



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

DANYELLO RESPLANDES DE ALMEIDA

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: ESTUDO DE
CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA**

**Palmas-TO
2017**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

DANYELLO RESPLANDES DE ALMEIDA

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: ESTUDO DE
CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Mestre Denis Cardoso Parente.

**Palmas-TO
2017**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS
Reconhecido pela Portaria Ministerial nº 110 de 7/12/2010, D.O.U. nº 244, de 12/12/2010.
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

DANYELLO RESPLANDES DE ALMEIDA

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Denis Cardoso Parente.

Aprovada em MAIO de 2017

BANCA EXAMINADORA

Professor Mestre Denis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas

Professor Doutor José Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas

Professor Mestre Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO
2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS, por me dar força, sabedoria e saúde para a conclusão desta etapa em minha vida.

À professora Roberta e o professor Denis pela orientação, paciência e tempo dedicado os quais tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos do curso de engenharia que tanto nos momentos de dúvida e dificuldade, como nos de conquistas e felicidade sempre estiveram presentes.

À minha mãe, Maria Aparecida, e meu pai José Gomes, por serem meus exemplos de vida, de dedicação e de honestidade; e por me criarem da melhor maneira possível, dando condições para chegar até aqui e seguir adiante.

A minha irmã, Dayalla, e meu cunhado Danyllo, por me ajudarem no momento em que precisei.

A minha noiva Maressa pelo apoio e companheirismo.

Aos demais membros da família por todo carinho e apoio de sempre e durante estes longos anos.

Aos demais professores do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA que se empenharam na transmissão do conhecimento durante toda graduação.

RESUMO

ALMEIDA, Danyello Resplandes. **ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS**: Estudo de caso do ribeirão água fria. 2017. Monografia de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA. Palmas – TO.

A água é um bem essencial a todos os seres vivos do planeta, tornando-se fundamental o conhecimento dos processos que a abrangem, para garantir o uso consciente e a sua preservação. Por isso os estudos sobre bacias hidrográficas, são muito importantes para a preservação e gerenciamento dos recursos hídricos. Logo, a caracterização morfométrica é uma das análises iniciais, na qual visa demonstrar a influência das formas na dinâmica hidrológica e hidráulica das bacias. Sendo assim, pretende-se com este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) caracterizar morfometricamente a bacia do ribeirão Água Fria, através de sua delimitação em ambiente SIG, para obtenção dos dados físicos necessários para essa análise. Para tanto foram utilizadas ferramentas computacionais, no Sistema de Informação Geográficas (SIG), ArcGis versão 10.3.1. Sendo assim, com os dados conseguidos foram determinadas as seguintes características morfométricas: geometria, relevo e rede drenagem, posteriormente classificando-as quanto a enchentes, eficiência da drenagem e sedimentação. Assim, bacia possui uma área de 90,965 km², perímetro de 56,461 km, os valores geométricos da bacia resultaram em baixa propensão a cheias e boa infiltração. O relevo apresentou uma altitude máxima de 711,75 metros com declividades de até 47,09% e a rede de drenagem apresentou valores que indicaram a hierarquia fluvial de 3^a ordem e um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Caracterização Morfométrica, ArcGis.

ABSTRACT

ALMEIDA, Danyello Resplandes. **MORPHOMETRIC ANALYSIS OF URBAN HYDROGRAPHIC BOWLS**: Case study of cold water creek. 2017. Concluding monograph of the Civil Engineering Course of the Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA. Palmas - TO.

Water is an essential good for all living beings on the planet, making it essential to know the processes they cover, to ensure their conscious use and preservation. Therefore, studies on river basins are very important for the preservation and management of water resources. Soon, a morphometric characterization is one of the initial analyzes, a quality visa demonstrates an influence of the forms in the hydrological and hydraulic dynamics of the basins. Therefore, this work of Completion of Course (TCC) is a morphometrical characterization of a basin of the cold water stream, through its delineation in a GIS environment, to obtain the physical data necessary for this analysis. They were used for computational computation, not Geographic Information System (GIS), ArcGis version 10.3.1. Thus, the data obtained were defined as following morphometric characteristics: geometry, relief and drainage network, later classifying how much filling, drainage efficiency and sedimentation. Thus, the basin has an area of 90,965 km², per-meter of 56,461 km, the geometric values of the basin resulted in low propensity to floods and good infiltration. The relief presented a maximum altitude of 711.75 meters with slopes of up to 47.09% and a drainage network showed values that indicated a 3rd order river hierarchy and an efficient flow of water and good infiltration into the water table.

Keywords: Basin, Morphometric Characterization, ArcGis.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CERH/TO	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
PERH/TO	Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SPOT	Satellite pour l' Observation de la Terre
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Divisão hidrográfica nacional.	15
Figura 2. Ciclo Hidrológico.	24
Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria.	29
Figura 4. Procedimento de preparação do DEM RSTM Topodata.	33
Figura 5. Procedimento de definição da direção dos fluxos dos corpos de água.	34
Figura 6. Identificação de vazios e imperfeições no raster de superfície.	35
Figura 7. Preenchimento de vazios e imperfeições no raster de superfície.	35
Figura 8. Procedimento de obtenção da acumulação dos fluxos de água.	36
Figura 9. Procedimento de extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica. ...	37
Figura 10. Procedimento de extração da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria..	37
Figura 11. Ordem dos corpos hídricos da bacia do ribeirão Água Fria.	40
Figura 12. Declividade da bacia do ribeirão Água Fria.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características geométricas da bacia do ribeirão Água Fria.	38
Tabela 2. Características hidrográficas da bacia do ribeirão Água Fria.	39
Tabela 3. Características da rede hídrica da bacia do ribeirão Água Fria.	40
Tabela 4. Características topológicas da bacia do ribeirão Água Fria.	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivos Gerais	10
1.1.1. Objetivos Específicos.....	10
1.2. Justificativa	11
1.3. Problema	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Recursos Hídricos no Brasil.....	13
2.2. Recursos Hídricos no Tocantins	16
2.3. Legislação Estadual de Recursos Hídricos.....	17
2.4. Características	18
2.5. Hidrologia.....	18
2.6. Bacias Hidrográficas	19
2.7. Caracterização Morfométrica	20
2.7. Bacias Urbanas.....	23
2.8. Ciclo Hidrológico	24
2.9. Aspectos Fisiográficos da Bacia Hidrográfica	24
2.10. Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos	26
2.11. Modelagem Hidrológica	26
2.12. Sistemas de Informações Geográficas	27
2.13. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas.....	27
2.14. Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria.....	28
3. METODOLOGIA	29
3.1. Descrição da Área de Estudo	29
3.2. Análise Hidrológica	30

3.3. Análise Morfométrica	30
3.3.1. Características geométricas	30
3.3.2. Características hidrológicas.....	31
3.3.3. Características topológicas.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1. Análise Hidrológica	33
4.1.1. Preparação do Modelo de Elevação Digital.....	33
4.1.2. Direções dos Corpos de Água	34
4.1.3. Identificação de Vazios e Imperfeições.....	34
4.1.4. Preenchimentos dos Vazios e Imperfeições	35
4.1.5. Criação da Acumulação de Fluxo de Água.....	36
4.1.6. Extração da Rede Drenagem	36
4.1.7. Extração da Bacia Hidrográfica	37
4.2. Análise Morfométrica	38
4.2.1. Características geometrias	38
4.2.2. Características hidrológicas.....	39
4.2.3. Características topológicas.....	41
5. CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Nas bacias hidrográficas sempre ocorrem perdas e ganhos de energia, independente de ações antrópicas, tornando-as dinâmicas em seus processos. Embora sejam pequenas modificações, elas são relevantes para considerar as bacias um sistema geomorfológico aberto (LIMA, 1986). As características físicas como a área, a forma e o relevo sofrem impactos da sua estrutura geológica, sendo que a área está diretamente relacionada com a quantidade de água produzida como deflúvio, assim como forma e relevo estão relacionados com o regime de produção de água e taxa de sedimentação. A disponibilidade de sedimentos e taxa de formação de deflúvio relaciona-se com o caráter e extensão dos canais. Todas estas características são imprescindíveis para estudos e investigações das formas de relevo, englobando suas diversidades e evoluções que afetam a superfície terrestre (TONELLO, *et al.*, 2006).

O dinamismo ambiental, local e regional, tem grande influência sobre análises hidrológicas, essas análises, também conhecidas como caracterização morfométrica esclarecem as questões relacionadas a estes processos dinâmicos, sendo procedimentos rotineiramente executados. De acordo com as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo observam-se algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, demonstrando que há uma sensível correlação com a litologia, estrutura geológica e também formação superficial dos elementos que são responsáveis pela composição da superfície terrestre (TEODORO, 2007).

O ciclo hidrológico é constituído por diferentes processos naturais, quando o homem adentra este sistema, produz grandes alterações, modificando o ciclo e trazendo impactos e consequências para o próprio homem e a natureza, à medida que a necessidade por abastecimento cresce, o impacto ambiental aumenta. A presença da industrialização acarreta alta carga de poluentes para o ambiente, as atividades agrícolas e a urbanização em menores proporções também geram poluição. A expansão urbana desprovida de visão ambiental causa deterioração dos mananciais, escassez qualitativa de água e algumas vezes causa prejuízo ao canal fluvial, a malha asfáltica que causa impermeabilização do solo reduz o nível do lençol freático e consequentemente o nível de base do rio, além destes fatores a malha urbana também torna-se um corredor da água da chuva, transportando-a de maneira mais rápida para o rio fazendo com que o tempo de recorrência de um evento pluviométrico diminua em

relação ao tempo deste mesmo ciclo antes da urbanização (SCHNEIDER, *et al.*, 2011).

Considerando as diferentes atividades presentes numa bacia e as alterações que as mesmas causam, ressalta-se a bacia do ribeirão Água Fria, a área que circunda o Ribeirão Água Fria tem predomínio de chácaras e pequenas propriedades rurais que servem para produção de hortaliças e frutas, assim como para criação de pequenos animais que abastecem a capital. Um dado relevante a ser considerado é a proximidade do local do Aterro Sanitário de Palmas à borda do reservatório da Usina Hidrelétrica Lajeado e em áreas de aluviões de terraços de elevada condutividade hidráulica, podendo causar grande elevação do nível d'água, aproximando esse nível dos contaminantes, trazendo como risco a possibilidade de contaminação dos aquíferos e do futuro reservatório (NAVAL; GODIM, 2010).

Para obtenção de melhor entendimento e análise das bacias hidrográficas, podemos utilizar ferramentas de geotecnologias, como a análise espacial e também a modelagem de relevo por imagens de radar, como por exemplo imagens *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), bem como o uso de imagens multiespectrais para análise do uso e ocupação da bacia. Esses dados são computados em um SIG, no presente trabalho utilizaremos o software ArcGis 10.3.1.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

Como objetivo geral da pesquisa pretende-se avaliar as características morfométrica da Bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria, utilizando a plataforma de SIG do software ArcGis 10.3.1.

1.1.1. Objetivos Específicos

- ✓ Calcular as características morfométricas de geometria da bacia: área total, perímetro total, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e padrão de drenagem;
- ✓ Definir as características morfométricas de relevo da bacia: declividade, altitude e amplitude altimétrica;
- ✓ Determinar as características morfométricas de drenagem da bacia: comprimento do curso d`agua principal, comprimento total dos canais, densidade de drenagem, densidade hidrográfica e hierarquização fluvial;
- ✓ Analisar e classificar os parâmetros da bacia quanto a riscos de enchentes, eficiência da drenagem e sedimentação.

1.2. Justificativa

A bacia hidrográfica é utilizada internacionalmente como unidade de planejamento, pois além de ser uma unidade física bem caracterizada, não há nenhuma área terrestre que não seja parte integrante de uma bacia.

O planejamento de uma bacia hidrográfica é importante para assegurar a correta utilização ambiental e seus recursos naturais, com o objetivo de promover seu desenvolvimento sustentável e garantir a preservação ambiental (FONTES, 1997, p.53).

A delimitação automática da bacia será estabelecida por meio da confluência de informações de relevo empregadas em ambientes de SIG. As composições do espaço são representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente a distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Digital de Elevação (MDE).

