Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM

Alesi Teixeira Mendes

Universidade Federal do Tocantins. E-mail: alesimendes@gmail.com

Artigo recebido em 13/11/2017 e aceito em 30/05/2018

RESUMO

A delimitação morfométrica da Bacia Hidrográfica é de suma importância para a compreensão do seu comportamento dinâmico diante do ciclo hidrológico. Por meio da morfometria é possível determinar parâmetros que indicam o comportamento da bacia hidrográfica, como por exemplo o potencial de enchentes. E com o avanço das ferramentas computacionais a delimitação dessas bacias tornou-se ainda mais fácil. O objetivo deste trabalho é delimitar a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio fazendo uso da ferramenta de delimitação automática do TauDEM, (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas com base nos Modelos Digitais de Elevação (MDEs), bem como apresentar as principais características morfométricas desta bacia. A área de drenagem encontrada foi de 3.137,41 km² e o perímetro de 499,48 km. De forma geral, constatou-se que a área da bacia possui formato mais alongado, com baixo potencial para ocorrência de inundações. A rede de drenagem da bacia possui capacidade mediana para o surgimento de novos cursos d'água e apresenta um escoamento superficial razoavelmente baixo, muito por conta de suas características, mais planas. Seu relevo é suave e com declividades, que em sua maioria, variam entre 0 a 3,6 % o que classifica o relevo plano ou suavemente ondulado o que prejudica um pouco o escoamento. Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que a ferramenta TauDEM é muito eficiente para delimitação automática de Bacias Hidrográficas.

Palavras-chaves: bacia hidrográfica; morfometria; TauDEM.

Watershed delimitation of the Santo Antonio river for TauDEM automatic delimitation tools

ABSTRACT

The morphometric delimitation of the Hydrographic Basin is of paramount importance for the understanding of its dynamic behavior before the hydrological cycle. Through morphometry it is possible to determine parameters that indicate the behavior of the watershed, such as flood potential. And with the advancement of computational tools the delimitation of these basins has become even easier. The objective of this work is to delimit the Santo Antônio River Basin using the TauDEM automatic delimitation tool, a set of tools for the construction of hydrological analyzes based on Digital Elevation Models, as well as to present the main morphometric characteristics of this basin. The drainage area was 3,137.41 km² and the perimeter was 499.48 km. In general, it was verified that the area of the basin has a more elongated shape, with low potential for flood occurrence. The drainage network of the basin has medium capacity for the emergence of new water courses and presents a reasonably low surface runoff, much due to its flatter characteristics. Its relief is smooth and with slopes, which mostly vary from 0 to 3.6% which classifies the flat or gently undulating elevation, which slightly impairs the flow. In view of the obtained results it can be concluded that the TauDEM tool is very efficient for automatic delimitation of Hydrographic Basins.

Keywords: hydrographic basin; morphometry; TauDEM.

Introdução

A Bacia Hidrográfica (BH) pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais

altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para

formação de nascentes e do lençol freático (Barrella, 2001).

De acordo com Tucci e Mendes (2006, p. 19) “para cada seção de um rio existirá uma bacia hidrográfica. Considerando esta seção, a bacia é toda a área que contribui por gravidade para os rios até chegar a seção que define a bacia”. Os limites que definem a BH são impostos pela topografia da superfície, no entanto, as características geológicas do subsolo podem fazer com que parte do escoamento que infiltra no solo escoe para fora da área delimitada superficialmente. Esta diferença pode ser significativa para bacias pequenas (Tucci; Mendes, 2006; Carvalho; Silva, 2006).

Segundo Tucci e Mendes (2006, p. 19) “as características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade do rio e a declividade da bacia”. De modo geral, há concordância pela maioria dos autores sobre as características que influenciam o comportamento das BH, principalmente no que se relaciona aos aspectos geomorfológicos como: forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem e o solo. Além desses, outro fator preponderante é a cobertura vegetal (Lima, 1976 apud Teodoro et al., 2007).

A determinação da forma da BH é uma das características mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. A forma tem influência direta no comportamento hidrológico da BH, como por exemplo, sobre o tempo de concentração (T_c) o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle. No entanto, existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas: o coeficiente de compacidade (K_c) que é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia e o fator de forma (K_f) que é a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (Carvalho; Silva, 2006).

Depois da criação dos computadores começaram a ser desenvolvidas ferramentas para otimização dos estudos hidrológicos. Em meados da década de 60 foram criados os primeiros modelos hidrológicos computacionais que gradativamente evoluíram acompanhando diversos aspectos do ciclo hidrológico (Collodel, 2009; Shinma, 2011).

