



INDICADORES MORFOMÉTRICOS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COTIA (SP)

MORPHOMETRIC INDICATORS AS A MANAGEMENT INSTRUMENT FOR THE COTIA RIVER WATERSHED (SP)

Bruno Pereira Toniolo¹; Renan Angrizani de Oliveira¹; Roberto Wagner Lourenço¹;
Darllan Collins da Cunha e Silva¹

Artigo recebido em: 18/02/2021 e aceito para publicação em: 26/03/2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v21i2.12442>

Resumo: Frente às questões que envolvem gerenciamento e escassez de recursos hídricos, este trabalho tem como objetivo caracterizar a morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC) – São Paulo (SP). Para tal fim, foram empregadas técnicas geotecnológicas e o modelo digital de elevação (MDE) Alos-Palsar para a determinação de parâmetros morfométricos e extração de drenagem, baseando-se em cinco áreas de contribuição. Os resultados apontaram que a bacia apresenta um formato alongado e com cursos d'água de até 6ª ordem. A BHRC apresenta alta densidade de drenagem, predominância de relevo com inclinação ondulada (8 a 20%) e redes de drenagem do tipo dendrítica. O Rio Cotia tem uma extensão de 35,7 km e a bacia tem uma área de 251,37 km² e um perímetro de 141,97 km. Os parâmetros de fator de forma (0,20), índice de circularidade (0,16), coeficiente de compacidade (2,51) e índice de sinuosidade (1,00) exibiram que a bacia tende a ter alto escoamento superficial e baixa probabilidade de enchentes. Portanto, os indicadores morfométricos podem ser usados em estudos comparativos entre bacias hidrográficas, além de identificar zonas mais adequadas para determinados usos de ocupação do solo, evitando-se impactos negativos e auxiliando, desta forma, na implementação de modelos de gestão ambiental.

Palavras-chave: Morfometria. Geotecnologia. Gestão Hídrica. Bacia Hidrográfica.

Abstract: Given the issues that involve management and scarcity of water resources, this work aims to make the morphometric characterization of the Cotia River Watershed (CRW) - São Paulo (SP). For this purpose, geotechnological techniques and the digital elevation model (MDE) Alos-Palsar were used to determine morphometric parameters and drainage extraction, based on five contribution areas. The results showed that the watershed has an elongated shape and with watercourses of up to 6th order. CRW has a high drainage density, a predominance of relief with an undulating slope (8 to 20%), and dendritic drainage networks. The Cotia River is 35.7 km long and the basin has an area of 251.37 km² and a perimeter of 141.97 km. The parameters of form factor (0.20), circularity index (0.16), compactness coefficient (2.51), and sinuosity index (1.00) showed that the watershed tends to have high surface runoff and low flood probability. Therefore, morphometric indicators can be used in comparative studies between watersheds and identify the most suitable areas for certain land-use types, avoiding negative impacts and assisting in this way, the implementation of environmental management models.

Keywords: Morphometry. Geotechnology. Water Management. Watershed.

1 INTRODUÇÃO

¹ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. E-mails: bruperton.cad@gmail.com, renan_angrizani@hotmail.com, roberto.lourenco@unesp.br, darllan.collins@unesp.br

Os recursos naturais e o sistema físico estão em constante modificação devido às atividades antrópicas e à evolução natural, e estas mudanças podem impactar de forma negativa na sociedade e no meio ambiente (TONELLO *et al.*, 2006). Desta forma, a análise integrada de dados espaciais pode contribuir de forma significativa na identificação dos diferentes tipos de degradação resultante dessas modificações em uma bacia hidrográfica (SIMONETTI *et al.*, 2019).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental é uma ferramenta estratégica, aceita por pesquisadores do mundo todo, uma vez que é baseada na compreensão da dinâmica ambiental e regional, buscando de forma preventiva diminuir os problemas socioambientais e propor ações de conservação da biodiversidade (OLIVEIRA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2016).

A morfometria é a análise matemática das formações físicas da superfície de uma bacia hidrográfica, expressa em parâmetros normalmente agrupados em três conjuntos: os que mostram as propriedades geométricas, os que mostram as propriedades do relevo e os que apontam as características hidrográficas (SILVEIRA, 2005; TEODORO *et al.*, 2007).

A rede de drenagem de uma bacia é formada pelo curso d'água primário (talvegue) e por seus afluentes que podem ser efêmeros, intermitentes ou perenes (CARDOSO *et al.*, 2006). O padrão de drenagem está relacionado à classe pedológica e à geologia da área de estudo, sendo influenciados por diversos fatores como resistência litológica variável, diferenças clinográficas, cobertura vegetal e geomorfologia do local. Os padrões de drenagem mais comuns são: dendrítico, anelar, paralelo e radial (ELESBON *et al.*, 2011).

A morfometria permite o reconhecimento da dinâmica fluvial de uma bacia, assim como as associações entre os seus meios físico e biótico (SILVEIRA, 2005). Os parâmetros morfométricos pressupõem a prevenção de ocorrências hidrometeorológicas, como estiagens e enchentes, assim ratificando sua aplicação em cenários rurais e urbanos, contribuindo na prevenção da degradação ambiental (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR; RAPOSO, 2010).

Neste contexto, os parâmetros morfométricos podem ser usados como indicadores ambientais, os quais servem como instrumento de planejamento na gestão dos espaços urbanos e rurais das bacias para melhor aproveitamento dos recursos naturais e, especialmente, funcionando como forma de prevenção contra degradação do meio ambiente e melhor relação entre o meio antrópico e o meio físico-biótico (RODRIGUES; NEVES; NEVES, 2014).

As técnicas de geotecnologias, quando associadas à morfometria, auxiliam no gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica, oferecendo maior rapidez no processamento de dados e diminuição de custos quando comparados às visitas de campo (COLIADO; SIMONETTI; SILVA, 2020). Possuem caráter multidisciplinar, sendo utilizável em recursos hídricos, cadastro municipal e rural, análise biológica, obras de saneamento básico, obras de engenharia, educação, agronegócio, geração e transmissão de energia elétrica e, na análise morfométrica de bacias hidrográficas (TONIOLO; SILVA; LOURENÇO, 2020).