Utiliza-se o SIG, como meio de avaliação das relações entre vários temas, que são determinantes no planejamento e ordenamento do território. A sistematização dos processos permite flexibilidade na análise variando temas e critérios estabelecidos assim como integrando outras informações, de modo a introduzir melhorias nos modelos construídos (MAGALHÃES, 2001). A modelagem hidrológica em ambientes de SIG, permitem as análises espaciais do terreno e suas características morfométrica, bem como a possibilidade de monitoramento ambiental a partir de análises fotointerpretativa das imagens de satélite de monitoramento terrestre. Assim, estas tecnologias apresentam várias possibilidades de avaliação e análise territorial.

1.3. Problema

As condições físicas e ambientais das bacias hidrográficas urbana apresentam condições de atendimento a demanda por abastecimento?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Recursos Hídricos no Brasil

Fundamentado no direito de vizinhança e na água como sendo um bem de essência privada e valor econômico limitado, foi regulado o direito de uso das águas, segundo a lei nº 3.071, do Código Civil de 1916, que foi a primeira lei sobre recursos hídricos no Brasil.

A Constituição Federal de 1934 atentava tanto para a aparência econômica quanto para o desenvolvimento industrial, neste contexto socioeconômico, foi publicado o Decreto 24.643, de 10 de julho de 1934, intitulado o Código de Águas Brasileiro, que tratava das águas em geral e dos potenciais hidráulicos.

Com esta posição se iniciou uma mudança de conceitos relativos ao uso e ao atributo da água, abrindo um espaço para uma Política Nacional de Gestão de Águas (FERREIRA *et al.*, 2008).

Em 1970 levantou-se um questionamento não somente a respeito de quantidade, mas, de qualidade das águas, tentando estabelecer assim meios que justificassem a escassez hídrica. A partir destes questionamentos fomentou-se a necessidade de ajustes e regulações no uso indiscriminado da água, visto que, ela se trata de um recurso comum e de muitos usuários.

Isso levou a uma mudança no entendimento sobre a água, que se tornou um bem público, e as bacias hidrográficas foram vistas como um todo, em 1988 com a Constituição Brasileira. A partir destes passos, foi aberto caminho para se estabelecer a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em 1997 com a Lei Federal nº 9.433 e implantação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), conforme (FERREIRA *et al.*, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2012).

Esta PNRH está baseada em seis principais fundamentos, o primeiro deles caracteriza a água como um bem de domínio público, sendo livre para o consumo humano, animal e para fins agrícola e industrial, o poder público deve se tornar um gestor e não um proprietário do bem reconhecendo suas limitações e restrições considerando tanto o interesse público quanto o coletivo (SANTILLI, 2001).

O Segundo diz que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, baseado no entendimento de que os recursos hídricos possuem vulnerabilidade e escassez, sendo neste caso, a prioridade de consumo ofertada ao consumo

humano e a dessedentação de animais, isto caracteriza o terceiro fundamento, que está relacionado com o quarto fundamento onde é relatado que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997).

O quinto fundamento cita que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SINGREH, adotando o princípio de que a bacia hidrográfica deve ser a unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento das águas.

As bacias hidrográficas devem ser consideradas como um “todo indivisível”, e que a gestão dos recursos hídricos deve inserir-se no âmbito da bacia hidrográfica natural e não no das fronteiras administrativas e políticas (SANTILLI, 2001).

E como último fundamento, tem-se que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades, um meio de se obter esta participação é através do Conselho Nacional de Recursos Hídricos com participação paritária de Estado e sociedade (SANTILLI, 2001).

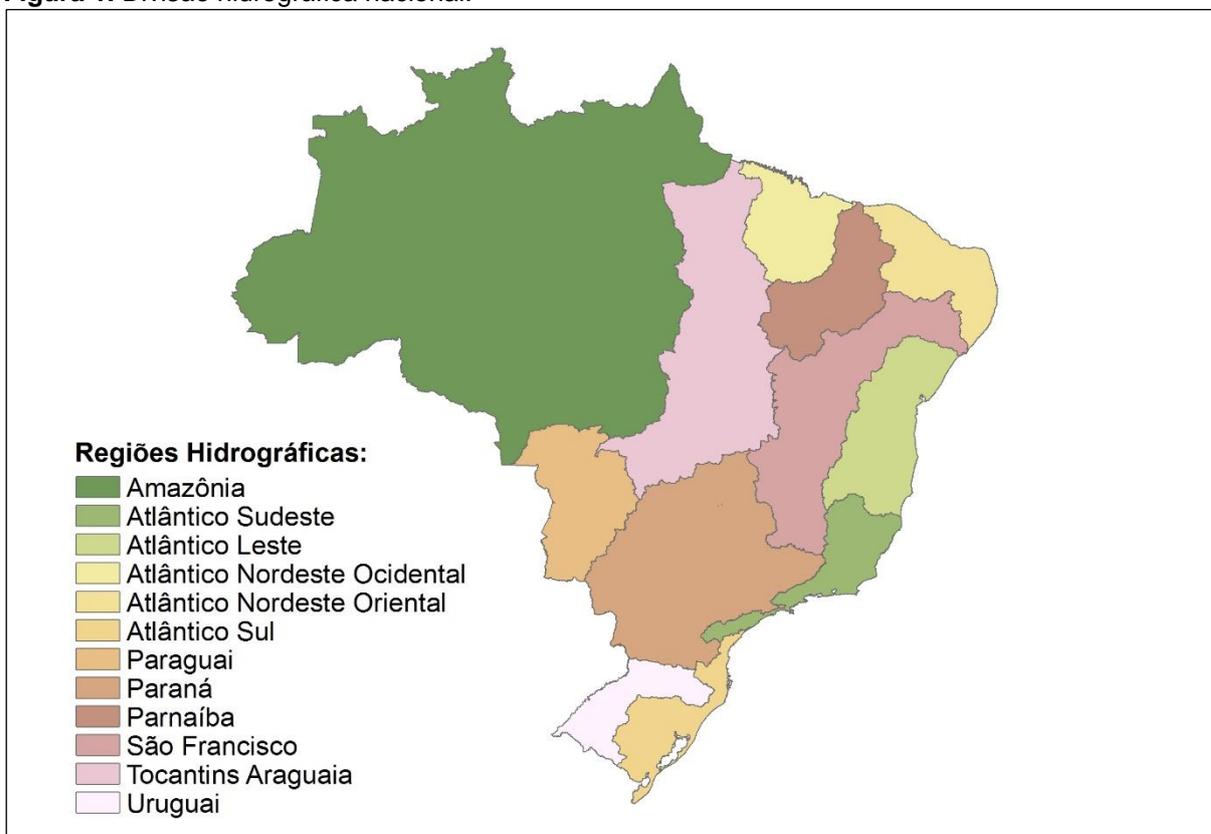
A lei objetivou assegurar a qualidade da água em padrões adequados a atual e futuras gerações, utilizar racionalmente e integralmente os recursos hídricos e prevenir e/ou defender contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Esta Lei Federal de 1977, ficou conhecida como Lei das Águas, a qual vem sendo a base para a regulamentação dos Estados brasileiros de acordo com a PNRH. Esta regulamentação visa a proteção dos recursos hídricos presentes no país, pois a vulnerabilidade dos recursos é motivo de atenção especial. Outras resoluções também contribuem com esta preservação como as de números 01/86 e 357/2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que, de acordo com o uso principal da água, fazem a regulação (MARCOLINI, 2016).

Define-se bacia hidrográfica, como a unidade territorial para a implementação da PNRH e atuação do SINGREH, a partir desta definição instituiu-se a Divisão Hidrográfica Nacional, fracionando o Brasil em 12 regiões.

A **Figura 1**, a seguir apresenta a referida divisão hidrográfica para o país (SEMADES, 2011).

Figura 1. Divisão hidrográfica nacional.



Fonte: autor, 2017.

A Agência Nacional de Águas (ANA), foi criada em julho de 2000, com a lei 9.984, é uma entidade federal de implementação da PNRH e estabelece regras para sua atuação, estrutura administrativa e fontes de recursos (SANTILLI, 2001).

Em 2013 a ANA publicou um relatório das condições dos usos e gestão das águas nos territórios brasileiros destacando as principais situações dos recursos hídricos. Quanto às chuvas a precipitação média anual é de 1761mm, revelando que em 2009 a chuva média no país excedeu em mais de 15% o valor médio histórico, já em 2012 a chuva média no país foi de 1.651 mm, abaixo da média histórica e cinco regiões hidrográficas tiveram médias bem abaixo da média histórica.

As águas doces superficiais no Brasil, correspondem a 13% da água doce disponível no planeta e dessa porcentagem, cerca de 80% estão na Região Hidrográfica Amazônica, constituindo uma distribuição desigual. A reserva da água doce subterrânea com potencial explorável no Brasil (disponibilidade hídrica subterrânea) é de 11.430 m³/s, as águas subterrâneas abastecem 39% dos municípios brasileiros.

Um aquífero possui uma reserva permanente de água e uma reserva ativa ou reguladora que são constantemente abastecidas através da infiltração da chuva e de outras fontes subterrâneas. Os escoamentos de base dos rios estão associados as reservas reguladoras ou ativas (BORGHETTI, 2004).

Sob condições naturais, apenas um percentual dessas reservas reguladoras é passível de exploração (cerca de 25% a 50%) constituindo o potencial ou reserva explorável que podem aumentar em relação as condições de ocorrência e recarga, bem como dos meios técnicos e financeiros disponíveis, ponderando que a soma das extrações com as descargas naturais do aquífero para rios e oceano, não pode ser superior à recarga natural do aquífero.

A água subterrânea preenche os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, as falhas e as fissuras das rochas compactas, está abaixo da superfície da terra, submetida as forças de adesão e de gravidade, desempenha um essencial papel na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (BORGHETTI 2004).

2.2. Recursos Hídricos no Tocantins

O Estado do Tocantins pertence a região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, o sistema hidrográfico do Tocantins possui 172.828,2 km², e representa 62,3% da superfície do Estado. As bacias que o integram totalizam 14, destacando-se a do Rio Tocantins ocupando 21% do território tocantinense além das terras situadas nas sub-bacias Santa Teresa, Paranã, Palmas, Manuel Alves da Natividade, São Valério, Santo Antônio, Crixás, das Balsas, Sono, Perdida, Manuel Alves Grande, Manuel Alves Pequeno; e no ribeirão dos Mangues (SEMADES 2011).

O sistema hidrográfico do Araguaia forma-se com superfície de 104.971 km² correspondendo a 38% do território estadual agregando 16 sub-bacias hidrográficas, referentes às terras drenadas pelos rios Araguaia, Riozinho, Javaés, Formoso, Pium, do Coco, Caiapó, Lajeado, Bananal, Barreiras, das Cunhas, Jenipapo, Muricizal, Lontra e Piranhas e pelo ribeirão Corda (SEMADES 2011).

Dentro do território brasileiro a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é a mais extensa em área de drenagem e está contida integralmente em território brasileiro, tornando-a área estratégica para o país. Destaca-se por ser a segunda maior região no que se refere a área de vazão, abaixo da região do Amazonas. Apresenta

potenciais hídricos, agropecuários, minerais, para navegação e geração de energia bem requisitados (ANA, 2009).

2.3. Legislação Estadual de Recursos Hídricos

No Estado do Tocantins, no ano de 2002 foi sancionada a Lei Estadual nº1307, a respeito da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH/TO) com suas normas e diretrizes, ela se baseava na Lei Federal nº 9.433 do ano de 1997, e na portaria estadual nº 006 de 2001 que em suma, aprovava a outorga de direito de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. A lei estadual diferia da lei federal somente em especificidades referentes às águas subterrâneas (TOCANTINS, 2014).

