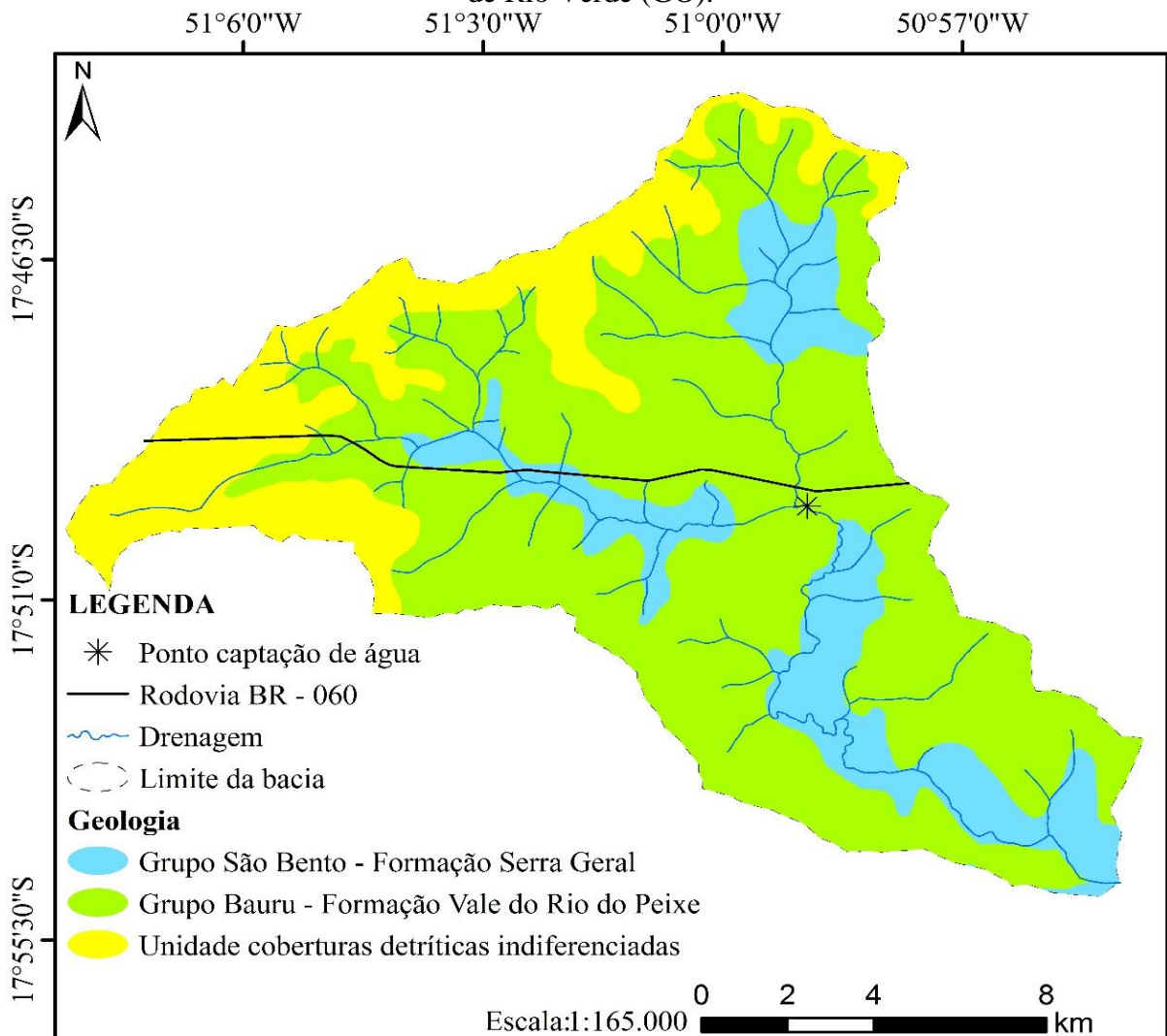
Os dois grupos geológicos e a unidade coberturas detríticas indiferenciadas presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras estão espacializados no Mapa 2.

Tabela 1 – Classes de geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Classe	Litotipo	km ²	%
Grupo Bauru - Formação Vale do Rio do Peixe.	Arenito, argilito arenoso.	124,91	62,74
Coberturas detríticas indiferenciadas.	Depósitos de areia, depósitos de cascalho, depósitos de argila.	39,60	19,89
Grupo São Bento - Formação Serra Geral.	Basalto, basalto-andesito.	34,59	17,37
Total		199,1	100

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal disponibilizado pelo SIEG (2016).

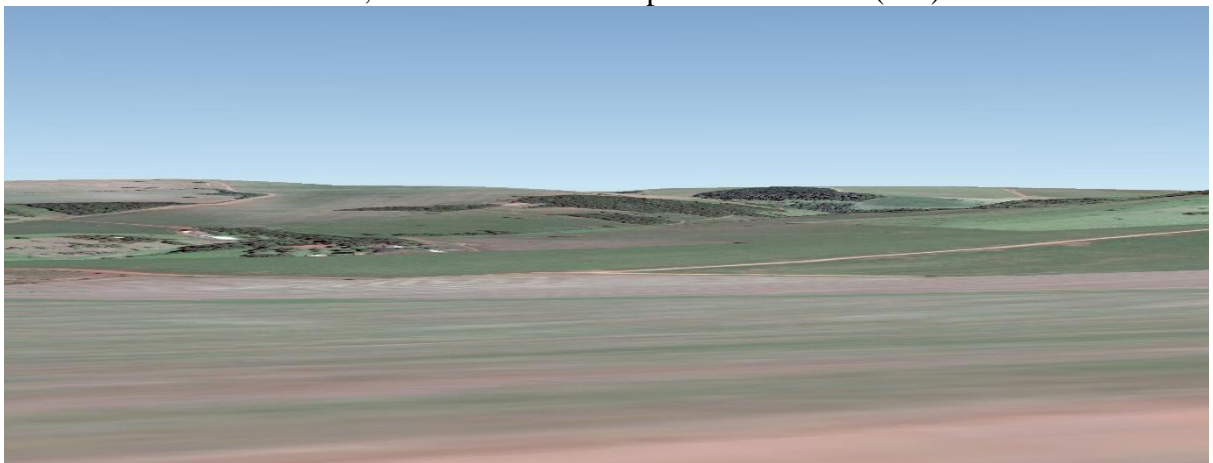
Mapa 2 – Geologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal e drenagem da base cartográfica de Goiás disponibilizados pelo SIEG (2016).

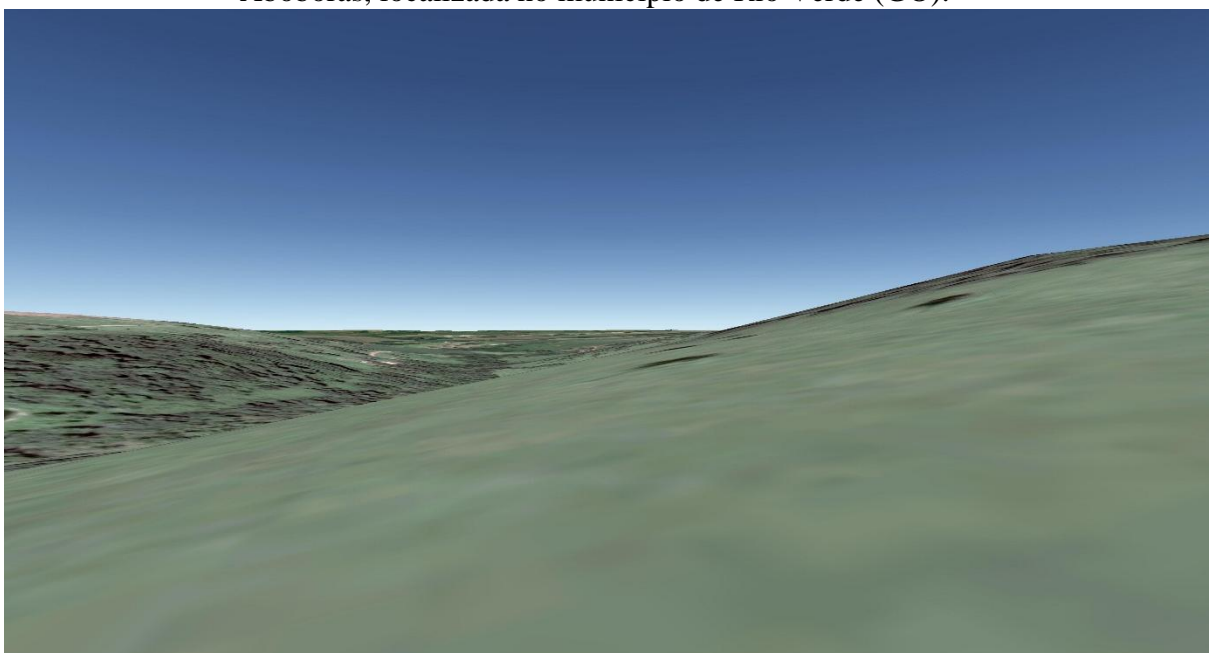
Quanto à geomorfologia, apresenta superfície regional de aplainamento IIIB com cotas entre 650 e 750 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares (SRAIIIB-RT), maior representatividade na bacia hidrográfica; e superfície regional de aplainamento IIB com cotas entre 800 e 1000 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares (SRAIIB-RT), em menor percentual na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 2 e Mapa 3 (LATRUBESSE, 2006) e também ilustrados nas Imagens 1 e 2.

Imagem 1 – Superfície regional de aplainamento IIIB com cotas entre 650 e 750 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Google Earth Pro (2016).

Imagem 2 – Superfície regional de aplainamento IIB com cotas entre 800 e 1000 m, com dissecação média e associada a relevos tabulares na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



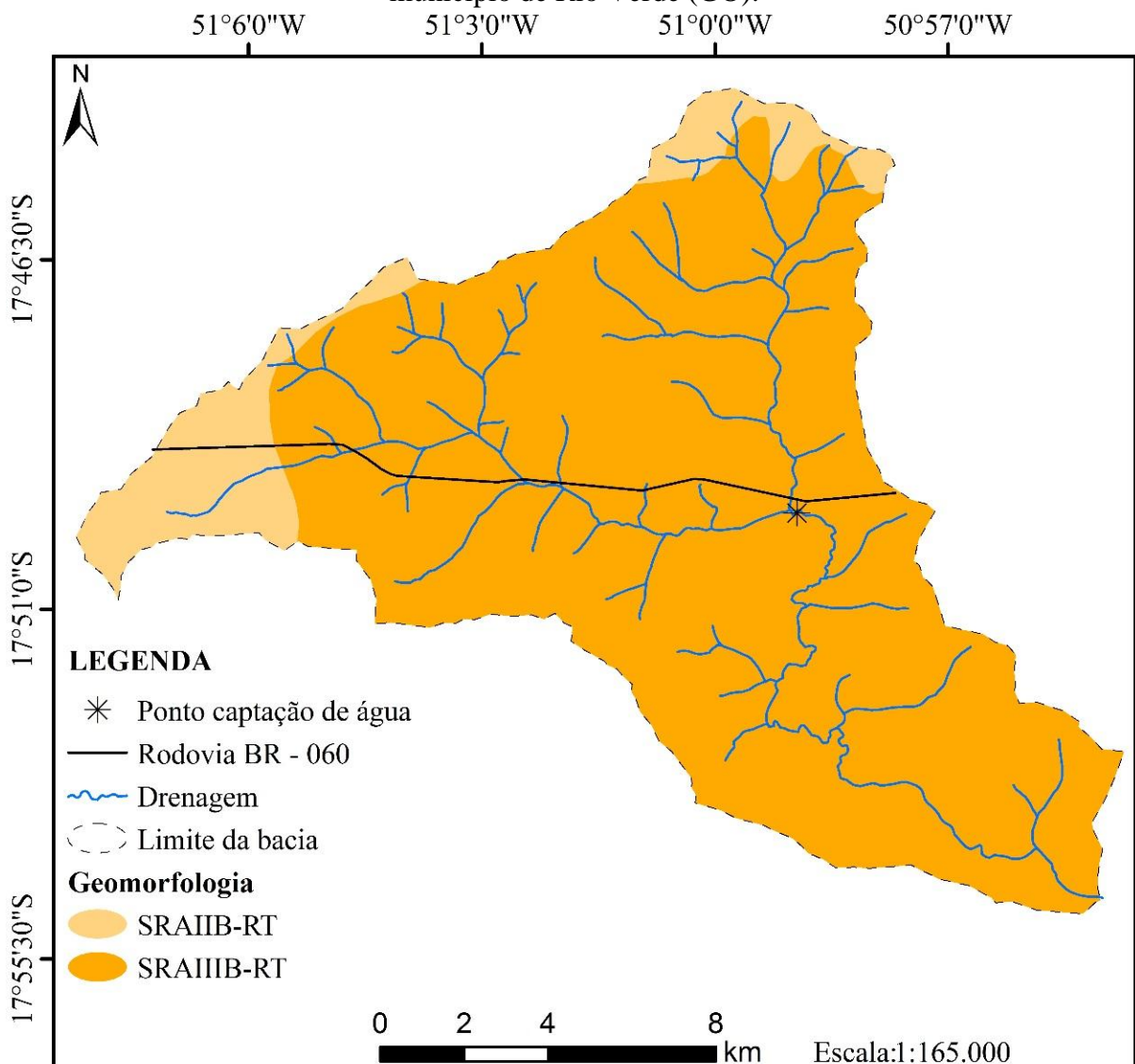
Fonte: Google Earth Pro (2016).

Tabela 2 – Classes de geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Classe	km ²	%
SRAIIB-RT	178,43	89,62
SRAIIB-RT	20,66	10,38
Total	199,1	100

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás e Distrito Federal disponibilizado pelo SIEG (2016).

Mapa 3 - Geomorfologia da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

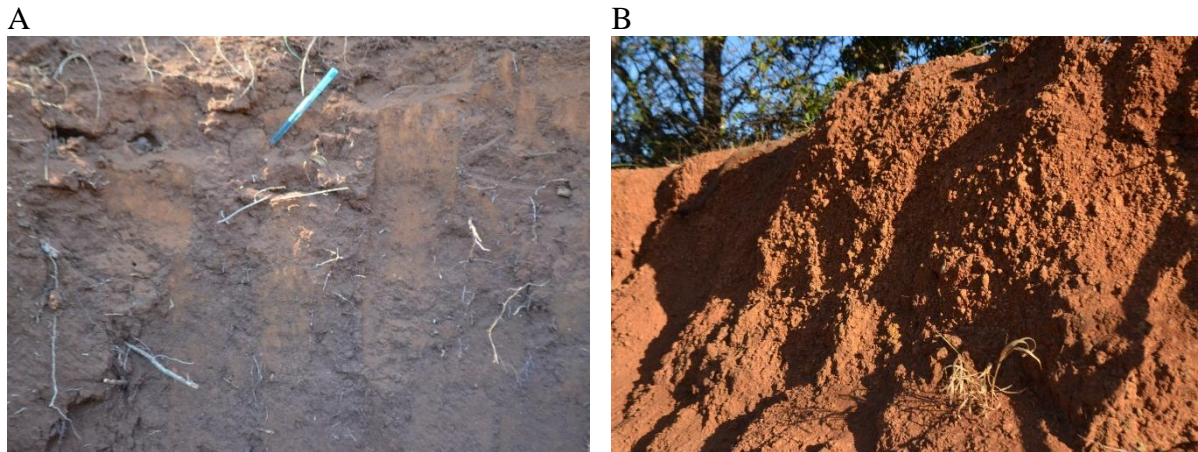


Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás e Distrito Federal e drenagem da base cartográfica de Goiás disponibilizados pelo SIEG (2016).

A área da bacia do Ribeirão das Abóboras apresenta três principais ordens de solos: Latossolos, Argissolos e Neossolos. Foram observadas as seguintes associações de solos:

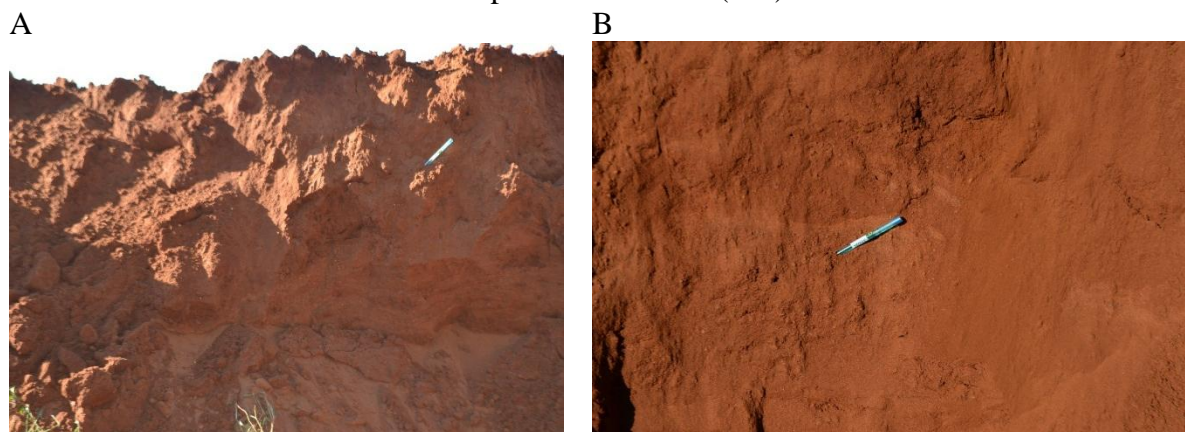
Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, textura muito argilosa ou argilosa, simbologia (LVd1), ver Foto 1 A; Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos textura argilosa + Latossolo Vermelho textura média, todos Distróficos, horizonte A moderado, simbologia (LVd11), ver Foto 1 B; Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura média + Neossolo Quartzarênico, todos Distróficos e horizonte A moderado, simbologia (LVd16), ver Foto 2 A; Argissolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos, simbologia (PVd12), ver Foto 2 B (EMBRAPA, 2013; SIEG, 2016), observar Tabela 3 e Mapa 4.

Foto 1 – (A) Perfil de solo obtido na área de Latossolo Vermelho Distrófico e (B) perfil de solo obtido na área de associação de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura argilosa + Latossolo Vermelho textura média, todos Distróficos, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Foto 2 - (A) Perfil obtido na área de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura média + Neossolo Quartzarênico, todos Distróficos e (B) perfil na área de Argissolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



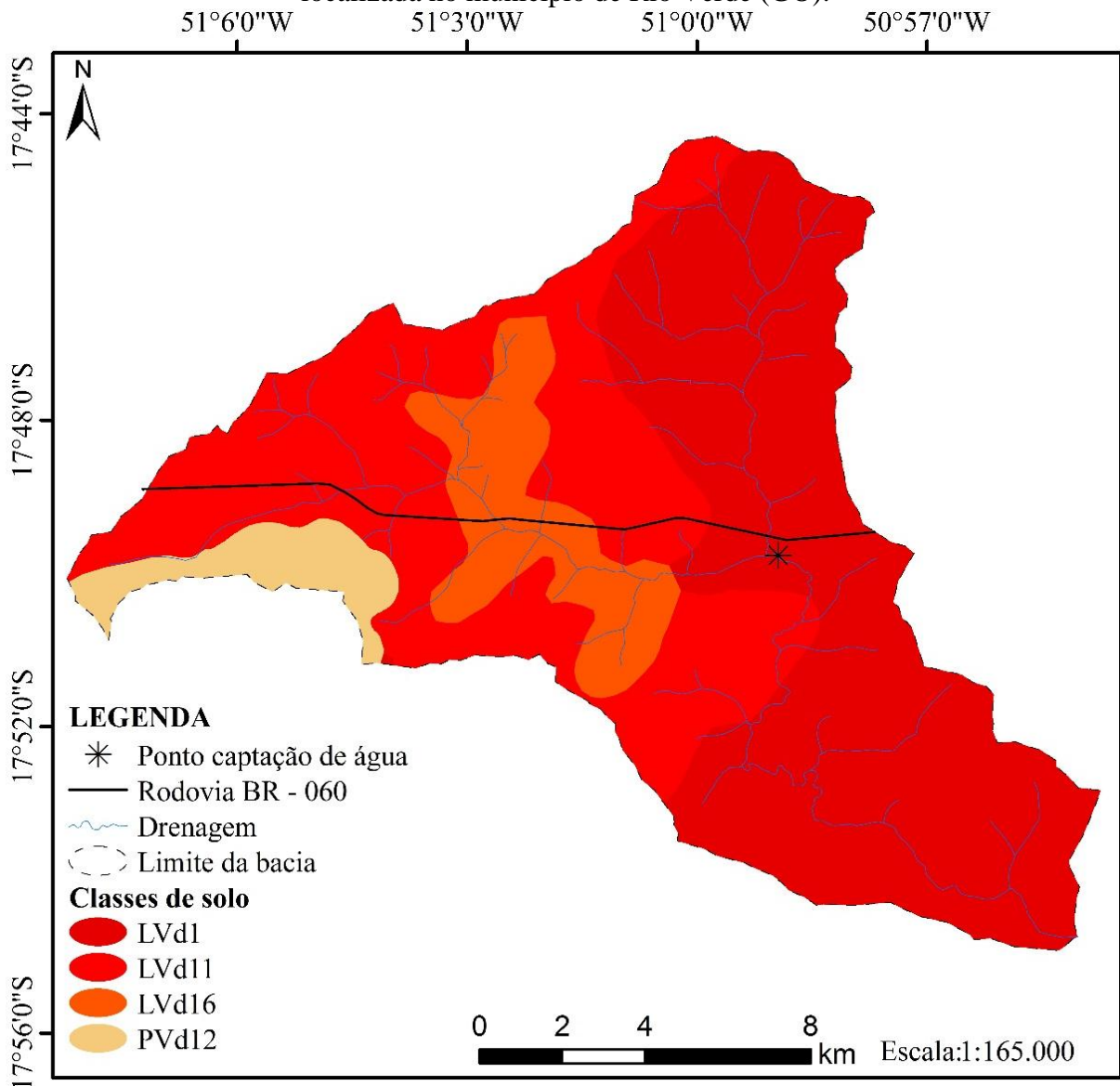
Fonte: Autor.

Tabela 3 – Unidade de mapeamento de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Classe	Km ²	%
LVd1	96,36	48,39
LVd11	72,09	36,21
LVd16	21,50	10,80
PVd12	9,15	4,60
Total	199,1	100

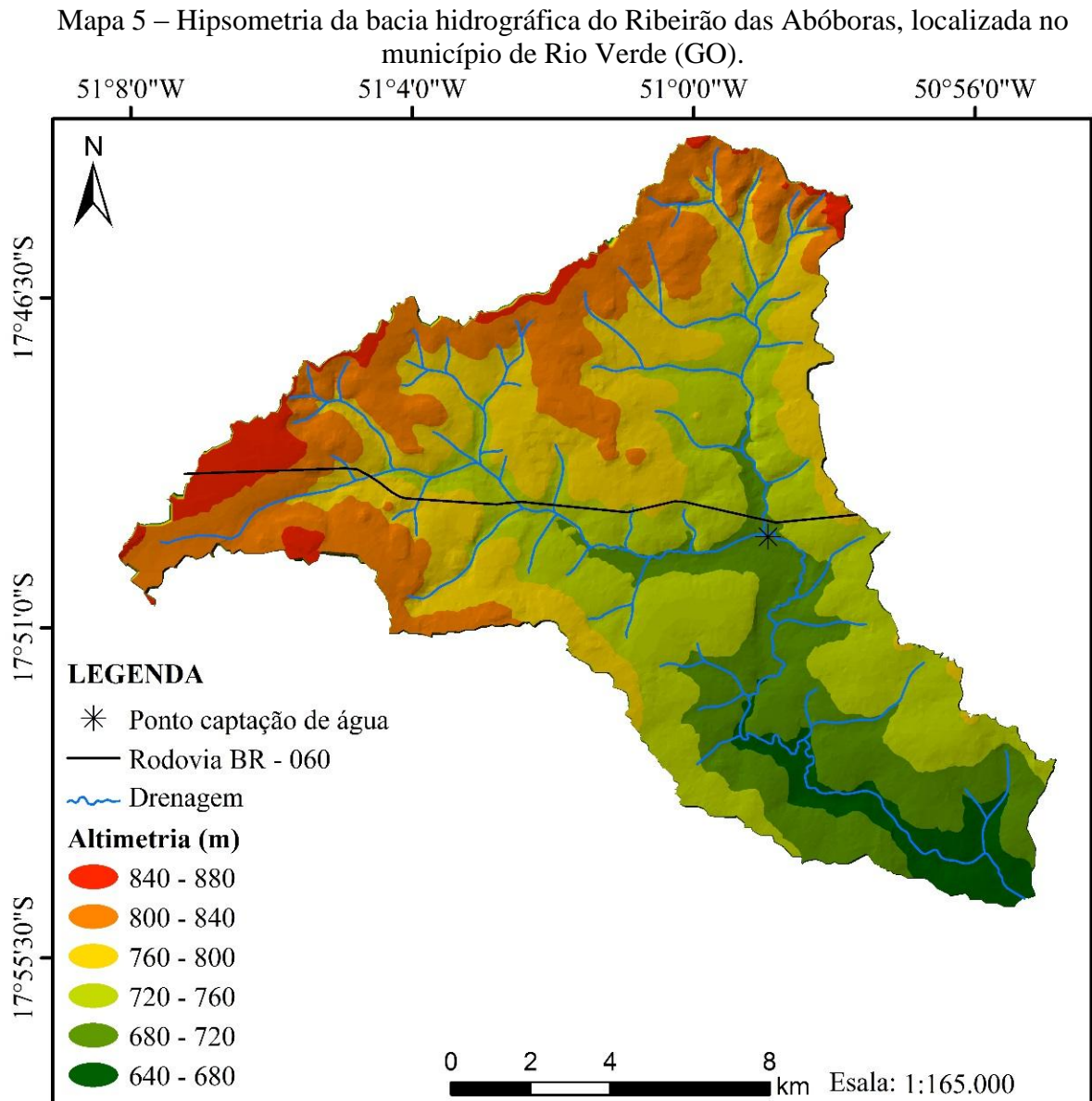
Fonte: Adaptado pelo autor do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba disponibilizado pelo SIEG (2016).

Mapa 4 – Unidade de mapeamento de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba e drenagem da base cartográfica de Goiás disponibilizados pelo SIEG (2016).

O mapa de hipsometria e declividade das vertentes contribuem para o entendimento da modelagem e prevenção de movimentos de massa, uma vez que esse processo é influenciado fortemente pela gravidade. Observa-se no Mapa 5 que a bacia do Ribeirão das Abóboras apresenta a maior altitude de 880 m e a menor de 640 m.



Fonte: Elaboração pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

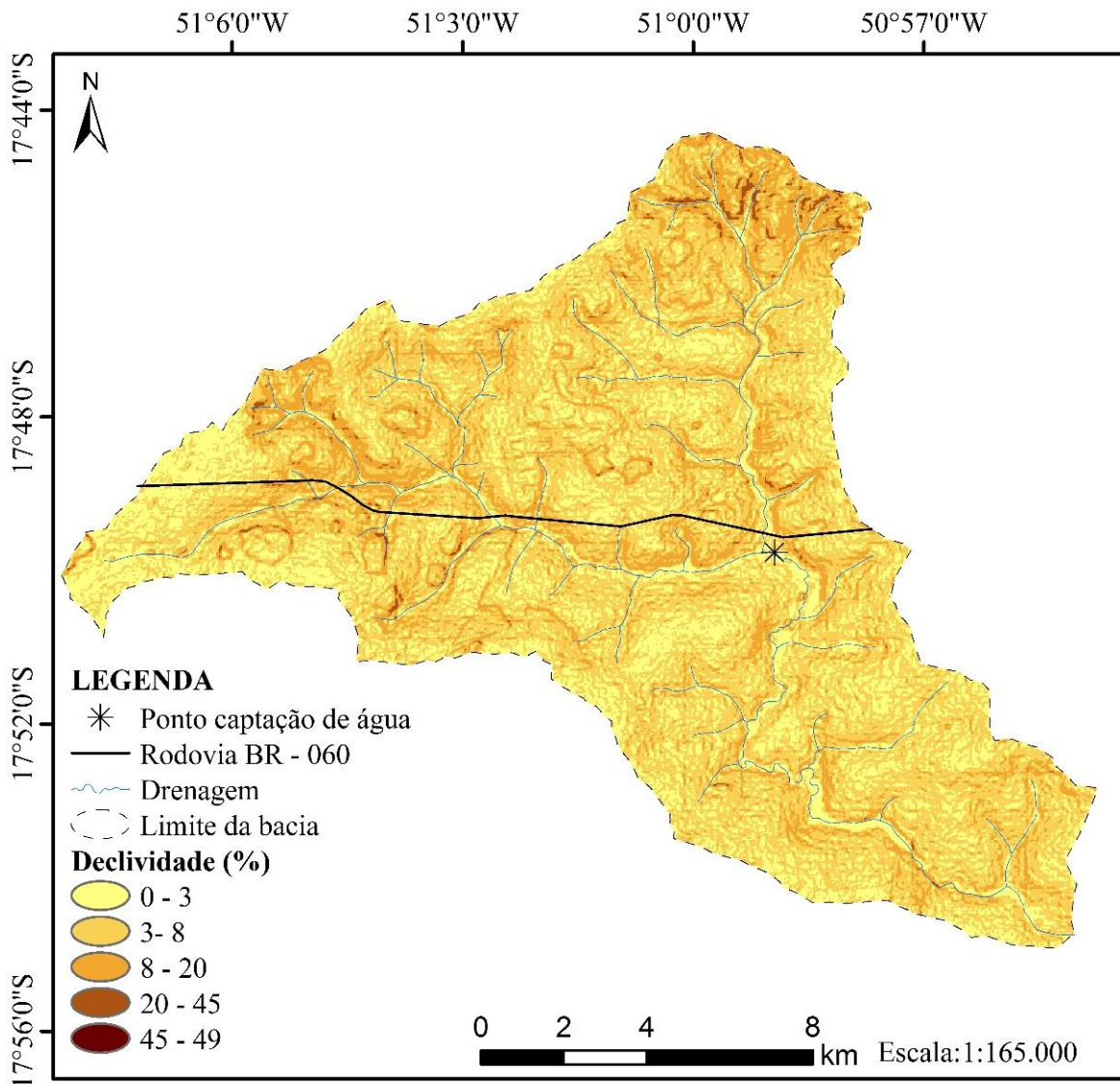
A declividade da bacia do ribeirão em estudo, conforme a classificação da declividade das formas de relevo da EMBRAPA (2013), apresentada na Tabela 4 e especializada no Mapa 6, é predominantemente suave ondulada (106,86 km²), seguida de plana (56,53 km²), ondulada (34,48 km²) e, com menos representatividade, forte ondulada (1,21 km²) e montanhosa (0,02 km²).