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em caracterizar morfometricamente a Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (SP) com o auxílio de técnicas de geoprocessamento visando gerar informações relevantes para sua gestão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

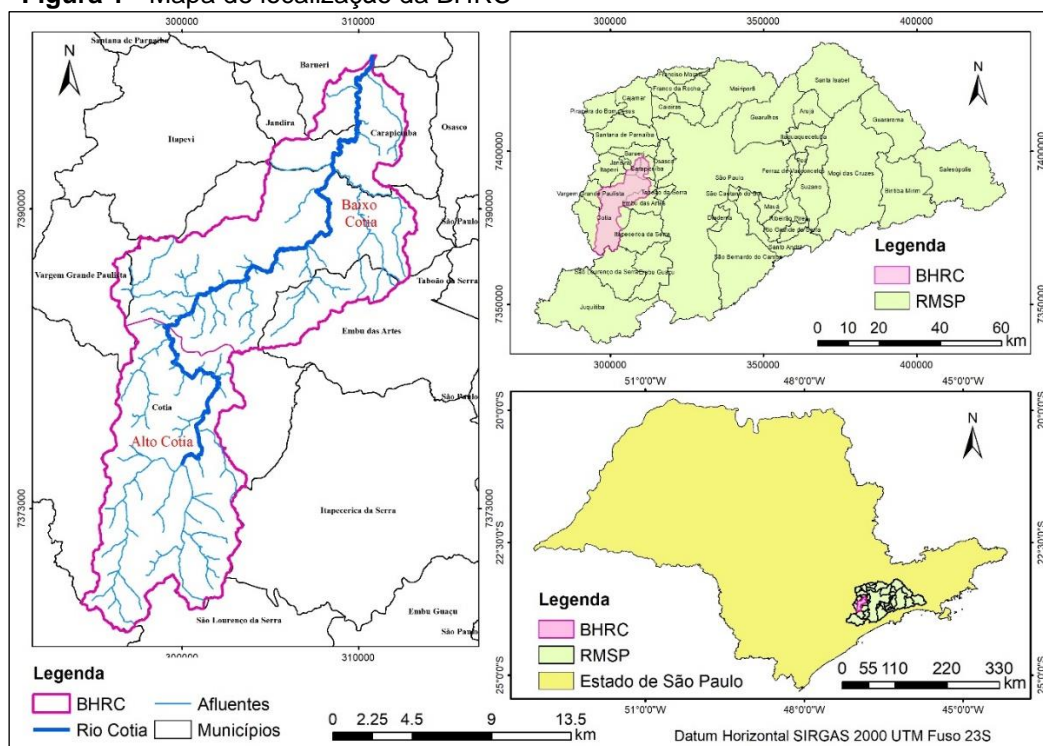
2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), a qual está localizada na face oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Figura 1). A BHRC está distribuída entre os municípios de Barueri (2,80%), Carapicuíba (6,92%), Cotia (79,32%), Embu das Artes (7,01%), Jandira (2,81%) e Vargem Grande Paulista (1,15%). A bacia é dividida em duas zonas administrativas com propriedades ambientais distintas: Baixo Cotia e Alto Cotia (SABESP, 2019).

O Baixo Cotia apresenta uma paisagem fortemente urbanizada, com cursos d'água contaminados e assoreados, provenientes de ocupação desordenada, ausência de serviço de saneamento básico e acentuada atividade industrial, comprometendo a qualidade da água tratada (SÃO PAULO, 2007).

Segundo Metzger *et al.* (2006), o Alto Cotia sofre baixa pressão antrópica por ter a Reserva Florestal do Morro Grande (RFMG) que é um dos maiores remanescentes florestais do Planalto Atlântico Paulista, contudo a região já conviveu com forte desmatamento para a expansão da malha urbana e agricultura, e antigamente para exploração de carvão e lenha. Na RFMG estão situadas as nascentes do Rio Cotia, as Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça, e desde 1916 o Sistema Produtor do Alto Cotia, operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que fornece água para mais de 600 mil moradores da RMSP (SABESP, 2019).

Figura 1 - Mapa de localização da BHRC



Fonte: São Paulo (2007); SABESP (2019).

Conforme a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2020), a população residente da BHRC era de cerca de 500 mil habitantes para o ano de 2019, 450 mil habitantes para o ano de 2011 e 400 mil habitantes para o ano de 2002, apresentando uma taxa de crescimento populacional aproximada de 12% para os dois períodos.

A BHRC situa-se num clima subtropical úmido denominado Cwa, com verões quentes e invernos secos, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, sendo que a temperatura média no inverno é de 16°C, enquanto no verão a temperatura média é de 22°C. A precipitação pluviométrica média anual da BHRC apresenta variação de 1380 a 1730 mm, com maior intensidade à montante da bacia (DAEE, 2020).

A vegetação da área de estudo é composta majoritariamente por cobertura de florestas ombrófila densa e mesófila semi-decidual, sendo identificadas 73 famílias de plantas como por exemplo Asteraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Melastomataceae e Rubiaceae; e referente à fauna foram encontradas 82 espécies de répteis, 77 espécies de aves e 5 espécies de pequenos mamíferos (SÃO PAULO, 2007).

E ainda, a bacia é cortada pela Rodovia Raposo Tavares (SP-270) ao norte e próximo do exutório da bacia está localizada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri no Rio Tietê, próxima da Rodovia Castelo Branco (SP-280).

2.2 Procedimento metodológico

O modelo digital de elevação (MDE) foi usado como base para determinação dos seguintes componentes físicos da BHRC: mapa de declividade e hipsométrico, parâmetros morfométricos, perfil longitudinal do Rio Cotia e rede de drenagem da bacia (MOORE, *et al.*, 1993; TEODORO *et al.*, 2007). Para elaborar o MDE da bacia hidrográfica foi escolhido as imagens do satélite *Alos-Palsar*, cuja resolução espacial é de 12,5 m, data base de fevereiro de 2011, órbita nº 61 e ponto 6.700 (ASF, 2019).

A carta de declividade foi gerada pela ferramenta *Slope* do *Spatial Analyst Tools* do *software* ArcMap 10.5 reclassificada conforme as classes de declividade da EMBRAPA e SNLCS (1979) e apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de declividade.

Classe (%)	Relevo
< 3	Plano
3 a 8	Suavemente ondulado
8 a 20	Ondulado
20 a 45	Fortemente ondulado
45 a 75	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA e SNLCS (1979).

A carta hipsométrica foi reagrupada pelo método de quebras naturais (*jenks*), o qual segundo Girardi (2008), reduz a variância intraclasse e aumenta a variância interclasse, melhorando a precisão do agrupamento dos dados.

Os valores geométricos como extensão, área e quantidade foram extraídos do programa ArcGIS e tabulados na planilha eletrônica do Excel, para o cálculo dos parâmetros morfométricos, conforme as equações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição e fórmula dos parâmetros morfométricos

Parâmetros	Equação	Descrição	Definição
Índice de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times P/\sqrt{A}$	P = perímetro (km) A = área da bacia (km ²)	Compara a forma da bacia a um círculo, sendo que quanto mais circular, maior a