Segundo Tucci (1998) os modelos hidrológicos são ferramentas que fornecem representações da dinâmica da bacia hidrográfica, e que permitem prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados. E de acordo com Rennó e Soares

(2000, p. 4) os modelos também podem ser definidos como “uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre”. Além disso, com o surgimento e consolidação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e representação digital do relevo a delimitação de bacias, por exemplo, tem se tornado cada vez mais precisa (Souza; Formiga; Veiga, 2013).

De acordo com Sobrinho et al. (2010) em várias partes do mundo têm sido desenvolvidos técnicas de aperfeiçoamento que delimite automaticamente as bacias hidrográficas. Ambientadas no Sistemas de Informações Geográficas, essas técnicas têm promovido resultados relevantes. Souza, Formiga e Veiga (2013) corroboram também afirmando que a aplicação dos modelos hidrológicos nos estudos relacionados às bacias hidrográficas com a utilização dos SIG tem potencial para ser um avanço significativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos.

O Tocantins no ano de 2017 aderiu ao Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas (PROCOMITÊS), da Agência Nacional de Águas (ANA), com intuito de fortalecer os comitês de bacias hidrográficas de rios tocaninenses.

Os principais objetivos parceria foi de elaborar ações de capacitação de membros dos comitês e conselhos de recursos hídricos para alinhar os diferentes setores e atores que representam os segmentos representados nos colegiados; e contribuir para implementação e efetividade dos instrumentos de gestão da água em prol da melhoria da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos (BRASIL, 2018).

Em março de 2018 foi assinado o decreto para a criação do quinto Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do Tocantins, o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Santo Antônio e Santa Tereza, da região sul do estado. O Rio Santo Antônio nos últimos anos sofreu com sérios problemas de disponibilidade hídrica, nos períodos secos, muito por conta das captações irregulares para a irrigação das lavouras da região.

Dentro da proposta de aumentar o conhecimento e sistematizar as informações sobre essas bacias, neste trabalho é apresentado a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio a partir da ferramenta de delimitação automática do TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas com base em Modelos Digitais de Elevação (MDEs), bem como apresentar as

principais características morfométricas desta bacia.

Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio

A bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins é composta por 30 bacias e sistemas hidrográficos, classificadas pela inicial do rio principal que forma

as bacias, rio Tocantins ou rio Araguaia, e pelo número de identificação, conforme ilustrada na **Figura1**. A Bacia do Rio Santo Antônio é identificada no sistema estadual como o sistema T7.

Figura 1 – Bacia Hidrográfica Araguaia-Tocantins.

Fonte: SEPLAN.

A bacia possui uma área de 6.058,31 km² distribuídos nos seguintes municípios: Cariri,

1.062,43 km², Figueirópolis, 1.931,45 km², Gurupi, 1.839,34 km² e Sucupira, 1.225,09 km² (Mello, 2006; IBGE, 2003).

A Figura 2 apresenta os municípios que interceptam a área da bacia e o Figura 03 apresenta a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio

Figura 2 – Municípios que Interceptam a Bacia do Rio Santo Antônio.

Figura 3 – Bacia do Rio Santo Antônio.

O Rio Santo Antônio atua como limite territorial do município de Gurupi numa extensão de quase 50 quilômetros. Seus canais totais de drenagem somam aproximadamente 276 km de

extensão, sendo um rio de médio porte e muito utilizado pela população ribeirinha para fins de pesca. A bacia apresenta um clima úmido, com precipitação média anual de 1500 mm. A vegetação

predominante na área da bacia é o cerrado, e as características geológicas do solo são comuns aos latossolos com erodibilidade potencial fraca (Mello, 2006).

Material e métodos

A delimitação da BH do Rio Santo Antônio foi realizada por meio da ferramenta TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), versão 5.3, que foi instalada no programa QGIS®. O TauDEM desenvolvido por David Tarboton, do Departamento de Pesquisas Hidrológicas da Universidade de Utah e instituições cooperadas. O TauDEM é uma ferramenta gratuita, bastante intuitiva e possui versões em português. Ele trabalha dados vetoriais e poligonais, podendo assim integrar as análises de terreno em dados matriciais para a extração da rede de drenagem e as bacias finais dotadas de suas características geométricas (Silva, 2004).