Tabela 4 – Classes de declividade (S) e % da área da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

S (%)	Área (km ²)	% da bacia	Descrição das classes
0 – 3	56,53	28,39	Plano
3 – 8	106,86	53,67	Suave ondulado
8 – 20	34,48	17,32	Ondulado
20 – 45	1,21	0,61	Forte ondulado
45 - 49	0,02	0,01%	Montanhoso

Fonte: Elaboração pelo autor a partir do SRTM disponibilizado pelo SIEG (2016).

Mapa 6 – Declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaboração pelo autor a partir de bases de dados disponibilizados pelo SIEG (2016).

A predominância do relevo suave ondulado torna a bacia favorável ao uso agrícola, favorecendo a infiltração das águas das chuvas, o baixo risco de erosão e, dada a declividade do canal principal obtida de 0,82%, de assoreamento da rede de drenagem.

Nas Fotos 3 e 4, nesta ordem, observam-se declividades planas e forte onduladas na área de estudo.

Foto 3 – Declividades planas observadas na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Foto 4 – Declividades forte onduladas observadas na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Em outro trabalho, realizado por Coutinho et al. (2011), com objetivo de caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio da Prata em Castelo (ES), verificaram declividade entre 20% e 45% em 49,23 km² da bacia, o que, conforme EMBRAPA (2013), caracteriza um relevo do tipo forte ondulado. Estas características contribuem para o processo de erosão e sedimentação nos canais de água dessa bacia. Os autores ressaltam ainda que o relevo exerce influência no perfil do solo, nas relações de precipitação e deflúvio devido à velocidade do escoamento superficial, nas taxas de infiltração e, conforme o novo Código Florestal Brasileiro,

Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, caracteriza-se como área de preservação permanente por enquadrar-se em declividade acima de 45° de inclinação (BRASIL, 2012).

2.3.2 Morfometria

Na Tabela 5 estão os resultados matemáticos da análise morfométrica da BHRA.

Tabela 5 – Resultados obtidos para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), agrupados em características da geometria, do relevo e da rede de drenagem.

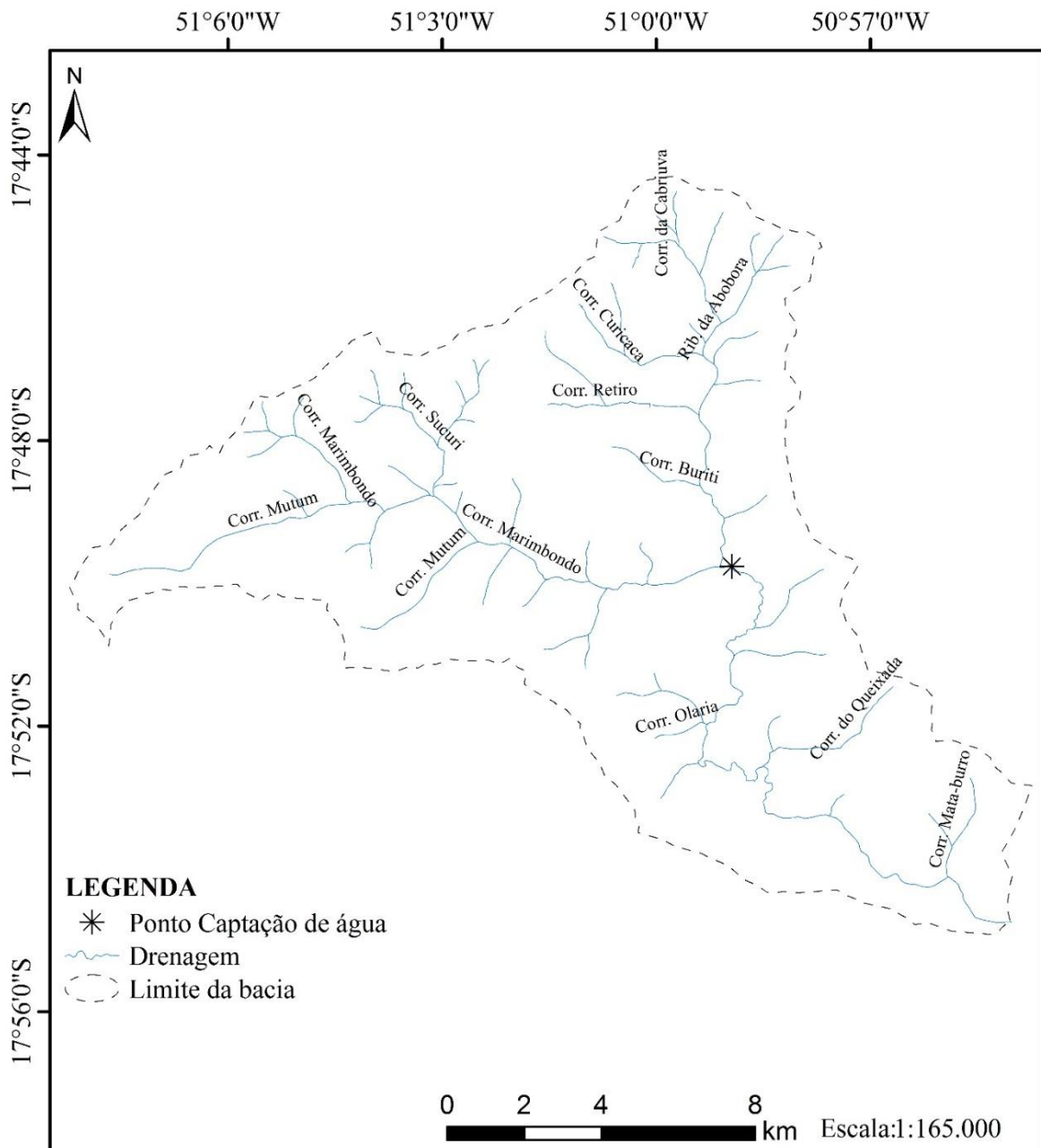
Características	Variáveis	Resultados
Geométricas	Área	199,10 km ²
	Perímetro	78,25 km
	Número de canais	55
	Comprimento axial	29,27 km
	Coefficiente de compacidade	1,55
	Fator de forma	0,23
	Índice de rugosidade	158,55
	Densidade hidrográfica	0,28 canais.km ⁻²
	Índice de circularidade	0,41
Relevo	Ponto mais alto da bacia	880 m
	Ponto mais baixo da bacia	640 m
	Altitude média	777,88 m
	Amplitude altimétrica	240 m
	Declividade do canal principal	0,82 %
	Índice de sinuosidade	1,57 km.km ⁻¹
	Razão de relevo	0,01 m.m ⁻¹
Rede de Drenagem	Comprimento do canal principal	29,15 km
	Comprimento total dos canais	131,53 km
	Equivalente vetorial médio em linha reta	18,62 km
	Densidade de drenagem	0,66 km.km ⁻²
	Coefficiente de manutenção	1.513,72 m ² .m ⁻¹
	Extensão do percurso superficial	0,33 km
	Ordem da bacia	4 ^a ordem

Fonte: Autor.

Com área de 199,10 km², a bacia apresenta um perímetro de 78,25 km e um comprimento axial 29,27 km.

Os principais afluentes do ribeirão, conforme se verifica no Mapa 7, são: Córrego Curicaca, Córrego Retiro, Córrego Buriti, Córrego Sucuri, Córrego Aterrado-de-cima, Córrego Mutum, Córrego Olaria, Córrego do Queixada, Córrego Mata-burro e Córrego Marimbondo. Este último é o principal afluente do ribeirão.

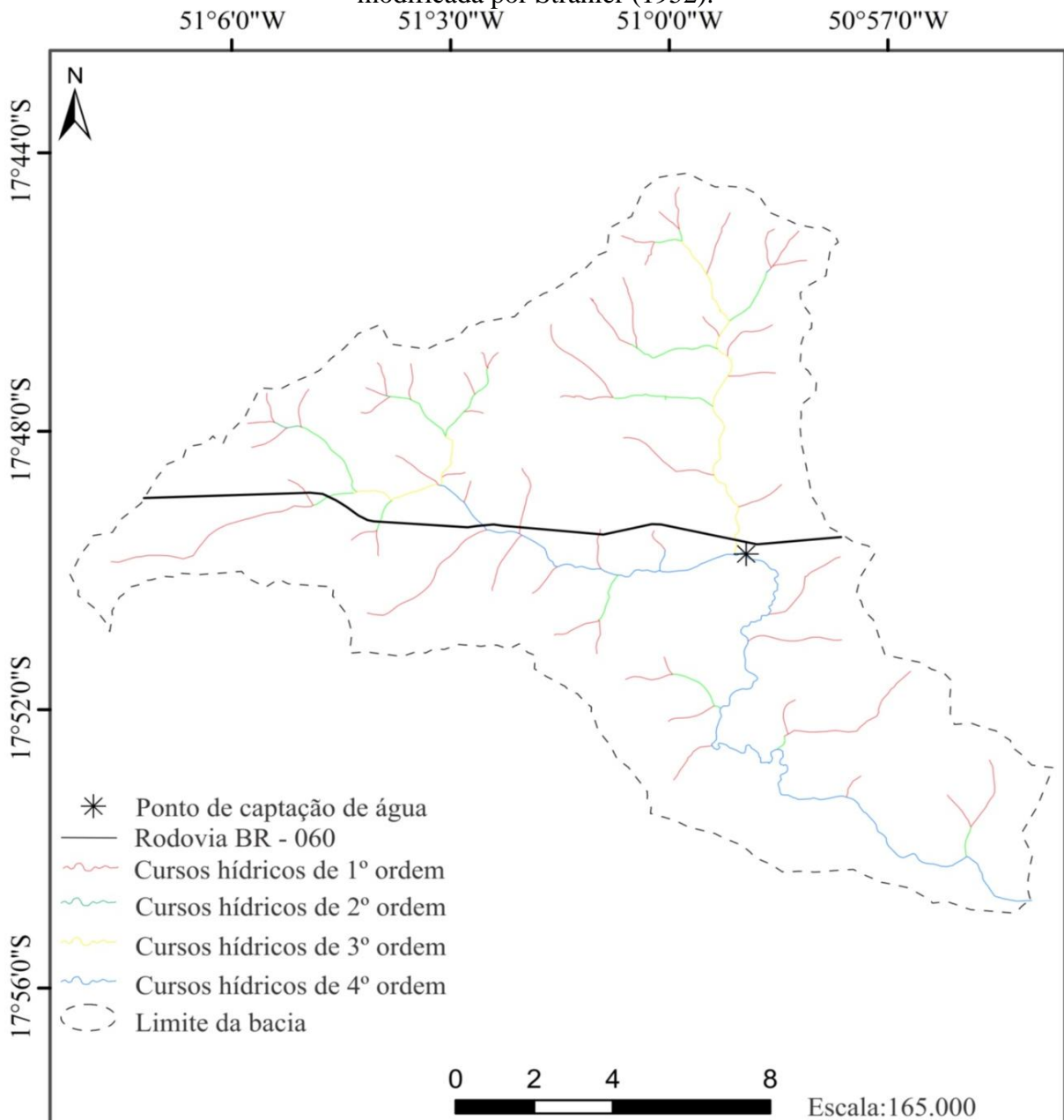
Mapa 7 – Hidrografia do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

O Ribeirão das Abóboras, conforme o método de classificação de Horton (1945), modificado por Strahler (1952), é de 4ª ordem, composto por 55 canais de 1ª ordem, 14 de 2ª ordem e 3 de 3ª ordem. Essa ordem obtida reforça que a bacia do Ribeirão das Abóboras é de média drenagem. Conforme Tucci (2001), a ordem dos cursos d'água representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia. Neste sentido, o Córrego Marimbondo, também classificado como de 4ª ordem (Mapa 8), é importante como fonte de água para o abastecimento da população rio-verdense, assim como para outros usos.

Mapa 8 – Ordem dos cursos de água da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO), conforme metodologia de Horton (1945), modificada por Strahler (1952).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

A altitude média da bacia é de 777,88 m e amplitude altimétrica de 240 m. Esta amplitude, considerada baixa, confere à bacia um relevo favorável à sua preservação, desde que seja de forma sustentável (Tabela 5).

Considerando os índices obtidos para as variáveis morfométricas – coeficiente de compacidade (1,55), fator de forma (0,23), índice de rugosidade (158,55) e índice de circularidade (0,41) – a bacia do Ribeirão das Abóboras é mais alongada que circular e, conseqüentemente, é pouco suscetível a grandes enchentes, exceto na rara ocorrência de precipitações com intensidade anormais.

Quanto maior a irregularidade da bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Como este coeficiente quando for igual à unidade corresponde a uma bacia circular, ele possibilita a indicação de maior ou menor ocorrência de cheias à medida que se aproxima ou afasta da unidade (VILLELA; MATTOS, 1975). Valor próximo ao encontrado para a bacia do Ribeirão das Abóboras foi obtido por Andrade et al. (2008) na caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso (MT), sendo igual a 1,43, e, segundo esses autores, indica menor propensão a enchente quando comparado a uma bacia circular.

Santos et al. (2012) também encontraram valores próximos ao encontrado para a bacia do Ribeirão das Abóboras, com 1,56, para a sub-bacia Perdizes e 1,41 para a sub-bacia Fojo, e afirmam que esses valores associados aos respectivos fatores de forma que encontraram, 0,27, para a sub-bacia Perdizes e 0,29, para a sub-bacia Fojo, indicam que estas sub-bacias, em condições normais de precipitação, são pouco suscetíveis a enchentes.

Coutinho et al. (2011), na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio da Prata, em Castelo (ES), obtiveram coeficiente de compacidade de 1,75, valor 12,69% maior que o obtido para a bacia do Ribeirão das Abóboras, refletindo tendência à não ocorrência de grandes enchentes.

Bacias longas e estreitas são mais dificilmente atingidas inteiramente por chuvas intensas (SCHWAB et al., 1966). Ao comparar uma bacia com fator de forma menor com outra com fator de forma maior, esta tem maiores chances de sofrer inundações do que a primeira. Andrade et al. (2008) encontraram fator de forma de 0,21, 8,70% menor que o valor obtido para a BHRA, 0,23, e, conforme os autores, considerado baixo e que a bacia do Rio Manso é pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação.

Quanto maior for o índice de rugosidade, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes forem íngremes e longas.

Valores bem maiores que o obtido para a bacia do Ribeirão das Abóboras (155,25) foram encontrados por Cherem et al. (2011), na análise e compartimentação morfométrica da

bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas – Região Central de Minas Gerais, onde obtiveram índice de rugosidade de 462, ou seja, 197,58% maior que o obtido para a bacia do Ribeirão das Abóboras, considerado alto, e atribuíram esse resultado a elevada amplitude altimétrica da bacia (1.050 m) que, por sua vez, deve-se à inclusão das escarpas serranas que delimitam a bacia, as quais influenciam a amplitude altimétrica, porém com pouca representatividade espacial nessa bacia.

Caso as escarpas serranas sejam desconsideradas, 750 m, o Ir da bacia assume valor menor, de 304 (CHEREM et al., 2011), passando a ser 95,81% maior que o obtido para a bacia do Ribeirão das Abóboras.

Coutinho et al. (2011), na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo (ES), obtiveram índice de circularidade de 26,83% menor do que o obtido para a bacia do Ribeirão das Abóboras, de 0,41. Relacionaram esse valor à tendência de não ocorrência de grandes enchentes nessa unidade de gestão. Conforme Cardoso et al. (2006), o índice de circularidade tende para 1 à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada.

A densidade hidrográfica da bacia do Ribeirão das Abóboras equivale a 0,28 canais por km², ou seja, pode-se distribuir para cada porção de 3,57 km² da bacia um de canal. Trata-se, portanto, de uma bacia com baixa densidade de canais. Segundo Lollo (1995), bacias hidrográficas que apresentam densidade hidrográfica menor que 3 são classificadas como de baixa densidade hídrica, de 3 a 7, média, de 7 a 15, alta, e com índice maior que 15, muito alta. Lana et al. (2001) afirmam que se o índice de densidade de drenagem estiver acima de 2 canais por km², a bacia teria grande capacidade de gerar novos cursos d'água.

Para o índice de sinuosidade, foi obtido valor de 1,57 km.km⁻¹, inferindo-se que os canais são transicionais. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (LANA, 2001). Essa variável indica a velocidade de escoamento do canal principal. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor (SANTOS et al. 2012).

Na caracterização fisiográfica e morfométrica da bacia do córrego Jataí no município de Jataí (GO), o valor encontrado para o índice de sinuosidade em toda bacia foi de 1,17 km.km⁻¹, isto é 25,48% menor que o valor encontrado para o Ribeirão das Abóboras, sendo o valor considerado baixo pelos autores, inferido que a bacia, conforme os pesquisadores, apresenta velocidade de escoamento favorável à sua preservação (LOPES et al., 2007).

O valor obtido para a razão de relevo foi de $0,01 \text{ m.m}^{-1}$, reforçando que a bacia do Ribeirão das Abóboras apresenta velocidade baixa de escoamento, contribuindo para maior infiltração da água, baixa susceptibilidade à erosão e redução de risco de assoreamento. Schumm (1956) afirma que quanto maior o valor da razão de relevo, maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, como consequência, maior será a declividade média da bacia.

Santos et al. (2012) obtiveram índice de $37,5 \text{ m.km}^{-1}$ ($0,0375 \text{ m.m}^{-1}$), para a sub-bacia do Perdiz, e $44,6 \text{ m.km}^{-1}$ ($0,0446 \text{ m.m}^{-1}$), para a sub-bacia do Fojo, sendo 78,93% e 82,29%, nesta ordem, maiores que a encontrada para a bacia do Ribeirão das Abóboras. Os autores afirmam que esses resultados reforçam que essas duas bacias apresentam escoamento rápido. A razão de relevo encontrada para a caracterização fisiográfica e morfométrica da microbacia do córrego Jataí no município de Jataí (GO) foi de 0,024 ou 67,08% maior que os resultados obtidos para o ribeirão, sendo considerada pelos pesquisadores como de relevo baixo (LOPES et al., 2007).

A densidade de drenagem calculada para a área de estudo, de $0,66 \text{ km.km}^{-2}$, indica que a bacia é caracterizada como de média drenagem. Esta tendência é reforçada pela densidade hidrográfica que apresentou um índice de $0,28 \text{ canais.km}^{-2}$, considerado baixo, conforme se observa na Tabela 5. Para Villela e Mattos (1975) esse índice pode variar de $0,5 \text{ km.km}^{-2}$, em bacias com drenagem pobre, a $3,5 \text{ km.km}^{-2}$ ou mais, para bacias bem drenadas. A classificação da Dd de uma bacia, segundo Beltrame (1994) pode ser de: $Dd < 0,50 \text{ km.km}^{-2}$, baixa, entre $0,50 - 2,00 \text{ km.km}^{-2}$, média, entre $2,01 - 3,50 \text{ km.km}^{-2}$, alta e $> 3,50 \text{ km.km}^{-2}$, muito alta.

Para o coeficiente de manutenção, o resultado encontrado foi de $1.513,72 \text{ m}^2.\text{m}^{-1}$ (Tabela 5), ou seja, há necessidade de uma área de drenagem de, no mínimo, $1.513,72 \text{ m}^2$ para a manutenção de um metro de canal de escoamento perene.

A extensão do percurso superficial corresponde a $0,33 \text{ km}$ (Tabela 5). Este valor mostra que a bacia do Ribeirão das Abóboras possui longa distância de escoamento da enxurrada, proporcionando maior tempo de concentração da água, atenuando o risco de erosão e aumentando a possibilidade de conservação da bacia em questão. Além disso, os resultados para o coeficiente de manutenção e extensão do percurso superficial indicam que a bacia do ribeirão apresenta solos com boa permeabilidade.

Zanata et al. (2011), ao estudarem a influência da escala na análise morfométrica de bacias hidrográficas, obtiveram valores de coeficiente de manutenção de 1213,10 (na escala 1:50000 do IBGE) e de 1163,83 (na escala 1:10000 do IGC) e para extensão do percurso superficial 0,61 (na escala 1:50000 do IBGE) e 0,58 (na escala 1:10000 do IGC), sugerindo solos mais permeáveis.

2.4 Conclusão

Considerando o conjunto das características geométricas obtidas da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, essa unidade de análise caracteriza-se como de forma mais alongada, inferindo-se que esta unidade de gestão apresenta menor propensão a grandes enchentes se comparada com uma bacia circular. Considerando-se o relevo, o Ribeirão das Abóboras apresenta características de curso de água com predominância em relevo suave ondulado, facilitando as práticas agrícolas. Em se tratando da drenagem, a bacia é caracterizada como de média densidade, inferindo-se que o substrato geológico e o material pedológico são mediantemente porosos. Considerando o conjunto das características físicas obtidas e analisadas, a bacia do Ribeirão das Abóboras apresenta forte controle estrutural, favorecendo a preservação dos canais de água.

Por ser uma bacia importante para a região, faz-se necessário estudos do uso da terra e cobertura vegetal, da fragilidade ambiental e o levantamento da qualidade da água por meio de variáveis físico-químicas e microbiológicas de amostras coletadas em pontos estrategicamente planejados ao longo do Ribeirão das Abóboras.

O uso de práticas conservacionistas e o atendimento ao código florestal vigente são formas de manutenção de seu potencial para usos múltiplos.

As variáveis obtidas foram importantes para o diagnóstico da bacia hidrográfica e para facilitar a indicação mais objetiva de uso e das práticas conservacionistas.

Referências

ANDRADE, N. L. R.; XAVIER, F. V.; ALVES, E. C. R. F.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, C. U. R. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso – MT.

Geociências, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.

BDMEP – BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA (BDMEP). **Dados de precipitação de janeiro de 1996 a dezembro de 2015**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em 13 mar. 2016.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 2.651. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em: <

<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=28/05/2012>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

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

CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JR, A. P.; FARIA, S. D. análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do alto rio das velhas – região central de Minas Gerais. **Geomorfologia**, v.12, n.1, p.11-21, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. A Análise de Bacias Hidrográficas. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980. 102-121p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Ed. Blücher, 2ª edição, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA; 2013.

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; GARCIA5, G. O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, v. 16, n. 4, p. 369-381 , 2011.

FERREIRA, W. S. **Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). 2010. 67 f. Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO, 2010.

FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

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.

LANA, C. L.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do rio Tanque, MG-Brasil. **Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p.121-126, 2001.

LATRUBESSE, E. M. CARVALHO, T. M. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Secretaria de Indústria e comércio. **Superintendência de Geologia e mineração**. Goiânia, 2006.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. São

Carlos, 1995. 268 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOPES, R. M.; ASSUNÇÃO, H. F.; SCOPEL, I.; CABRAL, J. B. P. Caracterização fisiográficas e morfométricas microbacia do córrego Jataí no município de Jataí (GO). **Geoambiente**, n. 9, p. 142 – 163, 2007.

LORENZON, A. S.; FRAGA, M. S.; MOREIRA, A. R.; ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BORGES, A. C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Ambiente & Água**, v. 10 n. 1, p. 195-2006, 2014.

MELTON M. A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. New York: Columbia University; 1957.

MÜLLER VC. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area**, New York, Virginia and Tennessee. New York: Columbia University; 1953.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X. D.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma micobacia hidrográfica. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

PRADO, R. B.; FERREIRA, C. E. G.; BENITES, V. de M. NAUMOV, A. Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 148: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 54p. 2009.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; NETO, E. L. M.; NETTO, A. O. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 276-287, 2014.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. de. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2ª edição. São Carlos, RiMa, 2007.

SCHWAB, G.O.; A.K. FREVERT; T.W. EDMINSTER, K.K. BARNES, 1966. **Soil and Water Conservation Engineering**. John-Wiley & Sons. New York. 683 p.

SCHUMM, S.A. A tentative classification of alluvial river channels. U.S. Geological Survey Circular, n. 477, 1963.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Disponível em:
<<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em 25 maio 2016.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p.1117-1142, 1952.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Uniara**, n. 20, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Edusp/ABRH, 2001. 943p.

USGS – United States Geological Survey. **Multimedia Gallery**. Disponível em:
<<https://www.usgs.gov/products/multimedia-gallery/overview>>. Acesso em: 2016 jan. 20.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S., MÉLLO JUNIOR, A. V., GARCIA, C. A. B., NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água**, v.6, n.1, p.118-130, 2011.

VILLELA, S. M & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. M.; CAMPOS, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1062–1067, 2011.

3 USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2015

3.1 Introdução

No Brasil, nas últimas décadas, conforme Cardoso e Aquino (2013), as transformações causadas no espaço geográfico, decorrentes da relação sociedade-natureza, têm trazido preocupações e debates no campo científico devido aos elevados níveis de degradação dos recursos naturais. Essas transformações estão relacionadas ao uso intensivo e desordenado das terras, em busca de ganhos em produtividade, que têm cada vez mais avançado em áreas protetoras dos recursos naturais, conhecidas como Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente as que protegem os recursos hídricos.

No Sudoeste de Goiás concentra-se importante parcela da produção agrícola do estado, e esta região se destaca como um polo de atração de projetos agroindustriais. Estes projetos demandam grande quantidade de matérias primas, como grãos, frangos e suínos, e levam a um uso mais intensivo das terras (CARMO, 2002). O uso da terra tem gerado às APPs impactos ambientais graves, com redução de vegetação nativa tanto perto quanto distante das áreas fluviais (TSUJII et al., 2014).

Como instrumento para a gestão de bacias hidrográficas, tem-se as práticas apropriadas de uso e manejo do solo, que compõem técnicas que priorizam a sustentabilidade hídrica da bacia, utilizando-se ações integradas entre governos federal, estadual e municipal, sociedade civil e a comunidade técnico-científica (ANDRADE et al., 2008).

Muitas leis foram criadas no Brasil para a proteção ambiental. Em busca de garantir bens econômicos, a partir do descobrimento até o ano de 1830, foram promulgados os primeiros dispositivos ambientais, como, por exemplo, o Código Criminal, instituído pela Lei de 16 de dezembro de 1830, que tipificou como crime o corte ilegal de madeira (ÂMBITO JURÍDICO, 2016).

A partir de 1830 até o início da década de 1980, foram promulgadas as primeiras leis tendo por objetivo a preservação e objeto o meio ambiente e os recursos naturais, por exemplo o antigo Código Florestal instituído pela Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que foi substituído pelo atual Código Florestal instituído pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

Em 1981, com a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente, pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, tendo por objetivo estabelecer um conjunto articulado e descentralizado de ações para a gestão ambiental no País, integrando e harmonizando regras e práticas

específicas que se complementam nos três níveis de governo (BRASIL, 1981), foi dado um avanço importante para a proteção ambiental no território nacional. A partir dessa descentralização, foram criadas leis ambientais estaduais e municipais.

No estado de Goiás, foi criada a Lei n.º 12.596, de 14 de março de 1995, que instituiu o antigo Código Florestal de Goiás, sendo a nova Política Florestal do referido estado instituída pela Lei n.º 18.104, de 18 de julho de 2013 (GOIÁS, 2013).

No dia 28 de dezembro de 2005, entrou em vigor em Rio Verde, município da microrregião Sudoeste de Goiás, a Lei n.º 5.090, de 28 de dezembro de 2005, que institui o Código Ambiental Municipal e dispõe sobre a administração do uso dos recursos naturais, da proteção da qualidade de vida e do controle das fontes poluidoras e degradadoras do meio ambiente e das utilizadoras ou modificadoras dos recursos naturais e, da ordenação do uso do solo do território do referido município, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável, e dá outras providências (RIO VERDE, 2005).

Outra lei ambiental criada em Rio Verde (GO) foi a Lei Municipal n.º 6.033, de 28 de outubro de 2011, que institui o Programa Produtores de Água (PPA), alterada pela Lei n.º 6.290, de 23 de agosto de 2013, visando promover a recuperação das nascentes e dos corpos de água que abastecem o Município, a fim de garantir a qualidade e a quantidade de água, incentivando os produtores rurais a se envolverem no processo, mediante compensação pelos serviços ambientais por eles prestados (RIO VERDE, 2013).

Embora o Brasil apresente uma das legislações mais modernas do mundo, Tsujii et al. (2014) relatam que apenas 16,34% das APPs estão preservadas.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal em bacias hidrográficas constitui-se, na atualidade, uma tônica, posto a bacia hidrográfica constituir-se uma unidade natural de análise ambiental, ideal para ações de planejamento, uma vez que é no território definido como bacia hidrográfica que se desenvolvem as atividades humanas, dentro de um processo de (re)produção do seu espaço, destacam Cardoso e Aquino (2013).

O uso de geotecnologias é prático e econômico no detalhamento e mapeamento da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal em bacias hidrográficas, pois fornece informações confiáveis e rápidas para a tomada de decisão no âmbito da gestão territorial e ambiental.