Parâmetros	Equação	Descrição	Definição
Fator de forma (F)	$F = A/L^2$	A = área da bacia (km ²) L = comprimento da bacia (km)	probabilidade de enchentes (CARDOSO <i>et al.</i> , 2006). Relacionada o comprimento axial e a largura média. Quanto maior este índice mais larga é a bacia e mais vulnerável a enchentes. (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2007).
Índice de circularidade (Ic)	$IC = 12,57 \times A/P^2$	A = área da bacia (km ²) P = perímetro da bacia (km)	Afeta na composição do hidrograma de vazão na foz do rio principal (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2007).
Densidade da drenagem (Dd)	$Dd = \sum L/A$	L = comprimento dos canais (km) A = área da bacia (km ²)	Aponta o nível de consistência da rede de drenagem (CARDOSO <i>et al.</i> , 2006).
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = n/A$	n = número de canais A = área da bacia (km ²)	Mostra a quantidade de corpos de água pela área da bacia (TEODORO <i>et al.</i> , 2007).
Tempo de concentração (Tc)	$Tc = 57 \times \left(\frac{\sum L^3}{Ah}\right)^{0,385}$	L = comprimento do rio principal (km) Ah = variação da altura (m)	Tempo preciso para que toda bacia seja escoada (SILVEIRA, 2005).
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = \sum L/dv$	L = comprimento dos canais (km) dv = distância vetorial entre os pontos extremos do rio principal (km)	Mostra a relação entre o comprimento do canal principal e o comprimento de seus afluentes (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2007).
Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = Hm \times Dd$	Hm = amplitude altimétrica (m) Dd = densidade de drenagem	Altos valores apontam elevada transmissividade hidráulica (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR; RAPOSO, 2010).
Amplitude altimétrica (Hm)	$Hm = A. Máx. - A. Mín.$	A. Máx. = maior altitude da bacia (m) A. Mín. = menor altitude da bacia (m)	Mostra a diferença entre as altitudes da bacia (TEODORO <i>et al.</i> , 2007).
Declividade do rio principal	$D = \frac{A. Máx. - A. Mín.}{L} \times 100$	A. Máx. = maior altitude do rio principal (m) A. Mín. = menor altitude do rio principal (m) L = comprimento do rio (m)	Altera a vazão de escoamento de um rio (ELESBON <i>et al.</i> , 2011).
Declividade da bacia	$D = \frac{A. Máx. - A. Mín.}{L} \times 100$	A. Máx. = maior altitude da bacia (m) A. Mín. = menor altitude da bacia (m) L = comprimento do rio (m)	Altera a velocidade do escoamento superficial, influenciando na capacidade de retenção de água a ser subterrânea no solo (ELESBON <i>et al.</i> , 2011).

Fonte: Adaptado de Silveira (2005).

O perfil longitudinal do Rio Cotia foi adaptado de Sousa-Silva e Oliveira (2009), compartimentado com relação às unidades geológicas (ALMEIDA *et al.*, 1981), pedológicas

(ROSSI, 2017) e postos de monitoramento do Índice de Qualidade da Água (IQA) ao curso d'água principal, de maior ordem hídrica, que no caso é o Rio Cotia. O perfil foi feito no *software* AutoCAD Civil 3D 2016 com o auxílio da *lisp Quick Profile*.

A extração da rede de drenagem foi feita pelo *software* ArcGIS 10.5, a partir da delimitação de cinco áreas de contribuição (AC) em função de postos de monitoramento da qualidade da água presentes na bacia (CETESB, 2019). As ACs, por sua vez, foram delimitadas a partir do MDE pelo comando *Flow Accumulation* do *Spatial Analyst Tools*. Os cursos d'água extraídos foram ordenados pela proposta de Strahler (1989) e retificados por similaridade visual com a hidrografia obtida em escala 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 1979).

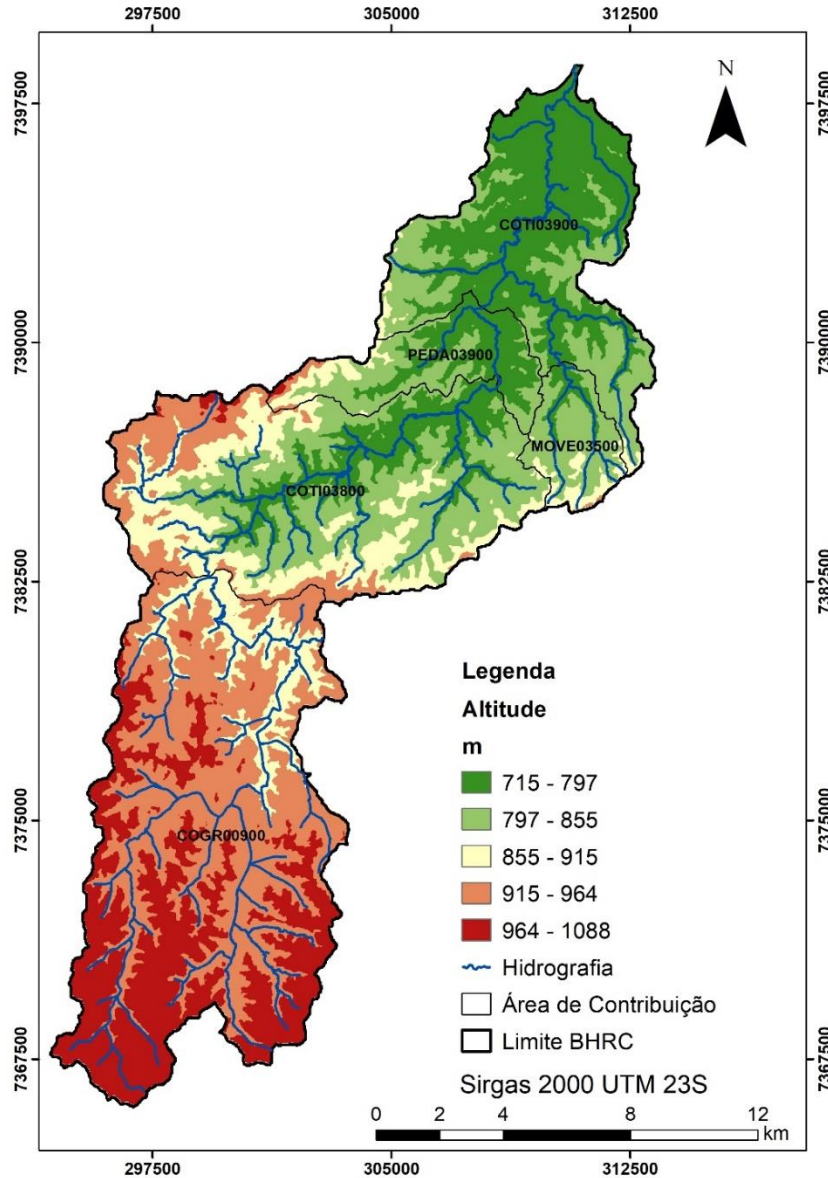
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipsometria se associa diretamente com os valores de índice de rugosidade (I_r), que segundo Sousa e Rodrigues (2012), se classificam como “muito forte” para a BHRC e entre “média” a “forte” para suas áreas de contribuições. Segundo Barros, Magalhães Júnior e Raposo (2010), quanto maior a densidade de drenagem (D_d), maior será a o I_r caracterizando comprimentos de rampa menores com maiores declividades, a realçar o escoamento superficial e os processos erosivos.

A amplitude altimétrica é a diferença entre a foz do rio e a maior altitude situada na bacia hidrográfica. A Figura 2 mostra o mapa hipsométrico da BHRC com suas ACs e hidrografia de rios perenes vetorizados das cartas topográficas do IGC (1979), apontando uma altitude mínima de 715 m e uma altitude máxima de 1088 m, resultando numa amplitude altimétrica de 373 m e uma altitude média de 901,5 m com um desvio padrão de 39,9 m.