A delimitação da BH depende primariamente da preparação do Modelo Digital de Elevação (MDE), que se trata de uma representação digital do relevo da superfície terrestre, foi obtido na base de dados da Embrapa, um sistema livre e aberto, de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, onde é disponibilizado o mapa dos dados de relevo derivados da Missão Topográfica Radar Shuttle (em inglês Shuttle Radar Topography Mission – SRTM) do Brasil, os MDEs utilizados nesse trabalho são foram os das regiões SD-22-X-B e SC-22-Z-D, conforme apresenta a Figura 4.

O primeiro passo foi a reprojeção do MDE para o Sistema de Coordenadas Planas. As coordenadas utilizadas nesse trabalho foram UTM/Sirgas 2000 Zona 22 Sul.

Com o MDE na projeção desejada foram iniciados os processos da delimitação automática da bacia como mostra o Mapa 4 a primeira medida foi a aplicação da função Remover depressão, da aba Ferramentas de análise de grade básicas, essa ferramenta remove as depressões espúrias encontradas no MDE. O próximo passo foi gerar o raster que indica o caminho do escoamento da água por meio da função Direções de Fluxo D8.

Figura 4 – Modelos SRTM do estado do Tocantins. Fonte: Embrapa.

Esse algoritmo gera dois arquivos também raster: o D8 Flow Direction Grid, que indica a direção de fluxo e o D8 Slope Grid, que representa a declividade.

O próximo algoritmo utilizado foi o Área de Contribuição D8 para delimitar os limites da bacia pelas direções do fluxo. Esse procedimento foi realizado duas vezes, a primeira gerando um raster que representa as áreas de contribuição gerais do MDE, por meio do qual é possível visualizar as sub-bacias. Depois de gerar o raster D8 Contributing Direction Grid, que representa as direções da contribuição escoada na bacia, foi necessário definir o ponto de exutório. Este ponto de é um arquivo shapefile, posteriormente indicado com Outlets. Na segunda execução do algoritmo foi informada locação do exutório e então gerado um raster que indica a bacia do Rio Santo Antônio.

Figura 4 – MDE da região da bacia do Rio Santo Antônio.

O resultado da execução do algoritmo foi a criação de um raster contendo as redes de drenagem do MDE. Foi necessário então definir os corpos hídricos de interesse pela função Definição de limiar para fluxo canalizado, na aba Ferramentas de análise de rede de drenagem. O campo Threshold, limita as redes de drenagem e neste trabalho foi utilizado o valor de 100 para a criação de drenagens densas

A seguir criou-se um *shapefile* em formato de ponto para indicar o exutório da bacia do Rio Santo Antônio, na aba Camada do Qgis e conforme a Figura 5. Depois, foram executados novamente as funções Área de Contribuição D8 e Definição de limiar para fluxo canalizado, no entanto, agora indicando o *shapefile* criado como exutório no campo Outlets Shapefile.

A locação do ponto depende da posição de interesse do exutório. O *shapefile* de ponto criado precisa ser editado para possuir uma geometria determinada. Para tal, foi preciso utilizar a ferramenta de edição de feições e local o ponto na região onde estava designado o exutório. A edição do shape é realizada pela função Alternar Edição na aba Camada (mesma aba utilizada para criar o *shapefile*). Com a ferramenta Adicionar Feição o exutório foi locado. O processo é finalizado com a função Salvar Edições da Camada. A Figura 6 indica o local do exutório.

Os rasters formados já apresentam a geometria da bacia do Rio Santo Antônio como apresentam as Figuras 7 e 8.

Figura 5 – Criação do Shapefile como Ponto

Figura 8 – Rede de Drenagem da Bacia.

Último passo foi a delimitação da bacia. Nesta etapa foi utilizada a função Alcance e fluxo de Bacias Hidrográficas, gerando o raster que representa a BH. Após a realização dessas etapas

restou transformar em polígonos o raster vetorizado da BH. O Figura 9 apresenta a BH do Rio Santo Antônio poligonizada.

Figura 9 – Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio.

Características Morfométricas da Bacia

Morfometria é o estudo matemático das formas de determinado objeto e segundo Teodoro et al. (2007, p. 137) “é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional”. Segundo Tonello (2005), as características morfométricas podem ser divididas em: características geométricas, características do relevo e características da rede de drenagem. A Tabela 1 apresenta as características sob a divisão sugerida por Tonello.

A análise morfométrica da bacia foi desenvolvida com base nas características geométricas, de relevo e nas características dos canais de drenagem. Foram determinados na caracterização geométrica a área e o perímetro da bacia, bem como seu coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (IC), a densidade hidrográfica (Dh) e extensão da bacia.