Diante do exposto, e levando em conta que a qualidade das águas e áreas verdes que protegem os cursos hídricos estão estritamente ligadas a um meio ambiente ecologicamente equilibrado (TUNDISI, 2003) e que 70% da água destinada ao abastecimento da população rio-verdense é captada no Ribeirão das Abóboras (BRICEÑO; SOUZA, 2013), o objetivo deste capítulo foi caracterizar e analisar a dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na BHRA, em

Rio Verde, Goiás, por meio de análise espaço temporal, para os anos 1985, 1995, 2005 e 2015, entender o reflexo das leis ambientais criadas nas últimas 3 décadas nessa dinâmica e fornecer subsídio para a gestão dos recursos hídricos do Sudoeste de Goiás.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Bases de dados geográficos

Os dados usados para elaboração dos mapas e análise da dinâmica e conflito do uso da terra e cobertura vegetal foram:

- a) Imagens da órbita/ponto 223/72, com resolução espacial de 30 x 30 m, de 12 de junho de 1985, 8 de junho de 1995, 3 de junho de 2005 e 2 de agosto de 2015; sendo as dos 3 primeiros anos do satélite Landsat 5/Sensor TM, geradas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016); e a imagem de 2015, do Satélite Landsat 8/Sensor OLI, também gerada pela NASA e disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS, 2016).
- b) Drenagem obtida da base cartográfica planialtimétrica do Estado de Goiás na escala 1:1.000.000 do IBGE; Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, gerada pela Agência Nacional de Água (ANA), geração de 22 de julho de 2006; revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da carta pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC) e disponibilizada pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).

3.2.2 Processamento dos dados

O processamento digital das bases de dados foram realizadas no software de geoprocessamento ArcGIS 10.1[®], com licença de uso para o laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Goiás (UFG)/Regional Jataí.

A área da bacia, delimitada a partir do SRTM, no Capítulo 2 foi usada para extrair das imagens dos anos de interesse, imagens delimitadas da bacia, a partir da ferramenta *Extract by Masc* (arcToolbox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Masc).

As bandas (B) multiespectrais usadas do Landsat 5/Sensor TM foram: B3 (Vermelho), B4 (Infravermelho próximo) e B5 (Infravermelho médio); e as imagens do Landsat 8/Sensor OLI foram: B4 (Vermelho), B5 (Infravermelho próximo) e B6 (natural com remoção atmosférica), sendo a composição das bandas realizadas com o uso da ferramenta *Composite*

Bands. A composição colorida RGB (red, green e blue) das bandas foi R/1, G/2 e B/3. Essas combinações de bandas foram usadas por apresentarem maior aproximação das cores reais.

As imagens para os anos estudados foram analisadas e classificadas através da técnica de classificação digital supervisionada, com o uso da ferramenta *Interactive Supervised Classification*, e reconhecimento de áreas de treinamento no Hipermapa *Google Earth Pro* e em campo para validação da legenda e mapas preliminares com as classes agricultura/pastagem, Cerrado/matias, eucalipto, área industrial, rodovia, granjas e área urbana.

Em seguida, os diferentes usos da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica foram reclassificados utilizando a ferramenta *Reclassify (ArcToolbox/Reclass/Declassify)*, convertidos para polígono através da ferramenta *Raster to Polygon (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Polygon)* e quantificados através da ferramenta *Calculate Geometry*.

Com uso de uma câmera digital, modelo Nikon D5100, foram obtidas fotos em campo, e em laboratório configuradas com a aplicação do software de design gráfico *CorelDRAW Graphics Suite X7*.

As fotos foram georreferenciadas com um GPS modelo Garmin GPSMAP 62sc para fazer as correções necessárias nos mapas de uso da terra e cobertura vegetal.

Com aplicação do QGIS 2.16 e seu complemento *Acuracy* foi feito o cruzamento de cada mapa de uso da terra e cobertura vegetal e amostras de validação ou amostras kappa e obtida a matriz de confusão.

As amostras kappa foram obtidas a partir de imagens do Landsat 5 e 8, uso do *Google Earth Pro* e visitas técnicas em campo.

A partir da matriz de confusão foi realizado o cálculo do Índice Kappa na planilha do Excel 2013, teste estatístico aplicado aos resultados da classificação, que leva em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal.

Conforme Simões (2001), o Índice Kappa é calculado através da equação 14:

$$K = P_0 - P_e / 1 - P_e \quad (14)$$

Onde, P_0 representa a exatidão geral da classificação (soma da coluna diagonal da matriz dividida pelo número total de “pixels” amostrados); P_e corresponde a $\sum p_{i+} p_{+i}$, sendo p_{i+} e p_{+i} as proporções marginais da linha i e da coluna i , respectivamente.

A qualidade da classificação foi avaliada utilizando o Quadro 4, contendo uma escala de valores, os quais definem a qualidade da classificação segundo o Índice Kappa (LANDIS; KOCH, 1977).

Quadro 4 – Qualidade da classificação segundo intervalos do Índice Kappa.

Valor Kappa	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986) recomendam o uso do Índice Kappa, por utilizar todas as células da matriz de erro, e não apenas os elementos da diagonal, ou seja, mede a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado em relação à probabilidade da classificação incorreta.

3.3 Resultados e discussão

Os resultados do Índice Kappa foi de 0,94, 0,94, 0,95 e 0,96, para o mapa de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, valores que representam excelente grau de aceitação dos resultados da classificação do uso da terra e cobertura vegetal obtidos deste estudo (LANDIS; KOCH, 1977; CONGALTON; GREEN, 2009).

Os resultados da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na BHRA são apresentados na Tabela 6 e Gráfico 2 e a espacialização desses resultados pode ser observada no Mapa 9.

Nota-se, na Tabela 6 e Gráfico 2 A, que em 1985 a BHRA era ocupada predominantemente por pastagem (73,65%), seguida principalmente de área de Cerrado e matas (ciliar e de galeria) (15,06%), agricultura (10,90%), rodovias (0,26%), solo exposto (0,13%), ver espacialização no Mapa 9 A.

Para o ano de 1995, a bacia hidrográfica ainda apresentava ocupação com predominância de pastagem (57,65%). A agricultura passou a ocupar o segundo lugar (26,38%), seguida de área de Cerrado/matias (15,57%), rodovias (0,26%) e solo exposto (0,13%), ver Tabela 6, Gráfico 2 B e Mapa 9 B.

No levantamento para o ano de 2005, a bacia hidrográfica passou a ser ocupada predominantemente por agricultura (47,10%), a pastagem passou a ocupar o segundo lugar

(35,43%), seguida de área de Cerrado/matras (13,47%), silvicultura (produção de eucalipto) (2,12%), área industrial (0,82%), rodovias (0,34%), granjas (0,33%), área urbana (0,25%) e solo exposto (0,13%), ver Tabela 6, Gráfico 2 C e Mapa 9 C.

Tabela 6 – Uso da terra e cobertura vegetal, correspondentes em km², para os anos avaliados, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Categorias	Área (km ²)			
	1985	1995	2005	2015
Agricultura	21,67	52,53	93,78	123,45
Pastagem	146,65	114,79	70,54	23,77
Cerrado/matras	30,01	31,01	26,83	39,03
Silvicultura	-	-	4,23	7,9
Área industrial	-	-	1,63	2,33
Rodovias	0,52	0,52	0,68	1,02
Granjas	-	-	0,66	0,85
Área urbana	-	-	0,50	0,50
Solo exposto	0,25	0,25	0,25	0,25
Área total	199,10	199,10	199,10	199,10

Fonte: Autor.

Ao analisar a Tabela 6, observa-se que do ano de 1985 para 2005, ocorreu aumento de 332,76% da área de agricultura, com diminuição de 51,81% da área de pastagem.

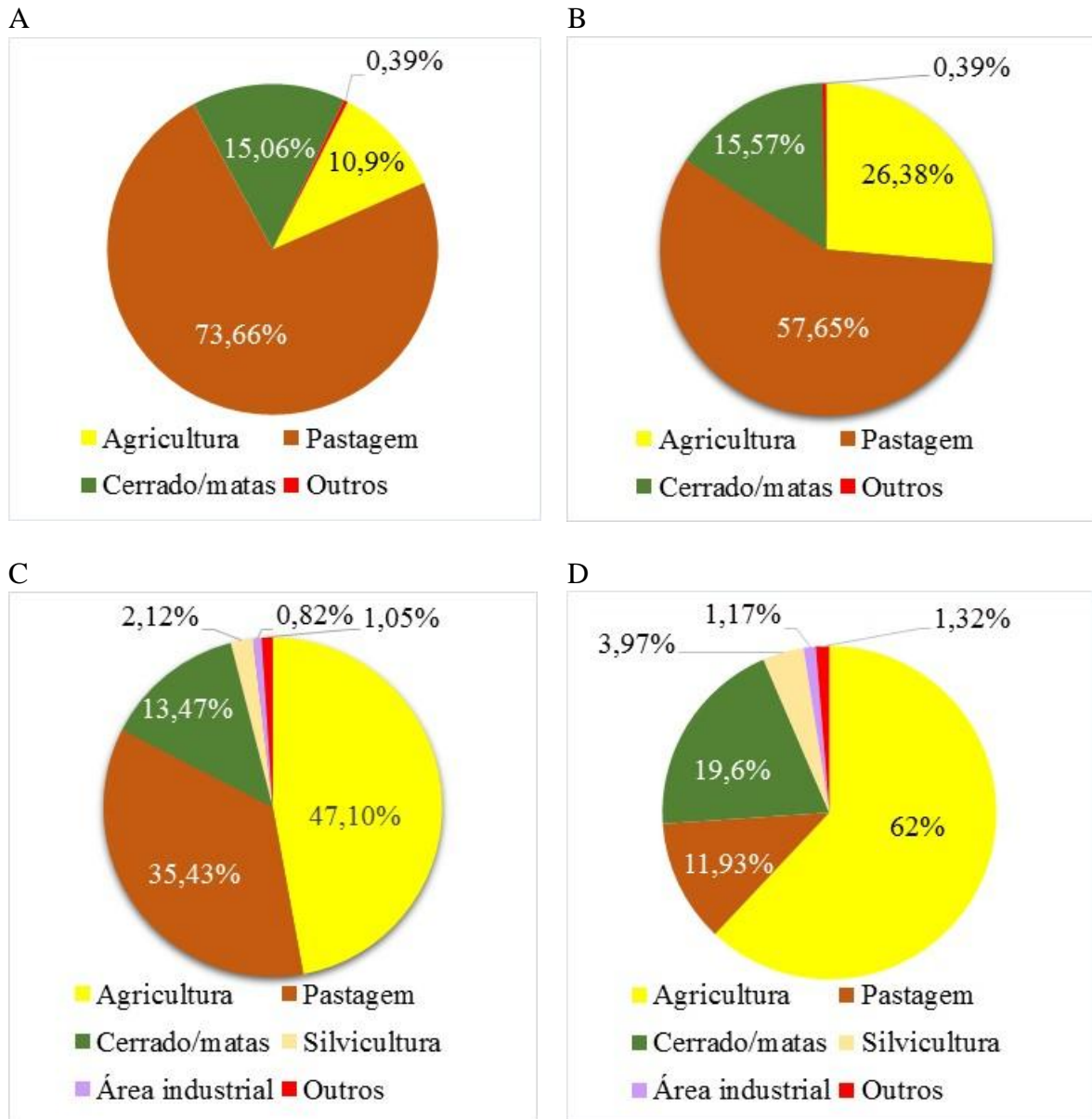
O aumento da área de agricultura do ano 1985 para 2005, e o acréscimo de área de silvicultura, área industrial, granjas, e ocupação urbana para o ano 2005 são seguidos da redução de 10,60% das áreas de Cerrado/matras.

Em relação aos anos de 1985 a 2015, ocorreu aumento de 469,68% da área ocupada por agricultura, redução de 83,79% da área de pastagem, e aumento de 30,06% da área coberta por Cerrado e matras.

Durante os anos de 2005 para 2015, observa-se aumento de 86,76% da área de cultivo de eucalipto, de 42,94% da área industrial, de 50% de áreas ocupadas por rodovias pavimentadas e de 28,79% das áreas ocupadas por granjas.

Nota-se um uso com maior diversificação para os anos de 2005 e 2015 (Tabela 6, Gráfico 2 e Mapa 9).

Gráfico 2 – Uso da terra e cobertura vegetal, correspondentes em %, para os anos avaliados (A) 1985, (B) 1995, (C) 2005 e (D) 2015, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



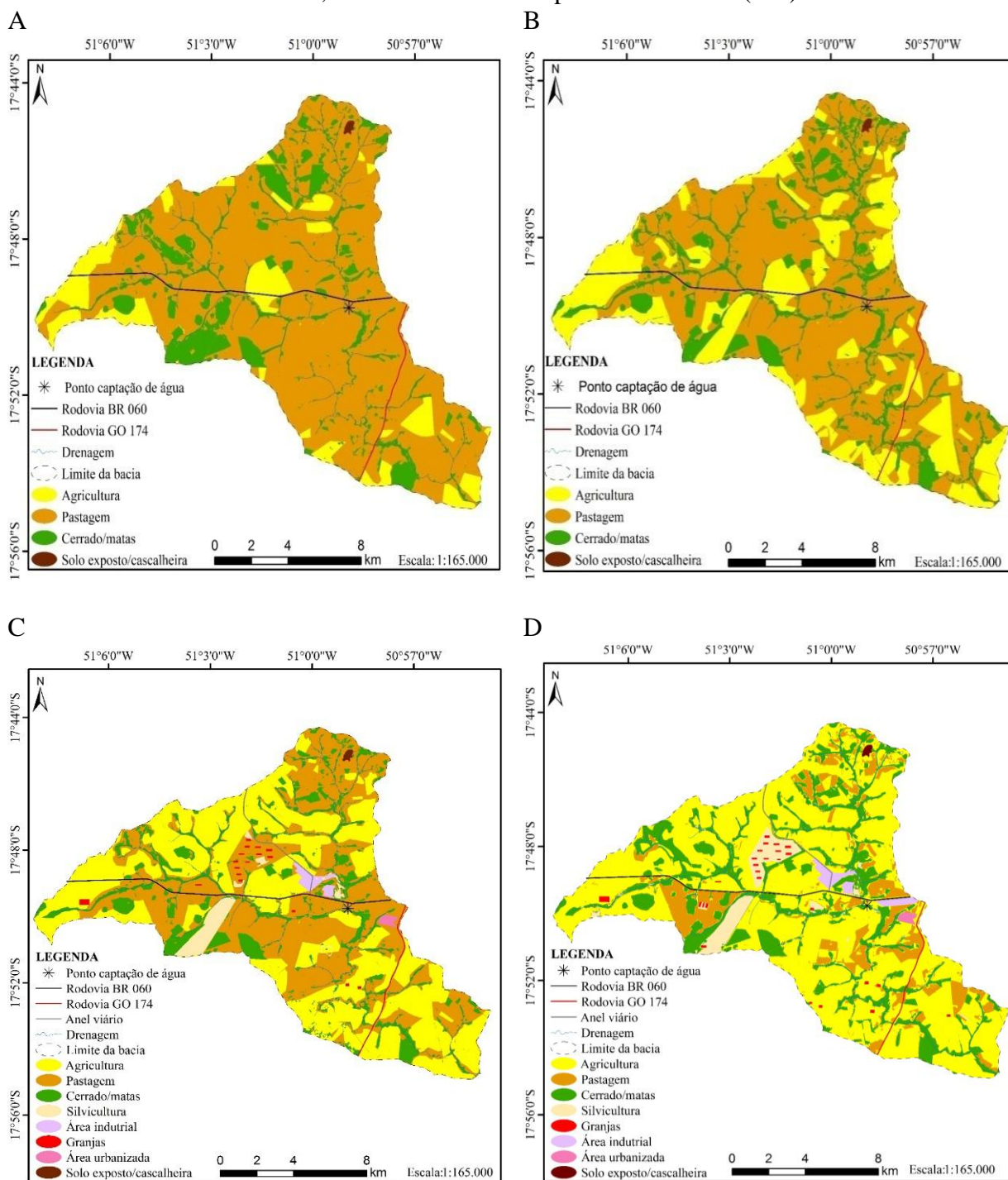
Fonte: Autor.

O uso intensivo das terras com a substituição gradativa da pastagem pela agricultura, de 1985 para 2015 e a diminuição da área de Cerrado/matás até 2005 é devido às condições de solos (predominância de Latossolos com relevo suave-ondulado e plano, conforme mencionado anteriormente no Capítulo 2), clima e tecnologias favoráveis na área de estudo, e reflexo de ações dos governantes no sentido de estimular o desenvolvimento agrícola em Rio Verde (GO), entre outros municípios e regiões.

Conforme Ferreira e Fernandes Filho (2003), a opção pela agricultura comercial na mesorregião do Sudoeste Goiano passa a se consolidar na década de 70 em diante, a partir da

implantação de uma infraestrutura mais adequada, incluindo além de estradas e meios de transportes, o crédito agrícola subsidiado, o suporte armazenador e a organização política e econômica do produtor rural.

Mapa 9 – (A) Uso da terra e cobertura vegetal para o ano de 1985, (B) para o ano de 1995, (C) para o ano de 2005 e (D) para o ano de 2015, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados disponibilizados pelo INPE (2016) e SIEG (2016).

Nas Fotos 5, 6 e 7 e Imagem 3 observam-se a diversificação do uso da terra e cobertura vegetal dentro da BHRA no ano de 2016.

Foto 5 – (A) Área de plantação de milho safrinha, (B) área de pastagem, (C) mata de galeria, (D) mata ciliar na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

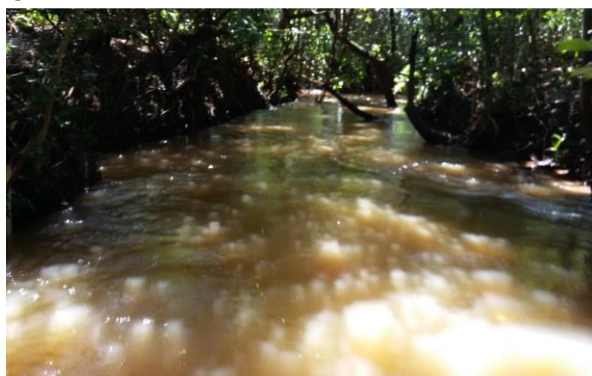
A



B



C



D



Fonte: Autor.

Foto 6 – (A) Industria Brasil Foods-BRF, antiga Perdigão S. A., (B) granjas de avicultura, com produção destinada ao processo produtivo da BRF, na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

A



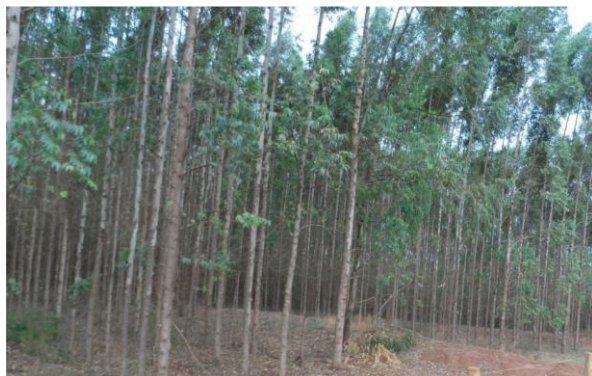
B



Fonte: A: Paulo Lício e Ivan Marques (2003); B: Autor.

Foto 7 – (A) Área de silvicultura e (B) área de cascalheira/solo exposto na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

A



B



Fonte: Autor.

Imagem 3 – (A) Complexo industrial e (B) Área urbanizada circundados por agricultura e pastagem na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

A



B



Fonte: Google Earth Pro (2016).

Silva et al. (2012) destacam que dentre os fatores que contribuíram para efetivação da região enquanto produtora de grãos está a proximidade com o mercado consumidor do Centro-Sul Brasileiro; a construção de rodovias; a construção de Brasília; as características geomorfológicas da região, terras planas que favoreceram a mecanização e a implantação de políticas públicas para fomentar a produção, como o Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste (POLOCENTRO), o Programa de Desenvolvimento Industrial (PRODUZIR) e o Fundo Constitucional do Centro-Oeste (FCO) do Ministério da Integração Nacional. A partir destes fatores, Pedrosa et al. (2005) destacam que, reforçando os resultados obtidos, o Sudoeste Goiano torna-se um expoente em produção de grãos no Estado, e sua paisagem, marcada por cultivos até então recentes na região e tradicionalmente por criação de gado, dá lugar ao arroz, ao milho, ao sorgo granífero e à soja.

Os resultados observados para 2015 corroboram, em proporção, com os obtidos por Prado et al. (2009) no mapeamento e descrição do padrão de uso da terra e cobertura vegetal em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5, onde foi observado que a agricultura correspondia a maior área do município de Rio Verde (GO), seguida de áreas de Cerrado/matias e pastagem.

O valor de remanescentes de Cerrado e matias de 19,60%, principalmente nas áreas de preservação permanente, foi menor, proporcionalmente, que o índice de 28,0% obtido por Prado et al. (2009) para o município de Rio Verde (GO). Estes autores destacam as áreas de remanescentes de vegetação natural como sendo expressivas e concentradas, estando presentes, principalmente, nas margens dos rios que cortam o município, situação também observada na bacia hidrográfica em estudo. Os índices baixos de vegetação observados corroboram, proporcionalmente, com os obtidos pela *World Wildlife Fund* (WWF)/IMAGEM (2009), que realizaram o mapeamento de uso e cobertura da terra para todo o Estado de Goiás, com imagens orbitais dos anos de 2002 e 2003, tendo como conclusão que para a região sudoeste destacava-se a elevada presença de áreas destinadas à agricultura, com poucas áreas de vegetação natural de cerrado.

A Silvicultura corresponde ao quarto maior quantitativo da área da bacia. Este cultivo é voltada para produção de bioenergia para atender a demanda energética da Cooperativa Mista dos Produtores de Goiás (COMIGO) e da BRF, antiga Perdigão S. A., e também para formação de barreiras protetoras no entorno das granjas de Suinocultura e Avicultura (Mapas 9).

Prado et al. (2009) associaram a extensão espacial do cultivo de eucalipto à criação de suínos e preparo de rejeitos destes animais, com unidades da empresa BRF no município, uma vez que, conforme estes autores, a silvicultura é utilizada como barreira à expansão do odor dos rejeitos dos suínos produzidos nas granjas.

A plantação de eucalipto também é usada como barreira contra ventos, no intuito de proteger a estrutura das granjas e proporcionar, em conjunto com outras medidas, conforto térmico aos animais.

Essas indústrias integram o setor industrial, localizado dentro da área de estudo, que, em conjunto com as rodovias, granjas e área urbana, somam uma área correspondente a 2,36% da bacia, corroborando com Prado et al. (2012), no estudo da expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região Sul de Goiás. Estes autores destacam que em Rio Verde (GO), a agricultura foi destinada aos locais de solos naturalmente mais adequados, seguida pela instalação das principais agroindústrias de Goiás.

A bacia hidrográfica em questão é cortada pela BR 060, principal via de acesso a Rio verde, e GO 174, além de apresentar um anel viário que liga as rodovias BR-060 e GO-174. Em relação à logística para escoamento da produção é favorável ao desenvolvimento da agricultura. Conforme afirmam Ferreira et al. (2009), as rodovias federais, tais como a BR 153, a BR-070 e a BR-060, atuaram como vias de escoamento da produção agrícola dos municípios em Goiás, favorecendo o seu desenvolvimento.

As 26 granjas instaladas na bacia (Mapa 9), consideradas de médio e grande porte, são voltadas para a criação de aves e suínos, e tem como finalidade fornecer matéria prima para o complexo agroindustrial da BRF. Essas granjas provocam um aumento significativo na quantidade de resíduos gerados, que demandam cuidados especiais de destinação e tratamento (CARMO, 2002), de forma que não causem impactos negativos ao solo e aos recursos hídricos.

A área urbanizada, localizada dentro da bacia hidrográfica, no ano de 2005 e 2015 é reflexo do crescimento significativo da população de Rio Verde (GO). Conforme o Instituto de Geografia e Estatística, a população rio-verdense aumentou 14,89% do ano de 2010 para 2015, apresentando para este ano uma população estimada de 207.296 habitantes (IBGE, 2016).

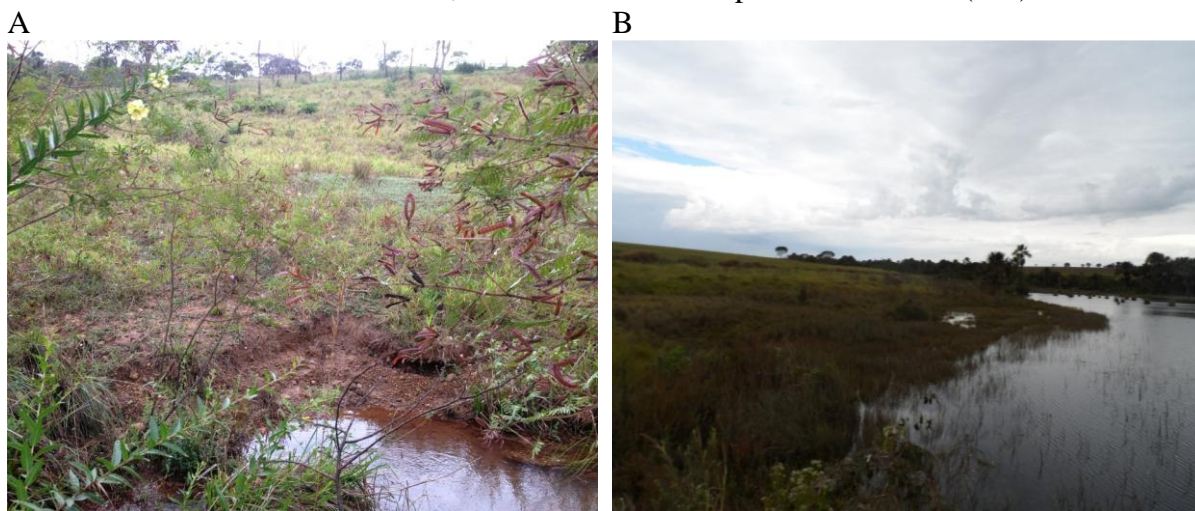
Conforme Passos (2010), o município de Rio Verde (GO), desde 1970, apresenta fortes transformações no espaço urbano e rural, em especial com a instalação das agroindústrias. Esta autora destaca que essa análise pode ter enfoque na microrregião do Sudoeste de Goiás, em que Rio Verde (GO), além de ser o mais importante da mesma, é um dos mais dinâmicos do Estado. Destaca ainda que o município apresenta um crescimento econômico expressivo e que a instalação do complexo agroindustrial da Perdigão em 1999 impulsionou o município com geração de empregos diretos e indiretos, tornando a cidade um polo de crescimento regional.

Conforme o Código Ambiental Municipal de Rio Verde (GO), Lei nº 5.090/2005 (RIO VERDE, 2005), o limite de APPs para o Ribeirão das Abóboras corresponde, no mínimo, a 30 m, nas margens dos cursos hídricos, e 50 m de raio, no entorno das nascentes. Esta lei fixa o limite de 20% de reserva legal nas propriedades rurais entre 20 e 50 hectares, onde não é permitido o corte raso, além da cobertura florestal de qualquer natureza, os maciços de porte arbóreo, sejam frutíferos, ornamentais ou industriais.

Entretanto, conforme pode ser observado nas Fotos 8 e 9, foi constatado que as exigências, pelo menos parcialmente, quanto a preservação das APPs, não são cumpridas, reforçando as afirmações de Tsujii et al. (2014). Estes autores, nos estudos do uso e cobertura das áreas de preservação permanentes no Sudoeste Goiano, em 2014, relatam que as APPs, mesmo apresentando diversas funções importantes, relacionadas à conservação da biodiversidade e conservação dos cursos hídricos, estão pouco conservadas no município de

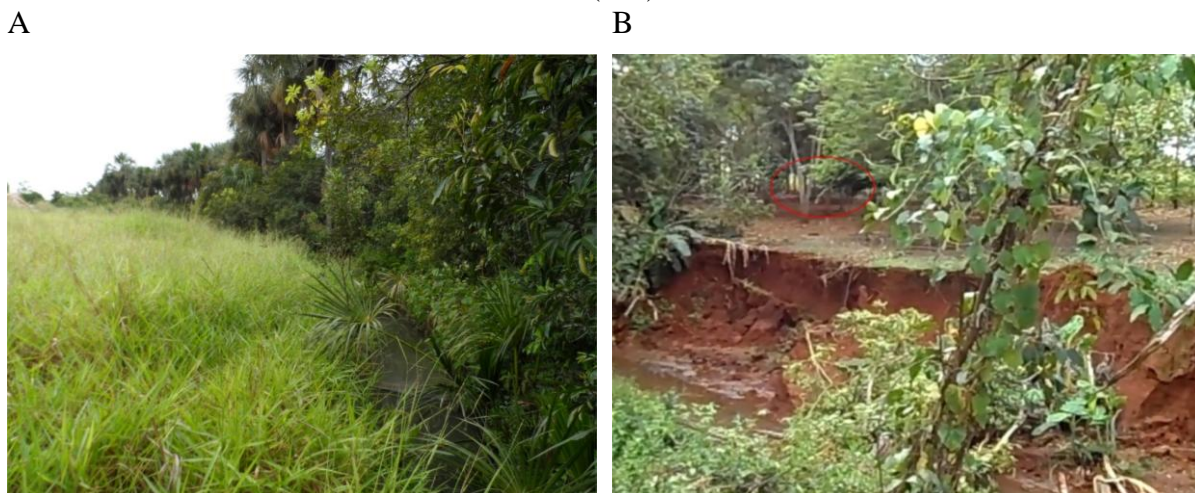
Rio Verde (GO), sendo reflexo, afirmam os autores, das atividades socioeconômicas no Sudoeste de Goiás. Estes autores observaram que apenas 16,34%, das APPs de Rio Verde encontravam-se preservadas em 2014, demonstrando, ressaltam, o descaso com as leis e com o meio ambiente na região.