Analisando a Figura 2, a amplitude topográfica de 373 m evidencia uma forte probabilidade de acontecer mudanças climáticas na BHRC, uma vez que, segundo Teodoro *et al.* (2007), em cotas elevadas a temperatura é menor que em cotas mais baixas, devido ao diminuto montante de energia que é usado para evaporar a água; já em altitudes baixas, quase toda a energia retida é aplicada na evaporação ou transpiração. Também se observa que a BHRC aponta propriedades litologicamente avançadas, acentuada pelo formato das regiões com altitude menor e por consequência com menor declividade, devido aos processos erosivos.

Figura 2 - Mapa hipsométrico da BHRC



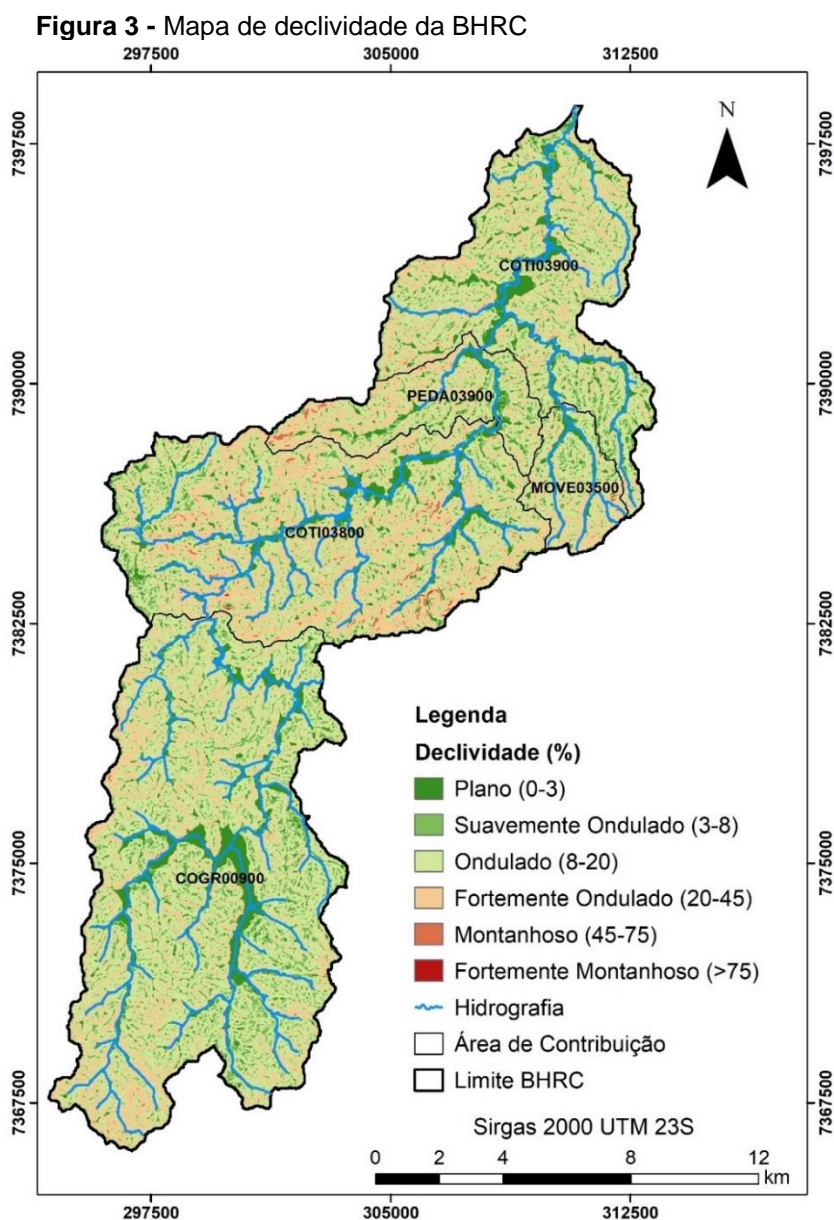
Fonte: Autoria própria.

A área de contribuição COGR00900 é a região que possui as altitudes mais elevadas, a receber maior quantidade de precipitação, implicando assim numa concentração pluviométrica que supre o abastecimento tanto das águas subterrâneas como das águas superficiais (Represa Pedro Beicht), as quais são responsáveis pela nascente do Rio Cotia e seus principais afluentes (SÃO PAULO, 2007).

Segundo Andrade, Ferreira e Silva (2014), o mapa hipsométrico pode auxiliar no gerenciamento ambiental de uma bacia hidrográfica quando associado aos mapas de declividade e uso e ocupação do solo, possibilitando uma análise integrada das delimitações das áreas com maior risco de inundação que estão ocupadas irregularmente, assim como propor planejamento de ações mitigadoras. Para Rodrigues, Neves e Neves (2014), a associação das áreas naturais, a declividade do relevo e as propriedades físicas

do solo, facilitam o manejo correto de bacias hidrográficas e, também, de pequenas propriedades agrícolas como citado por Meira, Sabonaro e Silva (2016).

O mapa de declividade derivado do MDE é apresentado na Figura 3, classificado conforme EMBRAPA e SNLCS (1979), podendo ser observado, que as declividades da ordem de 0 a 3% (planas) predominam ao longo do Rio Cotia e seus afluentes, assim como nos principais espelhos de água: as represas Pedro Beicht e Cachoeira das Graças, dentro da AC COGR00900. A classe do tipo ondulado é predominante visualmente no mapa (8 a 20%).



Fonte: Autoria própria.

A BHRC apresentou uma declividade mínima de 0% e uma declividade máxima de 110% aproximadamente, sendo que a declividade média é em torno de 16%, classificada como relevo ondulado segundo EMBRAPA e SNLCS (1979) e com um desvio padrão de

9,75%. A AC COTI003900 apresentou uma declividade média de 15,25%, classificada também como relevo ondulado e com um desvio padrão de 8,30%. Já a AC PEDA03900 possui uma declividade média de 17,30%, também com relevo ondulado, e com 10,31% de desvio padrão. Enquanto, a AC MOVE03500 se enquadrou igualmente como relevo ondulado, apresentando uma declividade média de 16,37% e um desvio padrão de 9,36%. A AC COTI03800 também possui um relevo intitulado como ondulado, uma declividade média 18,39% e um desvio padrão de 10,59%. Finalmente, a AC COGR00900, equivalente à Reserva do Morro Grande, também é categorizada como relevo ondulado, uma declividade média de 14,64% e um desvio padrão de 7,78%.

De acordo com Tonello *et al.* (2006), no que se refere à declividade média, sabe-se que esta possui uma associação direta com a umidade do solo, com o deflúvio e com a infiltração, o que caracteriza a área de estudo como uma bacia que possui um escoamento superficial de alta velocidade, uma vez que quanto mais acentuada é a inclinação do relevo, maior será a oscilação das vazões instantâneas.

São apresentados na Tabela 3 as áreas das classes de declividade tanto para a área de estudo como para as suas compartimentações.