As modificações que ocorreram após este ato foram inicialmente a atualização das legislações vigentes com o Decreto estadual nº 2432/2005 fornecendo ao Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS) a competência da outorga de direito ao uso dos recursos hídricos, que antes eram regulamentados pela Portaria nº 006/2001, tanto a portaria quanto o decreto nº 1015/200 foram substituídos pelo decreto Estadual nº 2432/2005 (MARCOLINI, 2016)

Com intuito de aprimorar o fortalecimento da gestão dos recursos hídricos também foi publicada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins (CERH/TO) a Resolução CERH/TO n.º 005/2005 em fevereiro de 2006, instituindo os Comitês de Bacias, sendo aprovado a instituição somente em 2011, são eles: Comitê de Bacias do Rio Formoso, Comitê do Rio Manuel Alves e do Entorno do Lago. Sendo aprovado no mesmo ano o PERH/TO, conforme (MARCOLINI, 2016).

Este plano objetivou aprimorar a gestão dos recursos hídricos, de forma descentralizada e participativa, trazendo integração entre poder público, os usuários das águas e a sociedade civil organizada. Em 2008 o PERH/TO teve início, dispondo de uma equipe técnica multidisciplinar e com um processo participativo proporcionando eventos em diversos municípios do Estado, totalizando 508 participantes.

Teve como resultados a elaboração de diretrizes para o uso e conservação dos recursos hídricos, programas para a compatibilização das demandas hídricas com a preservação e conservação dos aspectos de qualidade e quantidade das águas no Estado. A construção do plano foi estruturada em três etapas: diagnóstico, elaboração e consolidação (SEMADES, 2011).

2.4. Características

Quanto a disponibilidade hídrica superficial, suas principais características hidrológicas (precipitação, vazão e evapotranspiração) são definidas de forma quantitativa e espacial.

Os valores de precipitação crescem em direção ao noroeste relatando que a zona úmida desta região possui valores acima de 1800mm e uma zona seca ao Sul do Estado com valores abaixo de 1500mm. O valor médio da precipitação anual do Estado tem valor anual aproximado ao da Bacia do Tocantins-Araguaia (ANA, 2009).

Em Regime Fluviométrico as bacias ao extremo leste e oeste do Estado demonstram descarga específica na ordem de 20 a 30 l/s.km², assim como uma porção ao norte. Já as bacias localizadas no centro-sul do Estado possuem descargas específicas inferiores na ordem de 10 a 15 L/s.km².

Tratando-se de evapotranspiração média as que apresentam menores valores são as regiões sul e sudeste com cerca de 700mm ao ano, e as regiões centro e centro-leste as maiores, chegando a 1500mm por ano (SEMADES, 2011).

As águas subterrâneas apresentam três divisões: O Craton Amazônico, a Faixa Araguaia e a Bacia do Parnaíba. Porém, deve-se considerar uma outra unidade geológica, a Bacia do Paraná que contém importantes aquíferos para a porção sul da região (MATTA, 2000).

As reservas hídricas subterrâneas apresentam 996 m³/s, sendo que o seu potencial explorável está concentrado nos sistemas aquíferos porosos pertencentes às bacias sedimentares do Urucuia e Parnaíba, que ocorrem ao longo da porção leste da região, do Paraná, na parte sudoeste, e do Amazonas, a norte (ANA, 2009).

2.5. Hidrologia

Desde o Egito Antigo há registros de obras de irrigação e drenagem, indicando a importância da água para a história da humanidade. As margens das águas eram preferencialmente os locais onde os povos e civilizações se desenvolviam. A hidrologia foi vista como ciência a partir dos estudos filosóficos na Grécia e a partir do século XVII é que o ciclo hidrológico foi melhor compreendido, na década de 50 é predominante o uso de indicadores estatísticos dos processos envolvidos (PAZ, 2004).

Antes do século XX a hidrologia era uma ciência mais qualitativa do que quantitativa, os processos eram escritos em sua essência, sem o domínio de conhecimento sobre sua importância e extensão.

Os primeiros métodos quantitativos representavam processos específicos do ciclo hidrológico. Houve então um maior investimento econômico no século XX, aproveitar melhor estes recursos hídricos de acordo com dados quantitativos mais aprimorados (MEDIONDO; TUCCI, 1997).

A partir disto conceituou-se a hidrologia como “a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas” (Definição do U.S. Federal Council of Service and Technology).

A ampla definição permite abranger múltiplas subáreas como a Hidrometeorologia que trata da água na atmosfera, a Limnologia que estuda os lagos e reservatórios, a Potamologia que estuda os rios, a Oceanografia que estuda os oceanos, a Hidrogeologia que estuda as águas subterrâneas e a Glaciologia que trata da ocorrência de neve/gelo na natureza (PAZ, 2004).

2.6. Bacias Hidrográficas

Uma bacia hidrográfica existe para cada seção de um rio, sendo assim a bacia é toda a área que por gravidade, contribui com os rios, até chegar a seção que definirá a bacia, esta área é definida pela topografia da superfície. Área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade do rio e da bacia são as características principais da mesma (MENDES; TUCCI, 2006).

Entende-se também como bacia hidrográfica a área de captação natural da água de precipitação, o ponto de entrada, que converge os escoamentos para um ponto específico de saída chamado exutório.

Este sistema natural é um sistema aberto, pois considera-se perdas intermediárias que são relativas a volumes evaporados, transpirados pela vegetação ou profundamente infiltrados, sendo esta a parcela perdida para a atmosfera ou para camadas profundas do subsolo, entendendo que, nem toda precipitação fica armazenada na bacia (PAZ, 2004).

2.6.1. Classificação dos rios quanto a constância:

A classificação dos cursos d'água são bem comuns em relação aos rios e ao sistema de drenagem, para identificar os diferentes tipos de comportamentos de rios e lençóis freáticos, segundo Villela e Mattos (1975) e Lima (1976) são divididos em três tipos:

a) perenes: o lençol subterrâneo alimenta continuamente garantindo fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, é um canal bem definido;

b) intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos), o que os mantém é a subida do lençol freático nas estações das chuvas. Durante a estiagem secam, pois, o lençol freático encontra-se abaixo do nível do leito do rio;

c) Efêmero: só há fluxo durante ou imediatamente após as chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos e normalmente são de pequeno porte.

2.7. Caracterização Morfométrica

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é uma das análises hidrológicas mais comuns. As diferentes formas de relevo presentes na superfície terrestre são procedentes da interação entre processos tectônicos, pedogênicos e intempéricos, que atuam de forma diversificada nos diferentes materiais rochosos (MARI-NHO, 2011).

Segundo Tonello (2005), as características morfométricas estão divididas em três grupos principais: as geométricas, de relevo e da rede de drenagem.

As características geométricas são:

- **Área e Perímetro Total** que correspondem a contribuição que relaciona toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, em projeção horizontal, inclusa entre seus divisores topográficos. A área de uma bacia hidrográfica é o elemento básico para o cálculo de outras várias características físicas. O perímetro corresponde ao comprimento dos limites estabelecidos pelos seus divisores de água (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

- **Coefficiente de Compacidade (KC)** que pode ser definido como a relação entre a área da bacia em Km² e o comprimento axial da bacia em km relacionando a forma da bacia a de um retângulo (HORTON, 1945).

- **Fator de forma (F)** determinado a partir da razão entre comprimento axial e largura média da bacia, desde a desembocadura até a cabeceira. Pontua-se que uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, com fator de forma maior, em função de que, em uma bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Lembrando ainda que a contribuição dos tributários atinge o curso de água principal em vários pontos ao longo do mesmo, e repele-se, neste sentido da colocação de bacia circular, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia concentra-se em um só ponto (BARROS *et al* 2004).

- **Índice de Circularidade (IC)** define-se como a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica. Comparando-se ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade aproxima-se para a unidade à proporção que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (BORSATO, 2004).

- **Padrão de drenagem** que pode ser ainda subdividido em 07 tipos:

Sendo o primeiro tipo, Drenagem Arborescente ou Dendrítica pois se assemelha ao formato de uma árvore, onde a corrente principal corresponde ao tronco, os tributários, aos ramos e as correntes de categoria inferior são os ramos e folhas.

O segundo formato é o de Drenagem em Trelça que se compõe por rios principais, correndo em paralelo, recebendo afluentes subsequentes. Em terceira classificação está a Drenagem Retangular, e é uma modificação da drenagem em Trelça e tem seu aspecto ortogonal pois recebe alterações retangulares no curso das correntes fluviais.

A Drenagem Paralela, como o quarto tipo classificado, determina-se quando os cursos de água, em uma área considerável, têm escoamento, em sua maior parte, paralelo uns aos outros. Este tipo de drenagem é encontrado em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas.

Em quinta subdivisão tem-se a Drenagem Anelar, com semelhança de anel, são típicas de áreas dômicas, profundamente entalhadas em estruturas com camadas duras e frágeis.

Em sexto, a Drenagem Radial que apresenta correntes fluviais s como os raios de uma roda, em relação a um ponto central. E por último, a Drenagem Desarranjada

ou Irregular, que foram desorganizadas por um bloqueio ou erosão (CRISTOFOLETTI 1980).

Já as características de relevo são assim classificadas

- **Orientação**, a orientação da bacia define a direção geral para qual a declividade está exposta e dessa forma está correlacionada com os ventos prevalecentes, o padrão de deslocamento de tempestades e a exposição aos raios solares (VILLELA E MATTOS 1975).

- **Declividade**, de acordo com Righetto (1998), a declividade do terreno de uma bacia é responsável pela velocidade de escoamento superficial.

- **Altitude e Amplitude Altimétrica**, a variação de altitude está relacionada com a precipitação, evaporação e transpiração, sobre o deflúvio médio. Grandes variações de altitude numa bacia ocasionam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa alterações na evapotranspiração mais significativas, porém, são possíveis as variações de precipitação anual com a elevação. Já Amplitude altimétrica é a variação entre a altitude máxima e altitude mínima (TEODORO *et al.*, 2007).

E, nas características da rede de drenagem, tem-se a seguinte caracterização:

- **Ordem dos cursos d'água**, reflete o grau de ramificação da rede de drenagem da bacia, e revela a posição de hierarquia que um curso d'água ocupa na rede de drenagem. Designam todos os pequenos canais que não se ramificam como sendo de primeira ordem. A junção de dois canais de primeira ordem forma um canal de segunda ordem; quando dois rios de segunda ordem se juntam, forma-se um rio de terceira ordem e, assim por diante. A ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia, Chow (1964).

- **Densidade de drenagem**, correlação entre o comprimento total dos canais de escoamento em km com a área da bacia hidrográfica em km², podendo ser efêmeros, intermitentes ou perenes. Se relaciona com características geológicas, sendo que as bacias hidrográficas que possuem solos rochosos, dificultando a infiltração, possuem maior potencial de gerar escoamento superficial, formando maior número de rios perenes e conseqüentemente maior densidade de drenagem (HORTON, 1945).

- **Índice de Sinuosidade**, a relação entre o comprimento do curso de água principal e o comprimento de uma linha reta seguindo este rio é a sinuosidade do curso de água que é um fator controlador da velocidade do escoamento (ESRI, 2006).

- **Densidade de hidrográfica**, pode ser identificada como frequência de canais ou densidade de rios, corresponde à relação entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica. Representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão (CHRISTOFOLETTI, 1980).

2.7. Bacias Urbanas

Em uma bacia hidrográfica urbana, todo o ciclo resume-se principalmente a escoamento de infiltração, tendo maior escoamento, pois há uma falta de cobertura vegetal, ocasionando pouca infiltração e mais escoamento pelas vias pavimentadas resultando em enchentes.

O tempo de concentração das águas diminui e aumenta os picos de cheia. Soma-se também as águas de uso doméstico e industrial as águas pluviais, pois não recebem tratamento e recolhimento ou são lançadas nos corpos d'água, degradando e reduzindo o tempo do ciclo hidrológico (GUERRA, 2011).

O aumento da demanda em atividades como agricultura e indústria tem causado preocupação no poder público e outros especialistas, pela destinação que essa água segue, e a sua qualidade, pois muitas vezes é transformada em resíduo poluidor para os recursos hídricos no seu retorno.

Além destes fatores, o crescimento desordenado e desatento ao meio ambiente das cidades causam danos aos recursos hídricos, pois é comum que ocorram aterramento de nascentes, disposição de esgotos domésticos e industriais sem tratamento e ocupação de área de proteção de mananciais causando alterações no ciclo hidrológico de uma bacia quanto ao aumento do volume e redução no tempo de escoamento superficial após chuvas, antecipando as cheias, diminuição da infiltração da água pela impermeabilização, remoção da cobertura vegetal e compactação do solo podendo levar a redução ou esgotamento do lençol freático, aumento da erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água. Pode ocorrer também a poluição por esgotos domésticos, industriais e demais atividades urbanas (DIAS, 2011).