Foto 8 – (A) Área de preservação permanente ocupada por pastagem na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, próximo à nascente deste, (B) área de preservação permanente ocupada por pastagem e agricultura nas margens do Córrego Marimbondo, afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Foto 9 – (A) Área de preservação permanente ocupada por pastagem na margem direita do Córrego dos Paletes, afluente do Ribeirão das Abóboras, e (B) área de preservação permanente ocupada por residência rural (círculo vermelho) e com presença de assoreamento no Córrego do Queixada, afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Tsujii et al. (2014) afirmam que as principais atividades econômicas exercidas dentro das APPs são reflexos das principais atividades do município de Rio Verde (GO), ou seja, de agricultura e pecuária, com 185,76 Km² de APPs ocupadas pelas atividades da agricultura (61,61%) e 65,77 km² (21,81%) por pastagens.

Em um estudo realizado no Ribeirão do Lobo, em área desmatada e com o uso intenso do solo, ficou evidente o grande aumento na condutividade elétrica da água, turbidez, amônio, fósforo e nitrogênio total como resultado de remoção da vegetação e degradação da bacia hidrográfica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010). Estes autores afirmam ainda que a deterioração da bacia hidrográfica e a remoção da vegetação modificaram, substancialmente, a qualidade da água no ribeirão com várias consequências no abastecimento público e perda de serviços. Logo, caso não sejam intensificadas as ações para recuperação de APP com usos irregulares, o uso múltiplo da água do Ribeirão das Abóboras pode ficar comprometido.

Embora sejam observadas irregularidades ambientais na BHRA, conforme mencionado anteriormente, ocorreram ganhos de 45,47% de cobertura vegetal, formada por Cerrado/matras, de 2005 para 2015, principalmente nas margens de APPs (Mapa 9 C e Mapa 9 D e Gráfico 2 C e Gráfico 2 D). Essa conquista ambiental pode ser explicada pelo motivo do Ribeirão das Abóboras ser a principal fonte que abastece a população urbana de Rio Verde, o que preocupa as autoridades locais e outros membros da população rio-verdense em garantir esse recuso vital através de dispositivos legais e programas voltados para a preservação das áreas nas margens dos cursos hídricos e no entorno das nascentes.

Uma ação importante da autoridade pública local é a criação do Código Ambiental Municipal de Rio Verde (GO), instituído pela Lei n° 5.090/2005 (RIO VERDE, 2005), sendo mais restritiva que o Novo Código Florestal instituído pela Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), conforme mencionado anteriormente, contribuindo, desta forma, no aumento da área de Cerrado/mata de 2005 para 2015. Outra ação importante é a criação do Programa Produtores de Água (PPA) instituído pela Lei Municipal n° 6.033/2011 (RIO VERDE, 2011), e alterada pela Lei n° 6.290 /2013, visando promover a recuperação das nascentes e dos corpos de água que abastecem o Município, a fim de garantir a qualidade e a quantidade de água, incentivando os produtores rurais a se envolverem no processo, mediante compensação pelos serviços ambientais por eles prestados (RIO VERDE, 2013), com reflexos positivos, com contribuição nos ganhos ambientais, ou seja, recomposição de APPs, observados.

O pagamento por serviços ambientais prestados tem como base legal maior a Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Esta lei, em seu artigo. 41, autoriza a utilização de mecanismos de compensação

e de instrumentos de pagamento por serviços ambientais, ao incluir os seguintes serviços: (a) o sequestro, a conservação, o aumento do estoque e a redução do fluxo de carbono; (b) a preservação da beleza cênica natural; (c) a preservação da biodiversidade; (d) a conservação das águas e dos serviços hídricos; (e) a regulação do clima; (f) a valorização cultural e do conhecimento tradicional ecossistêmico; (g) a conservação e o melhoramento do solo; (h) a manutenção de Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito (BRASIL, 2012).

Conforme afirma Merida (2014), o Programa Produtor de Águas do município de Rio Verde (GO), apesar do pouco tempo de sua implementação, apresenta resultados positivos no tocante à recuperação das matas no entorno das nascentes do Ribeirão das Abóboras, contribuindo, ressalta a autora, de forma efetiva, para o desenvolvimento sustentável do município. Esta autora relata ainda que entre os benefícios, observados pelos provedores do referido programa, em suas propriedades, foram destacados o reflorestamento e o cercamento das áreas de preservação permanente no entorno das nascentes, assim como o aumento da vazão da água; e que os principais motivos atribuídos ao sucesso do PPA foram a cooperação técnica prestada pelo Município de Rio Verde (GO) e o caráter voluntário do programa.

3.4 Conclusão

A bacia do Ribeirão das Abóboras não apresentou uso e cobertura da terra diversificados para os anos de 1985 e 1995, passando a apresentar para os anos de 2005 e 2015, sendo reflexo do desenvolvimento do agronegócio na região, em especial nas últimas décadas.

O Código Ambiental Municipal de Rio Verde (GO), Lei 5.090/2005, e o Programa Produtores de Água contribuíram no aumento de áreas cobertas por vegetação de Cerrado/matras de 2005 para 2015. Entretanto, foram constatadas, ao longo do Ribeirão das Abóboras, diversos trechos em desconformidade quanto aos limites legais por esta lei estabelecidos, demonstrando a necessidade de fiscalização, cumprimentos das exigências legais e fortalecimento e ampliação do Programa Produtor de Água, através do envolvimento de mais produtores rurais, bem como motivação destes. Estas ações são necessárias para garantir quantitativa e qualitativamente água para o abastecimento público da população rio-verdense atual e futuras e para outros usos.

Referências

ANDRADE, N. L. R.; XAVIER, F. V.; ALVES, E. C. R. F.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, C. U. R. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso – MT. *Geociências*, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.

ÂMBITO JURÍDICO. Disponível em:

<http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=3845>. Acesso em: 01 dez. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 2.651. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=28/05/2012>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

_____. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, Senado, 1988.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 de agosto de 1981. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso: 29 jun. 2016.

BRICEÑO, A. E. E.; SOUZA, V. L.. Valéria Leão. Pagamento por serviços ambientais pela conservação de nascentes da microbacia do Ribeirão Abóbora, Rio Verde, Goiás, Brasil. In: 27º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). Goiânia, 15 a 19/09/2013. **Anais...** Goiânia: ABES. 2013.

CARDOSO, J. A.; AQUINO, C. M. S. Análise dos usos e cobertura das terras das microbacias hidrográficas do riacho do Roncador - Timon (MA): subsídios ao planejamento ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 3, n. 2, p. 305-327, 2013.

CARMO, R. L.; GUIMARÃES, E.; AZEVEDO, A. M. M. Agroindústria, População e Ambiente no Sudoeste de Goiás. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, XIII, 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: EABEP, 2002. p. 01-23. Disponível em:

<http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2002/GT_MA_ST13_Carmo_texto.pdf>. Acesso em 29 jun. 2016.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 2009.

FERREIRA, D. F.; FERNANDES FILHO, J. F. Análise das transformações Recentes na Atividade Agrícola da Região de Goiás: 1970/1995-6. In: PEREIRA, S. L. XAVIER, C. L. (Org.). **O agronegócio nas terras de Goiás**. Uberlândia: EDUFU, p. 101-138, 2003.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; GUIMARÃES, L.; JÚNIOR, F. RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, C. N. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 1, p. 37-50, 2009.

GOIÁS (Estado). Lei n.º 18.104, de 17 de julho de 2013. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo demográfico 2010 e 2015.

Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=521880&search=goias|rio-verde>>. Acesso em: 10 abril 2016.

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. Disponível em:

<<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 01 Mar. 2015.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

PASSOS, H. S. Zoneamento urbano de Rio Verde: uma proposta para ordenamento do uso do solo. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Alves Faria, Goiânia.

PEDROSO, I. L. P. B.; SILVA, A. R. P. da. O papel da políticas públicas no desenvolvimento agroindustrial de Rio Verde - GO. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 15, p. 20-27, 2005.

PRADO, L. A. MIZIARA, F. FERREIRA, M. E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região Sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 32, n. 1, p. 151-165, 2012.

PRADO, R. B. FERREIRA, C. E. G. BENITES, V. M. NAUMOV, A. Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5. *Embrapa Solos, Boletim de pesquisa* 148, 2009, 54p.

RIO VERDE (Município). Lei nº 5.090 / 2005. Institui o Código Ambiental Municipal e dá outras providências: promulgada em 28 de dezembro de 2005. Rio Verde, 2005. Disponível em: < <http://www.rioverdegoias.com.br/arquivos/lei5090.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

_____. Lei n.o 6.033/2011. Cria o Programa Produtor de Águas: promulgada em 28 de outubro de 2011. Rio Verde, 2011. Disponível em:

<<http://camararioverde.com.br/conteudo/projetosleis/26052014040540.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

_____. Lei n.o 6.290/2013. Altera a Lei n.o 6.033/2011, que cria o Programa Produtor de Águas: promulgada em 26 de agosto de 2013. Rio Verde, 2013. Disponível em:

<http://camararioverde.com.br/conteudo/projetosleis/26052014040540.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2016.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.52, n.2, p.223-227, 1986.

SILVA, E. B.; SOUZA, J. C. Modernização da agricultura e apropriação do Cerrado: uma análise das microrregiões do Sudoeste Goiano e Quirinópolis no Estado de Goiás. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 21, 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: AGB-ENGA, 2012, 14 p.

SIMÕES, L. B. Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias. 2001. 185 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 07 maio 2016.

TSUJII, P. K.; RIBEIRO, A. C. C; CARNEIRO, V. A.; SILVA NETO, C. M.; GONÇALVES, B. B. Uso e ocupação das áreas de preservação permanentes no sudoeste goiano. **Revista de Geografia** (UFPE), V. 31, n. 3, 2014.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67–76, 2010.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, 2003.

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 20 de jan. de 2016.

World Wildlife Fund – WWF/IMAGEM. Mapa de Regiões Fisionômicas e Uso da Terra. Goiânia: SIEG, 2004, 155 p. Disponível em: http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Unidades_Fitofisionomica.pdf. Acesso em: 26 fev. 2009.

4 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS

4.1 Introdução

A influência antrópica no ambiente, inclusive em bacias hidrográficas, tem sido motivo frequente de preocupação na sociedade (GONÇALVES et al., 2011). Em função disto, conforme Donha, Souza e Sugamoto (2006), torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial, não só com enfoque socioeconômico mas, também, ambiental, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas.

Conforme Spörl e Ross (2004), os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características “genéticas”; sendo que qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Donha, Souza e Sugamoto (2006) ressaltam que para se determinar as potencialidades dos recursos naturais, torna-se necessário um estudo dos componentes que dão suporte à vida, sendo eles: solos, relevo, geologia, água, clima e vegetação; ressaltam ainda que na análise da fragilidade, esses componentes devem ser avaliados de maneira integrada, considerando-se sempre as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais.

Os dados obtidos utilizando-se com ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento constituem-se numa das principais fontes geradoras de informações para o planejamento ambiental, sendo que diversas pesquisas se apoiam nesses dados para análises da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

A fragilidade desses ambientes pode ser mais facilmente analisada aplicando, em ambiente SIG, a metodologia proposta por Ross (1994) em “Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados”, com base no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos.

Para o entendimento da fragilidade ambiental é imprescindível o conhecimento sobre a fragilidade potencial e fragilidade emergente, sendo a primeira a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de seus atributos físicos como a declividade, o tipo de solo e a precipitação; e a segunda refere-se aos graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra em relação ao meio (DONHA; SOUSA; SUGAMOSTO, 2005; GONÇALVES et al., 2011; KAWAKUBO et al., 2005; MARTINS; RODRIGUES, 2012; ROSS, 1994).

Diante da importância do estudo da fragilidade ambiental para a gestão dos recursos naturais, e tendo como base a metodologia descrita por Ross (1994), este capítulo tem como objetivo estudar de forma integrada os diversos componentes ambientais como declividade, solos, uso e cobertura da terra e clima da BHRA no município de Rio Verde (GO), no intuito de indicar as áreas potenciais à erosão, as de preservação e tipo de uso, através da obtenção de dados de Sensoriamento Remoto e de técnicas de Geoprocessamento, e subsidiar o planejamento ambiental dessa bacia hidrográfica.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Bases de dados geográficos

O estudo da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras foi realizado utilizando-se os seguintes produtos geográficos:

- a) SRTM, com delimitação da bacia hidrográfica extraído da base maior com resolução espacial de 30 x 30 m, disponibilizado pelo SIEG, no Capítulo 2.
- b) Mapa de solos extraído da base maior, ou seja, Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, escala 1:250.000, disponibilizado pelo SIEG e informado no Capítulo 2.
- c) Mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2015, gerado a partir de imagem do Satélite Landsat 8/Sensor OLI, com resolução espacial de 30 x 30 m, disponibilizada pelo USGS, elaborado no Capítulo 3.
- d) Drenagem obtida da base cartográfica planialtimétrica do Estado de Goiás na escala 1:1.000.000 do IBGE; Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, gerada pela Agência Nacional de Água (ANA), geração de 22 de julho de 2006; revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da carta pela Superintendência de Geologia e Mineração/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SGM/SIC) e disponibilizada pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2016).

4.2.2 Processamento dos dados

O estudo da fragilidade ambiental seguiu os níveis metodológicos propostos por Ross (1994), sendo a fase de geoprocessamento realizada no Software ArcGIS 10.1[®], licenciado para o laboratório de Geoinformação da UFG/Regional Jataí.

O valor de erosividade da chuva (fator R) foi obtido com o uso da equação 15 proposta por Wischmeier e Smith (1978), com adaptação para as condições brasileiras por Lombardi e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi (1999):

$$EI30 = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (15)$$

Onde, EI30 é a média mensal do índice de erosividade em MJ.mm/(ha.h); r é a média dos totais mensais de precipitação em mm; e Pp é a média dos totais anuais de precipitação em mm.

Os dados de precipitação foram levantados no Capítulo 2; a média dos totais mensais de precipitação foi de 134,59 mm e a média dos totais anuais de precipitação de 1615,08 mm, observados de um período de 20 anos (1996 a 2015) da estação 83470 de Rio Verde (GO), na página do BDMEP (2016).

Devido a muitos meses anteriores ao ano de 1996 não terem sido registrados pela estação pluviométrica supracitada, optou-se em usar os dados de precipitação a partir do ano desta data.

No intuito de classificar a bacia hidrográfica quanto à erosividade da chuva, o valor obtido em MJ mm há⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ foi transformado para tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, ou seja, o valor inicial foi dividido por 9,81, sendo convertido do sistema métrico internacional para o sistema métrico decimal, conforme observado em Cabral et al. (2011).

Os valores de erosividade obtidos foram comparado com as classes propostas por Carvalho (1994), conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Classes de erosividade da chuva (média anual).

Classes de erosividade	Erosividade (tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹)
1.Muito baixa	R < 250
2.Baixa	250 < R < 500
3.Média	500 < R < 750
4.Alta	750 < R < 1000
5.Muito alta	R > 1000

Fonte: Carvalho (1994).

A partir do SRTM com delimitação da bacia foi gerado o mapa de declividade, com uso das ferramentas *Slope* (*ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Slope*), sendo a reclassificação através da ferramenta *Reclassify* (*ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*).

A reclassificação da declividade foi realizada conforme EMBRAPA (2013), Ramalho Filho e Beek (1995) e Ross (1994), apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	S (%)
1.Muito baixa	0 – 3
2.Baixa	3 – 8
3.Média	8 – 20
4.Alta	20 – 45
5.Muito alta	>45

Fonte: EMBRAPA (2013), Ramalho Filho e Beek (1995) e Ross (1994).

O mapa de solos foi reclassificado segundo Crepani et al. (2001) e Ross (1994), conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Relação entre os graus de fragilidade e os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	Tipos de solos
1.Muito baixa	Latossolos
3.Média	Argissolos

Fonte: Crepani et al. (2001) e Ross (1994).

A definição das classes de fragilidade do mapa de uso e cobertura vegetal da terra foi realizada segundo os diferentes tipos de uso e cobertura da terra adaptado de Kawakubo (2005) e Ross (1994), podendo ser observada no Quadro 8.

Quadro 8 – Relação entre os graus de proteção e os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Grau de proteção	Categorias
2.Alta	Área urbana, indústrias, granjas e Cerrado/matás
3.Média	Pastagem e silvicultura
4.Baixa	Culturas anuais
5.Muito baixa	Solo exposto

Fonte: Kawakubo (2005) e Ross (1994).

O mapa da declividade e de solos serviram de base para elaboração do mapa de Fragilidade Potencial (natural do ambiente). Este mapa e o de uso da terra e cobertura vegetal subsidiaram a geração do mapa de Fragilidade Emergente. Os mapas foram cruzados utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.1[®].

Depois de cruzados os mapas, estes foram convertidos para polígonos com o uso da ferramenta *Raster to Polygon* (*ArcToolbox/Conversion Tools/From raster/raster to Polygon*) para em seguida obter a área (km²) correspondente a cada classe de fragilidade na tabela de atributos.

4.3 Resultados e discussão

O valor de erosividade obtido corresponde a 643,04 tn.ha⁻¹.ano e este resultado, conforme a proposta de Carvalho, apresentada no Quadro 4, classifica a bacia do Ribeirão das Abóboras como de médio risco de erosividade. Este resultado reforça que a bacia hidrográfica em estudo apresenta condições climáticas favoráveis à sua conservação.

Quanto a declividade, a área da bacia apresenta os cinco graus de fragilidade, com predominância de área com fragilidade baixa (53,67%), seguida de muito baixa (28,39%), média (17,32%) e, com menor percentual, alta (0,61%) e muito alta (0,01%), conforme se observa na Tabela 7, com espacialização no Mapa 10.

Para os tipos de solos, nota-se na Tabela 8 e Mapa 11 duas classes de fragilidade da bacia hidrográfica, com predominância da classe muito baixa (95,41%) e em seguida a classe de média fragilidade (4,59%).

Em se tratando do uso da terra e cobertura vegetal, observam-se quatro classes de grau de proteção da bacia hidrográfica, a mais representativa é a classe baixa com 62,41%), seguida da classe alta com 21,43%), média, 16,03%, e muito baixa, 0,13% (Tabela 9). Estes graus de proteção do solo estão espacializados no Mapa 12.

A fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica apresenta com predominância a classe baixa com 72,73%, em seguida pela classe muito baixa com 23,40%) e pela alta com 3,87%), conforme visualiza-se na Tabela 10 e Mapa 13.

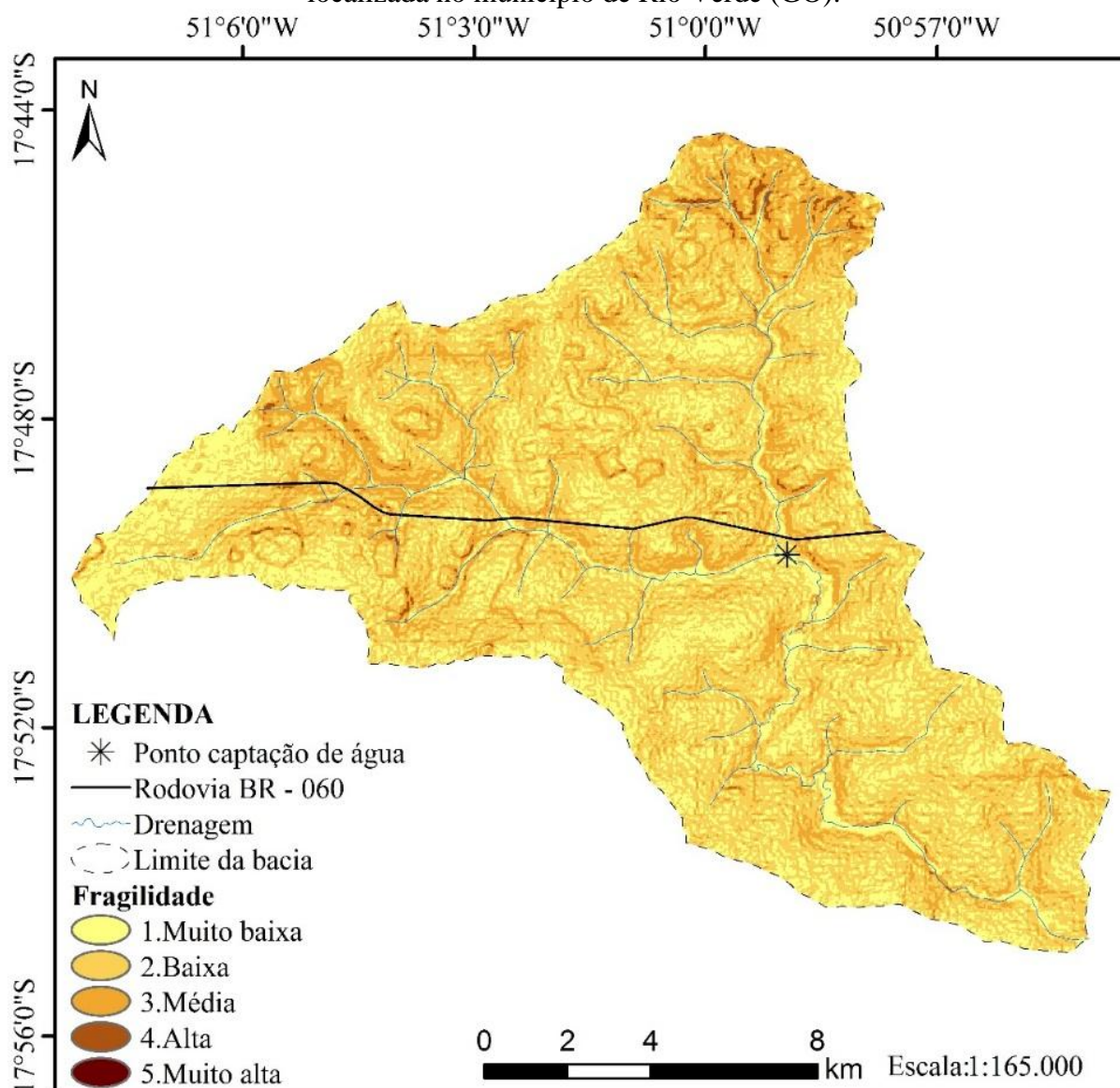
Os resultados para a fragilidade potencial nos mostram que a bacia hidrográfica apresenta um potencial à utilização significativo. Contudo apontam que o uso da terra deve ser com cuidado em razão de 7,72 km² apresentarem naturalmente índice alto de fragilidade.

Tabela 7 - Classes de fragilidade para declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	S (%)	km²	%
1.Muito baixa	0 – 3	56,53	28,39
2.Baixa	3 – 8	106,86	53,67
3.Média	8 – 20	34,48	17,32
4.Alta	20 – 45	1,21	0,61
5.Muito alta	> 45	0,02	0,01
Total	-	199,1	100

Fonte: Autor.

Mapa 10 – Fragilidade para a declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



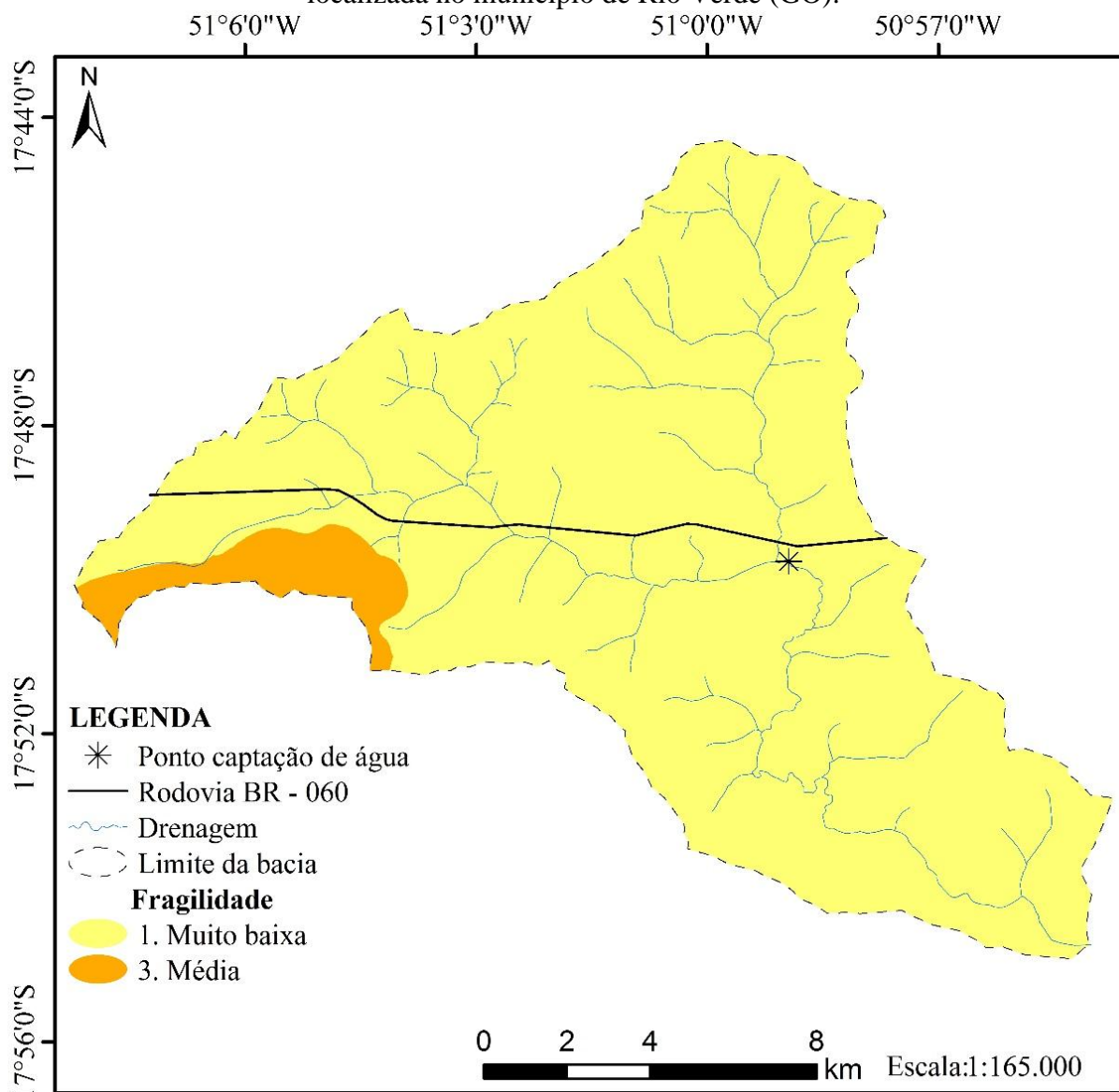
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

Tabela 8 – Classes de fragilidade para os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	Tipos de solos	Km²	%
1.Muito baixa	Latossolos	189,96	95,41
3.Média	Argissolos	9,14	4,59
Total	-	199,1	100

Fonte: Autor.

Mapa 11 – Fragilidade para os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

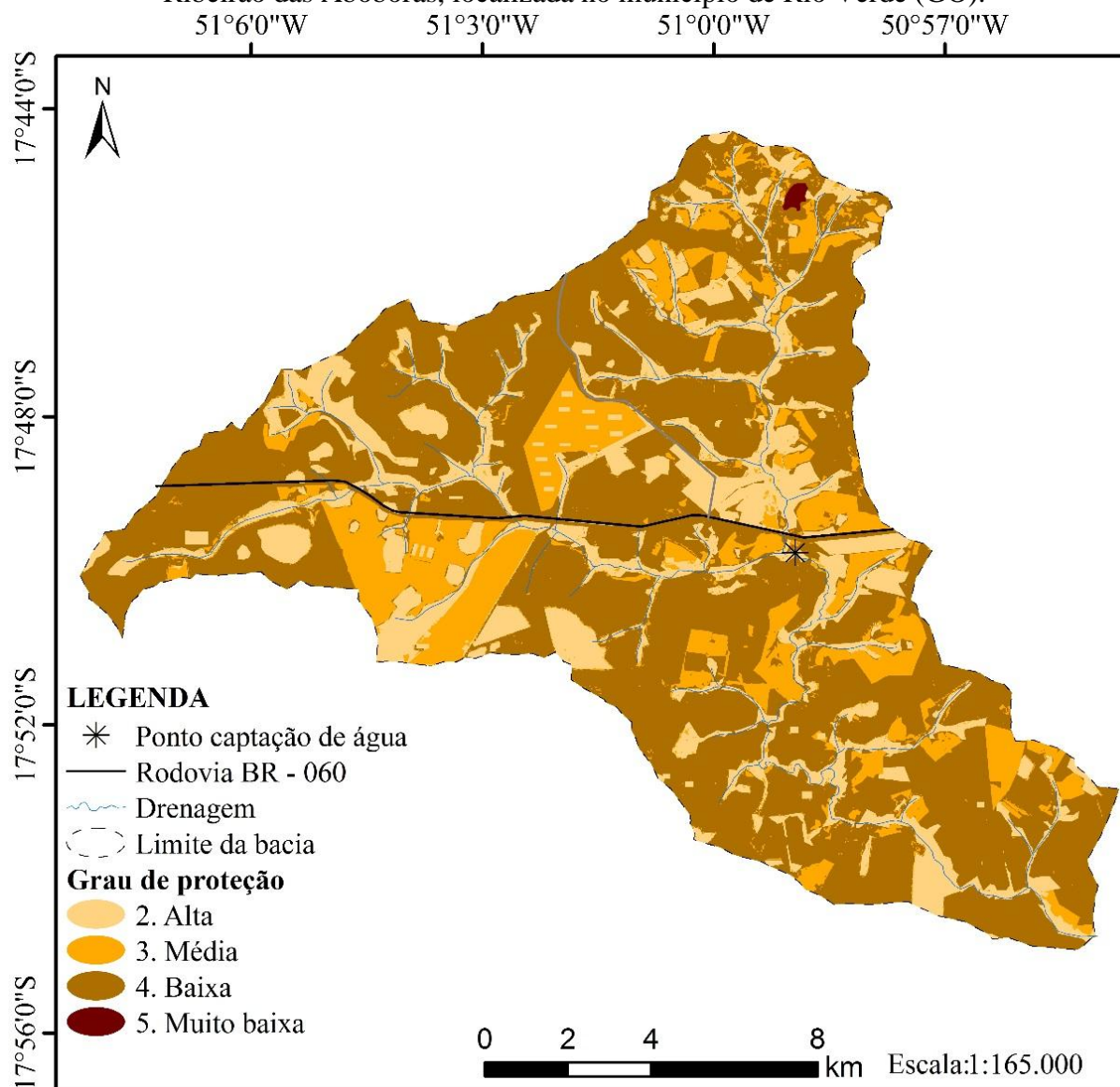
Tabela 9 – Classes de proteção para as categorias de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Grau de proteção	Categorias	km ²	%
2. Alta	*	42,67	21,43
3. Média	**	31,92	16,03
4. Baixa	Culturas anuais	124,26	62,41
5. Muito baixa	Solo exposto	0,25	0,13
Área total	-	199,1	100

*Área urbana, industrial, granjas e Cerrado/matras; **pastagem e silvicultura.