Tabela 3 - Classes de declividade por área

Classe (%)	Relevo	Área (km ²)					
		COTI 03900	PEDA 03900	MOVE 03500	COTI 03800	COGR 00900	BHRC
< 3	Plano	6,52	1,88	1,12	8,43	12,91	30,86
3 a 8	Suavemente ondulado	8,59	2,78	1,78	10,65	19,62	43,42
8 a 20	Ondulado	21,89	6,92	4,47	29,08	52,23	114,59
20 a 45	Fortemente ondulado	10,33	4,79	2,66	23,91	19,16	60,85
45 a 75	Montanhoso	0,06	0,19	0,06	0,91	0,11	1,33
> 75	Fortemente montanhoso	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01

Fonte: Autoria própria.

Enquanto, na Tabela 4 são apresentadas as frequências das classes de declividade tanto para a área de estudo como para as suas compartimentações.

Tabela 4 - Classes de declividade por frequência.

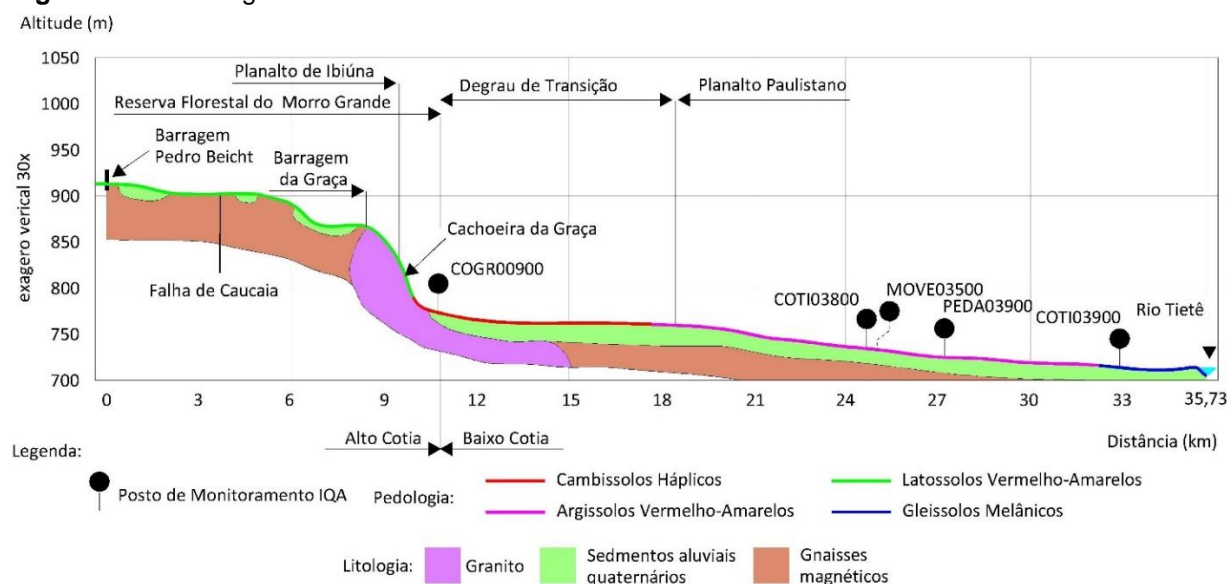
Classe (%)	Relevo	Frequência (%)					
		COTI 03900	PEDA 03900	MOVE 03500	COTI 03800	COGR 00900	BHRC
< 3	Plano	13,75	11,36	11,11	11,55	12,41	12,30
3 a 8	Suavemente ondulado	18,13	16,79	17,64	14,59	18,86	17,32
8 a 20	Ondulado	46,19	41,80	44,32	39,83	50,21	46,63
20 a 45	Fortemente ondulado	21,80	28,91	26,36	32,76	18,42	24,21
45 a 75	Montanhoso	0,13	1,14	0,57	1,25	0,10	0,53
> 75	Fortemente montanhoso	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que o relevo do tipo fortemente montanhoso é desprezível para a BHRC, sendo que apenas a AC COTI03800 apresenta este tipo de classificação (Tabela 3), uma vez que sua área é cerca de 1 hectare, enquanto, a declividade predominante está entre 8 a 45% para todas as áreas de contribuições (Tabelas 3 e 4).

A declividade principal do Rio Cotia é de 0,54%, sendo possível visualizar o perfil topográfico-geológico do Rio Cotia (Figura 4), indicando que a declividade máxima se encontra na Cachoeira da Graça entre as altitudes 866,3 m e 775,9 m com um valor de 4,5%.

Figura 4 - Perfil longitudinal do Rio Cotia



Fonte: Adaptado de Sousa-Silva e Oliveira (2009).

O perfil de elevação do Rio Cotia (Figura 4) ratifica que, embora a composição

geológica, o tipo do solo e a altitude influenciem na erosão e no condicionamento da gênese, a declividade é o fator determinante, uma vez que quanto mais íngreme for a encosta, mais intenso será o escoamento superficial, como por exemplo a Cachoeira da Graça (TONELLO *et al.*, 2006; TONIOLO; SILVA; LOURENÇO, 2020).

O trecho considerado mais plano é o degrau de transição que se inicia próximo ao posto de monitoramento COGR00900 até o início da unidade geomorfológica denominada Planalto Paulistano: este degrau tem uma extensão de 7,7 km, com altitude a montante de 773,1 m e a jusante de 759,4 m, uma inclinação média de 0,17%.

Uma alta velocidade do deflúvio diminui a probabilidade de enchentes e um escoamento veloz acarreta a perda de solo, tornando passíveis à erosão laminar as regiões que não são impermeabilizadas ou possuem o solo desnudo como, por exemplo a AC COTI03800 (RODRIGUES; NEVES; NEVES, 2014).

Segundo Sousa-Silva e Oliveira (2009), a Cachoeira da Graça poderia ter o ponto de captura fluvial do Rio Cotia deslocado em função da erosão diferencial, já que nesta região acontece a colagem entre dois estratos geológicos diferentes (granitos e gnaisses magnéticos) conforme verificado na Figura 4.

A nascente do Rio Cotia advém da Represa Pedro Beicht, local com altitude aproximada de 912 m e sua foz desemboca no Rio Tietê numa altitude em torno de 715 m, com amplitude altimétrica de aproximadamente 197 m.

Segundo Cardoso *et al.* (2006), o conhecimento da declividade de uma bacia hidrográfica é vital para seu planejamento ambiental, uma vez que subsidia a compreensão da dinâmica entre as ocorrências de enchentes e precipitação, mapeamento das áreas de preservação permanente (APPs), potencial de erosão e aptidão do solo para agricultura. Desta forma, a inclinação do relevo e a cobertura vegetal são variáveis fundamentais para tomada de decisão acerca da gestão dos recursos hídricos de uma bacia, uma vez que áreas mais íngremes e de solo desnudo tendem a se degradar mais rapidamente (SILVA *et al.*, 2017).