Tabela 1 – Características geométricas.

Área total	Fator de forma (F)
Perímetro total	Índice de circularidade (IC)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Padrão de drenagem

Características do relevo

Orientação	Altitude mínima
Declividade mínima	Altitude média
Declividade média	Altitude máxima
Declividade máxima	Declividade média do curso d'água principal

Características da rede de drenagem

Comprimento do curso d'água principal	Densidade de drenagem (Dd)
Comprimento total dos cursos d'água	Ordem dos cursos de água

Fonte: Adaptado de Tonello (2005).

Quando esses índices são calculados matematicamente permitem a obtenção de conclusões relevantes sobre a bacia. Carvalho e Silva (2006, p. 20) expressam as formulações para obtenção desses índices:

Coeficiente de compacidade (Kc):

$$Kc = \frac{P_{BH}}{P_C} \text{ ou } Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad Eq. 1$$

Equação 1 P_{BH} é o perímetro da bacia e P_C é o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia; ou ainda P é o perímetro da bacia e A é a área da bacia. O Kc é sempre um valor maior que 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o Kc , mais circular é a bacia, menor o Tc e maior a tendência de haver picos de enchente.

Fator de forma (Kf):

$$Kf = \frac{\bar{L}}{L} \text{ ou } Kf = \frac{A}{L^2} \quad Eq. 2$$

Onde, para a Equação 2, $\bar{L}$ é largura média da bacia e L é o comprimento do eixo da bacia. Ou ainda a razão entre a área da bacia e o comprimento do eixo da bacia. Quanto menor o Kf , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o Tc é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.

Resultados e discussão

Características Morfométricas da Bacia

As características morfométricas da Bacia do Rio Santo Antônio são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características Geométricas da Bacia.

Área total (Km²)	3.137,41
Perímetro total (Km)	499,48
Coeficiente de compacidade (Kc)	2,49
Fator de forma (F)	0,31
Índice de circularidade (IC)	0,16
Padrão de drenagem	Dentrítica

O Kc é sempre um valor maior que 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o Kc , mais circular é a bacia, menor o Tc e maior a tendência de haver picos de enchente. Quanto menor o Kf , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o Tc é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia. E por fim o c , os valores entorno de 0,51 representam um nível

moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas, os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento. Os valores que a BH do Rio Santo Antônio apresenta mostram que essa bacia tem formato mais alongado, distanciando-se da área de um círculo e, por conseguinte, apresentando um baixo potencial para ocorrência de inundações.

Características Morfométricas do Relevo

As características relacionadas ao relevo são de suma importância uma vez que o relevo está diretamente ligado as características de drenagem e escoamento. Segundo Carvalho e Silva (2006) o estudo do escoamento superficial talvez seja para o engenheiro a mais importante das fases do ciclo hidrológico, justamente, por tratar da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, uma vez que a maior parte dos estudos hidrológicos envolvam o aproveitamento da água superficial e a proteção quantos os efeitos gerados pelo deslocamento da água.

A Figura 10 apresenta a altimetria Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio e a Figura 11

apresenta as declividades da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio. Por meio desses mapas apresentados percebe-se que a bacia em sua grande maioria é plana com declividades variando de 0 a 3,6 %. E que nas regiões com maior declividade os valores variam de 5 a 15%. As características de relevo da Bacia do Rio Santo Antônio são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do Relevo.

Altitude máxima (m)	381,00
Altitude mínima (m)	231,00
Amplitude Altimétrica	150,00
Declividade	0 a 45%
Relação de Relevo	1,10

A Relação de Relevo é um parâmetro que envolve a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal e estabelece a relação entre a diferença de altitudes máxima e mínima na bacia e o comprimento total do canal principal (Lana; Alves; Castro, 2001).

Figura 10 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Santo Antônio.

Figura 11 – Declividades Bacia do Rio Santo Antônio.

O valor encontrado indica que a BH possui um relevo relativamente suave.

Características da Drenagem

A hierarquia fluvial é processo de classificar os cursos d'água da rede total de drenagem de uma bacia hidrográfica. Esse processo tem a finalidade de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas. Quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior é a fragilidade da paisagem, pois os mesmos indicam maior dissecação do relevo, que pode ser provocada por controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos (Vilela Filho; Vitte, 2005).