Fonte: Autor.

Mapa 12 – Fragilidade para os diferentes usos da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



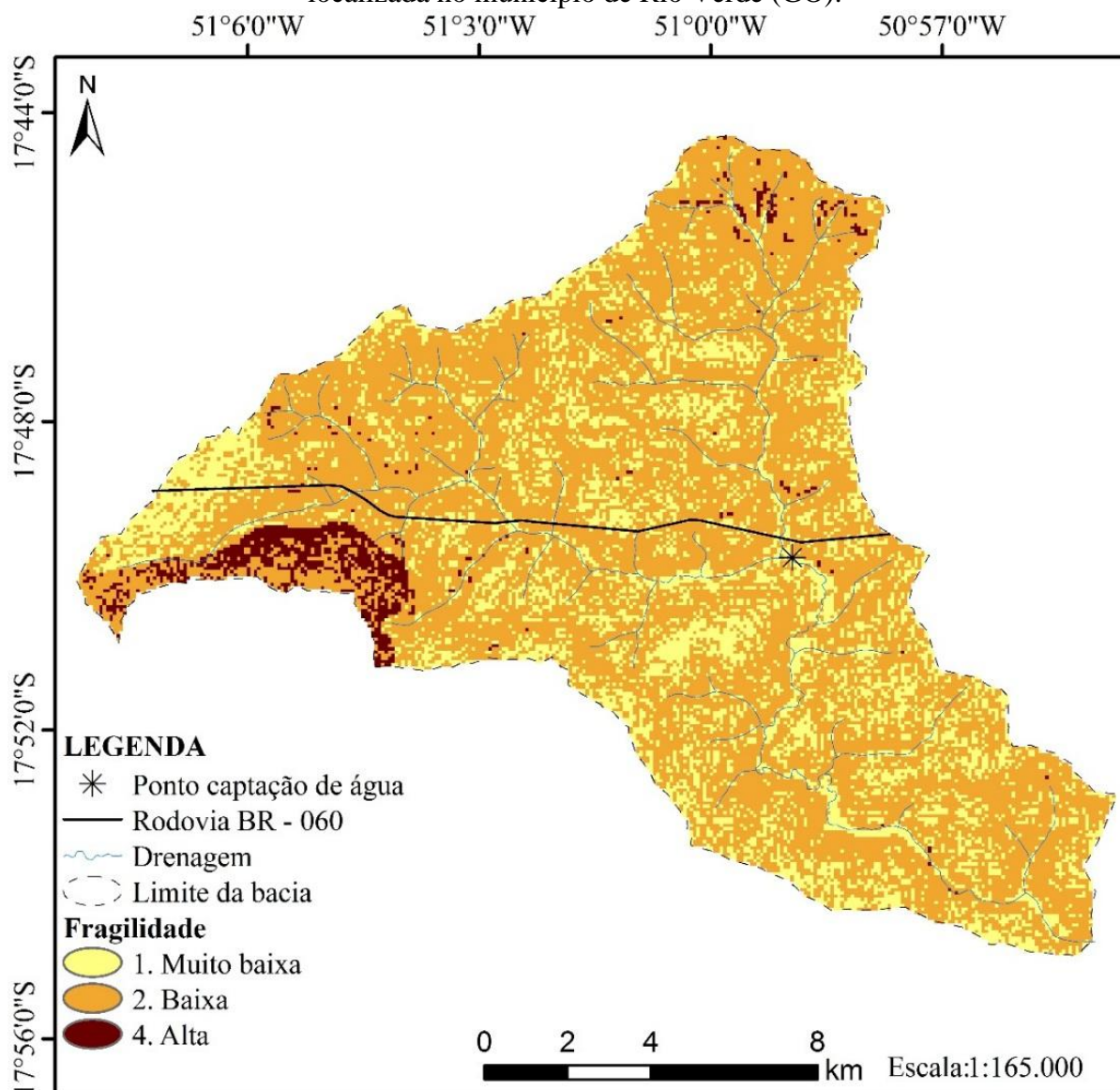
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016) e USGS (2016).

Tabela 10 – Classes de fragilidade potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	km²	%
1.Muito baixa	46,58	23,40
2.Baixa	144,80	72,73
4.Alta	7,72	3,87
Total	199,1	100

Fonte: Autor.

Mapa 13 – Fragilidade ambiental potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

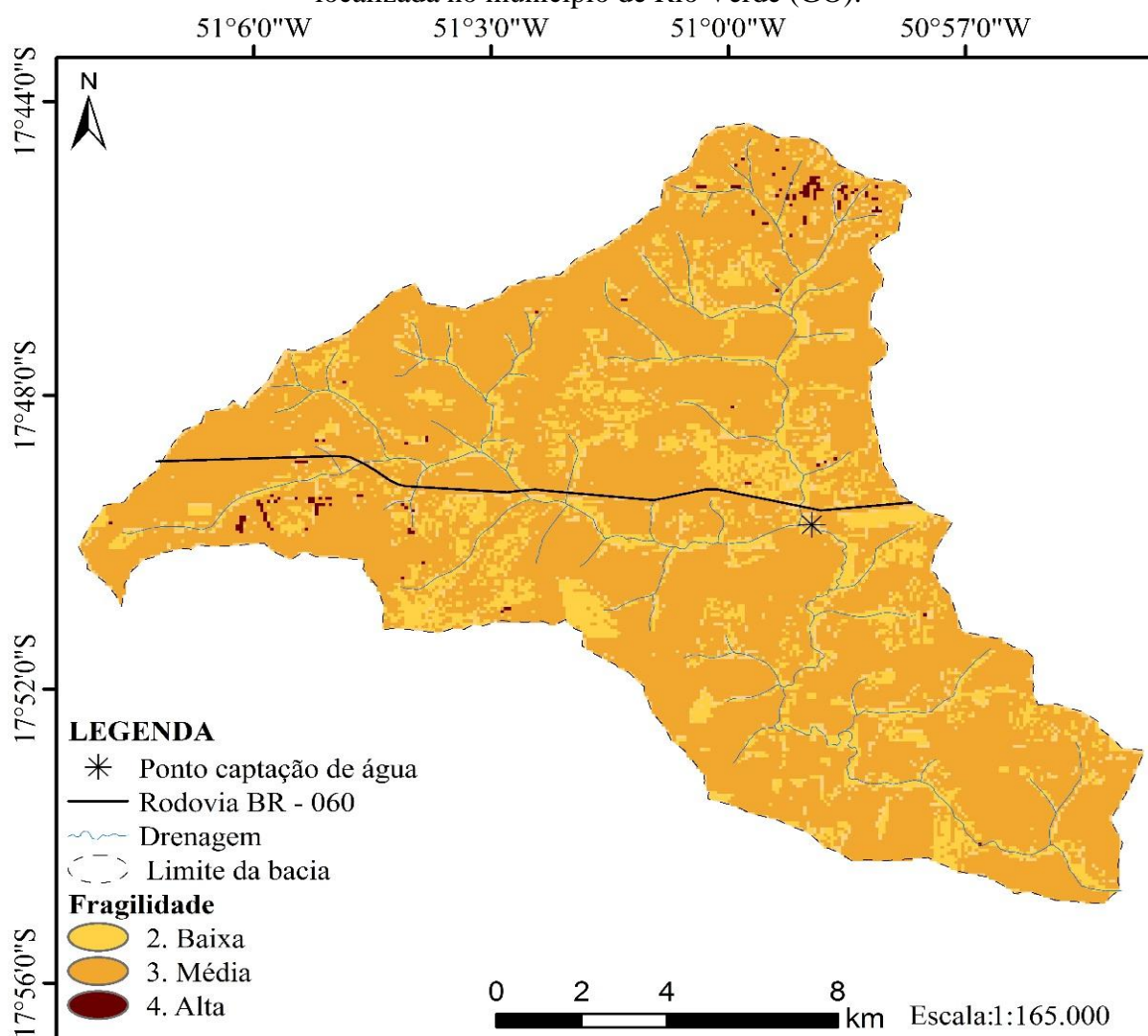
Os resultados obtidos para a fragilidade ambiental emergente para a BHRA foram, em ordem de tamanho maior para menor, médio (78,96% da área), baixo (20,60% da área) e alto (0,35% da área), ver Tabela 11 e Mapa 14.

Tabela 11 – Classes de fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).

Fragilidade	Km²	%
2.Baixa	41,19	20,69
3.Média	157,21	78,96
4.Alta	0,70	0,35
Total	199,1	100

Fonte: Autor.

Mapa 14 – Fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, localizada no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016) e USGS (2016).

O uso da terra e cobertura vegetal dentro da área de estudo devem visar à redução do impacto da gota da chuva sobre os solos, uma vez que a área de Argissolos com 4,59% do total da área de estudo, conforme modelo de Ross (2004), é caracterizada como de média fragilidade e as áreas de média, alta e muito alta fragilidade, observadas quanto a declividade, somam 17,94% da área total da bacia.

Estas características físicas da bacia do Ribeirão, em conjunto com a erosividade e associadas a um manejo inadequado do uso da terra e cobertura vegetal, podem provocar prejuízos ambientais, podendo estes serem irreversíveis.

4.4 Conclusão

A bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras foi classificada como de médio grau de erosividade, sendo sua maior parte enquadrada na classe de fragilidade potencial baixa e fragilidade emergente média. Constatou-se ocorrência de declividades com maior grau de influência nos processos erosivos, solos de média fragilidade e área com grau de proteção muito baixa, próximos aos cursos hídricos, e mostrando que a área de estudo é propícia ao uso agrícola, desde que se vise o desenvolvimento sustentável, através da aplicação de práticas de uso e manejo conservacionistas, tais como práticas conservacionistas vegetativas, edáficas e práticas mecânicas.

Referências

- BERTONI, J. C. E LOMBARDI NETO, J. *Conservação do solo*. 4 ed. São Paulo – SP: Icone. 355 p., 1999.
- CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F.; BEGAT, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce (GO), utilizando técnicas de Geoprocessamento. **Geofocus-Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de la Información Geográfica**, n. 11, p. 51–69, 2011.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – RJ: Brasil. 372 p., 1994.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. E BARBOSA, C.C.F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 64p., 1998.
- DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. D. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175–181, 2006.

EMBRAPA. Centro de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. - Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 3ª ed., 2013.

GONÇALVES, G. G. G. et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 797–808, 2011.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R.G; CAMPOS, K.C; LUCHIARI, A E ROSS, J.L.S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 12, Goiânia (GO). **Anais...** Goiânia. INPE, 2005, p. 16-21.

MARTINS, T. I. S., RODRIGUES, S. C. (2012): Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio – baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais, **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 38, 2012.

RAMALHO FILHO, A. E BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, p 65.

ROSS, J. L. S. (1994): Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: *Revista do Departamento de Geografia*. n.8, p.63-74, 1995.

Serviço Geológico dos Estados Unidos-*USGS*. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso: em 20 jan. 2016.

Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – *SIEG*. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso: em 20 de jan. 2016.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39–49, 2004.

WISCHMEIER, W.H. E SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, United States Department of Agriculture, 58p., 1978. (Agriculture Handbook, 537).

5 QUALIDADE E ESTADO TRÓFICO DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS

5.1 Introdução

A paisagem da BHRA apresenta mudanças relevantes nas últimas décadas em virtude de ações antrópicas em prol do desenvolvimento socioeconômico do município de Rio Verde (GO), como a agricultura e a pecuária extensivas e intensivas, a industrialização e a urbanização.

Além das análises das características físicas naturais com geologia, morfologia, declividade e pedologia, e antrópica como uso e cobertura vegetal da terra de uma bacia hidrográfica, também é importante analisar se estas características estão provocando alterações na qualidade da água e se esta apresenta índices de variáveis de qualidade dentro dos limites estabelecidos para a classe na qual o corpo hídrico está enquadrado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

A Resolução do CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela Resolução 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. E estabelece no seu artigo 42 que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. Conforme esta resolução, o Ribeirão das Abóboras no município de Rio Verde (GO) está enquadrado como água doce classe 2 (BRASIL, 2005).

Outra ação importante que deve ser adotada na caracterização de bacia hidrográfica é o estudo do estado trófico. Conforme Esteves (2011), a eutrofização consiste no processo de aporte de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que elevam a produção primária nos sistemas aquáticos, podendo ocorrer de forma natural, quando os nutrientes são liberados por componentes da área de drenagem, enquanto que o processo artificial envolve a entrada de nutrientes externos, através de atividades antrópicas de variadas origens como: esgotos domésticos, efluentes industriais, fertilizantes e insumos de atividades agrícolas. Nesse contexto, o Índice de Estado Trófico (IET) é uma ferramenta matemática que possibilita classificar o grau de trofia de um corpo hídrico, avaliando a qualidade da água quanto à quantidade de nutrientes e sua relação com crescimento das algas e de macrófitas aquáticas capazes de causar a eutrofização do meio (CETESB, 2015; LAMPARELLI, 2004).

Lamparelli (2004) propôs um IET, para o fósforo, estabelecido para ambientes lóticos e adaptado para as condições brasileiras. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo (CETESB, 2015).

Assim, levando em conta que o Ribeirão das Abóboras é a principal fonte de abastecimento de água da população rio-verdense, o objetivo deste capítulo foi investigar a qualidade da água desse Ribeirão através de análises de variáveis de qualidade da água e IET.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Pontos amostrais

As coordenadas dos pontos amostrais, levantadas com um GPS modelo Garmin GPSMAP 62sc, são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Coordenadas dos pontos amostrais planejados ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).

Ponto amostral	Latitude	Longitude
1	17°44'57,61"S	50°59'8,35"O
2	17°47'50,16"S	50°59'13,55"O
3	17°49'36,55"S	50°59'0,90"O
4	17°49'45,27"S	50°59'5,44"O
5	17°49'46,05"S	50°58'54,17"O
6	17°50'38,51"S	50°58'30,76"O
7	17°54'14,28"S	50°55'45,84"O

Fonte: Autor.

Quatro pontos amostrais foram definidos a montante do ponto de captação de água para abastecimento da população de Rio Verde (GO), ver Foto 10 e Mapa 15, e três pontos amostrais definidos a jusante do referido ponto de captação de água, observar Foto 11 e Mapa 15, conforme NBR 9897 (ABNT, 1987):

- A) Ponto amostral 1 (P1), localizado a 0,54 km da nascente principal do Ribeirão.
- B) Ponto amostral 2 (P2), situado a 6,59 km da nascente principal e a montante do setor industrial.
- C) Ponto amostral 3 (P3), localizado a 9,90 km da nascente principal e a jusante do setor industrial, antes da foz do Córrego Marimbondo, principal afluente do Ribeirão

das Abóboras, e a 0,44 km acima do ponto de captação de água para abastecimento público.

- D) Ponto amostral 4 (P4), no Córrego Marimbondo, principal afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado com distância de 16,87 km de sua nascente principal, e 20 m antes de sua foz e 0,15 km a montante do ponto de captação de água para abastecimento público. Devido ao recurso financeiro limitado para execução deste projeto, foi definido somente um ponto amostral neste afluente.
- E) Ponto amostral 5 (P5), definido a 11,25 km da nascente principal e a jusante 0,11 km de onde é lançado o efluente tratado da BRF-Brasil Foods (antiga Perdigão S. A.) e a montante da área urbanizada.
- F) Ponto amostral 6 (P6), no Córrego dos Paletes, afluente do Ribeirão, curso hídrico da microbacia na qual a área urbanizada está inserida, definido a 2,42 km de sua nascente, a jusante da área urbanizada e próximo de sua foz.
- G) Ponto amostral 7 (P7), localizado a 27,66 km da nascente principal e próximo à foz do Ribeirão.

Foto 10 - (A) Ambiente do ponto amostral 1, (B) ambiente do ponto amostral 2, (C) ambiente do ponto amostral 3 e (D) ambiente do ponto amostral 4 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



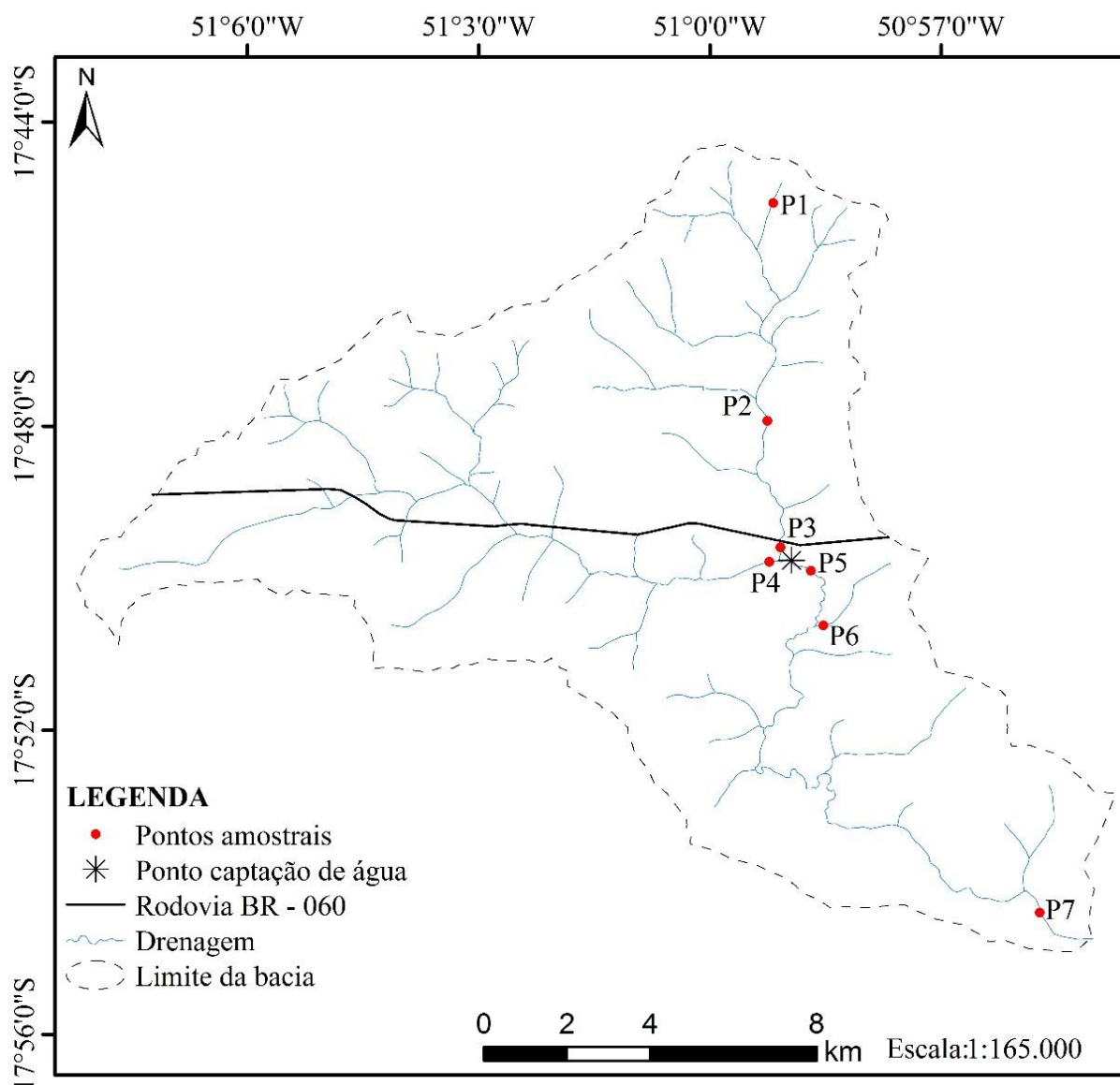
Fonte: Autor.

Foto 11 - (A) Ambiente do ponto amostral 5, (B) ambiente do ponto amostral 6, (C) ambiente do ponto amostral 7 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Mapa 15 – Espacialização dos pontos amostrais ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases de dados disponibilizadas pelo SIEG (2016).

5.2.2 Medição de vazão

A vazão foi determinada para as seções transversais definidas nos sete pontos amostrais, obtida pelo produto da velocidade média de escoamento pela área da seção transversal do curso de água.

A velocidade média da água e da área da seção transversal do curso de água foi determinado por meio de levantamentos conforme o Método do Flutuador descrito pela Embrapa Suínos e Aves (EMBRAPA, 2007), em seu Comunicado Técnico nº 455, para corpos d'água de pequeno volume.

Foram realizadas 6 repetições de medição de velocidade da água para melhor representar a vazão em cada seção planejada. O cálculo da vazão foi com o uso da equação 16:

$$Q = (Ast * La * C)/t \quad (16)$$

Onde, Q é o resultado do cálculo da vazão, em m³; Ast é a média da área da seção transversal do ribeirão, distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio, em m²; La é o comprimento da área de medição, ou seja, percorrida pelo flutuador, sendo neste estudo definido o comprimento de 6 m; C é o coeficiente ou fator de correção, sendo 0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento. Este coeficiente permite a correção da velocidade devido ao fato de a água se deslocar mais rápido na superfície do que na porção do fundo do rio; e t é o tempo, em segundos (s), que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento definido.

Somente a seção do P1 (Foto 12) apresentou fundo pedregoso, onde as vazões foram determinadas aplicando o C de 0,8. Para as demais seções usou-se o C de 0,9 para o cálculo das vazões.

Foto 12 – Medição de vazão na seção do ponto amostral 1 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

5.2.3 Coleta e preservação das amostras

As coletas e a preservação das amostras foram realizadas conforme a Resolução 724/2011 da Agência Nacional de Água (ANA) que estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), conforme Brasil (2011).

As amostragens foram realizadas no período chuvoso, nos dias 24 de novembro (Campanha 1: C1) e 16 de dezembro (Campanha 2: C2) de 2015; 30 de janeiro (Campanha 3: C3) e 28 de fevereiro (Campanha 4: C4) de 2016. A amostragem do P1 ao P4 foram feitas sempre no período das 8 às 12 horas e do P5 ao P7, sempre no intervalo das 13 às 18 horas.

Em cada campanha e em cada ponto amostral foram coletadas amostras em frascos de polietileno de 1 L, sendo 1 L para análise da CSS, 1 L para análise de CA, e 1 L para análise de CV e turbidez (Foto 13 A). Foi coletada amostra em frasco de vidro de 1 L, de cor âmbar, embalado em papel alumínio para proteger a amostra da radiação solar, e com tampa adequada para impedir trocas gasosas da amostra com o meio externo, para análise de DBO (Foto 13 B). Foi coletada amostra em frasco de vidro de 1 L cor âmbar, lavado previamente com solução de ácido clorídrico 1:1, ou seja, 1 L de ácido clorídrico diluído em 1 L de água, e enxaguado com água destilada, procedimento indicado para impedir a reação do fósforo com outros elementos, para análise de DQO, nitrato e FT (Foto 13 C).

As amostras foram acondicionadas em caixa térmica (Foto 13 D) com gelo e levadas diretamente para o Laboratório de Águas e Efluentes do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (GO).

Foto 13 – (A) Frascos usados para amostragem de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e concentração de sólidos suspensos, (B) frascos usados para amostragem de demanda bioquímica de oxigênio.

A



B



Foto 13 (Continuação) – (C) frascos usados para amostragem de demanda química de oxigênio, nitrato e fósforo total, (D) caixa térmica usada para preservar as amostras.

C



D



Fonte: Autor.

5.2.4 Análise em campo e em laboratório

Em cada ambiente de coleta de amostras, foram realizadas análises das variáveis físico-químicas T, pH e OD com uma sonda portátil, multiparamétrica, modelo ORION STAR A326 (Foto 14 A), e de CE e STD em um condutivímetro modelo Sension5 (Foto 14 B).

Foto 14 – (A) Sonda portátil multiparamétrica modelo ORION STAR A326, (B) condutivímetro modelo Sension5, usados na pesquisa.

A



B



Fonte: Autor.

Em laboratório foram analisados: CSS, pelo método gravimétrico (60 °C, 24 h); CA e CV, pelo método padrão platina-cobalto; turbidez, pelo método de relação entre o sinal nefelométrico (90°) da luz dispersada e a luz transmitida; DBO, pelo método de incubação (20°C, 5 dias); DQO, pelo método de digestão; nitrato, pelo método do dimetilfenol; e FT, pelo método do ácido persulfato.

As amostras para quantificar a CSS foram filtradas em um Sistema Combisart® (Foto 15 A), usando fibra de vidro de 47 mm e porosidade de 1,2 µm (Foto 15 B); foi usada uma

balança analítica modelo AW 220 (Foto 15 C) para obter o peso inicial e final das fibras de vidro, sendo estas incubadas em uma estufa modelo Nova Ética 4000.5 (Foto 15 D).

Foto 15 – (A) Sistema Combisart® usado para filtrar, em fibra de vidro, as amostras para análise de concentração de sólidos suspensos e cor verdadeira, (B) fibras de vidro usadas nas análises de concentração de sólidos suspensos, (C) balança analítica modelo AW 220 usada nas análises de concentração de sólidos suspensos, (D) estufa modelo Nova Ética 4000.5 usada nas análises de concentração de sólidos suspensos.

A



B



C



D



Fonte: Autor.

As amostras para análise de CA foram lidas diretamente no espectrofotômetro DR 5000. E as amostras para análise de CV foram filtradas no mesmo aparelho usado para filtração das amostras de CSS, usando membranas fibra de vidro de 47 mm e porosidade de 0,45 μm (Foto 16 A), homologadas para análise de cor em água pela Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar (ICUMSA Ltd.), sendo medidas usando o espectrofotômetro modelo DR 5000 (Foto 16 B).

A turbidez foi medida em um aparelho modelo 2100P (Foto 16 C).

As amostras preparadas para análise de DBO foram incubadas em uma incubadora BOD modelo LT 320 TFP II (Foto 16 D).

Foto 16 – (A) Membranas fibra de vidro usadas nas análises de cor verdadeira, (B) espectrofotômetro modelo DR 5000 usado para análise de cor aparente e verdadeira, demanda química de oxigênio, nitrato e fósforo total, (C) aparelho modelo 2100P para as análises de turbidez, (D) incubadora BOD modelo LT 320 TFP II usada para incubação das amostras para análise de demanda bioquímica de oxigênio.

A



B



C



D



Fonte: Autor.

As amostras para análise de DQO e FT foram digeridas em um digestor modelo DRB 200 (Foto 17) e, juntamente com as amostras para quantificação do teor de nitrato, tiveram seus índices obtidos no espectrofotômetro supracitado.

Foto 17 – Aparelho digestor modelo DRB 200 usado para digerir as amostras de demanda química de oxigênio e fósforo total.



Fonte: Autor.

Todos os equipamentos foram devidamente calibrados antes de iniciar as coletas, conforme manual do fabricante. Todas as amostras foram divididas em três subamostras e analisadas conforme metodologia descrita no *Standart Methods For Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

5.2.5 Análise dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA), utilizando como fonte de variação os meses (8 meses), pontos amostrais (7 pontos) e as repetições (3 repetições), ou seja, o esquema fatorial foi $(8 \times 7) \times 3$. Foi realizado o teste de média de Tukey a 5% de probabilidade para comparar se houve diferença entre as médias de cada parâmetro no período de análises e pontos amostrais. As análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 1998).

As médias foram comparadas com limites estabelecidos para água doce classe 2, conforme a Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005), e comparados também com valores obtidos na região e de literaturas.

5.2.6 Estudo do estado trófico

O estudo do estado trófico pode ser realizado através de valores de transparência obtidos com o uso do disco de Secchi, IET (clorofila), a partir de valores de clorofila *a*, e IET, a partir de valores de fósforo total (CETESB, 2015).

Os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (CETESB, 2015).

A avaliação correspondente à clorofila *a*, ou seja, o IET a partir de valores obtidos para a clorofila *a*, por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas (CETESB, 2015).

Em rios, o cálculo do IET, a partir dos valores de FT, é o mais indicado, uma vez que as condições ambientais de ambientes lóticos são mais desfavoráveis para o crescimento de algas. Sendo assim, neste estudo optou-se pelo IET com o usos dos resultados obtidos de FT no intuito de caracterizar o estado trófico do Ribeirão das Abóboras.