Ainda, analisando a Figura 4, observa-se as altitudes dos postos de monitoramento, as quais são: 713,6 m para COTI03900, 724,7 m para PEDA03900, 733,1 m para MOVE03500, 734,8 m para COTI03800 e 773,1 m para COGR00900.

Nota-se que as áreas de contribuição (ACs) possuem distinções físicas entre si, como a densidade de drenagem, quantidade de canais, declividade, precipitação e cobertura vegetal. Estas diferenças podem causar efeitos diversos à paisagem quando associadas ao uso e ocupação do solo como, por exemplo, áreas mais íngremes sobre um

solo impermeabilizado aumentam o deflúvio, o qual por sua vez produz e transporta mais sedimentos, contribuindo com processos erosivos, assoreamento e poluição nos córregos, sendo estas informações importantíssimas para a tomada de decisão quanto a ocupação e uso do solo por gestores públicos (SILVA et al., 2016; SIMONETTI *et al.*, 2019).

O Rio Cotia, cuja ordem hídrica é de sexta ordem segundo classificação de Strahler (1989), apresenta um comprimento de 35,74 km no sentido sudoeste até o exutório. Ressalta-se que o algoritmo utilizado do *software* ArcMap 10.5 para extração de drenagem não faz a diferenciação se os córregos são perenes ou intermitentes.

A rede de drenagem, após ser extraída do fluxo acumulado, precisou ser retificada (edição manual) devido à presença das seguintes incongruências: geração de canais em locais com drenagem inexistente fisicamente, geração de excesso de canais em áreas planas e ocorrência de drenagem retilínea e paralela também em regiões planas, conforme processo realizado por Morais e Sales (2016). A Figura 5 mostra o mapa da rede de drenagem da BHRC extraída de forma automática e as áreas de contribuição (AC).

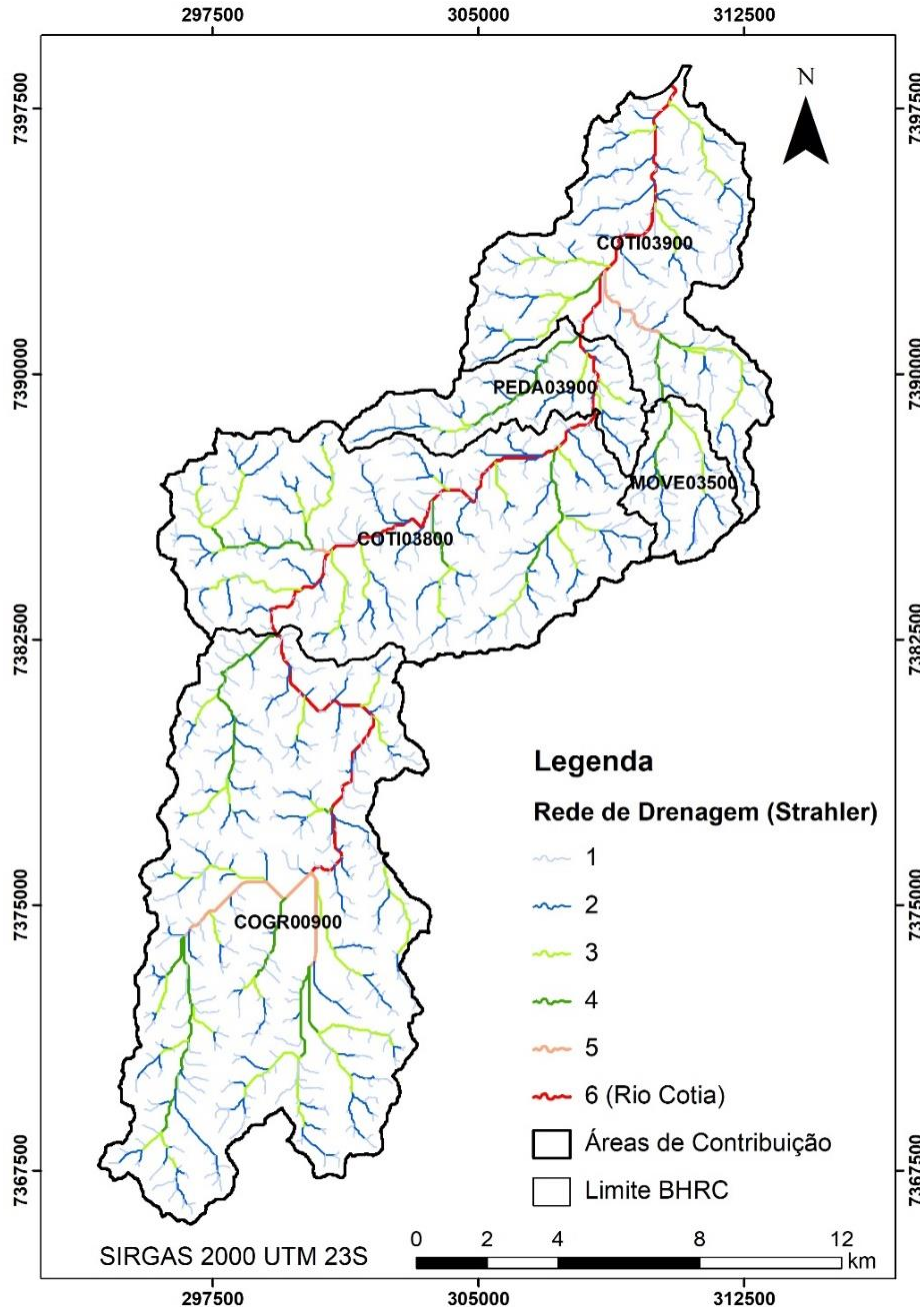
A correspondência gráfica do fluxo acumulado com uma hidrografia de referência diminui a subjetividade do método empírico para se encontrar o limiar ideal, sendo que o limite do fluxo acumulado é inversamente proporcional a densidade de drenagem de uma bacia. Segundo Sousa (2016) a comparação visual fornece resultados aceitáveis quando baseada em parâmetros morfométricos e imagens de alta resolução.

Todos os pontos de monitoramento ficaram exatamente na foz de suas respectivas áreas de contribuição, exceto a AC COTI03900, pois foi agrupada a área que compreende a jusante do posto COTI03900 até o exutório da BHRC com uma área de 12,93 km². Esta escolha foi feita devido à ausência de um posto de monitoramento bem no exutório da Bacia Hidrográfica do Rio Cotia e pelo posto COTI03900 ser o mais próximo, com uma distância aproximada de 2,7 km. Segundo o Fomento Estadual de Saneamento Básico (FESB, 1971), havia um posto de monitoramento a 200 m da foz da BHRC que media os parâmetros de DBO, OD, temperatura e pH, porém ele foi desativado em janeiro de 1971.

Analisando a Figura 5, o total de canais de drenagem é de 1.895 unidades, sendo que a soma do comprimento destes canais é de aproximadamente 652 km. Os cursos d'água de primeira ordem apresentam 319,6 km de extensão, os rios de segunda ordem apresentam 158,6 km de extensão, os canais de terceira ordem apresentam 84,8 km de comprimento, os rios de quarta ordem apresentam 42,2 km de comprimento e os canais de quinta ordem apresentam uma dimensão de 10,9 km. Foram identificadas também 1024

nascentes / olhos d'água para a BHRC, sendo 190 na AC COTI03900, 68 na AC PEDA03900, 44 na AC MOVE03500, 304 na AC COTI03800 e 418 na AC COGR00900.