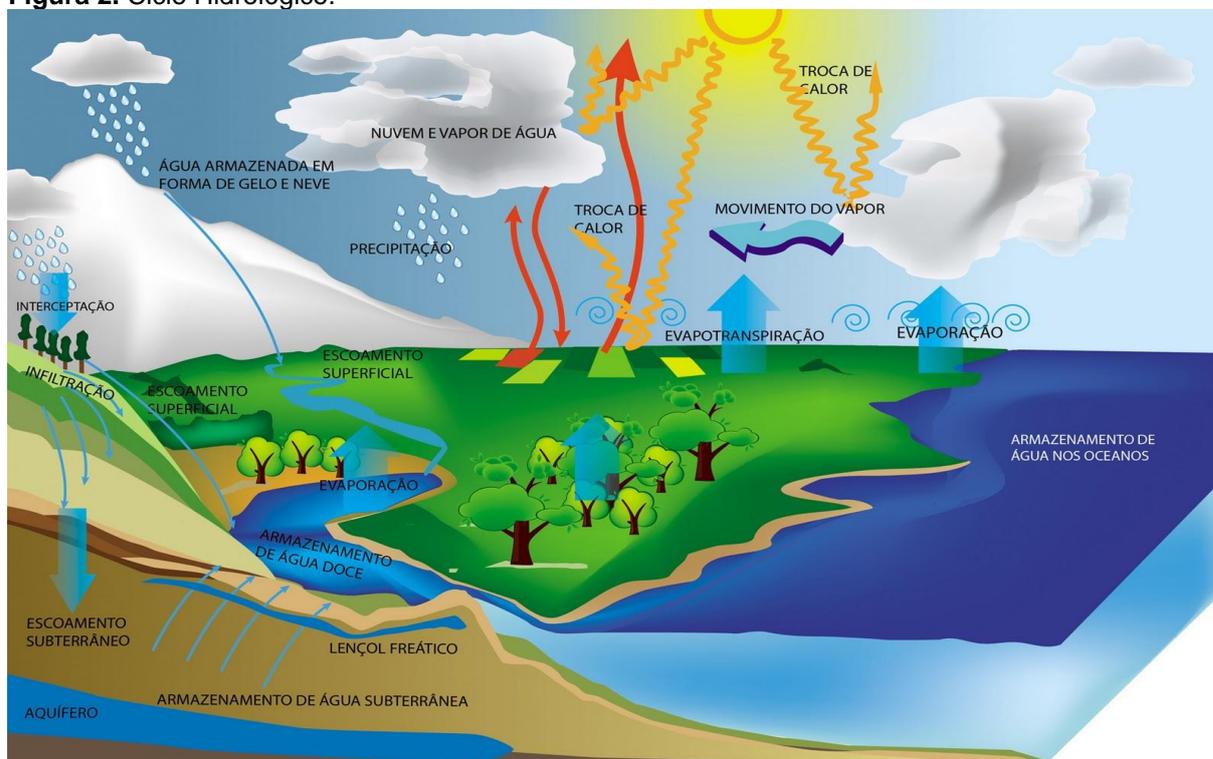
2.8. Ciclo Hidrológico

Em suma, o ciclo hidrológico pode ser entendido como o processo que transfere a água estocada na superfície terrestre para a baixa atmosfera por evaporação ou evapotranspiração (perda de água pela transpiração de plantas).

Este vapor de água na atmosfera se condensa a certa altitude em função do rebaixamento de temperaturas e com micropartículas em suspensão funcionando como núcleo de condensação, o nível de condensação atinge uma massa crítica e as micro gotículas de água se precipitam, ocorrem as chuvas, que são o retorno desta água a superfície na forma líquida ou sólida (gelo ou neve), dependendo da temperatura na sua zona de precipitação.

Pode ocorrer ainda evaporação ou interceptação parcial pela vegetação, antes dessa água atingir a superfície. Pode haver infiltração nos solos ou rochas preenchendo o déficit de água no solo, podendo gerar escoamento subsuperficial ou acontecer redistribuição na superfície (GUERRA, 1994), conforme ilustrado na **Figura 2**.

Figura 2. Ciclo Hidrológico.



Fonte: SCULBI, 2011

2.9. Aspectos Fisiográficos da Bacia Hidrográfica

Existe uma grande correlação entre os aspectos físicos e o regime hidrológico, pois analisando e comparando esses dois elementos pode-se determinar indiretamente valores hidrológicos em regiões de dados escassos, além disso, pode-se obter

também condições sobre formações geológicas, perdas de sedimentos ou outras características relacionadas ao solo da região (VILELLA; MATOS, 1975).

Um dos padrões físicos base para o cálculo da maioria das características da bacia é a área de drenagem, que define a potencialidade hídrica e tem grande importância na resposta hidrológica, pois desconsiderando outros fatores, quanto maior a área, menor serão os picos de cheias, pois maior será o tempo para que toda bacia contribua de uma só vez (TUCCI, 1997). É a medida dada em km², em projeção horizontal de toda área da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quanto à classificação das áreas das bacias, alguns autores consideram como bacias pequenas aquelas com área inferior a 3 km², como bacias médias, área variando de 3 km² a 1000 km² e como bacias grandes área superior a 1000 km² (BORSATO e MARTONI, 2004). Já para Wisler e Brater (1964), bacias pequenas são as que possuem área inferior a 10 milhas quadradas (26 km²) e bacias grandes com área superior a esse valor.

O índice de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo, quanto mais próximo da unidade, mais circular será a bacia, tendendo a maior possibilidade de enchentes, pois toda a área está contribuindo de uma só vez (VILELLA; MATOS, 1975).

O fator forma é a relação entre o comprimento axial e a largura média da bacia, medindo-se da desembocadura a cabeceira. O fator de forma baixo fornece uma possibilidade menor de uma chuva intensa cobrir toda sua extensão. A contribuição dos afluentes também atinge o rio principal em vários pontos distanciando-se da condição ideal da bacia circular, na qual em um só ponto ocorre a concentração do deflúvio (VILELLA; MATOS, 1975). O índice de compacidade e o fator forma, determinam o formato da bacia (WISLER e BRATER, 1964).

O sistema de drenagem é constituído pelo canal principal e seus afluentes, estudar as ramificações e o desenvolvimento do sistema indica a velocidade com que a água deixa a bacia. Baseado no grau de ramificações/bifurcações se classifica a ordem dos rios. A densidade de drenagem é a relação entre comprimento total dos canais e escoamento com a área da bacia hidrográfica.

2.10. Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos

Alguns métodos são utilizados na análise de dados físicos, dentre eles os mais atuais são de geoprocessamento pois permitem avaliação integrada dos sistemas naturais e otimizam os recursos de estudo permitindo mais agilidade na aquisição dos dados (MUNDIM, 2001).

2.11. Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica é uma técnica que possibilita o melhor entendimento e representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo que o modelo hidrológico possui grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. Com o aumento da disponibilidade de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos estocásticos.

De acordo com Tucci (1997), quanto à conceituação, os modelos podem ser classificados em: - Modelos distribuídos baseados em processos físicos: consideram as equações de conservação de massa e quantidade de movimento para descrever o movimento da água sobre a superfície do solo. O cálculo é feito para cada célula da malha que representa a bacia; - Modelos concentrados: possuem menor embasamento físico. Baseiam-se na equação da continuidade, não usam diretamente a equação da quantidade de movimento para descrever os processos, mas adotam conceituações plausíveis para representar os mesmos.

Estas representações, em geral, consideram diversos reservatórios conectados, utilizando também procedimentos de translação no tempo; e - Modelos de entrada-saída: consistem na identificação de uma relação entre as entradas (precipitação) e as saídas (vazão), sem se preocupar em descrever os mecanismos internos do processo. Um exemplo clássico é o método do hidrograma unitário, o qual propõe uma relação linear entre a chuva efetiva e o escoamento superficial. Os modelos baseados em processos físicos têm vários parâmetros e devem ser calibrados em relação aos dados observados. Normalmente, há muitas combinações de parâmetros que podem reproduzir os dados observados, em particular quando é considerado somente

um aspecto de desempenho do modelo. Este problema surge devido a erros na estrutura do modelo, condições de contorno e variabilidade dos dados observados (BELDRING, 2002).

Os modelos distribuídos apresentam vantagens na sua estrutura teórica em relação aos outros dois tipos de modelo, pelo fato de que seus parâmetros têm significado físico, com valores que podem ser obtidos em análises de campo ou laboratório. As atividades humanas sobre a bacia, o desmatamento ou a irrigação podem ser representados por meio da mudança dos valores dos parâmetros representativos das características da bacia hidrográfica, sendo possível considerar a variação espacial dos mesmos (WOOD e O'CONNELL, 1985).

2.12. Sistemas de Informações Geográficas

No que se refere a viabilização e geoprocessamento, os SIG's constituem o tipo de estrutura mais importante. Eles formam um conjunto de procedimentos computacionais, que operando sobre base de dados integradas viabiliza executar análises e cálculos que podem variar desde operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, entre outros, até álgebra não cumulativa que engloba as operações lógicas, isso permite a elaboração de mapas politemáticos (contendo dados qualitativos e quantitativos), reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis, é um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água (COSTA *et al.*, 2011).

São muito relevantes para planejamento e gestão de bacias hidrográficas, pois apresenta uma visão integrada dos problemas da água, os SIG's adquirem, manipulam e integram informações, sendo potencialmente importantes para cartografia ambiental, ele gera cartas temáticas que relacionam características do meio físico com elementos socioeconômicos da bacia hidrográfica (FARIA; PEDROSA, 2005).

2.13. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo. Tais técnicas são implementadas em ambientes de SIG.

A bacia hidrográfica é definida espacialmente por um divisor topográfico, que consiste em uma linha que passa pelos pontos mais altos do terreno, topos de morros, ao redor de uma rede de drenagem (RODRIGUES e ADAMI, 2005). Frequentemente,

a delimitação de bacias é feita de forma manual, sobre uma carta topográfica impressa em papel, ou em formato digital, onde se busca traçar uma linha que vai representar o divisor da bacia. É através desse procedimento que se define a unidade de análise, estudo e quantificação dos fenômenos hidrológicos, e ainda de aplicação das ferramentas que visam regular o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos. Esse procedimento exige experiência e atenção do profissional, uma vez que o processo implica certa subjetividade. Diversos trabalhos destacam a possibilidade de obtenção do divisor de uma bacia hidrográfica por métodos automáticos (MEDEIROS *et al.*, 2009; SOBRINHO *et al.*, 2010; ADAMI *et al.*, 2011). Segundo esses autores, faz-se necessária a utilização de imagens que representem um MDE e o seu processamento em ambiente de SIG para a definição da bacia.