Os cálculos para a obtenção do Índice de Estado Trófico (IET) foram realizados de acordo com Lamparelli (2004), observar equação 17.

$$IET (PT) = 10 * (6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln PT)) / \ln 2)) - 20 \quad (17)$$

Onde, PT é a concentração de fósforo total medida à superfície da água em $\mu\text{g.L}^{-1}$; e \ln é o logaritmo natural.

Os resultados para o IET foram comparados com a classificação do estado trófico para rios segundo Índice de Lamparelli (2004), conforme Quadro 10.

Quadro 10 – Classificação do Estado Trófico para rios, segundo Índice de Lamparelli (2004).

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

Observa-se no Quadro 10 que um curso hídrico é enquadrado em uma categoria de eutrofização conforme o resultado de IET obtido, ou seja, conforme o intervalo de ponderação.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Vazão

Os resultados obtidos de vazão para cada campanha e ponto amostral são apresentados na Tabela 12, onde pode ser observado que o volume de água do Ribeirão das Abóboras aumentou consideravelmente nas duas últimas campanhas do período chuvoso (janeiro e fevereiro), passando de $3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (primeira campanha) para $6,46 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (quarta campanha), reflexo das maiores precipitações observadas nesses meses no município de Rio Verde (GO), conforme Gráfico 1 apresentado no Capítulo 2.

Tabela 12 – Vazão obtida para cada campanha do período chuvoso (novembro de 2015 a janeiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) em cada ponto amostral no Ribeirão das Abóboras (P1 ao P7), localizado no município de Rio Verde (GO).

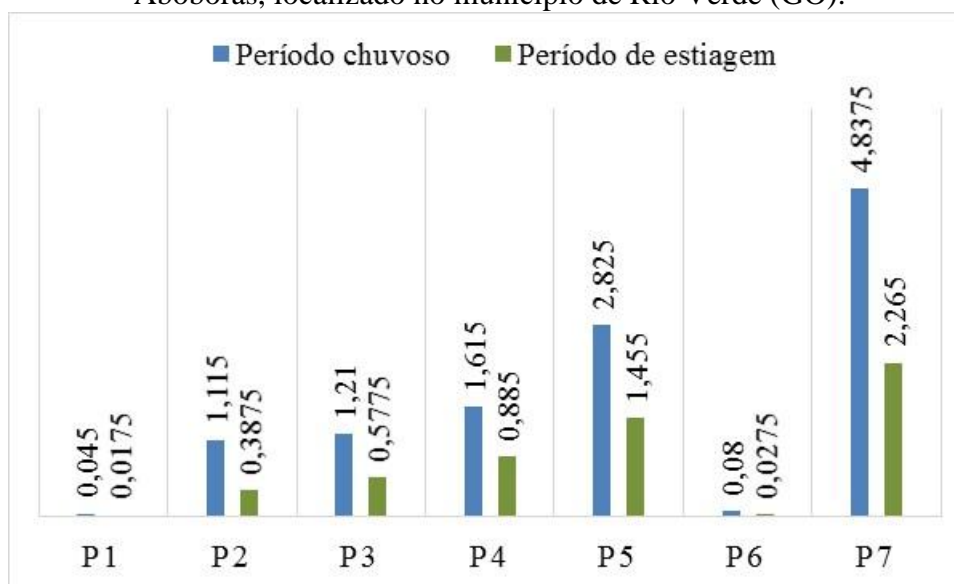
Campanha	Ponto e respectiva vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	0,04	0,75	0,77	1,12	1,88	0,06	3,00
2	0,03	0,87	1,02	1,75	2,78	0,06	3,73
3	0,05	1,37	1,48	1,64	3,12	0,09	6,16
4	0,06	1,47	1,57	1,95	3,52	0,11	6,46
5	0,02	0,42	0,67	0,96	1,62	0,03	2,69
6	0,02	0,40	0,57	0,95	1,51	0,03	2,56
7	0,02	0,39	0,55	0,84	1,38	0,03	2,10
8	0,01	0,34	0,52	0,79	1,31	0,02	1,71

Fonte: Autor.

Observa-se ainda na Tabela 12 diminuição gradativa do volume de água do Ribeirão a partir da 5ª campanha, isso devido às menores precipitações na área de estudo, ver Gráfico 1 no Capítulo 2.

As médias da soma dos resultados do período chuvoso e a média da soma dos resultados do período de estiagem para cada ponto amostral podem ser observadas no Gráfico 3, sendo, como era esperado, maiores para o período chuvoso e menores para o período de estiagem.

Gráfico 3 – Média da soma das vazões ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) obtidas nas campanhas do período chuvoso (novembro de 2015 a janeiro de 2016) e média das somas das vazões obtidas no período de estiagem (junho a setembro de 2016) nos pontos amostrais P1 ao P7 no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

Os menores volumes e pequenas alterações nos pontos 1 e 6 são em decorrência da menor área de contribuição dos afluentes onde estes pontos foram definidos.

5.3.2 Variáveis de qualidade da água

Nas Tabelas 13 a 25 e Gráficos 4 a 16 constam os resultados obtidos das variáveis físico-químicas analisadas.

5.3.2.1 Temperatura (*T*)

Não há limite de *T* estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. Contudo, Zumach (2003) afirma que esta é uma variável que desempenha um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Segundo Sperling (2005), elevações da *T* podem ocasionar o aumento na taxa das reações físicas, químicas e biológicas, podendo ser responsável pela diminuição da solubilidade dos gases, como por exemplo, do oxigênio dissolvido, aumentando também a taxa de transferência de gases, podendo gerar mau cheiro, no caso de liberação de gases com odores desagradáveis. Tundisi (2008) afirma que a temperatura da água estabelece padrões de comportamento fisiológico (respiração, por exemplo), limita ou acelera o crescimento de organismos e interfere nos processos reprodutivos.

Na Tabela 13 e Gráfico 4, de forma geral, observam-se que os menores valores de temperatura foram observados nos pontos em que as amostragens foram realizadas no período

da manhã (P1, P2, P3 e P4) e os maiores valores nas amostragens realizadas no período da tarde (P5, P6 e P7). Considerando as médias das campanhas para o período chuvoso e de estiagem para cada ponto, observam-se menores médias de T para o período de estiagem (junho a setembro).

Tabela 13 - Valores de temperatura obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Temperatura (°C)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	23,03 aD	22,30 bE	22,80 abD	22,70 abE
Ponto 2	23,40 aCD	22,97 aD	23,20 aCD	23,00 aE
Ponto 3	23,60 aC	23,37 aD	23,33 aC	23,30 aCD
Ponto 4	23,87 abC	24,37 aC	23,53 bC	23,50 bC
Ponto 5	25,50 aA	25,47 aB	24,33 bB	24,63 bB
Ponto 6	25,60 bcA	26,60 aA	25,30 cdA	25,97 bA
Ponto 7	24,60 dB	25,83 aB	25,13 bcA	25,53 abA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	18,23 abD	18,13 dD	20,2 cD	19,76 cC
Ponto 2	19,07 cC	18,00 dD	20,00 bD	19,80 bC
Ponto 3	18,17 cD	18,33 cD	20,33 bD	20,03 bC
Ponto 4	19,40 dC	19,37 dC	20,83 cC	21,30 cB
Ponto 5	21,23 cA	22,00 bA	22,07 bB	24,17 bA
Ponto 6	21,60 fA	21,77 fA	25,00 dA	24,27 eAA
Ponto 7	20,57 fB	20,63 fB	25,00 cdA	23,97 eA

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

As diferenças de T são em função do horário das amostragens, do tamanho da superfície de contato da água com a radiação solar, da cobertura vegetal ao longo do Ribeirão e da sazonalidade. No período da manhã há menor incidência de energia solar no corpo hídrico e, conseqüentemente, menor temperatura da água; no período da tarde, a incidência de energia solar no Ribeirão é maior e, conseqüentemente, maior a temperatura da água. À medida que os pontos amostrais vão se distanciando da nascente, aumenta a largura dos cursos hídricos e estes

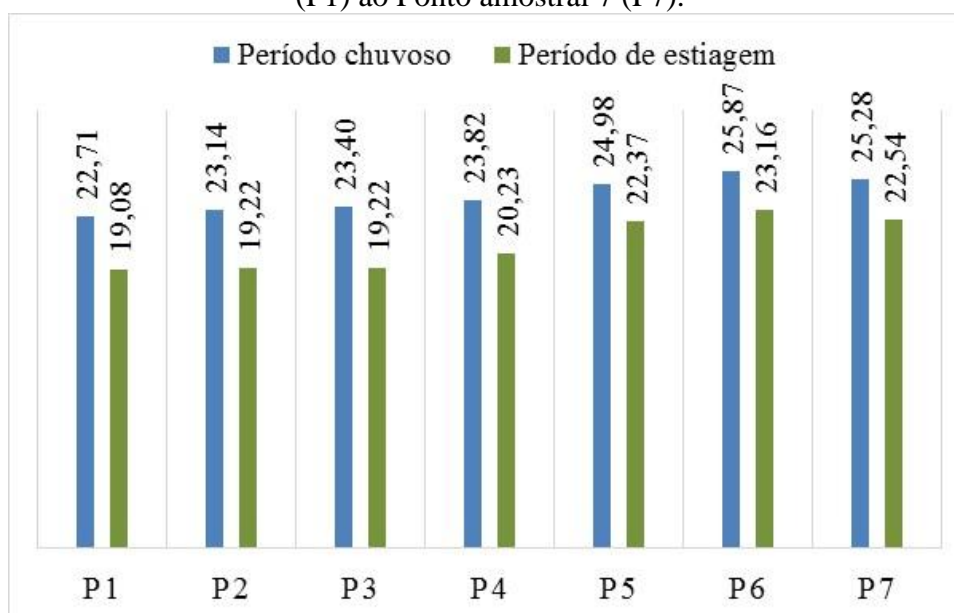
passam a ter maior área de superfície, e, dessa forma, recebem maior radiação solar, condição favorável ao aumento de temperatura da água. Próximo ao P6, localizado no Córrego dos Paletes, há extensa área em sua margem direita ocupada por pastagem, favorecendo o aquecimento da água por raios solares.

As menores T das campanhas do período de estiagem (junho a setembro) são em decorrência da região onde está localizada a área de estudo apresentar menores T nessa época do ano.

A temperatura da água é fortemente influenciada pela radiação solar, ventos, temperatura do ar e precipitação, afirma Tundisi (2008). Este autor afirma ainda que o principal processo que gera o aquecimento térmico é a radiação solar que atinge a superfície da água. Maier (1987) afirma que a temperatura da água é determinada pelo aquecimento por raios solares que é diretamente proporcional à área de superfície.

Plamondona et al. (1991), no estudo em regiões de Oxapampa, no Peru, constatou um significativo aumento na temperatura da água em locais onde ocorreu remoção de floresta.

Gráfico 4 – Médias dos resultados da temperatura (°C) do período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Em um estudo, realizado por Alves et al. (2013), no Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde (GO), onde avaliaram variáveis de qualidade da água em um ponto amostral 30 m acima do ponto de captação de água para abastecimento público de Rio Verde (GO), nos meses de junho de 2012 a janeiro de 2013, foi observada variação de temperatura da água de 20,53 a

23,90 °C, sendo que o mês de setembro apresentou temperatura média pouco mais baixa em relação às demais, e as maiores temperaturas foram observadas para os meses de novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013.

Em outra pesquisa na bacia hidrográfica do Rio Claro, que é predominantemente agrícola, apresenta também área urbanizada e indústrias, em quatro pontos de monitoramento em Jataí (GO), os autores obtiveram valores próximos aos do Ribeirão das Abóboras, e justificaram a variação de T em função do horário das amostragens (LIMA; SANTOS, 2012).

5.3.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 14 observa-se que os menores valores de pH foram observados no P1 em todas as campanhas. Esta afirmação também pode ser constatada no Gráfico 5.

Tabela 14 - Valores de potencial hidrogeniônico obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Potencial hidrogeniônico (unidade de pH)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	6,42 aD	6,58 aC	6,38 aC	6,37 aC
Ponto 2	7,34 aAB	7,22 aA	7,14 aA	7,15 aA
Ponto 3	7,36 aA	7,24 aA	7,17 aA	7,17 aA
Ponto 4	7,02 abBC	6,84 bBC	6,80 bB	6,80 bB
Ponto 5	7,26 abcAB	7,01 cdAB	7,03 cdAB	6,74 dB
Ponto 6	7,16 aABC	7,04 aAB	7,04 aAB	6,91 aAB
Ponto 7	6,88 aC	7,03 aAB	6,89 aAB	6,79 aB
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	6,30 aD	6,30 aC	6,32 aB	6,31 aD
Ponto 2	6,39 bD	7,37 aA	7,33 aA	7,40 aAB
Ponto 3	6,73 bC	7,34 aA	7,37 aA	7,41 aAB
Ponto 4	6,82 bBC	7,12 abAB	7,12 abA	7,27 aABC
Ponto 5	7,39 abA	7,07 bcdB	7,30 abcA	7,45 aA
Ponto 6	7,13 aAB	7,11 aAB	7,04 aA	7,09 aBC
Ponto 7	6,86 aBC	6,88 aB	7,04 aA	7,02 aC

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Devido às características da área de contribuição do P4 ao P7, esperava-se valores de pH baixos para estes pontos, contudo todos os resultados estão em conformidade com a Resolução CONAMA 357/05, considerando os limites para água doce classe 2, sendo estes no mínimo 6 e no máximo 9.

Entretanto, estes limites estabelecidos pelo CONAMA, para a variável, pH são questionados por Vasconcelos (2009). Este autor afirma que em águas naturais, na maioria dos casos, encontra-se pH entre 4 e 9.

Os valores de pH estão próximos da neutralidade que, conforme Paula (2011), para as águas naturais do Cerrado, se caracterizam como um aspecto positivo à qualidade da água.

Conforme apresentado no Capítulo 2, a BHRA apresenta características pedológicas favoráveis à alterações do pH da água, uma vez que 95% dos Latossolos, predominantes na área de estudo, são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 (EMBRAPA, 2016).

Os valores menores observados para o P1 podem ser explicados pela presença de residências rurais onde os moradores criam suínos caipiras em chiqueiros e currais para atividades pecuárias, como ordenhas de vacas leiteiras. Essas atividades geram resíduos orgânicos que, se não tratados e dado destino correto, escoam diretamente e/ou são carregados pela água da chuva para o corpo hídrico. Esses resíduos associados ao menor volume de vazão (Tabela 12 e Gráfico 3), podem diminuir o pH da água.

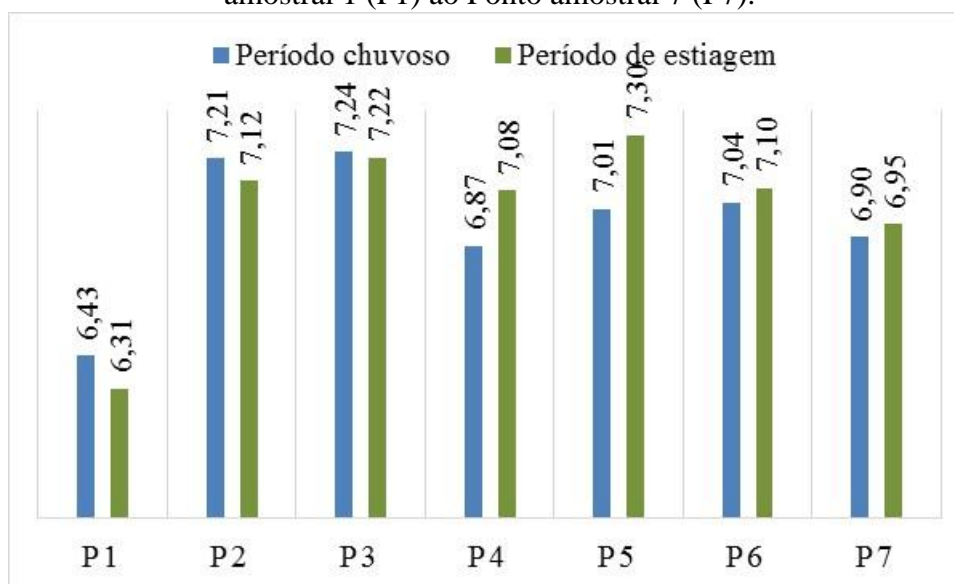
Esteves (2011) afirma que os organismos que consomem matéria orgânica, derivada da biota, interferem na concentração de CO₂ no meio e, conseqüentemente, no seu pH. Em geral, ressalta este autor, a atividade heterotrófica tende a diminuir o pH, através da produção de CO₂, via respiração. Os processos de decomposição da matéria orgânica também podem levar à diminuição do pH pelo mesmo motivo.

Branquinho (2016), ao analisar a qualidade da água do Rio São Tomás, no qual o Ribeirão das Abóboras deságua, de janeiro a julho de 2016, observou pH variando de 3,95 a 8,92, sendo que os valores da nascente foram de 4,29 a 6,53.

Esta autora destaca que no mês de fevereiro, o pH apresentou os resultados mais baixos para todos os pontos avaliados, sendo as causas, as práticas agrícolas dentro da bacia.

Alves et al. (2013) nos estudos da qualidade da água do Ribeirão das Abóboras, obtiveram os valores para pH com variação de 6,6 a 7,81, portanto, próximos aos observados nesta pesquisa.

Gráfico 5 – Médias dos resultados de potencial hidrogeniônico (unidade de pH) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Fritzsons et al. (2003) afirmam que para o pH não é fácil estabelecer um padrão de comportamento, isso por ser uma variável difícil de ser interpretada, por sofrer influência de diversos fatores, tais como; sólidos, gases dissolvidos, dureza, alcalinidade, temperatura e fatores bióticos.

5.3.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

Observa-se na Tabela 15 que todos os índices estão dentro do limite mínimo para água doce classe 2 estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, de 5 mg.L⁻¹.

Ainda na Tabela 15, observa-se que as maiores médias de OD foram constatadas no P1, P2 e P3, onde também foram obtidas as menores médias de T, e as menores médias no P4, P5, P6 e P7. Nestes pontos os índices de T foram maiores (Tabela 13). No Gráfico 6 pode ser constatado que o OD apresentou maior valor médio da soma das campanhas no período de estiagem (menor temperatura na região) em cada ponto amostral.

Conforme Esteves (2011), com a elevação da T, ocorre redução da solubilidade do oxigênio na água. Este mesmo autor também afirma que com o aumento da pressão, aumenta a solubilidade de OD na água.

Observa-se que os pontos com maior oxigenação da água estão em maior altitude (próximos à nascente) e, conseqüentemente, sob menor pressão atmosférica, e que os pontos amostrais com menor oxigenação da água estão em menor altitude, próximos da foz, e,

consequentemente, sob maior pressão. Embora nos pontos amostrais com menor OD as amostragens tenham sido realizadas no período do dia com maior temperatura da água, esses pontos estão em situação favorável à oxigenação da água, sob maior pressão em relação aos pontos próximos à nascente.

Tabela 15 - Valores de oxigênio dissolvido obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	8,01 bA	6,88 dAB	6,88 dA	7,02 dA
Ponto 2	7,99 bA	6,87 cAB	6,82 cAB	6,88 cAB
Ponto 3	8,17 bA	6,98 cA	6,97 cA	7,00 cA
Ponto 4	7,66 bBC	6,65 cC	6,66 cBC	6,74 cBC
Ponto 5	7,51 bcC	6,41 eD	6,56 deCD	6,66 dCD
Ponto 6	7,59 aBC	6,17 dE	6,37 cdD	6,48 cDE
Ponto 7	7,78 aB	6,69 cBC	6,65 cBC	6,38 dE
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	8,32 aBC	8,15 abB	7,73 cCD	7,72 cC
Ponto 2	8,49 aAB	8,40 aA	7,97 bAB	8,01 bAB
Ponto 3	8,62 aA	8,45 aA	8,07 bA	8,12 bA
Ponto 4	8,24 aC	8,12 aB	7,84 bBC	7,81 bBC
Ponto 5	7,93 aD	7,70 bC	7,69 bCD	7,47 cD
Ponto 6	7,70 aE	7,62 aC	7,54 aDE	7,03 bE
Ponto 7	7,64 aE	7,62 aC	7,35 bE	6,52 cdF

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

O aporte de matéria orgânica das atividades agrícolas, como resíduos das granjas de avicultura e suinocultura, sem tratamento adequado observados na área de contribuição do P4, P5 e P7 (Foto 18), e o lançamento de efluentes tratados, à montante do P5 (Foto 19), oriundos das atividades agroindustriais da BRF, e a urbanização na área de contribuição do P6 (Mapa 9 e Imagem 3 B do Capítulo 3) também podem ter influenciado na menor concentração de OD na água, nesses pontos amostrais.

De acordo com Esteves (2011), a oxidação da matéria orgânica, resultado da atividade de microrganismos, a perda para a atmosfera, a respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos, como, por exemplo, ferro e manganês, contribuem para a redução da concentração do oxigênio na água.

Foto 18 – (A) e (B) Resíduos oriundos de granjas com disposição inadequada na área de contribuição do Córrego Marimbondo, principal afluente do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).

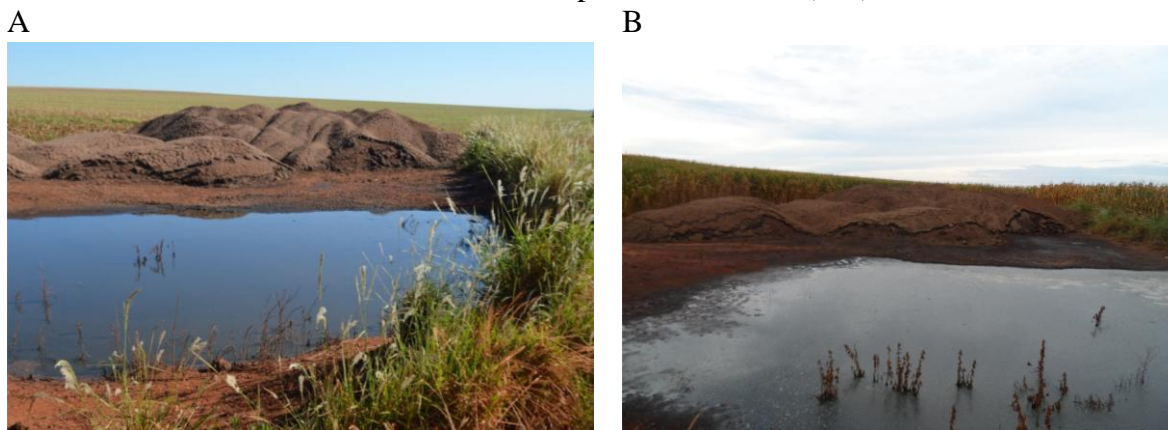


Foto 19 – (A) Saída da tubulação e (B) lançamento dos efluentes oriundos dos processos produtivos da BRF na margem esquerda do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).

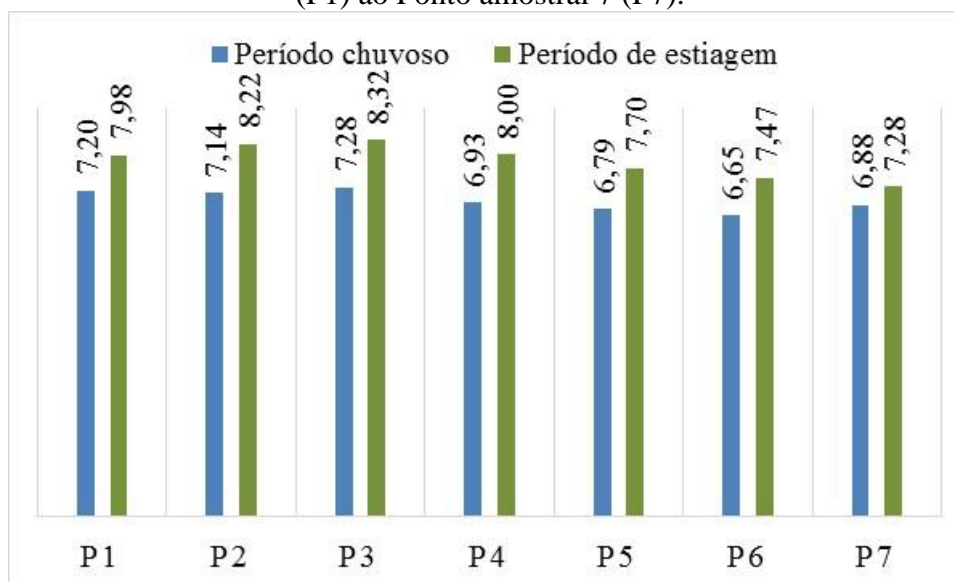


Fonte: Autor.

Alves et al. (2013) observaram no Ribeirão das Abóboras valores de OD entre 6,30 e 7,97 mg.L⁻¹, sendo que o mês de junho apresentou menor média (6,3 mg.L⁻¹). Este resultado coincide com o mês mais seco na área de estudo, e, conseqüentemente, menor vazão e maior concentração de matéria orgânica na água, o que pode ter favorecido a menor concentração de OD, reforçando as médias obtidas no P5, P6 e P7 apresentadas no Gráfico 6.

Ao contrário destes resultados, nas análises de variáveis de qualidade da água do Rio São Tomás, localizado dentro do município de Rio Verde e Santa Helena de Goiás, no estado de Goiás, Branquinho (2016) observou os menores valores de OD na nascente principal deste corpo hídrico, onde a variação foi de 3,25 a 5,03 mg.L⁻¹, e ao longo do rio nos demais pontos amostrais variou de 6,65 a 8,50 mg.L⁻¹. Esta autora afirma que o índice baixo observado nesta nascente é devido à vazão da água ser muito baixa, proporcionando menor oxigenação da mesma.

Gráfico 6 – Médias dos resultados de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Esteves (2011) afirma que dentre as variáveis limnológicas que apresentam maiores variações diárias, destaca-se o oxigênio dissolvido. Afirma ainda que as grandes variações diárias de oxigênio ocorrem por estar este gás diretamente envolvido com o processo de fotossíntese e respiração e/ou decomposição, que por sua vez estão diretamente relacionados com o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a temperatura. Outros fatores climáticos como vento, chuva etc. também podem ter importância eventuais nas variações diárias de oxigênio.

5.3.2.4 Condutividade elétrica (CE)

O P1 apresentou os menores valores de CE e o P5 e P7 os maiores. Pode ser observado que à medida que os pontos amostrais se afastam da nascente, aumenta a CE (Tabela 16 e Gráfico 7).

Tabela 16 - Valores de condutividade elétrica obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	11,29 aD	10,96 aD	11,37 aF	6,66 aD
Ponto 2	52,80 aC	48,97 aB	19,97 cEF	47,40 aB
Ponto 3	50,17 aC	49,03 aB	44,87 aBC	45,90 aB
Ponto 4	17,05 abcD	26,20 abC	26,50 aDE	24,44 abcC
Ponto 5	242,67 aA	124,33 dA	69,20 eA	51,00 fB
Ponto 6	19,35 cdD	45,20 abB	56,10 aAB	43,90 abB
Ponto 7	139,10 aB	111,27 bA	39,57 dCD	95,63 cA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	7,00 aC	8,51 aE	4,13 aC	3,96 aD
Ponto 2	16,35 cC	29,20 bcCD	17,28 cBC	40,23 abC
Ponto 3	17,31 bC	16,59 bDE	16,43 bBC	37,10 aC
Ponto 4	10,12 cC	25,63 abCD	10,94 bcBC	10,73 bcD
Ponto 5	62,17 efA	193,30 bA	157,80 cA	180,30 bA
Ponto 6	33,57 bcB	32,80 bcC	14,88 dBC	15,65 dD
Ponto 7	45,80 dB	51,20dB	19,61 eB	120,03 bB

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

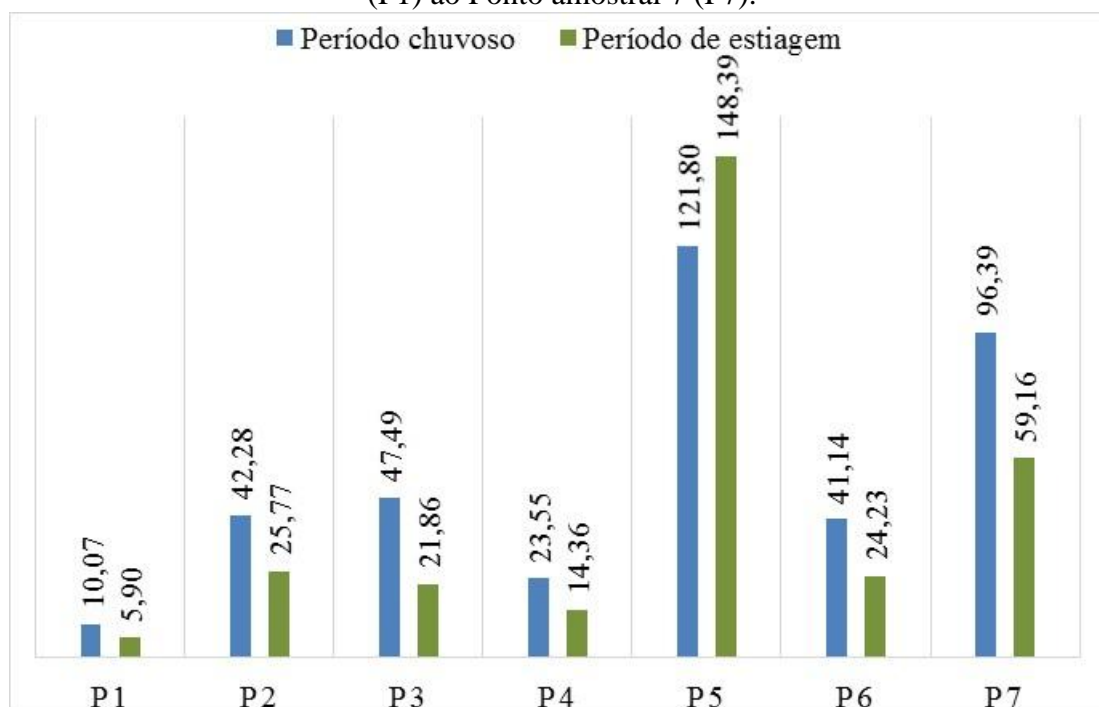
Fonte: Autor.