Figura 5 - Mapa da rede de drenagem



Fonte: Autoria própria.

Quanto às classes do CONAMA, 40,3% da rede de drenagem pertence a Classe I e está dentro AC COGR00900, e 59,7% pertencem à Classe III, distribuída nas demais ACs. Quanto ao Rio Cotia, aproximadamente 29% de sua extensão pertence à Classe 1 e 71% à Classe 3.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros morfométricos divididos por posto de monitoramento e da bacia hidrográfica como um todo, sendo que os valores foram obtidos a partir da extração da rede drenagem.

Tabela 5 - Parâmetros morfométricos

Características Morfométricas	Un.	COTI 03900	PEDA 03900	MOVE 03500	COTI 03800	COGR 00900	BHRC
Área da bacia (A)	km ²	47,50	16,56	10,09	73,06	104,16	251,37
Perímetro (P)	km	55,38	28,66	16,52	51,01	72,35	141,97
Comprimento do Rio Principal	km	8,84	2,62	2,91	13,83	10,45	35,74
Comprimento dos Cursos de Água	km	127,09	42,57	27,80	191,42	262,97	651,86
Quantidade de Cursos de Água	-	356	126	86	562	765	1.895
Comprimento da Bacia (L)	km	12,90	7,50	4,80	12,90	16,90	35,70
Padrão de Drenagem	-	dendrítica					
Ordem Hídrica (Strahler)	-	6	5	4	6	6	6
Altitude mínima	m	715,00	751,00	769,00	758,00	877,00	715,00
Altitude média	m	812,00	879,00	852,00	887,00	982,50	901,50
Altitude máxima	m	909,00	1007,00	935,00	1016,00	1088,00	1.088,00
Amplitude Altimétrica (Hm)	m	194,00	256,00	166,00	258,00	211,00	373,00
Declividade do Rio Principal	%	0,32	0,34	0,55	0,93	0,47	0,57
Declividade da Bacia	%	2,20	9,77	5,70	1,87	2,02	1,04
Declividade Máxima da Bacia (Dv Máx.)	%	66,45	77,85	77,15	110,0	93,12	47,84
Declividade Mínima da Bacia (Dv Mín.)	%	0,75	0,28	0,00	0,65	0,00	0,00
Densidade de Drenagem (Dd)	km/km ²	2,68	2,57	2,75	2,62	2,52	2,59
Densidade Hidrográfica (Dh)	canais/km ²	7,50	7,61	8,52	7,69	7,38	7,55
Índice de Compacidade (Kc)	-	2,25	1,97	1,46	1,67	1,98	2,51
Fator de Forma (F)	-	0,29	0,29	0,44	0,44	0,36	0,20
Índice de Sinuosidade (Is)	-	0,68	0,35	0,09	1,07	0,62	1,00
Índice de Rugosidade (Ir)	-	519,11	658,02	457,30	675,94	532,71	967,26
Índice de Circularidade (Ic)	-	0,19	0,25	0,46	0,35	0,25	0,16
Tempo de Concentração (Tc)	min	92,89	20,50	3,03	139,67	109,15	362,74

Fonte: Autoria própria.

Os valores distintos observados na Tabela 5 demonstram a necessidade de compartimentação de uma bacia hidrográfica para expor as diferenças físicas locais e, por conseguinte, auxiliar a gestão ambiental da bacia hidrográfica de forma compartimentada.

A densidade de drenagem (D_d) obtida para BHRC foi de 2,59 km/km² o que indica que a bacia tem uma drenagem muito boa (CARDOSO *et al.*, 2006), valendo igualmente para as todas as compartimentações, de forma que o sistema de drenagem é bem desenvolvido.

A densidade hidrográfica (D_h) é um índice que expressa o número de rios por quilômetro quadrado de região hidrológica, sendo que para a BHRC o valor encontrado foi de 7,55 canais/km² associados entre si e com capacidade de drenar a água superficial da bacia. A BHRC aponta uma condensação relativamente constante da rede de drenagem, devido aos valores próximos de D_h entre si às ACs, exceto a AC MOVE03500 com um valor de 8,52 canais/km², a qual se constitui de uma área mais densa em quantidade de canais em relação à bacia como um todo. Esta peculiaridade justifica, novamente, a necessidade de compartimentação da bacia em estudo.

O índice de compacidade (K_c) tanto para a bacia como para as ACs é maior que 1, logo possuem baixa susceptibilidade à ocorrência de inundação segundo Silveira (2005), devido ao seu formato geométrico tendendo mais ao elíptico e menos circular.

O fator de forma (F) também tanto para a bacia como para as ACs é menor que 1, o que indica que por este indicador morfométrico a bacia tende a ter um formato mais alongado e menor probabilidade de ocorrência de enchente, segundo Oliveira *et al.*, (2007), uma vez que em uma bacia estreita, os afluentes tendem a atingir o curso de água principal em vários pontos ao mesmo tempo evitando o acúmulo, sendo o inverso do que acontece em bacias circulares.

O índice de circularidade (I_c) obtido para a BHRC e suas ACs apresentou valores menores que 0,51. Segundo Silveira (2005) estes valores indicam bacias com um formato mais alongado e pouco susceptíveis a enchentes, sob condição normal de chuva.

O tempo de concentração (T_c) para a BHRC foi de 6,05 horas, ressaltando a baixa possibilidade de enchentes, segundo Oliveira *et al.* (2007). Entretanto, os valores se mostraram diferentes às ACs, com um valor médio do T_c de 1,22 horas, especialmente para a MOVE03500 com um T_c de apenas três minutos aproximadamente, uma vez que esta AC teve o talvegue computado como muito curto ($L = 430$ m).

Entretanto, baseado em Silveira (2005), deve-se escolher cuidadosamente a equação do T_c , pois existem muitas fórmulas disponíveis na literatura que levam em considerações outras variáveis além do comprimento do canal principal e da amplitude altimétrica como, por exemplo, área da bacia, coeficiente de impermeabilização, CN (*Curve Number*), declividade e coeficiente de rugosidade. Estas fórmulas levam em consideração

critérios como uso predominante do solo (rural ou urbano), tamanho máximo, clima, morfologia etc.

O índice de sinuosidade (Is) encontrado para a BHRC foi de 1,00 e para as compartimentações o valor variou de 0,09 a 1,07; onde valores abaixo de 1 indicam canais de drenagem retilíneos e pouco tortuosos, os quais evitam a tendência do aporte de sedimentos.

A bacia hidrográfica do Rio Cotia é classificada como de ordem hídrica 6, assim como suas ACs, exceto a PEDAO3900 que possui ordem 4 e a MOVE03500 que possui ordem 5. A área (A) da BHRC corresponde à 251,37 km², enquanto a AC menor é a MOVE03500 e a maior é a AC COGR00900, correspondente à Reserva do Morro Grande.