2.14. Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria

A qualidade das águas dos mananciais é assegurada e regulamentada pela Resolução 357/2005 do CONAMA. O órgão ambiental do Estado, NATURATINS, responde pelo controle das fontes poluidoras. No município de Palmas, a responsabilidade é da Secretaria Municipal de Meio Ambiente Ciência e Tecnologia. Sendo indispensável a proteção dos corpos hídricos e das matas ciliares, esta ação é regulamentada, respectivamente, pelas Leis 9.433/1997, das Águas, e 4.771/1965, do Código Florestal Brasileiro. Este, em seu artigo segundo, preconiza que:

“Se considera de preservação permanente no mínimo trinta metros de florestas e demais formas de vegetação naturais situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água. ”

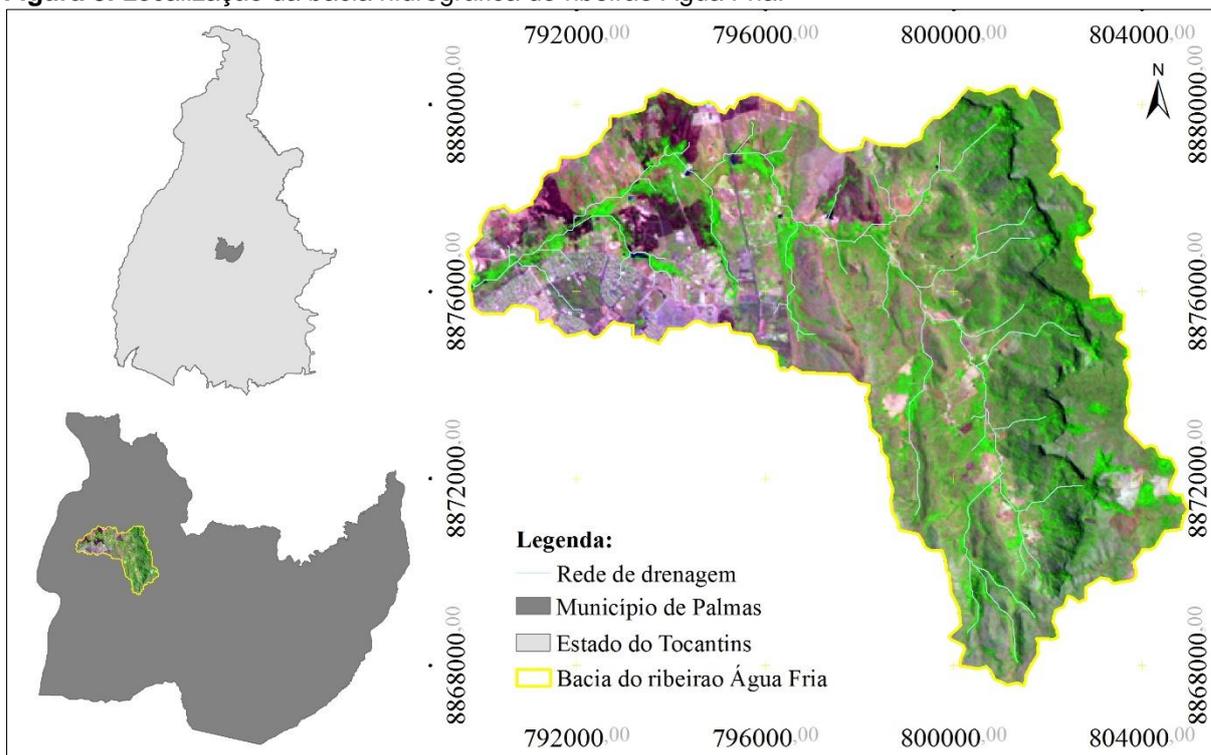
Os mananciais que abastecem a cidade de Palmas pertencem à bacia do rio Tocantins, e tem quatro poços tubulares profundos. As nascentes estão localizadas no próprio município. Suas matas ciliares encontram-se ameaçadas pela ação do homem, por conta de espaço necessários para pastagens. Podendo causar alteração na qualidade da água ou prejudicar o abastecimento. Na Estação de Tratamento de Água (ETA) 003, a água é captada no córrego Água Fria e passa posteriormente pelos processos de adução, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação, alcalinização, reservação e distribuição. A ETA está localizada à margem direita da rodovia TO-010, km 4, no sentido Palmas a Miracema do Tocantins, chácara Morro do Governador, lote Gleba Única (ODEBRECHT AMBIENTAL, 2014).

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da Área de Estudo

A bacia do ribeirão Água Fria localiza-se no município de Palmas, capital do Estado do Tocantins, na Mesorregião Oriental do Estado, região Norte do Brasil, entre a serras do Carmo e Lajeado e o Lago da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães, conforme **Figura 3**, abaixo.

Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria.



Fonte: autor, 2017.

De acordo com o método da classificação de THORNTHWAITE, o clima é subúmido (C2wA'a'), com duas estações bem definidas, apresentando durante a estação seca (inverno) moderada deficiência hídrica, megatérmico com evapotranspiração potencial anual de 1688,2 mm (61,03% no verão).

O regime pluviométrico apresenta características tipicamente tropicais, com precipitação acumulada de 1.519,4 mm, sendo mais de 91% entre os meses de outubro e abril (estação chuvosa) (BRASIL, 2014).

As temperaturas oscilam entre mínimo de 15,4 °C (julho) e máximo de 35,2 °C (setembro) (BRASIL, 2014).

Por outro lado, o período entre os meses de abril e setembro (estação seca) caracteriza-se pelos baixos índices pluviométricos, quando se observa por vezes ausência total de chuvas em pelo menos trinta dias consecutivos, esse período também é caracterizado pela elevada ocorrência de queimadas (BRASIL, 2014).

3.2. Análise Hidrológica

A delimitação da bacia, a extração da rede de drenagem e a determinação dos parâmetros para subsidiar a análise morfométrica ocorreram de forma automática por meio da utilização de um DEM, processado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do tipo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), denominado DEM SRTM Topodata, utilizando software ArcGis 10.3.1.

A aplicação destas técnicas do SIG ao DEM SRTM Topodata possibilitou:

i) Definir as direções dos corpos hídricos; ii) identificar depressões, vazios e erros na superfície; iii) preencher as imperfeições e remover as depressões e vazios no DEM SRTM; iv) identificar a direção do fluxo nas células, pela análise da inclinação das oito direções (pixels) vizinhas ao pixel; v) identificar a acumulação dos fluxos da água; v) extrair a rede de drenagem por meio de uma função matemática condicional, utilizando limiar de 500 pixels; vi) e a delimitação da bacia hidrográfica.

3.3. Análise Morfométrica

A análise morfométrica foi realizada considerando as características geométricas, hidrografias e topológicas da bacia, e utilizou metodologia já empregadas por autores relevantes da área de conhecimento.

3.3.1. Características geométricas

Para a definição das características geométricas foram utilizados a área, o perímetro e o comprimento axial da bacia hidrográfica adquiridos por meio da ferramenta *calculate geometry* da *attribute table* do software ArcGis 10.3.1.

O coeficiente de compacidade (K_c) foi determinado por meio da Equação 1, conforme (HORTON, 1945).

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

onde:

P - Perímetro da bacia, km; e

A - Área da bacia, km²;

O fator de forma (K_f) foi determinado pela Equação 2, conforme (HORTON, 1945).

$$K_f = \frac{A}{L_{AXIAL}^2} \quad (2)$$

onde:

L_{axial} - Comprimento axial da bacia hidrográfica, km;

Já o índice de circularidade (IC) foi determinado pela Equação 3, conforme (HORTON, 1945).

$$IC = 12,57 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

E a razão de alongação (R_e) foi calculada pela Equação 4, conforme (HORTON, 1945).

$$R_e = 1,128 \cdot \left[\frac{A^{0,5}}{L_{AXIAL}} \right] \quad (4)$$

3.3.2. Características hidrológicas

A estimativa das características hidrológicas considerou somatório do comprimento de todos os cursos d'água, o número de cursos d'água, o comprimento do curso d'água principal, o comprimento do talvegue do curso d'água principal, adquiridos por meio da ferramenta *calculate geometry* da *attribute table* do software ArcGis 10.3.1.

A densidade de drenagem (D_d) foi determinada por meio da Equação 5, conforme (HORTON, 1945, p. 283).

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (5)$$

onde:

$\sum L$ - Somatório do comprimento de todos os cursos d'água, km.

A densidade hidrográfica (D_h) foi calculada por meio da Equação 6, conforme (HORTON, 1945, p. 285).

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (6)$$

onde:

N - Número de cursos d'água.

A sinuosidade do curso de água (Sin) foi determinada pela Equação 7, conforme (HORTON, 1945) e (TEIXEIRA, TOLEDO, *et al.*, 2000).

$$Sin = \frac{L}{L_{TALVEGUE}} \quad (7)$$

onde:

L - Comprimento do curso d'água principal, km; e

L_{TALVEGUE} - Comprimento do talvegue do curso d'água principal, km.

E o índice de sinuosidade (IS) foi calculado por meio da Equação 8, conforme (HORTON, 1945).

$$IS = \frac{100 \cdot (L - L_{TALVEGUE})}{L} \quad (8)$$

3.3.3. Características topológicas

As características topológicas foram estimadas considerando as características hipsométricas e de declividade do terreno da bacia.

O índice de rugosidade (HD) foi determinado por meio da Equação 9, conforme (HORTON, 1945).

$$HD = \Delta_a \cdot D_d \quad (9)$$

onde:

Δ_a - Amplitude altimétrica, km.

E a razão de relevo (Rr) foi calculada por meio da Equação 10, conforme (HORTON, 1945).

$$Rr = \frac{\Delta_a}{L_{AXIAL}} \quad (10)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

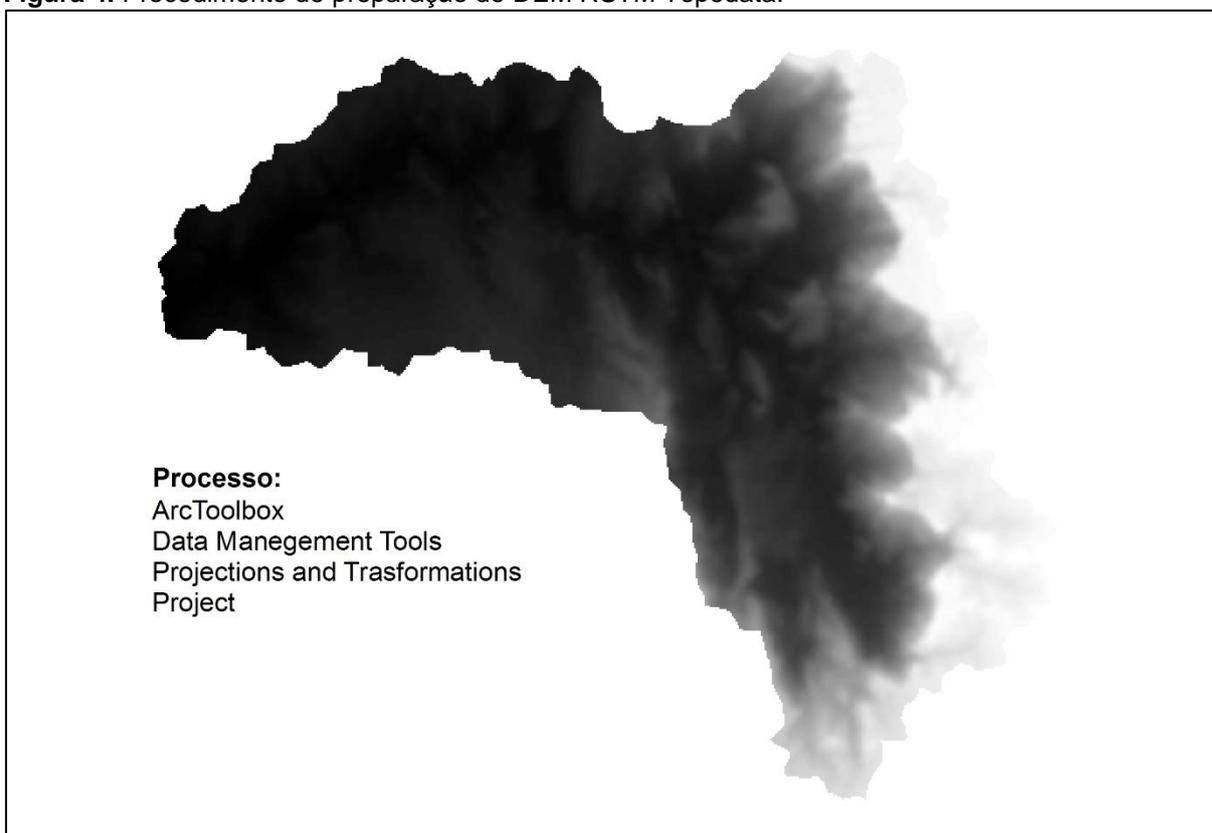
4.1. Análise Hidrológica

A análise hidrológica da bacia foi realizada após a execução dos comandos *flow direction*, *sink*, *fill* e *flow accumulation*, da ferramenta *hydrology* do menu *spatial analyst* no DEM SRTM Topodata através do software ArcGis 10.3.1, para obtenção: das direções dos corpos de água; identificação de vazios e imperfeições no *raster* de subsuperfície; preenchimentos dos vazios e imperfeições; criação da acumulação de fluxo de água e extração da rede drenagem, respectivamente.