Os maiores valores com diferença significativas observados no P5 e P7 podem ser em decorrência do aporte de matéria orgânica oriunda das granjas (Foto 18), lançamento de efluentes pela BRF (Foto 19) e carreamento pela água da chuva de partículas de solos e resíduos de áreas agrícolas.

Não há limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para CE, entretanto, conforme Couto et al. (2006), nos ambientes aquáticos, a CE, com valor de até $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$, reflete as condições de águas de boa qualidade, e, acima desse valor, são águas caracterizadas como inadequadas ao consumo humano.

Bacias hidrográficas altamente exploradas pelo uso do solo apresentam maior CE em decorrência do escoamento superficial, sendo que bacias hidrográficas com predomínio de vegetação possuem tendências opostas, afirmam Hesslerová et al. (2012).

Gráfico 7 – Médias dos resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Conforme Esteves (2011), em regiões tropicais, os valores de condutividade nos ambientes aquáticos estão mais relacionados com as características geoquímicas da região onde se localizam e com as condições climáticas (estação seca e de chuva), mas podem ser influenciados também pelo estado trófico, principalmente em ambientes sob influência antrópica.

5.3.2.5 Sólidos totais dissolvidos (STD) e Concentração de sólidos suspensos (CSS)

Na Tabela 17 estão apresentados os valores obtidos de STD e na Tabela 18, os valores de CSS.

A variável STD apresentou todos os índices abaixo do limite máximo exigido pela Resolução CONAMA 357/05, que é de $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, por tanto, em conformidade. Os menores valores foram observados no P1 e as maiores médias no P5 e P7, ver Tabela 17 e Gráfico 8.

O baixo valor de STD para o P1 era esperado por estar localizado próximo à nascente, ou seja, por apresentar menor área de contribuição, favorecendo menor carreamento de partículas de solos e de resíduos agroquímicos aplicados na agricultura, situação favorável ao índice baixo para esta variável. Já os maiores resultados diferenciam significativamente dos demais, especialmente no P5 e P7, podendo ser devidos à maior área de contribuição, intensivas

atividades agropecuárias, com destaque para as práticas de manejos voltados para a cultura da soja e milho, além das fontes pontuais citadas anteriormente (Foto 18 e Foto 19), favorecendo o maior carreamento, pelas águas das chuvas, de partículas de solos, matéria orgânica e outros materiais para o ribeirão, e conseguinte aumento de partículas suspensas e sólidos dissolvidos.

Tabela 17 - Apresenta os valores de sólidos totais dissolvidos obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	4,87 aD	4,80 aC	4,90 aE	2,20 aE
Ponto 2	24,77 aC	22,90 aB	9,03 cE	22,20 aBC
Ponto 3	23,50 aC	23,10 aB	20,87 aBC	15,47 abCD
Ponto 4	6,83 aD	12,13 aC	12,20 aDE	11,17 aD
Ponto 5	116,23 aA	59,10 dA	32,77 eA	24,03 fB
Ponto 6	8,93 cdD	21,07 abB	26,67 aAB	20,50 abBC
Ponto 7	66,00 aB	52,83 bcA	18,27 dCD	45,40 cA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	2,83 aD	3,53 aD	1,50 aB	1,33 aD
Ponto 2	7,30 cD	13,57 bcC	7,80 cB	18,77 abC
Ponto 3	8,67 bCD	7,46 bCD	7,30 bB	17,27 aC
Ponto 4	4,60 aD	11,70 aC	4,70 aB	4,60 aD
Ponto 5	29,37 efA	90,97 bA	75,70 cA	85,23 bA
Ponto 6	15,57 bcBC	15,10 bcC	6,60 dB	6,77 dD
Ponto 7	21,40 dAB	24,20 dB	8,80 eB	57,83 abB

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Alves et al. (2013) obtiveram no Ribeirão das Abóboras níveis de STD com variação de 15,20 a 22,50 mgL⁻¹. Os meses de junho, dezembro e janeiro apresentaram os menores valores, sendo os maiores valores de setembro, outubro e novembro, justificados pelas intensas chuvas que ocorrem nesse período, condição favorável ao aumento de STD na água.

Conforme Branquinho (2016), na nascente do Rio São Tomás foram observados os menores valores para a análise de STD (2,10 a 3,35 mg.L⁻¹), o que já era esperado, ressalta a

autora, devido ao menor volume e à menor agitação de água no local, sendo nos demais pontos amostrais (2 a 5) obtidos valores de 14,0 a 37,7 mg.L⁻¹.

Tabela 18 - Valores de concentração de sólidos suspensos obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Concentração de sólidos suspensos (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	15,17 aAB	3,78 bcdD	10,22 abAB	8,78 abcBC
Ponto 2	4,89 bD	4,22 bCD	5,44 bBC	16,00 aA
Ponto 3	6,22 bD	1,56 bD	13,67 aA	16,00 aA
Ponto 4	8,00 abCD	10,44 abBC	9,56 abAB	13,33 aAB
Ponto 5	12,89 cBC	11,56 cAB	13,00 cA	13,56 cAB
Ponto 6	2,56 aD	3,44 aD	2,44 aC	4,67 aC
Ponto 7	20,22 bcA	17,44 cA	14,67 cA	15,56 cA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	5,89 bcdC	2,89 cdB	1,67 dC	1,23 dC
Ponto 2	6,89 bC	3,22 bB	4,89 bBC	5,00 bBC
Ponto 3	5,67 bC	5,33 bB	4,00 bBC	3,33 bBC
Ponto 4	6,44 bC	5,00 bB	4,11 bBC	4,00 bBC
Ponto 5	22,67 bB	40,89 aA	9,22 cB	8,33 cB
Ponto 6	2,22 aC	2,67 aB	4,44 aBC	4,00 aBC
Ponto 7	40,78 aA	5,89 dB	25,44 bA	20,00 bcA

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

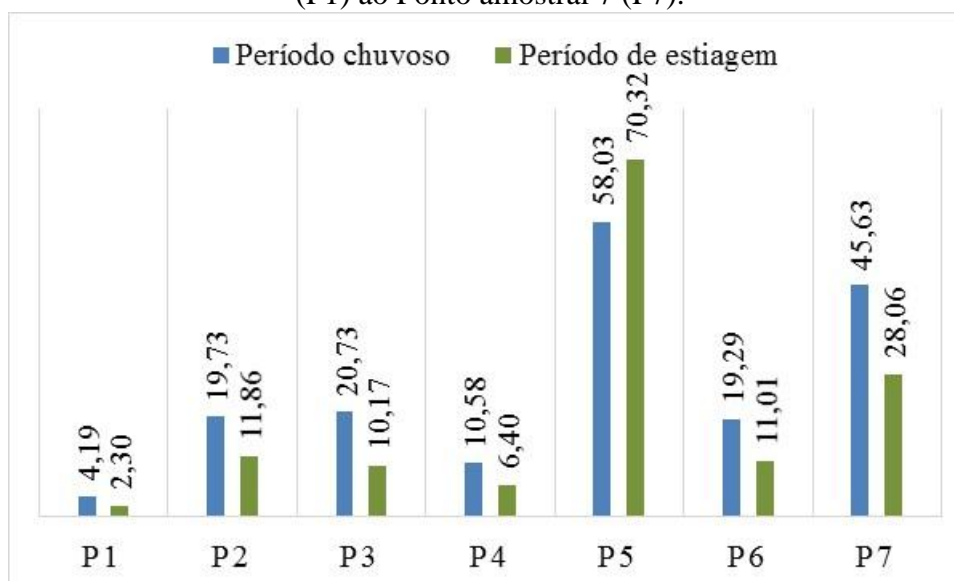
Fonte: Autor.

Quanto a CSS, considerando que o limite máximo estabelecido pelo CONAMA para esta variável é o mesmo para STD, ou seja 500 mg.L⁻¹, todos os resultados estão em conformidade (Tabela 18 e Gráfico 9).

Entretanto, os maiores índices de CSS refletem basicamente o escoamento superficial oriundo de áreas agrícolas e a contribuição de esgotos domésticos e resíduos sólidos dispostos de forma inadequada nas margens do Ribeirão das Abóbora e seus afluentes.

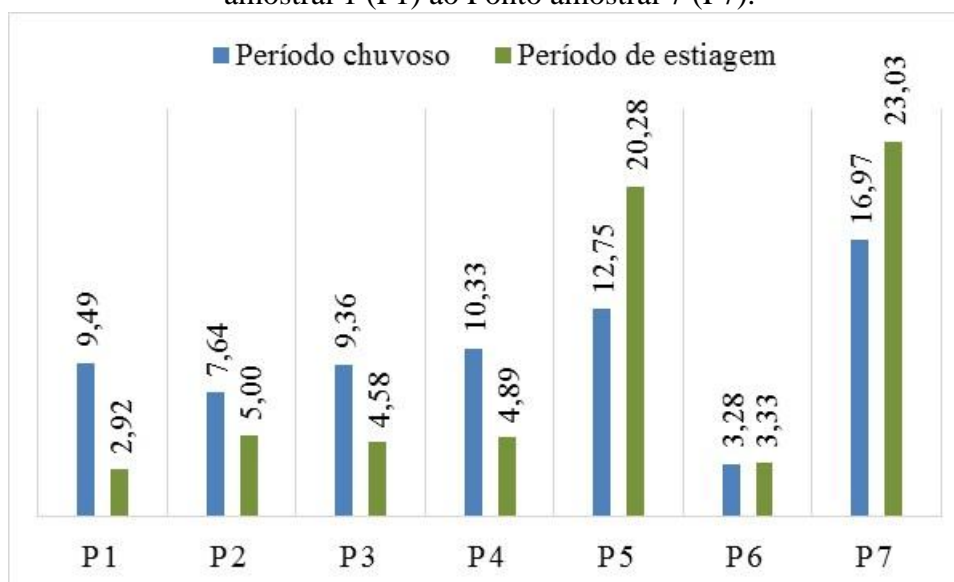
O P6 apresentou a menor média de CSS (1,23 mg.L⁻¹, campanha de setembro) e o P5 (40,89 mg.L⁻¹, campanha de julho) e P7 (40,78 mg.L⁻¹, campanha de junho) as maiores médias.

Gráfico 8 – Médias dos resultados de sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Gráfico 9 – Médias dos resultados de concentração de sólidos suspensos (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Conforme Tavares (2005), altas concentrações de sólidos em suspensão reduzem a passagem de luz solar, afetam organismos bentônicos e desequilibram as cadeias tróficas.

5.3.2.6 Cor aparente (CA) e cor verdadeira (CV)

A cor aparente apresentou as menores médias nos P1 e P2 e as maiores médias nos demais pontos, com destaque para o P5 que apresentou todos os valores do período de estiagem com diferença significativa dos demais, reflexo principalmente do efluente tratado lançado pela BRF (Tabela 19). No Gráfico 10 observam-se que os P3, P5 e P7 apresentaram maiores médias no período chuvosos e os P5, P6 e P7 maiores médias no período de estiagem.

Tabela 19 - Valores de cor aparente obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Cor aparente (mg.Pt.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	82,67 aD	80,00 abcF	80,67 abE	64,33 dD
Ponto 2	43,67 cE	92,33 bE	108,33 aC	103,00 abBC
Ponto 3	85,33 dD	105,33 cD	136,00 aB	121,67 bA
Ponto 4	97,67 bC	152,67 aB	93,33 bD	74,00 cD
Ponto 5	130,00 bA	147,67 aBC	144,33 aB	94,67 cC
Ponto 6	93,00 cCD	137,33 aC	99,33 bcCD	73,00 dD
Ponto 7	115,33 bB	171,33 aA	169,00 aA	115,00 bAB
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	69,33 bcdB	65,00 dBC	68,00 cdB	60,00 dC
Ponto 2	49,00 cD	47,00 cE	50,00 cD	38,67 cD
Ponto 3	54,33 fCD	50,00 fDE	55,00 fCD	68,33 eC
Ponto 4	62,67 cdBC	60,00 dCD	63,00 cdBC	105,33 bB
Ponto 5	93,67 cA	90,00 cA	93,00 cA	126,33 bA
Ponto 6	65,67 dBC	64,00 dBC	65,00 dBC	106,00 bB
Ponto 7	74,67 cB	76,00 cB	73,00 cB	69,00 cC

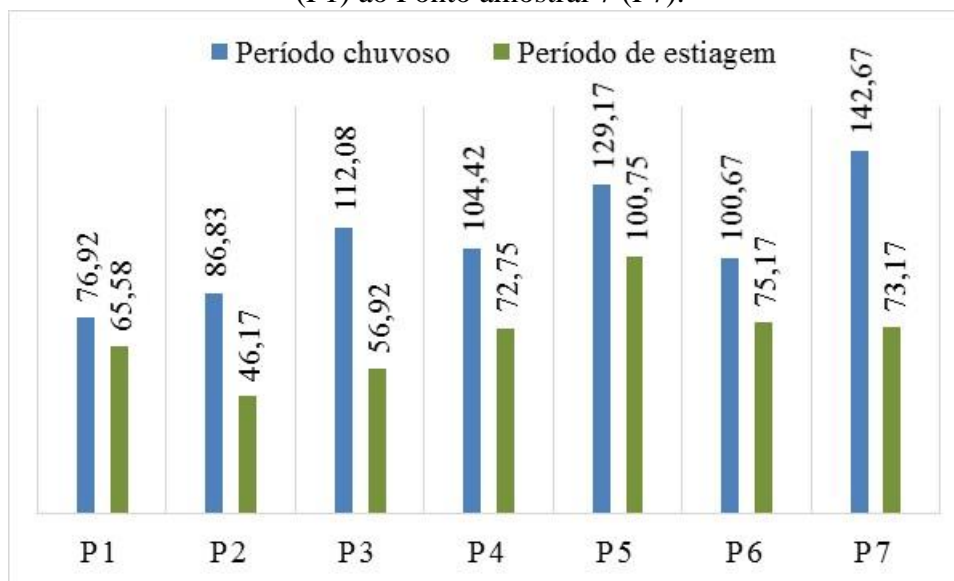
Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Não há limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para CA. Entretanto, estes resultados corroboram com os obtidos para a turbidez.

Os resultados para a CA reforçam os maiores índices obtidos para turbidez no P5 e P7. Esteves (2011) afirma que a CA está relacionada com o material em suspensão e que, de forma grosseira, poderia ser considerada a turbidez da água.

Gráfico 10 – Médias dos resultados de cor aparente (mg.Pt.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Para a CV, observa-se que à medida que os pontos amostrais ficam mais distantes da nascente principal, os valores aumentaram. Contudo, todos os índices estão em conformidade com o limite máximo (75 mg.Pt.L^{-1}) para água doce classe 2 da Resolução CONAMA 357/05 (Tabela 20 e Gráfico 11).

A maior média de CV das campanhas no Córrego dos Paletes (P6) pode ser, além das condições naturais de carreamento de partículas de solos etc, em decorrência da presença de área urbanizada próxima a sua margem esquerda (Imagem 3 B do Capítulo 3) e ainda pela extensa APP em sua margem direita está ocupada por pastagem (Foto 9 A do Capítulo 3), condições favoráveis ao aumento desta variável, conforme citado anteriormente.

E as maiores médias no P7 pode ser reflexo de resíduos na água oriundos da extensa área de contribuição deste ponto com uso da terra e cobertura vegetal diversificados (Tabela 6, Gráfico 2 D e Mapa 9 D do Capítulo 3), conforme citado anteriormente.

Tabela 20 - Valores de cor verdadeira obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Cor verdadeira (mg.Pt.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	26,00 cDE	10,67 dE	30,33 bcC	6,33 dE
Ponto 2	20,00 cE	21,00 bcD	34,00 aC	30,33 aC
Ponto 3	39,33 bcBC	46,00 abB	47,67 aAB	42,00 abcAB
Ponto 4	24,67 cdE	31,67 bcC	44,33 aAB	21,33 dD
Ponto 5	52,67 aA	35,00 cdC	43,00 bcB	20,33 eD
Ponto 6	46,33 bcAB	55,33 aA	44,33 cAB	34,00 dBC
Ponto 7	33,00 cCD	50,67 abAB	52,33 aA	43,33 bA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	33,33 abcB	27,00 cBC	39,00 aB	38,00 abC
Ponto 2	32,33 aB	28,00 abcBC	31,00 aB	28,33 abD
Ponto 3	34,00 cB	25,00 dC	34,00 cB	40,00 abcC
Ponto 4	34,00 bB	32,00 bcBC	34,00 bB	42,67 aBC
Ponto 5	32,67 dB	34,00 dB	32,00 dB	45,33 abBC
Ponto 6	53,33 abA	52,00 abcA	48,00 abcA	55,67 aA
Ponto 7	52,50 aA	57,00 aA	52,00 aA	49,00 abAB

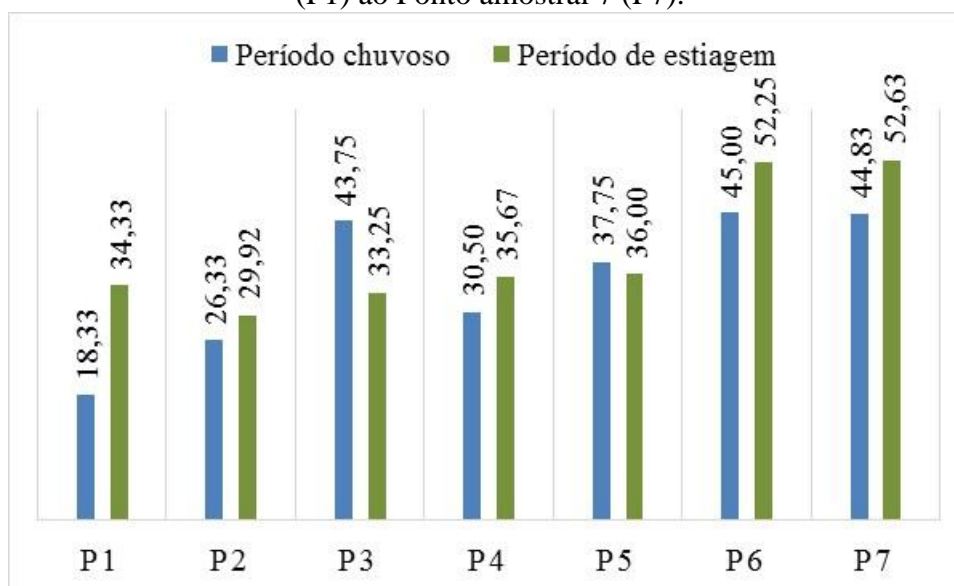
Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

A alteração da CV da água é em decorrência dos níveis de compostos dissolvidos (CETESB, 2015; ESTEVES, 2011), principalmente, ressalta Esteves (2011), material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos domésticos se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais, que contêm taninos, anilinas, lignina e celulose (CETESB, 2015).

Gráfico 11 – Médias dos resultados de cor verdadeira (mg.Pt.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Os principais compostos inorgânicos capazes de causar cor na água são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, entretanto, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz na água (CETESB, 2015).

5.3.2.7 Turbidez

Todos os valores de turbidez estão em conformidade com o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05 para água doce classe 2, que corresponde a 100 UNT, ver Tabela 21 e Gráfico 12.

Observa-se que os maiores valores de turbidez ocorreram no período chuvoso, o que era esperado, uma vez que as intensas chuvas associadas às práticas agrícolas (preparo do solo, plantio etc.) que ocorrem desse período do ano favorecem o carreamento de partículas de solos, matéria orgânica e outros resíduos para o Ribeirão, elevando essa variável. Observa-se ainda, ao comparar os pontos amostrais, que os maiores valores ocorreram no P5 e P7, isso devido à grande carga de matéria orgânica lançadas à montante destes pontos, conforme já comentado.

Segundo Tofoli (2010), a turbidez pode alterar o sabor e o odor da água devido a presença da matéria orgânica.

Esteves (2011) destaca que os principais fatores responsáveis pela turbidez da água, bem como pela dispersão da radiação, são as partículas suspensas – bactérias, fitoplâncton, detritos

orgânicos e inorgânicos – e em menor proporção os compostos dissolvidos. Assim, os maiores índices de turbidez para o P5 e o P7 reforçam as afirmações quanto a efetividade da ação antrópica na alteração da qualidade da água.

Vasconcelos (2009) afirma que, em razão do uso inadequado dos solos nas bacias hidrográficas, sobretudo do desmatamento, a turbidez é um dos problemas mais sérios que afetam rios, lagos e represas.

Tabela 21 - Valores de turbidez obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Turbidez (UNT*)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	13,37 aB	9,34 cE	10,56 bcE	13,57 aE
Ponto 2	12,13 cB	17,80 bD	10,29 cdE	24,83 aB
Ponto 3	13,53 bcB	15,93 bD	9,99 deE	28,67 aA
Ponto 4	19,60 bA	28,53 aB	17,90 bC	19,30 bD
Ponto 5	18,17 cA	26,33 aB	22,87 bB	22,10 bC
Ponto 6	11,33 cB	20,90 aC	14,30 bD	15,37 bE
Ponto 7	20,13 dA	34,03 bA	33,87 bA	26,43 cAB
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	8,06 cD	10,15 bcB	12,37 abBC	8,39 cB
Ponto 2	10,58 cdCD	11,35 cAB	10,19 cdC	8,08 dB
Ponto 3	12,70 cdBC	12,27 cdAB	11,20 cdC	7,93 eB
Ponto 4	12,40 cBC	12,23 cAB	11,97 cBC	11,17 cA
Ponto 5	17,90 cA	13,97 dA	14,33 d B	12,33 dA
Ponto 6	9,44 cdD	11,23 cB	10,53 cC	7,51 dB
Ponto 7	13,33 eB	10,83 efB	38,43 aA	8,12 fB

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

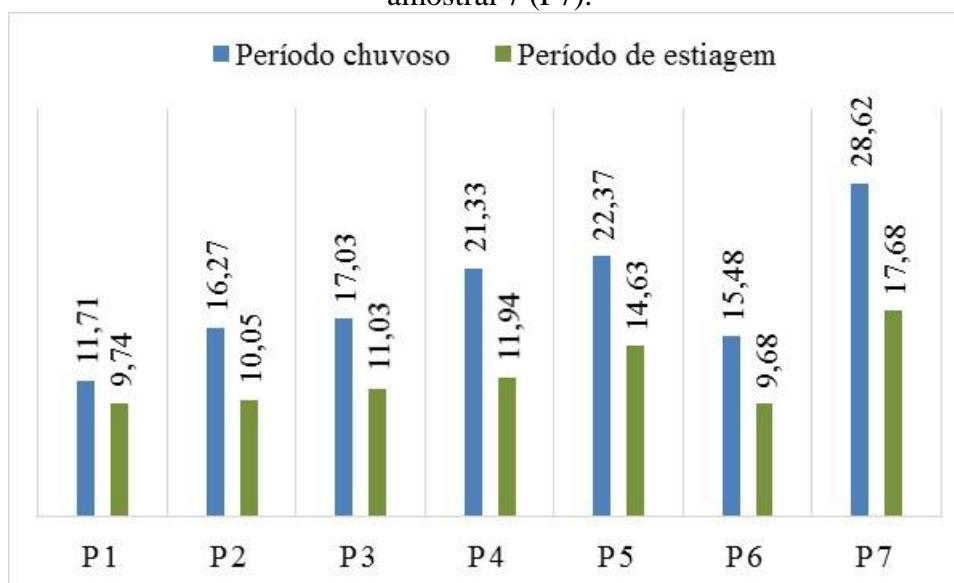
*Unidade nefelométrica de turbidez.

Fonte: Autor.

O aumento da turbidez pode causar redução da produção primária fitoplanctônica e da capacidade do fluxo, além de danos à pesca, às turbinas e à tubulação em represas, e também alterações na linha térmica de rios e represas (VASCONCELOS, 2009).

Conforme Vasco et al. (2011), foram verificados na sub-bacia do rio Poxim valores de turbidez superiores aos limites estabelecidos pelo CONAMA para água doce classe 2, sendo atribuídos aos sólidos em suspensão, provenientes dos processos erosivos, e aos desmatamentos.

Gráfico12 – Médias dos resultados de turbidez (UNT) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Pimenta et al. (2009) encontraram índices de turbidez acima de 100 NTU na bacia do rio São Tomás, onde o Ribeirão das Abóboras desagua.

5.3.2.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)

Os resultados analisados das amostras de DBO, obtidas durante as 8 campanhas realizadas, podem ser visualizadas na Tabela 22 e de DQO, na Tabela 23.

As médias obtidas das amostras da primeira e 8ª campanha do P5 (7,17 mg.L⁻¹), da 4ª a 8ª campanha do P7 (5,81 mg.L⁻¹) foram superiores ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, que é de 5 mg.L⁻¹.

Observa-se ainda na Tabela 22 e Gráfico 13 que o P7 apresentou as maiores médias no período de estiagem.

Para a DQO, os maiores valores foram obtidos nas amostras da primeira, 4ª e 8ª campanha no P5, quarta campanha no P6 e P7. Ressalta-se que as três maiores médias para DQO coincidiram com as três maiores médias de DBO das campanhas no P5, P7 e P6 (Tabela

22 e 23), reforçando a provável alta concentração de matéria orgânica nestes pontos, uma vez que, conforme Sperling (2005), essas variáveis permitem medir indiretamente a matéria orgânica na água.

No Gráfico 14 nota-se que a DQO apresentou média da soma das campanhas realizadas no período chuvoso maiores em todos os pontos amostrais.

Tabela 22 - Valores de demanda bioquímica de oxigênio obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	1,87 aC	0,33 bB	0,58 bB	0,65 bC
Ponto 2	1,67 bC	0,15 cB	0,54 cB	0,61 cC
Ponto 3	2,00 aC	0,30 bB	0,52 bB	1,08 abC
Ponto 4	2,09 aC	0,29 cB	0,43 bcB	1,26 abC
Ponto 5	7,17 aA	2,31 cA	1,02 dB	4,69 bB
Ponto 6	2,06 abcC	0,45 eB	2,93 aA	1,08 deC
Ponto 7	4,86 dB	1,03 fB	2,02 eA	5,81 bcA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	0,43 bB	1,04 abC	0,22 bD	0,44 bD
Ponto 2	0,19 cB	2,77 aB	0,28 cD	0,27 cD
Ponto 3	0,27 bB	1,61 aC	0,48 bD	0,29 bD
Ponto 4	0,38 bcB	0,97 bcC	0,54 bcD	0,38 bcD
Ponto 5	0,91 dB	2,62 cB	3,21 cB	6,55 aA
Ponto 6	0,66 eB	2,68 abB	1,93 bcdC	1,36 cdeC
Ponto 7	6,36 abcA	6,70 abA	7,06 aA	5,44 cdB

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Não há limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para DQO, no entanto, águas superficiais não poluídas apresentam um limite máximo de DQO de 20 mg L⁻¹, afirmam Chapman e Kimstach (1996). Diante disso, os resultados de DQO para a quarta campanha realizada no P6 (20,63 mg.L⁻¹) e P7 (23,60 mg.L⁻¹) caracterizaram a água do Ribeirão como impactada negativamente.

Os maiores valores de DBO e DQO no P5 e no P7 foram observados com a maior concentração de STD.

Logo, conforme já descrito, as atividades humanas na área de estudo apresentam interferência no incremento dos teores de matéria orgânica no Ribeirão das Abóboras. Quanto maior a concentração de matéria orgânica na água, maior a proliferação de microrganismo que oxidam a matéria orgânica, demandando maior consumo de oxigênio.