Para quantificar as características relacionadas a drenagem da bacia houve a necessidade de determinar: o comprimento do canal principal (Rio Santo Antônio), e o comprimento total dos canais. Em posse desses dois valores é possível obter a densidade de drenagem da Bacia. O QGIS fornece uma tabela de atributos contendo o comprimento de cada um dos trechos que compõem a drenagem da BH.

A Tabela 4 apresenta os valores associados a drenagem da Bacia do Rio Santo Antônio.

Tabela 4 – Características de Drenagem.

Comprimento de Todos os Canais (Km)	2.182,25
Comprimento do Canal Principal (Km)	136,00
Ordenação do Córrego	6 ^a
Densidade de Drenagem (Km/Km²)	0,69
Densidade Hidrográfica (nº canais/Km²)	0,53

A Densidade Hidrográfica relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Em outras palavras, expressa a magnitude da rede hidrográfica. Já a Densidade de Drenagem é o índice que relaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia de drenagem. Essa variável se relaciona diretamente com os processos que influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica (Lana; Alves; Castro, 2001). A Figura 12 apresenta a hierarquização fluvial da rede de drenagem da bacia do Rio Santo Antônio.

Figura 12 – Hierarquização Fluvial da Rede de Drenagem da Bacia.

A Tabela 5 apresenta os intervalos que comumente classificam as bacias com relação a sua densidade de drenagem.

Tabela 5 – Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de bacias.

Dh (*N1/km ²)	Denominação
< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito alta

***N1 = Comprimento dos rios de primeira ordem conforme Strahler**

Fonte: Adaptado de Lollo, 1995.

A Tabela 6, por sua vez, apresenta os intervalos que comumente classificam as bacias com relação a extensão dos seus cursos d'água.

Tabela 6 – Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.

Dd (km/km ²)	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01 – 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994).

Os valores apresentados indicam que a BH do Rio Santo Antônio possui capacidade mediana de gerar novos cursos d'água, um escoamento superficial razoavelmente baixo e uma pequena dissecação associada.

Além disso, foi possível analisar que 50% dos canais fluviais são de primeira ordem; 23,3% de segunda ordem; 14,3% de terceira ordem; 5,0% de quarta ordem; e 4,1% e 3,3% são canais de quinta e sexta ordem respectivamente.

Uma consideração interessante a se fazer com relação aos canais fluviais é a sua perenidade. De acordo com Marcuzzo e Goularte (2013) no Tocantins o ano hidrológico apresenta uma sazonalidade bem definida caracterizada por dois períodos: o período seco e o chuvoso primeiro mês chuvoso após um período seco. Onde o úmido tem duração maior, de sete meses, de outubro a abril. E o, de cinco meses, se estendendo de maio a setembro. Além, disso, durante o período chuvoso no estado precipita aproximadamente, 90% de todo volume do ano hidrológico de Tocantins.

Essa consideração muito importante uma vez que a bacia do Rio Santo Antônio possui uma rede de drenagem pouco densa. Nota-se a necessidade de desenvolver políticas de proteção e manutenção da bacia para assegurar a vazão ecológica nos meses de estiagem.

Conclusão

Com relação ao TauDEM pode-se concluir que é muito eficiente com ferramenta para delimitação automática de Bacias e a fácil disponibilidade dos arquivos de entrada associadas a didática e idioma em Português, tornam o programa também relativamente fácil de se utilizar e bastante intuitivo.

O tempo total utilizado para o procedimento de delimitação da BH neste trabalho levou em torno de 36 minutos, a soma de todas as outras operações não agregou mais de 2 horas ao processo inteiro. Ou seja, toda a parte de execução de ferramentas e programa exigiram pouco mais de duas horas. Além disso, todos os arquivos utilizados na composição do projeto são de domínio público.

A bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio possui formato mais alongado, o que indica baixo potencial para ocorrência de inundações, por não haver concentração de deflúvio, e como o valor do fator de forma é baixo (0,31) essa bacia possui poucas chances de inundar durante os eventos de pico de cheia. Além disso, seu relevo é suave e com declividades, que em sua maioria, variam entre 0 a 3,6 % o que classifica o relevo plano ou suavemente ondulado o que prejudica um pouco o escoamento.

Com relação à rede de drenagem da bacia detectou-se uma capacidade mediana para o surgimento de novos cursos d'água, associada a um escoamento superficial razoavelmente baixo, muito por conta de suas características, mais planas.