4.1.1. Preparação do Modelo de Elevação Digital

O DEM SRTM Topodata utilizado foi o *raster* de altitude processado pelo INPE com projeção WGS-1984, reprojetoado para o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), ao meridiano central 45 WGr, tendo como Datum o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, SIRGAS 2000 UTM Zone 22S, sistema de coordenadas planas da região de Palmas. O DEM RSTM Topodata preparado para extração da bacia hidrográfica e dos parâmetros necessários para a análise morfométrica, apresenta variação de tons de cinza conforme altitude da área, conforme **Figura 4**.

Figura 4. Procedimento de preparação do DEM RSTM Topodata.

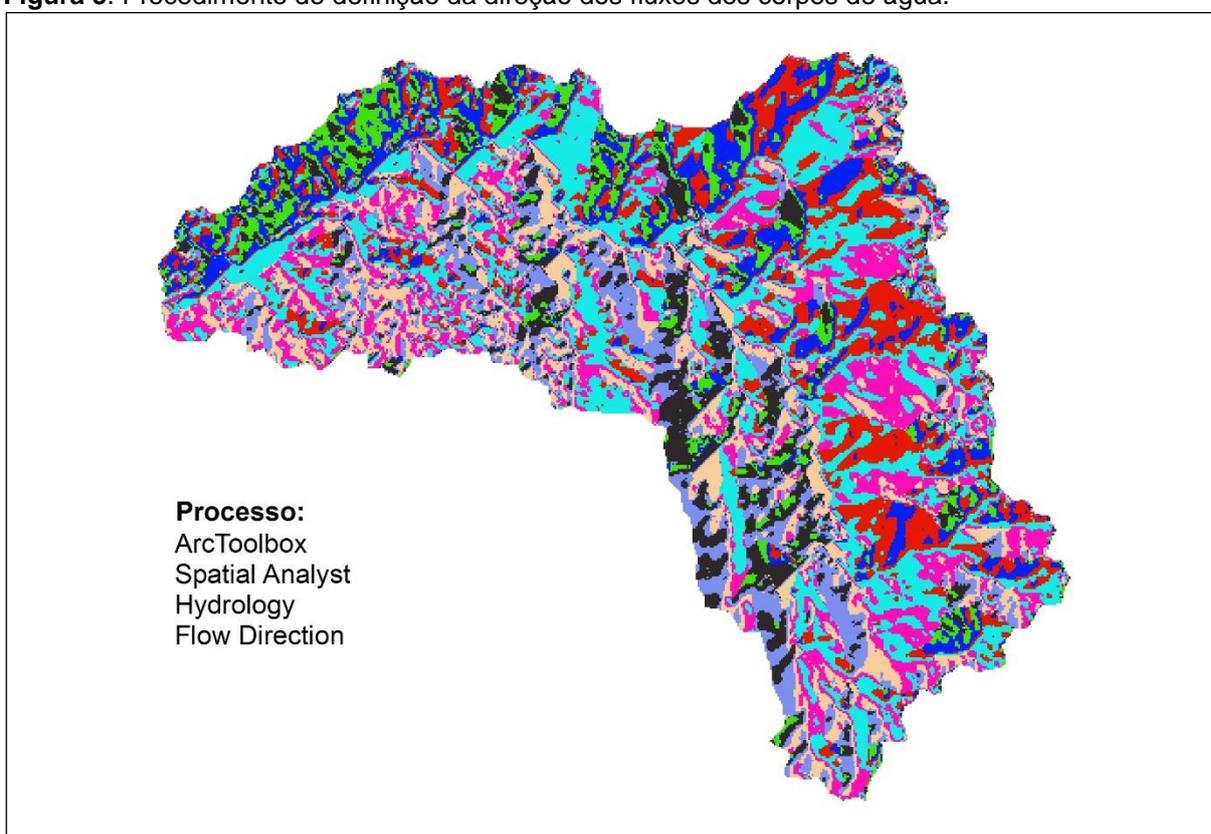


Fonte: autor, 2017.

4.1.2. Direções dos Corpos de Água

Verificou-se que na tabela de atributos (*Attribute Table*) do *raster* direção de fluxo (*Flow Direction*) criado pelo software possuía muitos valores associados, o que significa que havia vazios, imperfeições, depressões ou mesmo erro nos dados DEM SRTM Topodata. Foi necessário, portanto, a utilização dos comandos de identificação de possíveis erros (*Sink*) e correção dos erros encontrados (*Fill*). A **Figura 5**, apresenta o *raster* do DEM RSTM Topodata com a direção do fluxo de água contendo erros e seu processo de obtenção.

Figura 5. Procedimento de definição da direção dos fluxos dos corpos de água.



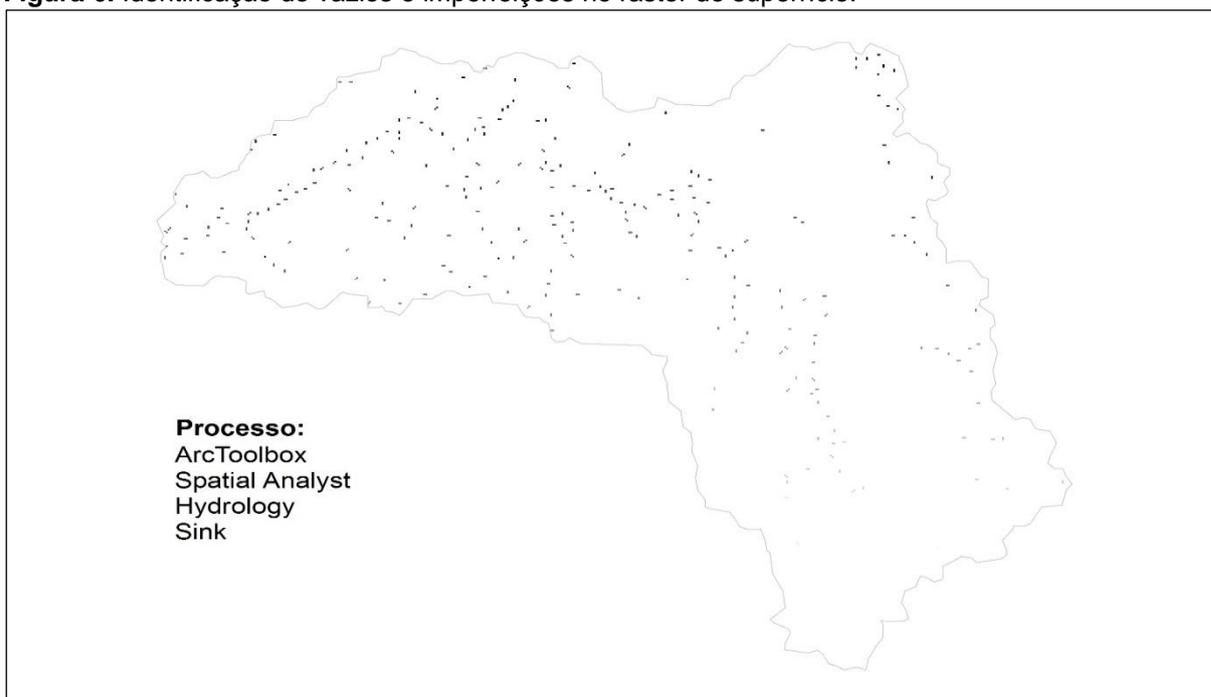
Fonte: autor, 2017.

O *raster* de direção de fluxo deve apresentar em sua tabela de atributos (*Attribute Table*) apenas os números 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 que representam as oito células adjacentes por onde a água deve fluir.

4.1.3. Identificação de Vazios e Imperfeições

A identificação de vazios, imperfeições e erros do *raster* DEM STR Topodata foi realizada por meio do comando *Sink*. A **Figura 6**, apresenta o *raster* com a identificação de vazios, depressões, imperfeições e erros e seu processo de obtenção.

Figura 6. Identificação de vazios e imperfeições no raster de superfície.

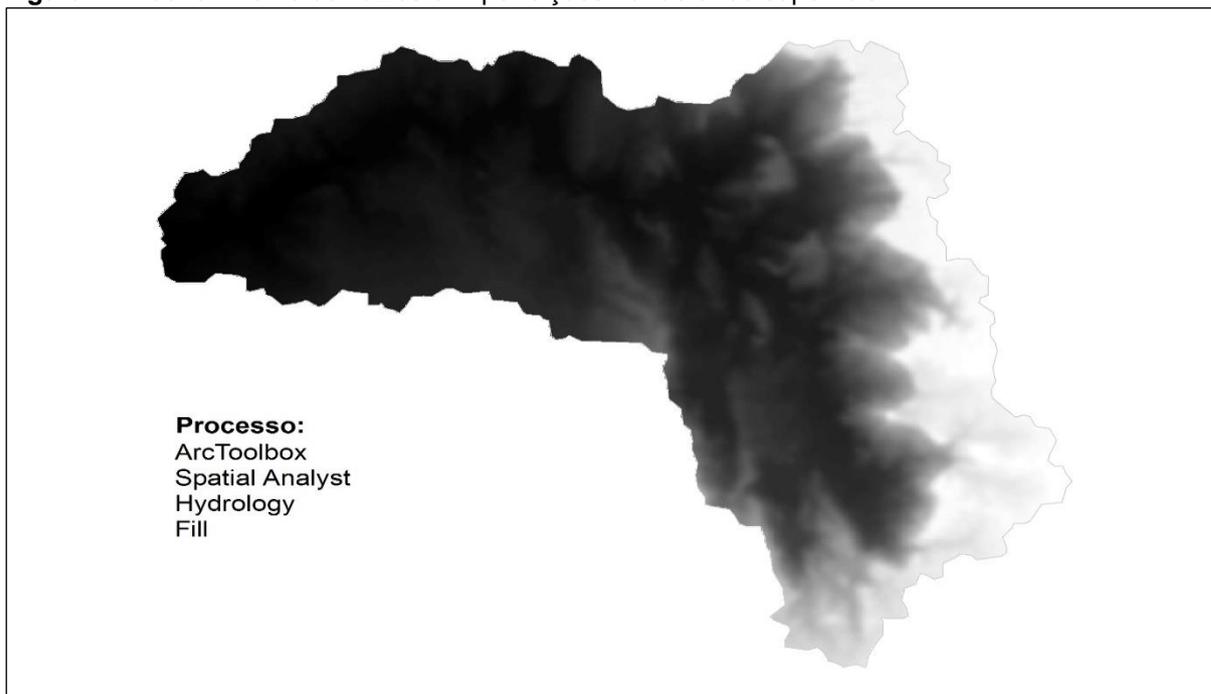


Fonte: autor, 2017.

4.1.4. Preenchimentos dos Vazios e Imperfeições

O preenchimento de vazios, depressões, imperfeições e erros do *raster* DEM STR Topodata foi realizado por meio do comando *Fill*. A **Figura 7**, apresenta o *raster* com a correção dos vazios, depressões, imperfeições e erros e seu processo de obtenção.

Figura 7. Preenchimento de vazios e imperfeições no *raster* de superfície.