Os cursos d'água de primeira ordem da BHRC são, na maioria, do tipo intermitente (IGC 1979), os quais indicam a necessidade de preservação de suas nascentes e implantações de medidas de proteção ambiental que não modifiquem seu trajeto, uma vez que a rede de drenagem é muito vulnerável a variações hidrológicas ocasionadas por ação antrópica (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR; RAPOSO, 2010).

O padrão de drenagem tanto para a BHRC como para suas compartimentações é do tipo dendrítica, que manifesta forma arborescente, apresentando similaridade com a configuração de uma árvore, onde os afluentes do rio principal se espalham com ângulo agudos em direções e graduações, diversas, raramente mostrando um ângulo reto. Quando se tem a presença de ângulos retos no padrão dendrítico, geralmente se intitula como anomalias relacionadas a falhas geológicas ou fenômenos tectônicos (SILVEIRA, 2005).

A BHRC pode ser considerada como de média complexidade quanto à proposta de um modelo de ordenamento territorial, uma vez que, segundo Tonello *et al.* (2006), redes de drenagem que possuem ordenamento fluvial igual ou inferior a quatro são frequentes em bacias hidrográficas pequenas e que estas, por sua vez, refletem de forma direta em sua qualidade ambiental os efeitos deletérios do uso e ocupação do solo e, portanto, essas informações devem ser levadas em consideração quando se trata da gestão ambiental de bacias hidrográficas.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho apontam que o geoprocessamento se apresenta como um instrumento de vital importância à análise de informações espaciais do

meio físico de uma bacia hidrográfica, sendo que os mapas confeccionados se mostraram eficientes na caracterização das variáveis de relevo e drenagem da BHRC.

A BHRC possui um formato alongado, apontando uma vulnerabilidade baixa de inundações em condições regulares de precipitação anual. A bacia apresenta um relevo predominantemente ondulado, isto é, declividade de 8 a 20%, uma amplitude altimétrica elevada, drenagem caracterizada como alta, e sistema drenante desenvolvido. Estes fatores intensificam diretamente o escoamento superficial, retardando os processos erosivos mais críticos, como as voçorocas.

A rede de drenagem da BHRC apresenta um padrão dendrítico e denso, relativamente sinuoso, formada por cursos d'água e afluentes reduzidos, os quais são alvo de lançamento clandestino de esgoto doméstico e efluentes industriais. Neste contexto, são necessários estudos de uso e cobertura da terra nesta bacia, com o objetivo de relacionar os padrões de ocupação com os parâmetros limnológicos da qualidade da água na BHRC.

Como produto, servirá como um instrumento norteador de políticas públicas eficientes, de maneira a reduzir os impactos ambientais, adotando-se medidas de controle junto à comunidade local. De forma geral, os parâmetros morfométricos são essenciais para se interpretar o comportamento socioambiental de uma bacia hidrográfica, já que ajudam na tomada de decisão, quando associados às geotecnologias e modelos de gestão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 41, p. 1-16, 2014. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24n41p1>

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2 ed., n. 1184, 1981.

ASF. Alaska Satellite Facility. **Vertex is the Alaska Satellite Facility's data portal for remotely sensed imagery of the Earth**, 2019. NASA. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 26 jul. 2019.

BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; RAPOSO, A. A. Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Geografias**, v. 6, n. 2, p. 102-117, 2010.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo dos anos de 2002 a 2018**. São Paulo, CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 27 jun. 2019.

COLIADO, P. H. S.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Avaliação das características físicas da bacia hidrográfica do rio Pariquera-Açu no Baixo Ribeira de Iguape (SP). **Holos Environment**, v. 20, n. 3, p. 320-334, 2020. <https://doi.org/10.14295/holos.v20i3.12386>

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Hidrologia – Banco de Dados Hidrológicos**, 2020. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 fev. 2020.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, I. C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 281-288, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000300005>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; SNLCS. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), 1979. 83p.

FESB. Fomento Estadual de Saneamento Básico. **Relatório Convênio COMASP/FESB – Bacia do rio Cotia**. São Paulo: FESB 1971. 41 p.

GIRARDI, E. P. **Proposição teórico-metodológica de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira**. 2008. 347 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.

IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico. **Carta topográfica**. Serviço Gráfico do IGC, Escala 1:10.000. São Paulo, 1979.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 77-84, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100133687>

METZGER, J. P.; ALVES, L. F.; GOULART, W.; TEIXEIRA, A. M. G.; SIMÕES, S. J. C.; CATHARINO, E. L. M. Uma área de relevante interesse biológico, porém pouco conhecida: a Reserva Florestal do Morro Grande. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000200003>

MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**. v. 57, n. 2, p. 443-452, 1993. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020026x>

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1849-1860, 2016. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v9.6.p1849-1860>

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente

corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 3-21, 2007.
<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v8i1.82>

RODRIGUES, L. C.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Avaliação do Grau de Transformação Antrópica da Paisagem da Bacia do Rio Queima-Pé, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 32, p. 52-64, 2014.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, v. 1, 2017. 118p.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Servidor do Cadastro Oeste. **Mapas temáticos da Unidade Oeste – MO Sabesp**. São Paulo, 2019. 10 mapas: 118,9 x 84,1 cm. Escala: 1:20.000.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório nº 88 219-205 – Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Rio Cotia: Caracterização Regional**, 2007. Disponível em: <http://pdpa.cobrape.com.br/Arquivos/Pdpas/PDPA-Cotia.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos Municípios Paulistas**, 2020. Disponível em: <https://perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R.W. Metodologia para Análise do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, p. 455-466, 2017. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n50p455>

SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Caracterização morfométrica e suas implicações no acúmulo de sedimentos em reservatórios: o caso da represa Hedberg, Iperó/SP. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, p. 225-245, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v36i0.42324>

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 01, p. 5-23, 2005.

SIMONETTI, V. C.; FRASCARELI, D.; GONTIJO, E. S. J.; MELO, D. S.; FRIESE, K.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, v. 17, p. 1-34, 2019. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1672706>

SOUSA-SILVA, K. S.; OLIVEIRA, D. Mapeamento de anomalias de drenagem: indícios de controle litológico e estrutural na bacia hidrográfica do Cotia, em Cotia – SP, Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 1, n. 2, p. 76-83, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v1i2.13973>

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, v. 11, n. 25, p. 141-151, 2012. <http://dx.doi.org/10.4215/RM2012.1125.0011>

SOUSA, T. M. I. **Avaliação da qualidade em redes de drenagem processadas a partir de modelos digitais de elevação**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2016.

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

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.
<https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas Guanhões - MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p.849-857, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>

TONIOLO, B. P.; SILVA, D.C.C.; LOURENÇO, R. W. Uso de Geotecnologias para Delimitação de Susceptibilidade Erosiva na Unidade de Negócio Oeste SABESP. **Periódico Técnico Científico Cidades Verdes**, São Paulo, v. 8, n. 17, p. 76-90, 2020.
<http://dx.doi.org/10.17271/2317860481720202309>