Registrou-se ainda que nos 3.137,41 km² da bacia do Rio Santo Antônio a distribuição do relevo varia numa amplitude de 150 m, com conta máxima de 381 m e mínima de 231 m. e que 50% dos seus canais fluviais sejam de 1ª ordem, o que explica suas baixas densidades de drenagem, uma vez que esses canais por se tratarem de nascentes, apresentam volumes de água relativamente baixos.

Agradecimentos

A Deus pela dádiva da força e do conhecimento, e a professora Roberta Mara de Oliveira Vergara da Universidade Federal do Tocantins, pela disponibilidade no assessoramento do desenvolvimento da pesquisa.

Referências

Barrella, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho; H. F. (Ed.). 2001. Matas ciliares:

conservação e recuperação, 2.ed., Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Brasil. Agência Nacional de Águas. Tocantins formaliza participação de comitês de bacias no PROCOMITÊS. Disponível em: < <http://www3.ana.gov.br/porta/ANA/noticias/tocantins-formaliza-participacao-de-comites-de-bacias-no-procomites> >. Acesso em: 05 mar. 2018.

Beltrame, A. V. 1994. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação, UFSC, Florianópolis.

Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. M. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. Revista Árvore 30, 241-248.

Carvalho, D. F. de; Silva, L. D. B. Apostila de Hidrologia. 2006. Disponível em: < <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf> >. Acesso em: 10 out. 2017.

Christofolletti, A., 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica 18, 35-64.

Kobiyama, M.; Checchia, T.; Silva, R.V. 2005, Princípios de Hidrologia e Hidráulica, UFSC/CTC/ENS, Florianópolis. (Apostila para Curso de Especialização em gestão de Recursos Hídricos).

Lana, C. E.; Alves, J. M. de P.; Castro, P. T. A., 2001. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. Revista Escola de Minas, Ouro Preto 54, 121-126.

Lima, W. P. 1986. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas, ESALQ, Piracicaba.

Lollo, J. A., 1995. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Marcuzzo, F.; Goularte, E., 2013. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. Revista Brasileira de Geografia Física 6, 91-99. Disponível: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Art_Marcuzzo_ano.pdf. Acesso: 10 ago. 2017.

Marinho Filho, G. M. et al., 2012. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. Revista de Ciências Ambientais 6, 35- 47. Disponível:

- <http://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/268>. Acesso: 23 ago. 2017.
- Mello, A. C., 2006. Análise da cidadania enquanto poder na implementação do comitê de bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, sul do Estado do Tocantins. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Ambiente.
- Pires, J. S. R.; Santos, J. E. dos; Del Prette, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: Schiavetti, A., Camargo, A. F. M. 2002, Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações, Editus, Ilhéus.
- Santos, A. M. et al., 2012. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. *Ambi-Agua* 7, 195-211. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a16.pdf>. Acesso: 3 jul. 2017.
- Santos, L. L., 2009. Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2, 1-19. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/50/58>. Acesso: 15 ago. 2017.
- Silva, B. S. G., 2004. Delimitação automática de bacias usando o programa TAUDM/MAPWINDO. Nota Técnica – Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE, São José dos Campos.
- Sobrinho, T. A. et al., 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Eng. Agríc., Jaboticabal* 30, 46-57. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1.pdf>. Acesso: 15 ago. 2017.
- Souza, J.O.P.; Almeida, J.D.M., 2014. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. *Boletim de Geografia* 32, 134-149. Disponível: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/20470>. Acesso: 10 ago. 2017.
- Souza, R. M.; Formiga, K. T. M.; Veiga, A. M. Caracterização morfométrica e delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia – GO a partir de dados do SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais... Foz do Iguaçu: INPE*, 2013. p. 5880-5887.
- Souza, V. C. B.; Moraes, L. R. S.; Borja, P. C., 2013. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* 1, 162-175.
- Teodoro, V. L. I. et al., 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Uniara* 20, 136-155. Disponível: http://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf. Acesso: 4 jul. 2017.
- Tonello, K. C., 2005. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Tese (Doutorado em Ciências Florestal). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- Tonello, K. C. et al., 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. *Revista Árvore* 30, 849-857. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>. Acesso: 22 ago. 2017.
- Tucci, C. E. M.; Mendes, C. A. 2006, Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, SQA, Brasília.
- Vilela Filho, L. R.; Vitte, A. C. A utilização de técnicas morfométricas do relevo aplicadas na determinação da fragilidade ambiental: o caso da bacia do córrego Proença, município de Campinas (SP). In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10., 2005, São Paulo. *Anais... São Paulo: USP*, 2005. p. 16272-16284.