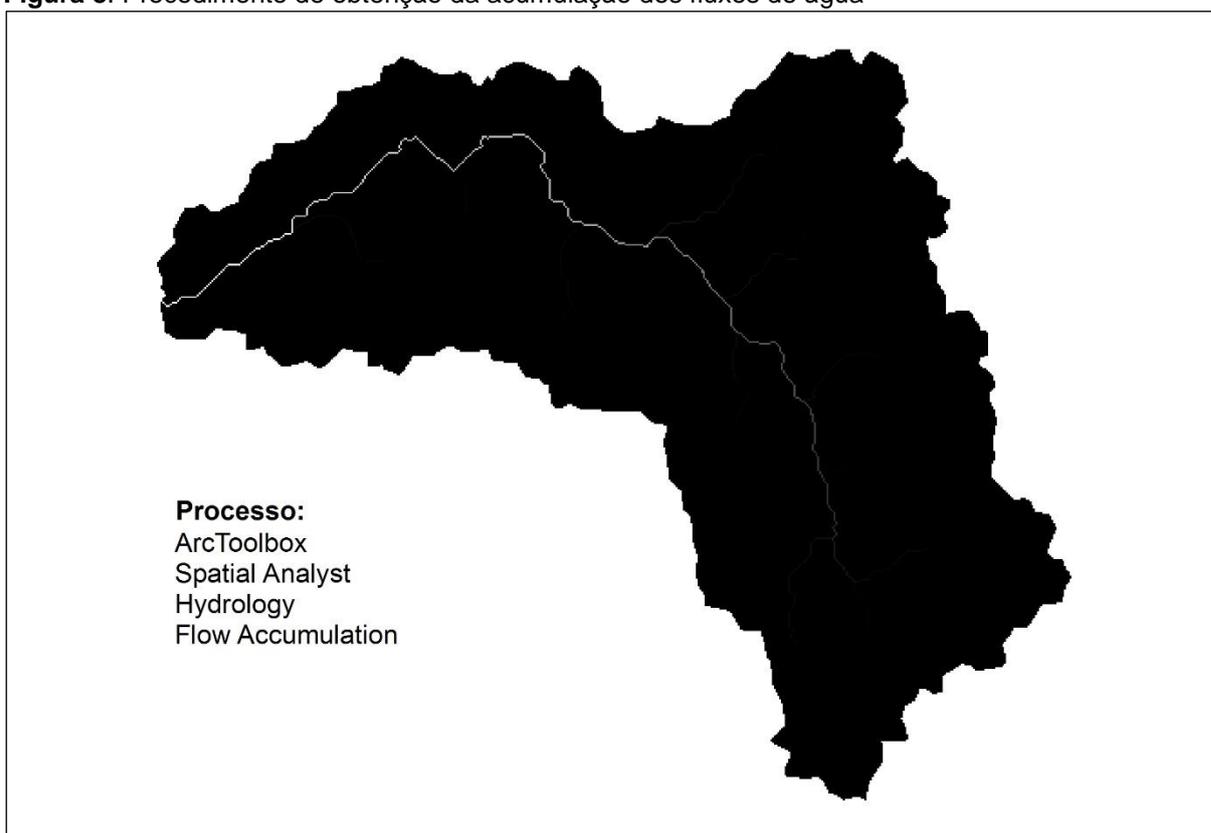


Fonte: autor, 2017.

4.1.5. Criação da Acumulação de Fluxo de Água

A acumulação dos fluxos de água foi gerada a partir do *raster* de direção de fluxo corrigido por meio do comando *Flow Accumulation*. A **Figura 8**, apresenta o *raster* do DEM RSTM Topodata com a acumulação de fluxo e seu processo de obtenção.

Figura 8. Procedimento de obtenção da acumulação dos fluxos de água



Fonte: autor, 2017.

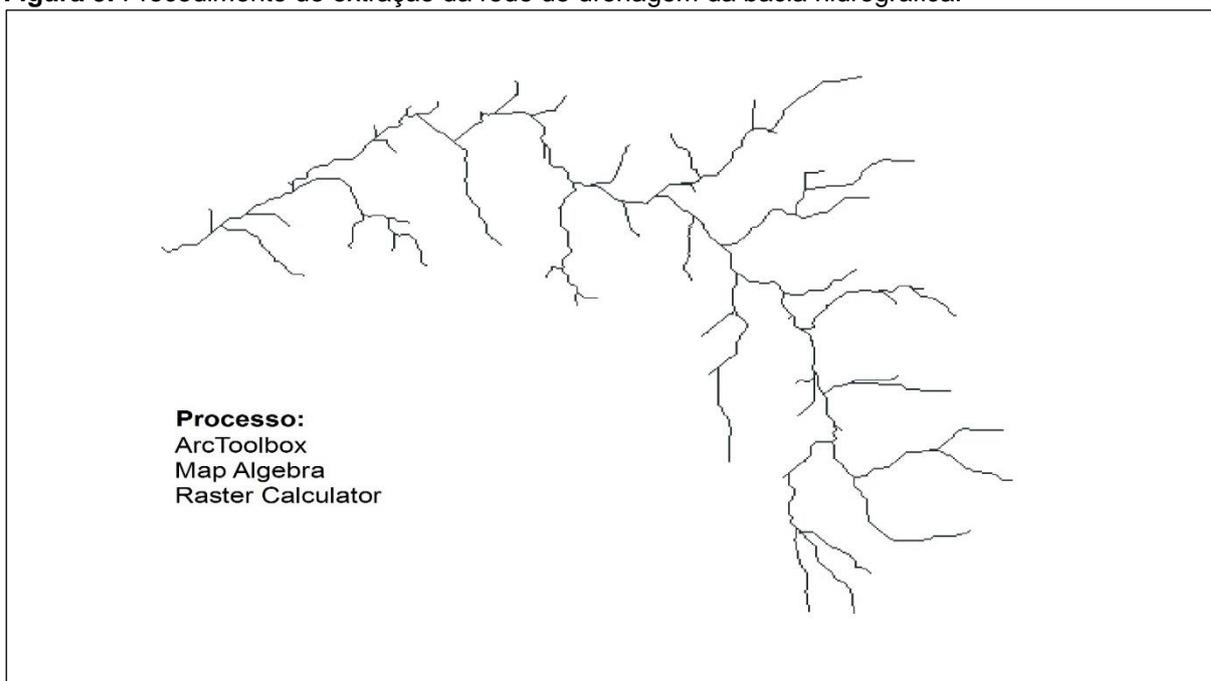
4.1.6. Extração da Rede Drenagem

A extração da rede de drenagem foi obtida por meio dos comandos *Map Algebra* e *Raster Calculator*.

Para criar uma rede de drenagem foi necessário estabelecer um limiar para identificar a quantidade de *pixels* adjacentes devem formar os rios - por recomendação do ANA foi utilizado limiar de 500 *pixels* -, e um teste lógico com a função matemática $\text{Con}(\text{"Flow_Accumulation.tif"} > 500, 1)$.

A **Figura 9**, apresenta o *raster* do DEM RSTM Topodata com a rede de drenagem e seu processo de obtenção.

Figura 9. Procedimento de extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica.



Fonte: autor, 2017.

4.1.7. Extração da Bacia Hidrográfica

A bacia foi delimitada por meio do comando *watershed*, a partir das propriedades dos *rasters* de acumulação do fluxo da água do ponto exutório da rede drenagem convertida em formato *shepfile*. A **Figura 10**, apresenta o raster do DEM RSTM Topodata com a bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria e seu processo de obtenção.

Figura 10. Procedimento de extração da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria.



Fonte: autor, 2017.

Os dados *raster* obtidos a partir dos comandos do menu *spatial analyst* foram transformados no formato *shpfile* por meio do comando *stream to feature* e re-projetado para a referência geográfica WGS 1984 UTM Zone 22 S.

4.2. Análise Morfométrica

4.2.1. Características geometrias

Os índices morfométricos relacionados à geometria da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Características geométricas da bacia do ribeirão Água Fria.

Índices	Valores	Unidades
Área	90,965	km ²
Perímetro	56,461	Km
Comprimento axial	23,321	Km
Coeficiente de compacidade	1.66	-
Fator de forma	0.17	-
Razão de alongação	0.46	-
Índice de circularidade	0.36	-

A área, o perímetro e o comprimento axial da bacia foram determinados por meio da ferramenta *calculate geometry* do software ArcGis 10.3.1.

O resultado obtido para o coeficiente de compacidade indica que a bacia possui baixa propensão à ocorrência de enchentes, já que, seu valor é superior a 1,5, segundo as classes de Silva e Mello (2008).

O fator de forma (< 0.50 = menor tendência a enchentes) também confirma a baixa tendência a ocorrência de enchentes demonstrada pelo coeficiente de compacidade, também indica que a bacia é estreita e longa, portanto, com menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão.

A razão de alongação também indica que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada, conforme (COUTINHO, CECÍLIO, *et al.*, 2011).

O índice de circularidade semelhante ao coeficiente de compacidade, tende para unidade à medida que a bacia se aproxima ao formato circular e diminui à medida que o formato se torna alongado.

4.2.2. Características hidrológicas

Os índices morfométricos relacionados à hidrografia da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Características hidrográficas da bacia do ribeirão Água Fria.

Índices	Valores	Unidades
Comprimento do canal principal	20,110	Km
Comprimento do talvegue do canal principal	12,934	Km
Densidade de drenagem	0,622	km·km ⁻²
Densidade hidrográfica	0,165	rio/km ²
Sinuosidade do curso d'água	1.555 km km ⁻¹	km·km ⁻¹
Índice de sinuosidade	35,68	%

Os comprimentos do canal principal e do talvegue do canal principal foram calculados por meio da ferramenta *calcular geometria* do software ArcGis 10.3.1, sendo o talvegue encontrado a partir da alongação do canal principal até divisor topográfico por meio da ferramenta *editor*.

A densidade de drenagem é considerada baixa, indica que a permeabilidade e porosidade do solo também é baixa, inferindo características favoráveis ao escoamento superficial e a processos erosivos em casos de remoção da vegetação, conforme (BRASIL, 2009, p. 103).

Densidade hidrográfica não indica a eficiência da drenagem porque não considera a extensão dos cursos de água, indica a média de área ocupada por cada corpo hídrico da bacia, ou a frequência, a quantidade de corpos de água em uma área padrão.

A sinuosidade do ribeirão é considerada média tendendo para baixa, ou seja, de transição entre as características de rios retilíneos e tortuosos, demonstrando que a

velocidade de escoamento superficial e o araste de partículas também tende a apresentar padrões considerados de médios para baixo, conforme (TEIXEIRA, TOLEDO, *et al.*, 2000, p. 197).

A classificação da rede de drenagem refletiu a ordem do rio principal mostrando a extensão da ramificação da bacia do ribeirão Água Fria.

A **Tabela 3**, abaixo apresentam a classificação rede hídrica e suas principais características, conforme (HORTON, 1945) e (STRAHLER, 1957).

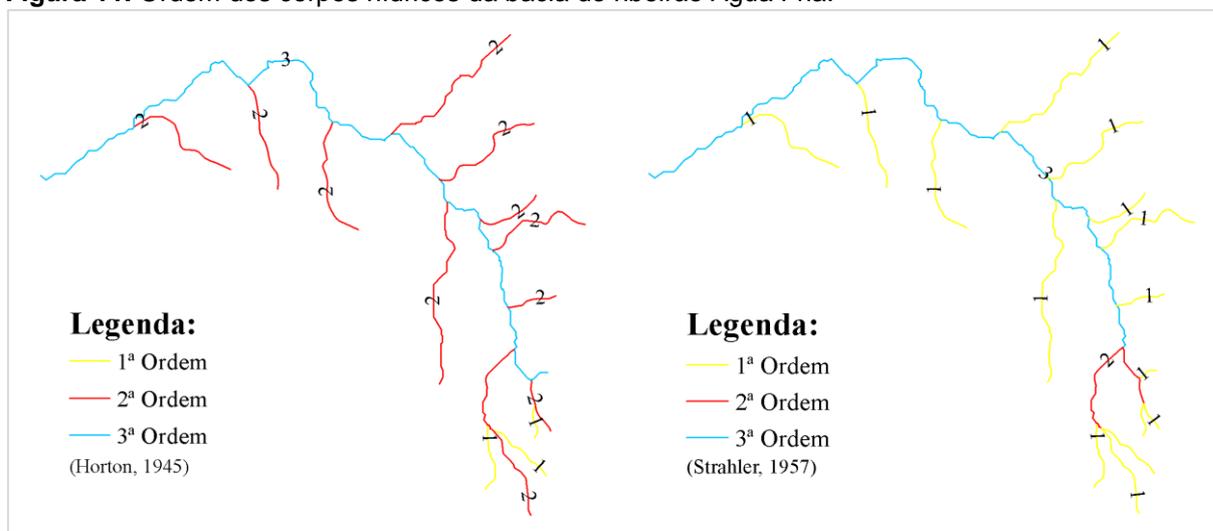
Tabela 3. Características da rede hídrica da bacia do ribeirão Água Fria.