Tabela 23 - Valores de demanda química de oxigênio obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Demanda química de oxigênio (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	0,70 bD	0,70 bC	0,70 bA	6,67 aD
Ponto 2	12,00 aAB	0,70 bC	0,70 bA	1,67 bE
Ponto 3	6,33 bC	4,00 bcBC	0,70 cA	13,67 aC
Ponto 4	5,67 bC	5,30 bAB	0,70 cA	12,00 aC
Ponto 5	15,67 aA	6,53 bAB	0,35 dA	19,17 aB
Ponto 6	10,33 bB	4,73 cAB	0,70 dA	20,63 aAB
Ponto 7	8,67 bBC	8,00 bcA	0,70 dA	23,60 aA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	0,70 bAA	0,70 bB	0,70 bA	0,70 bB
Ponto 2	0,70 bA	0,70 bB	0,70 bA	1,00 bB
Ponto 3	0,70 cA	0,70 cB	0,70 cA	0,93 cB
Ponto 4	0,70 cA	0,70 cB	0,70 cA	0,90 cB
Ponto 5	2,70 bcdA	4,63 bcA	1,20 cdA	2,93 bcdB
Ponto 6	1,80 cdA	1,73 cdAB	0,70 dA	2,67 cdB
Ponto 7	1,57 dA	2,70 dAB	4,57 cdA	7,43 bcA

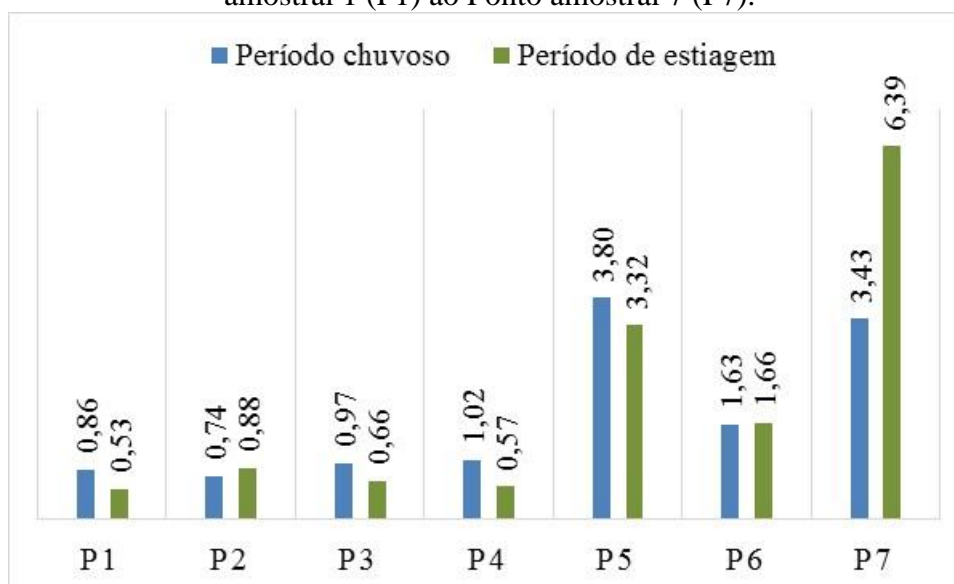
Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Sperling (2005) destaca que a matéria orgânica pode ter origem natural, ou seja, vegetal, animal e microrganismos e antropogênica como despejos domésticos e industriais. Conforme este autor, a matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos, é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o

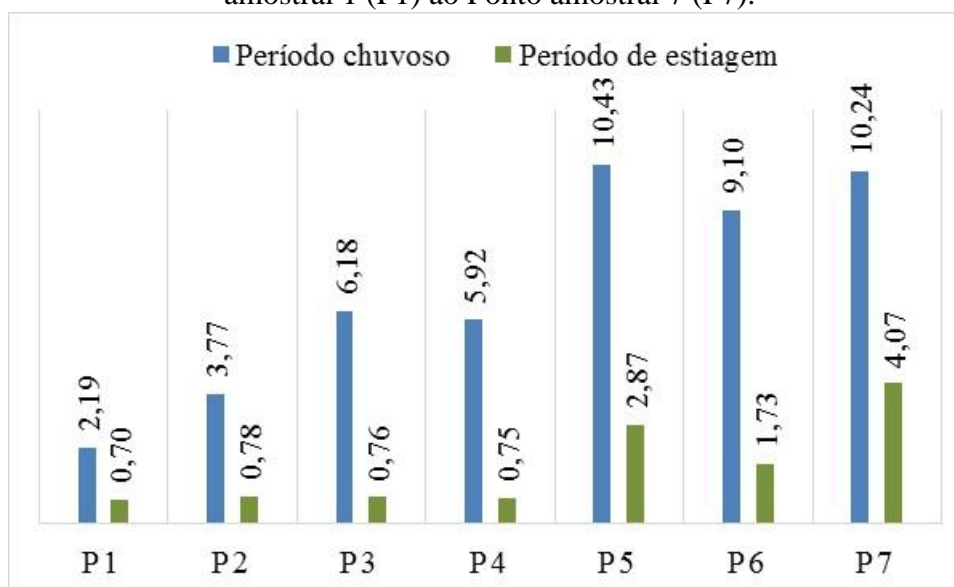
consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

Gráfico 13 – Médias dos resultados de demanda bioquímica de oxigênio (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Gráfico 14 – Médias dos resultados de demanda química de oxigênio (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Conforme Vasco (2011), as causas da variação da DQO são a influência do comportamento hidrológico e características do lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais no rio.

Guedes et al. (2012) atribuíram aos índices altos de DBO e DQO, obtidos no médio Rio Pomba, em uma bacia hidrográfica com uso diversificado, em Minas Gerais, a poluição difusa, causada por fertilizantes orgânicos oriundos de áreas agrícolas, e, também, por nutrientes presentes no esgoto doméstico.

5.3.2.9 Nitrato e fósforo total

Quanto aos resultados de nitrato, todos estão abaixo do limite máximo, (10 mg.L⁻¹) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para água doce classe 2 (Tabela 24).

Tabela 24 - Valores de nitrato obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Nitrato (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	0,07 aB	0,13 aC	0,20 aB	0,20 aB
Ponto 2	0,20 aB	0,20 aC	0,20 aB	0,20 aB
Ponto 3	0,20 bB	4,00 aA	0,20 bB	0,20 bB
Ponto 4	0,20 aB	0,20 aC	0,20 aB	0,20 aB
Ponto 5	0,20 aB	0,32 aC	0,20 aB	0,20 aB
Ponto 6	0,20 abB	0,20 abC	0,76 abB	1,01 aAB
Ponto 7	2,42 aA	1,25 cB	1,73 abcA	1,76 abcA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	0,14 aB	0,21 aB	0,04 aB	0,03 aB
Ponto 2	0,16 aB	0,12 aB	0,04 aB	0,03 aB
Ponto 3	0,17 bB	0,15 bB	0,05 bB	0,03 bB
Ponto 4	0,19 aB	0,46 aB	0,04 aB	0,07 aB
Ponto 5	0,20 aB	0,81 aAB	0,07 aB	0,28 aB
Ponto 6	0,18 abB	0,11 bB	0,09 bB	0,26 abB
Ponto 7	2,19 abA	1,36 bcA	1,11 cA	2,21 abA

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

Na Tabela 24 também pode ser observado que o maior índice de nitrato foi obtido no P3 na segunda campanha (4 mg.L^{-1}).

No Gráfico 15 pode ser observado que o P7 apresentou as maiores médias da soma das campanhas para o período chuvoso e para o de estiagem, $11,79$ e $1,72 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Há diversas fontes que contribuem para o aporte de nitrogênio nas águas naturais, sendo que os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água (CETESB, 2015).

A atmosfera é outra fonte importante, devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos (CETESB, 2015).

Outras fontes que contribuem para o aporte de nitrogênio orgânico e amoniacal na água, conforme CETESB (2015), são os frigoríficos; o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados e nas áreas urbanas; a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

Logo, há múltiplas fontes de nitrogênio, favorecendo o aporte desse nutriente nos cursos hídricos de difícil controle e, em certos casos, incontrolável, como a fixação por bactérias e algas.

O índice com destaque significativo dos demais observado no P3 pode ser devido este ponto amostral ficar localizado depois do complexo industrial (Mapa 9 C, Mapa 9 D, Imagem 3 A e Mapa 15). Neste complexo está instalada a empresa BRF, conforme já mencionado.

Em visita técnica realizada na área de estudo, foi observado lançamento de efluentes sem tratamento, pela fábrica de ração desta empresa, no Ribeirão das Abóboras, conforme apresentado na Foto 20.

As maiores concentrações de nitrato obtida no P7 pode ser em decorrência deste ponto amostral está localizado próximo à foz do Ribeirão, distância que favorece a passagem do nitrogênio da forma orgânica, que atinge o curso hídrico na alta e média bacia, conforme citado anteriormente, para oxidada, como o nitrato.

Foto 20 – (A) e (B) Efluente da fábrica de ração da BRF sendo lançado sem tratamento no Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO).



Fonte: Autor.

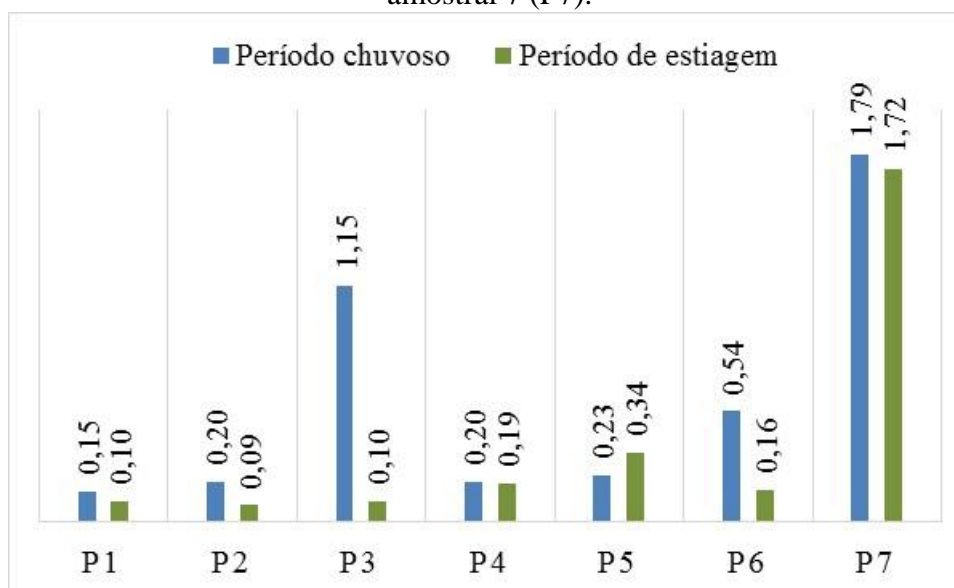
Conforme CETESB (2015), o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato, sendo que nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, ressalta, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos se encontram distantes.

É importante ressaltar que os nitratos são tóxicos, conforme afirma a CETESB (2015), causa uma doença letal para crianças: o nitrato é reduzido a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul.

Por este motivo, o nitrato é padrão de potabilidade com limite máximo de 10 mg.L^{-1} (nitrato como N), exigido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

Muitos índices obtidos para FT não atenderam ao limite máximo ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) determinado pela Resolução CONAMA 357/05 para água doce classe 2 em ambiente lótico, (Tabela 25).

Gráfico 15 – Médias dos resultados de nitrato (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

O alto índice de FT observado no P3, que se destacou significativamente dos demais pontos na campanha do mês de junho (Tabela 25 e Gráfico 16), pode ter relação com as mesmas condições favoráveis ao maior índice de nitrato observado neste ponto, como já foi citado, ou seja, lançamento de efluentes sem tratamento pela fábrica de ração da empresa BRF, apresentado na Foto 19.

Conforme a caracterização física da bacia hidrográfica, no Capítulo 2, predomina na área de estudo, quanto à geologia, o Grupo Bauru – Formação Vale do Rio do Peixe (litotipo: arenito e argilito arenoso), em 62,74%, seguido de coberturas detríticas indiferenciadas com depósito de areia, de cascalho e de argila, em 19,89%, e o Grupo São Bento - Formação Serra Geral com Basalto, Basalto-andesito, em 17,37% (Tabela 1 e Mapa 2 do Capítulo 2). Quanto aos solos presentes na bacia, foram observadas as seguintes associações de solos: Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, textura muito argilosa ou argilosa; Latossolo Vermelho mais Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura argilosa mais Latossolo Vermelho textura média, todos Distróficos, horizonte A moderado; Latossolo Vermelho mais Latossolo Vermelho-amarelo, ambos textura média mais Neossolo Quartzarênico, todos Distróficos e horizonte A moderado; e associação de Argissolos Vermelhos Distróficos mais Argissolos Vermelhos Eutróficos e Latossolos Vermelhos Distrofêrricos; ou seja, observa-se predominância de Latossolos (Tabela 3 e Mapa 4 do Capítulo 2).

Tabela 25 - Valores de fósforo total obtidos para os pontos analisados no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e no período de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Fósforo total (mg.L⁻¹)				
Período chuvoso	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Ponto 1	0,22 aA	0,30 aA	0,05 aA	0,05 aA
Ponto 2	0,43 aA	0,27 aA	0,05 aA	0,05 aA
Ponto 3	0,43 bA	0,18 bA	0,29 bA	0,05 bA
Ponto 4	0,32 aA	0,19 aA	0,05 aA	0,05 aA
Ponto 5	1,83 aA	0,91 aA	0,42 aA	0,35 aA
Ponto 6	0,17 aA	0,12 aA	0,34 aA	0,19 aA
Ponto 7	0,54 aA	0,55 aA	0,42 aA	0,44 aA
Período de estiagem	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Ponto 1	0,18 aB	0,05 aA	0,05 aA	0,71 aA
Ponto 2	0,14 aB	0,05 aA	0,10 aA	0,84 aA
Ponto 3	4,43 aA	0,05 bA	0,19 bA	0,80 bA
Ponto 4	0,15 aB	0,05 aA	0,18 aA	1,37 aA
Ponto 5	1,11 aB	0,05 aA	0,88 aA	0,08 aA
Ponto 6	0,12 aB	0,05 aA	1,10 aA	0,05 aA
Ponto 7	0,48 aB	0,05 aA	0,45 aA	2,25 aA

Letras iguais minúsculas para os meses e maiúsculas para os pontos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor.

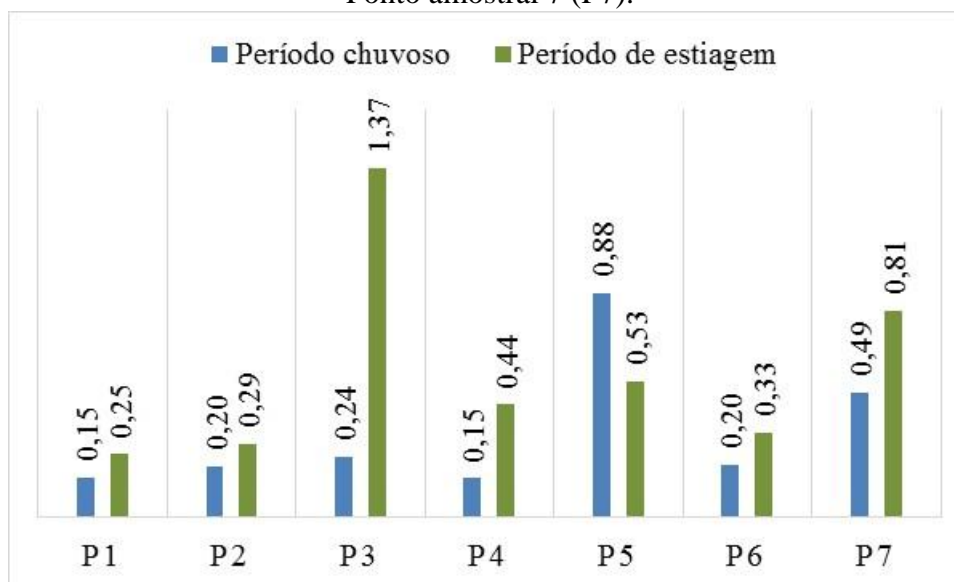
A presença de arenito na bacia hidrográfica pode contribuir no aporte natural de fósforo na água, mas em baixo percentual. Conforme Mason (1971) citado por Crepani (2001), arenito apresenta em sua composição 0,08% de P₂O₅ (fosfato). Entretanto, é uma concentração considerada baixa quando comparada com outras rochas ricas em fósforo, como, por exemplo, a apatita que, segundo Roeder et al. (1987), apresenta teor de fósforo variando de 34,89%, nas rochas metamórficas, a 42,35%, nos veios hidrotermais.

A EMBRAPA (2016) destaca que os Latossolos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, normalmente com baixa a média capacidade de troca de cátions. Destaca ainda que mais de 95% dos Latossolos são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg.dm⁻³, sendo, em geral, solos com grandes deficiência de fertilidade química.

Contudo, nos Latossolos presentes na área de estudo há uma necessidade de alta aplicação de adubos fosfatados para a nutrição mineral de plantas cultivadas.

O fósforo aplicado ao solo para a nutrição mineral das plantas na agricultura intensiva e predominante na bacia, conforme apresentado na Tabela 6, Gráfico 2 D e Mapa 9 D do Capítulo 3, pode ficar adsorvido às argilas e com elas ser carregado para o ribeirão pelas águas das chuvas. Estes dados juntamente com os dados da caracterização geológica e pedológica e os maiores índices observados no P3, P5 e P7, onde ocorreu maior concentração de matéria orgânica, permitem inferir que o aporte de fósforo no Ribeirão das Abóboras tem origem natural (menor influência) e antrópica. Essas afirmações são reforçadas por Esteves (2011) que afirma que a liberação do fósforo, a partir da forma cristalina dos minerais primários da rocha, ocorre através da desagregação desta pelo intemperismo. Este autor afirma ainda que o fosfato liberado da rocha é carregado pelas águas de escoamento superficial e pode alcançar os diferentes ecossistemas aquáticos sob duas formas principais: solúvel (menos provável) e adsorvido às argilas. Esta última, ressalta o autor, é sem dúvida a via mais importante de aporte de fosfato aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à frequência de solos argilosos nesta região.

Gráfico 16 – Médias dos resultados de fósforo total (mg.L^{-1}) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).



Fonte: Autor.

Esteves (2011) destaca ainda que as mais importantes fontes de fósforo artificiais são: esgoto domésticos e industriais. Sendo estas fontes presentes na área de estudo conforme citado anteriormente. Tundisi et al. (2008) afirmam que a aplicação de fertilizantes e pesticidas no

solo aumenta a vulnerabilidade dos corpos de água a estes contaminantes e aumenta os custos do tratamento das águas.

Contribuem com estes resultados os obtidos por Branquinho (2016) no Rio São Tomás, onde a concentração de FT variou de 0 a 1,96 mg.L⁻¹, sendo que a nascente é o ponto menos impactado, apresentando valores acima do permitido apenas nos meses de maior intensidade de chuva nos meses de janeiro, fevereiro e março. Esta autora atribuiu os altos índices de FT ao carreamento pela água da chuva de fontes de fósforo de áreas agrícolas para o corpo hídrico.

SILVA (2016), nos estudos da qualidade da água do Rio Verdinho, localizado em sua maior extensão no município de Rio Verde e com foz no Rio Verdão em Santo Antônio da Barra, no Estado de Goiás, observou valores de FT entre 0 e 0,928 mg.L⁻¹ e afirma que a nascente é o ponto menos impactado, apresentando valores acima do permitido apenas nos meses de janeiro e março, que tiveram a ocorrência de grandes volumes de precipitação de água. Afirma ainda que todos os resultados para os outros cinco pontos distribuídos ao longo desse curso hídrico são superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para classe 2 em ambiente lótico (0,1 mg.L⁻¹), e que a causa provável para os índices elevados é a carreamento de fertilizantes e/ou agroquímicos quanto pelo despejo de esgotos clandestinos relacionados às áreas de pecuária.

5.3.3 Estado trófico

Conforme a classificação de Lamparelli (2004), apresentada no Quadro 10, observa-se, na Tabela 26, que os índices de estado tróficos variaram de mesotróficos ($52 < IET \leq 59$) a hipereutróficos ($IET > 67$) em todos os pontos amostrais, não apresentando os índices ultraoligotróficos ($IET \leq 47$) e oligotróficos ($47 < IET \leq 52$).

Observa-se na Tabela 26 que todos os pontos amostrais na 8ª campanha apresentaram índices hipereutrófico ($IET > 67$), exceto o P5 e P6, provavelmente devido a menor vazão (Tabela 12), o que favorece a concentração de fósforo na água. Observa-se ainda que na 6ª campanha os índices de todos os pontos foram classificados como mesotrófico, exceto do P1, possivelmente devido ao menor lançamento ou tratamento mais adequado de efluentes de origem das atividades agropecuárias e agroindustriais.

Na terceira e quarta campanhas no P1, P2, P3 e P4 foram verificadas frequências dos menores IET, coincidindo com a maior vazão (Tabela 12), em relação às campanhas anteriores para estes pontos, e menor presença de fontes poluidoras, condições favoráveis à menor concentração de fósforo na água.

Tabela 26 – Valores médios de Índice de Estado Trófico (IET) no período chuvoso (novembro de 2015 a fevereiro de 2016) e de estiagem (junho a setembro de 2016) ao longo do Ribeirão das Abóboras, localizado no município de Rio Verde (GO), do Ponto amostral 1 (P1) ao Ponto amostral 7 (P7).

Ponto	Campanha e respectivo IET							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	61,89	63,46	54,26	54,26	60,75	66,01	54,26	67,89
2	65,35	62,96	54,26	54,26	59,71	54,26	58,09	68,87
3	65,39	60,87	63,33	54,26	67,45	54,26	60,90	68,61
4	63,88	61,05	54,26	54,26	60,05	54,26	60,90	71,41
5	72,95	69,34	65,28	64,30	70,37	54,26	69,17	56,80
6	60,61	58,92	64,14	61,08	60,01	54,26	70,31	54,26
7	66,59	66,71	65,37	65,49	66,01	54,26	64,35	74,03

Fonte: Autor.

Levando em consideração os pontos amostrais, notam-se os maiores níveis de estado trófico no P5, no período chuvoso, com variação de supereutrófico ($63 < \text{IET} \leq 67$) a hipereutrófico, e no P7, também no período chuvoso, onde em todas as campanhas a água foi classificada como supereutrofizada.

Os maiores níveis de estado trófico para o P4, P5 e P7 são explicados pelo aporte de matéria orgânica no curso hídrico resultados dos resíduos das granjas, lançamento de efluentes pela BRF, carreamento pela água da chuva de área agrícolas, e, em menor escala, fontes naturais, como características geológicas e matéria orgânica animal e vegetal, conforme já citado.

A explicação para a variação de mesotrófico a supereutrófico no P6 é a presença de área urbanizada na área de contribuição deste ponto amostral (Imagem 3 B do Capítulo 3), além do avanço de atividades agropecuárias em APP no Córrego dos Paletes (Foto 9 A do Capítulo 3)

A eutrofização de rios, entre outros corpos de água, é uma das consequências dos usos excessivos de fertilizantes na agricultura, os quais, combinados com alterações de drenagem, podem aumentar consideravelmente e com rapidez os índices de estado trófico (TUNDISI, 2008). O aumento de nutrientes nos corpos hídricos, em geral, é provavelmente em decorrência de atividades antrópicas (LAMPARELLI, 2004).

No trecho onde o corpo hídrico foi classificado como mesotrófico ocorre produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

Onde o trecho foi classificado como eutrófico há presença de alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.

Na seção do Ribeirão onde o índices foram supereutróficos, há alta produtividade em relação às condições naturais, baixa transparência, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos.

Enquanto onde o curso hídrico foi caracterizado como hipereutrófico, conclui-se que eventualmente a água é afetada significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo ocorrer episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos (LAMPARELLI, 2004).

Em outro estudo, Farage et al. (2010) na determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio Pomba, em uma bacia caracterizada como predominantemente rural, obtiveram valores do índice de estado trófico (IET) para os diversos pontos avaliados com indicativos de estado de eutrofização, com tendência à hipereutrofização; as maiores concentrações de fósforo nas águas foram associadas a trechos em que esse rio é receptor de grande carga de efluentes domésticos e industriais.

5.4 Conclusão

Esta pesquisa demonstrou que o Ribeirão das Abóboras, em especial nos pontos amostrais 5, 6 e 7, apresenta sinais de perda de qualidade da água, principalmente, em virtude do descarte de efluentes urbanos, industriais e agropecuários (granjas e outras atividades), sem prévio tratamento em suas águas ou com tratamento inadequado e, ainda, carreamento de insumos agrícolas pela água da chuva das áreas de plantio.

Embora tenha sido observado desatendimento, da concentração de fósforo total, à Resolução 357/05 do CONAMA e IET altos, o referido ribeirão demonstra possuir características geológicas que, mesmo estando em desacordo com o limite estabelecido pelo conselho supracitado, favorecem em baixa quantidade a adição natural de fósforo à água.

Devido à importância econômica e estratégica desse Ribeirão para o município de Rio Verde (GO) e Santa Helena de Goiás (GO) e para a preservação ambiental local, medidas de controle precisam ser empreendidas no intuito de melhorar a qualidade de suas águas e, desta forma, garantir às presentes e futuras gerações desses municípios o acesso a um recurso natural

dotado de características físico-químicas e biológicas condizentes com os usos múltiplos a que este esteja ou venha a ser submetido.

Referências

APHA - American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment; AWWA; WEF Standard methods for the examination of water and wastewater. 22st ed. Washington DC: APHA; AWWA; WEF, 2012.

ALVES, W. S.; MEDEIROS, V. S.; CEREJO, T. L.; PORFIRO, C. A.; BELISÁRIO, C. M.; COSTA, L. M. *Avaliação da água do Ribeirão das Abóboras em Rio Verde – GO*. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 10, 2013. Poços de Caldas. **Anais... Poços de Caldas (MG): CNMPC, 2013.**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

BRANQUINHO, A. C. *Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Tomaz no município de Rio Verde – Goiás*. 58 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Água-ANA. Resolução 724. Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 de out. 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/724-2011.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 de mar. de 2005. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=58&data=18/03/2005>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO – CETESB. 2015. Publicações e relatórios. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.) **Water quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. Londres: UNESCO/ WHO/UNEP, Cap. 3, 60p., 1996.

COUTO, T. C.; FARIA, D. C.; NAVAL, L. P. Análise das variáveis físico-químicas da água do rio Javaés, Ilha do Bananal, entorno do Parque Nacional do Araguaia, Tocantins Brasil. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Montevideo. **Anais eletrônicos...** Montevideo: 2006. Disponível em: <

http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR08506_COUTO.pdf>. Acessos em: 20 jun. 2016.

CREPANI, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. **SAE/INPE**, São José dos Campos, 2001.

EMBRAPA Bioma Cerrado. Latossolos. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 13 de junho de 2016.

ESTEVES, FA. 2011. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826 p.

FARAGE, J. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; BORGES, A. C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do Rio Pomba. **Engenharia na Agricultura**, v.18 n.4, p. 322-329, 2010.

FRITZSONS, E.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 239-248, 2003.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **AGRIAMBI - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012.

HESSLEROVÁ, P.; POKORNÝ, C.J.; SULCOVÁ, J.; KROPFLOVÁ, L.; PECHAR, L. Surface temperature and hydrochemistry as indicators of land cover functions. **Ecological Engineering**, v.49, p. 146-152, 2012.

LAMPARELLI M.C. **Grau de trofia em corpos d' água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, 2004.

LIMA, A. M.; SANTOS, F. F. Análise das propriedades físico-químicas e de metais potencialmente tóxicos na água do Rio Claro, próximo à cidade de Jataí – GO. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 2, p. 239-255, 2012.

MAIER, M.H. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55' – 48°55'W; 22°30' – 21°55'S – Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. p. 164-185, 1987.

PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M .M.; MULLER, S.; CESTONARO, T. Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 4 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 455).

PAULA, M.M. **Análise da água e das condições ambientais da Bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras: Quirinópolis-GO.** 124 p. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás/Campus Jataí, Jataí-GO, 2011.

PIMENTA, S. M.; PEÑA, A. P.; GOMES, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomaz, município de Rio Verde – Goiás. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 393-412, 2009.

PLAMONDONA, A.P.; RUIZB, R.A.; MORALESC, C.F.; GONZALEZD, M.C. Influence of protection forest on soil and water conservation (Oxapampa, Peru). **Elsevier Science Publishers B.V.**, v. 38, p. 227- 238, 1991.

ROEDER, P. L.; McARTHUR, D.; MA, X. P.; PALMER, G. R.; MARIANO, A. N. Cathodoluminescence and microprobe study of rare-earth elements in apatite. *American Mineralogist*, v. 72, p. 801-811, 1987.

SILVA, F. C. B. **Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Verdinho localizado no município de Rio Verde - Goiás.** 96 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

SPERLING, M. V.; Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4º ed. DESA – UFMG, 2005. 452p.

TAVARES, A. R. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação.** 176p. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, São Paulo.

TERRA, V. R.; PRATTE-SANTOS, R.; ALIPRANDI, R. B.; BARCELOS, F. F.; MARTINS, J. L. D.; AZEVEDO JR, R. R.; BARBIÉRI, R. S. Estudo limnológico visando avaliação da qualidade das águas do rio Jucu Braço Norte, ES. **Natureza On Line**, v. 8 n. 1, p. 8-13, 2010.

TOFOLI, L. A. **Monitoramento da qualidade da água em mananciais pertencentes à bacia hidrográfica do Tietê – Botucatu, SP.** 2010. 104 f. Dissertações (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Pareschi, D. C.; LUZIA, A. P.; VON HAELING, P. H.; FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 159–172, 2008.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

VASCONCELOS, F. M.; TUNDISI, G. J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Avaliação da qualidade de água**. 1ª ed., Sociedade Mineira de Engenheiros Agrônomos, 322 p., 2009.

ZUMACH, R. Enquadramento de curso de água: rio Itajaí-Açu e seus principais afluentes em Blumenau. 2003. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

6. CONSIDERAÇÃO FINAIS

Diante dos resultados obtidos na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras quanto aos aspectos físicos (pequenas áreas favoráveis a degradação), às variáveis de qualidade da água (demanda bioquímica de oxigênio e fósforo total e em desacordo com a Resolução CONAMA 357/05), ao estado trófico (índices elevados de eutrofização da água) e considerando a importância da bacia para o abastecimento da população urbana de Rio Verde (GO) e de Santa Helena de Goiás (GO) e para outros usos, espera-se que sejam realizadas, pelos órgãos gestores desse recurso, diretrizes de manejo de uso da terra e cobertura vegetal, no intuito de que sejam praticados manejos sustentáveis, recuperadas áreas de preservação permanentes e outras áreas degradadas, melhorando a qualidade da água.

É necessário continuar as atividades de monitoramento desse recurso hídrico com a inclusão de novas variáveis e índices para melhor subsidiar sua gestão e informar o público interessado.

Por ser uma unidade de gestão com predominância de áreas agrícolas com uso intensivo do solo, é importante realizar análises de agrotóxicos como glifosato, atrazina, 2, 4-D, Diuron entre outros. Estes agroquímicos possuem limites em água para abastecimento público estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 e pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde. A ingestão desses princípios ativos pode causar danos graves a saúde humana.

Outro índice importante para melhor caracterizar a qualidade da água do Ribeirão das Abóboras é o Índice de Qualidade da Água (IQA) da *National Sanitation Foundation* adaptado pela CETESB para as condições ambientais do Brasil.