Ordem	Número de Canais		Comprimento (km)	
	Horton	Strahler	Horton	Strahler
1 ^a	3	15	4,331	56, 554
2 ^a	11	2	32,214	26,206
3 ^a	1	1	20,110	20,110

A hierarquização rede hídrica realizada caracterizou a bacia como sendo do tipo dendrítico de 3^a ordem para ambos os métodos utilizados, conforme (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 104) e (STRAHLER, 1957).

A **Figura 11**, abaixo apresenta classificação hierárquica da rede hídrica do ribeirão por ambos os métodos utilizados.

Figura 11. Ordem dos corpos hídricos da bacia do ribeirão Água Fria.



Fonte: autor, 2017.

4.2.3. Características topológicas

Os índices morfométricos relacionados ao relevo da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria estão apresentados na **Tabela 4**.

Tabela 4. Características topológicas da bacia do ribeirão Água Fria.

Índices	Valores	Unidades
Altitude máxima	711,75	m
Altitude média	463,49	m
Altitude mínima	215,23	m
Declividade mínima	0,12	%
Declividade média	8,33	%
Declividade máxima	47,09	%
Índice de rugosidade	307,75	-
Razão de relevo	21,22	m·m ⁻¹

As altitudes foram determinadas por meio da leitura direta do raster de altitude do DEM SRTM Topodata no *layer* do software ArcGis 10.3.1.

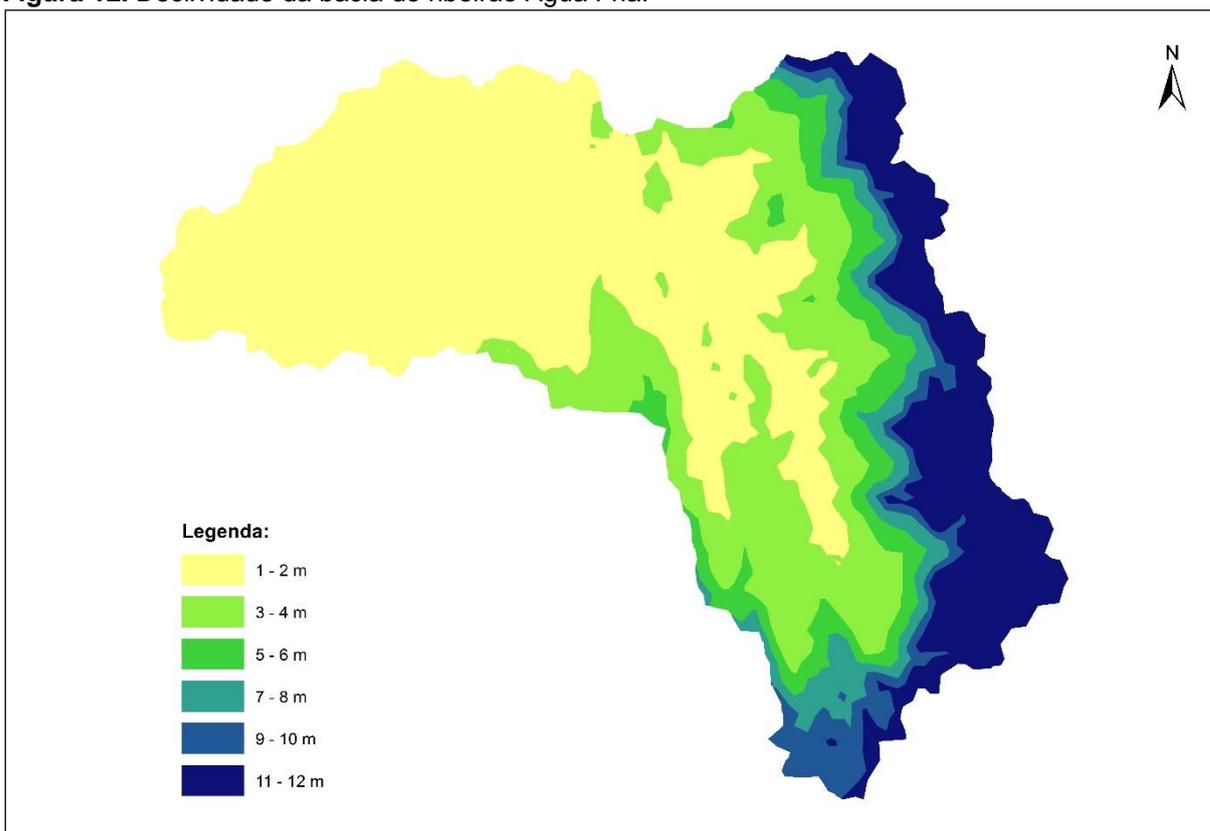
As declividades foram extraídas da *attribute table* do DEM SRTM Topodata por meio do software ArcGis 10.3.1, as quais foram aplicadas inferências matemáticas por meio de editor de planilhas.

Verificou-se predominância de áreas com declives suaves (inferiores a 15%), nos quais, o escoamento superficial é lento ou médio, propiciando o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola, e com baixa potencial de ocorrência de erosão hídrica (TOCANTINS, 2012).

O índice de rugosidade também demonstrou que a bacia apresenta em sua maior extensão ambiente de declive suaves.

A **Figura 12**, abaixo demonstra as características da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria em seis faixas de declividade.

Figura 12. Declividade da bacia do ribeirão Água Fria.



Fonte: autor, 2017.

As características hipsométrias da bacia apresentam uma amplitude altimétrica de 496,52 metros, com baixa variação de altimetria nas áreas próximas aos corpos hídricos, caracterizando extensas áreas com terreno plano ondulado e regiões serranas mais próximas dos divisores de água.

Considera-se importante ressaltar 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 caracteriza área de preservação permanente (APP) quando acima de 45° de inclinação (BRASIL, 2012) e (COUTINHO, CECÍLIO, *et al.*, 2011).

5. CONCLUSÕES

O processo de delimitação automática mostrou-se satisfatório e os índices possibilitam à compreensão da dinâmica ambiental da bacia do ribeirão, mostrando também a importância da morfometria, pois os resultados obtidos demonstraram as influências de uma bacia hidrológica em toda dinâmica hidrológica.

Na análise morfométrica estudada conclui-se, que a bacia possui baixa propensão à ocorrência de enchentes por apresentar condições favoráveis ao escoamento superficial e apresentar formato alongado com um sistema de drenagem do tipo dendrítica ramificada com rio principal de 3ª ordem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano estratégico da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia-Relatório Síntese**. Brasília, 2009.

ARAÚJO, D. C.; et al. **Conflitos institucionais na gestão dos recursos hídricos do Estado da Paraíba**. RBRH, v.17, n.4, p. 259-271, Out./Dez. 2012.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Guruji, Litoral Sul do Estado da Paraíba**. Cadernos do Logepa, João Pessoa, v. 06, n. 01, p. 01 - 24, Janeiro/Fevereiro, 2011.

BARROS, E. de O. et al. **Caracterização fisiográfica da microbacia hidrográfica do Córrego Tiúba (Município de Palmas/TO)**. In: AI DIS. *Forjando el ambiente que compartimos*. San Juan: AI DIS, ago. p. 1-9 Ilus, 2004.

BERNARDO, L. D.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª. ed. São Carlos: RiMa, v. 01, 2005. 792 p. ISBN 85-7656-066-6.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R; ROSA, E.F.F. **Aquífero Guarani – A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004.

BORSATO; MARTONI. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Human and Social Sciences Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. **Censo Demográfico 2012**. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012.

BRASIL. **Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos**. Cachoeira Paulista, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de maio de 2012.

BRASIL. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 182. 2009.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, de março 2004.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de março de 2004.

BRASIL. Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BRASIL. Lei Federal nº.9433, de 8 de janeiro de 1977. **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 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.

COSTA, C.T.F; SILVA, F.R; TAVARES, P.R.L. **Aplicação de geoprocessamento na caracterização morfométrica da microbacia do Riacho Touro, Ceará. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. MACEIÓ, AL, 2011.

COUTINHO, L. M. *et al.* Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 04, p. 369 - 381, Outubro/Dezembro 2011.

DIAS, F. A. **Caracterização e análise da qualidade ambiental urbana da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Dissertação (mestrado)**. Universidade Federal de Mato Grosso. Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Cuiabá/MT 2011.

EATON, A. D. et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª. ed. Washington: American Public Health, 2005.

ESRI. **ArcGIS® 9 Geoprocessing Commands Quick Reference Guide**. United States of America. 2006

FARIA.R; PEDROSA.A. **Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do rio Uíma – SANTA MARIA DA FEIRA**. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 4 a 9 de setembro de 2005 – Universidade de São Paulo.

FERREIRA, M. I. P.; et al. **7 Políticas públicas e gerenciamento de recursos hídricos**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v.2, n.2, jul./dez. 2008.

GUERRA, A.J.T, BOTELHO, R.G.M. **Bacias Hidrográficas Urbanas in Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B, NETTO, A.L.C. **Hidrologia de Encosta na Interface com Geomorfologia in Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

HORTON, R. E. **Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology.** The Geological Society of America Bulletin, v. 56, p. 275 - 370, 1945.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 2ª. ed. Campinas: Átomo, 2008.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242p.

MAGALHÃES, M. **“Arquitetura Paisagista, Morfologia e Complexidade”** Editorial Estampa. Lisboa, 2001, p. 353-383.

MARCOLINI, F.C.P. **A influência das captações de águas superficiais consideradas insignificantes na vazão do Ribeirão Água Fria.** Dissertação (Mestrado Profissional) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2016.

MARINHO, C. F. C. E. **Caracterização hídrica e morfométrica do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.** Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011, 67 f.

MATTA, M.A.S. **Águas superficiais e subterrâneas da bacia Tocantins-Araguaia como subsídio para um estudo de impacto ambiental.** 1º Joint World Congress on Groundwater 2000.

MEDIONDO, E.M; TUCCI, C.E.M. **Escalas Hidrológicas I: Conceitos.** RBRH-Revistas Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 2 n2 Jul/Dez 1997.

MUNDIM, R. A. L. **Geoprocessamento aplicado a análise espacial de uso e ocupação do solo na área urbana e entorno de São José da Lapa.** Monografia de Especialização. Universidade Federal de Belo Horizonte, 2001.

NAVAL, L.P; GONDIM, S.M. **Características Físico-Químicas das águas subterrâneas sob influencias do aterro sanitário de Palmas.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010.

ODEBRECHT AMBIENTAL. **Qualidade da Água no Sistema de Distribuição Integrada das ETA's 003 e 006.** Relatório da Água Distribuída pela Odebrecht Ambiental SANEATINS. Decreto Presidencial 5.440/2005ANO XI - Nº11- Palmas/TO. 2014.

PAZ, A.R. **Hidrologia aplicada texto básico Ministrada na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, para o curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na unidade de Caxias do Sul.** Setembro/2004.

Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB. **Estudos Técnicos para o Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO.** Volume III: Drenagem. PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS. 2013.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** EESC/USP. São Carlos, nº 840, 1998 p.

RODRIGUES, V. A.; CARVALHO, W. A. **Morfometria da Microbacia do Córrego Água Limpa**. IF Sér. Reg., São Paulo, n. 39, p. 15 - 24, maio de 2009.

SCHNEIDER, R.M *et al.* **Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó**. Acta Scientiarum. Technology. v.3, nº 3, p 295-303, Maringá, 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMADES. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins Relatório Final**. Governo do Estado do Tocantins. Agosto 2011.

STRAHLER, A. N. **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology**. Geophys, v. 38, n. 06, p. 913 - 920, 1957.

TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TEODORO, V. L. I. *et al.* **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental**. Uniará, n. 20, p. 136 - 156, 2007.

TOCANTINS. **Base de Dados Cartográficos da Estado do Tocantins**. Palmas: Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública, 2012.

TONELLO, K.C. *et al.* **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG**. Sociedade de Investigações Florestais. R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TORRES, J. L. R. *et al.* **Avaliação das Características Morfológicas e hidrológicas da Microbacia do Córrego Buracão, Afluente do Rio Uberaba**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 11, n. 33, p. 157 - 167, março de 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997, 944 p.

VILELLA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. **Hidrologia. Tradução e publicação de Missão Norteamericana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964.