

COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO COCO COMO SUBSÍDIO A ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

*morphometric compartmentation of the Coco River basin as subsidy
to analysis of environmental fragility*

Rejane Freitas Benevides Almeida *

Maximiliano Bayer **

Laerte Guimarães Ferreira Júnior ***

Resumo

O presente estudo teve como objetivo realizar a compartimentação morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Coco. Para tanto, foi realizada a digitalização manual da hidrografia na escala 1:5.000 no ArcGis 10.1 a partir de imagens do satélite RapidEye, sendo utilizada a metodologia proposta por Strahler (1952) para a hierarquização da rede de drenagem. A compartimentação da bacia foi realizada no ArcGis 10.1 com base em análises da drenagem na paisagem (hidrografia e relevo). Foram definidos 05 compartimentos (sub-bacias), sendo: Sub-bacia do Ribeirão Prata, Sub-bacia do Ribeirão Piedade, Sub-bacia do Ribeirão Surubim, Sub-bacia do Alto Rio Coco e Sub-bacia do Baixo Rio Coco, para os quais foram aplicados parâmetros morfométricos, conforme as metodologias descritas por Horton (1945), Christofolletti (1969) e Strahler (1952). A partir da análise realizada pode-se observar que as sub-bacias do Alto Rio Coco e Ribeirão Piedade foram os compartimentos que apresentaram maiores fragilidades naturais em relação aos demais compartimentos, haja vista os resultados verificados na análise morfométrica realizada, sugerindo uma atenção especial às mesmas em relação ao uso e ocupação do solo.

Palavras-chave: Compartimentação morfométrica; Fragilidade ambiental; Bacia do Rio Coco.

Abstract

This study had as its object realizes the morphometric compartmentation of the Coco River basin. For this, it was performed the manual digitization of the drainage at scale 1:5,000 from RapidEye satellite images using ArcGIS 10.1, being used the methodology proposed by Strahler (1952) for the hierarchy of the drainage. The compartmentalization the basin it was performed in ArcGis 10.1 based on drainage analysis in the landscape (hydrograph and relief). Were defined 05 compartments (sub-basins), being: Sub-basin the Ribeirão Prata, Sub-basin the Ribeirão Piedade, Sub-basin the Ribeirão Surubim, Sub-basin the High Coco River and Sub-basin the Low Coco River, in which were applied morphometric parameters, according the methodologies described by Horton (1945), Christofolletti (1969) and Strahler (1952). From the analysis performed can be observed that the sub-basins the High Coco River and Ribeirão Piedade were the compartments that showed largest natural fragility in relation the other compartments, considering the results obtained in the morphometric analysis, suggesting a special attention to them in relation the use and occupation of soil.

Key words: Morphometric compartmentation; Environmental fragility; Coco River Basin.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la compartimentación morfométrica de la Cuenca Hidrográfica del Rio Coco. Para esto, fue realizada la digitalización manual de la red hidrográfica en escala 1:5.000 en ArcGis 10.1 a partir de imágenes do satélite RapidEye, siendo utilizada la metodología propuesta por Strahler (1952) para la jerarquización de la red de drenaje. La compartimentación de la cuenca fue realizada en el programa ArcGis 10.1 con base en el análisis del drenaje y el paisaje (hidrografía e relieve). Fueron definidos 05 compartimientos (sub-cuencas), siendo: Sub-cuenca del Ribeirão Prata, Sub-cuenca del Ribeirão Piedade, Sub-cuenca del Ribeirão Surubim, Sub-cuenca del Alto Rio Coco y Sub-cuenca del Bajo Rio Coco, para los cuales fueron aplicados parámetros morfométricos, conforme las metodologías descriptas en los trabajos de Horton (1945), Christofolletti (1969) y Strahler (1952). A partir del análisis realizado se puede observar que las sub-cuencas del Alto Rio Coco y del Ribeirão Piedade fueron los compartimientos que presentaron mayores fragilidades naturales en relación a las demás sub-cuencas, situación verificada con los resultados del análisis morfométrico realizado, requiriendo por tanto una atención especial en relación al uso y ocupación del suelo.

Palabras claves: Compartimentación morfométrica; Fragilidad ambiental; Cuenca hidrográfica del Río Coco.

(*) Doutoranda da Universidade Federal de Goiás - Povoado Santana, Setor Industrial, CEP: 77600000, Paraíso do Tocantins (TO), Brasil. Tel: (+ 55 63) 33617002 – nanebenevides@yahoo.com.br

(**) Prof. Dr. da Universidade Federal de Goiás - Campus II Samambaia, CEP: 74001970, Goiânia (GO), Brasil. Tel: (+55 62) 35211184 – maxibayer@yahoo.com.ar

(***) Prof. Dr. da Universidade Federal de Goiás - Campus Samambaia, CEP: 74001970, Goiânia (GO), Brasil. Tel: (+55 62) 35211360 – laerte@ufg.br

INTRODUÇÃO

A morfometria de bacias hidrográficas é entendida como uma análise quantitativa dos elementos resultantes do modelado do relevo (expressão e configuração espacial) (SALLES, 2010, p. 05). Para Soares e Souza (2012, p. 20), este tipo de análise possibilita a identificação de características gerais importantes em uma bacia, principalmente, quando se analisa a relação das características geomorfológicas associadas ao relevo e à rede de drenagem.

As pesquisas em bacias hidrográficas facilitam o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem (RODRIGUES, PISSARRA e CAMPUS, 2008, p. 311), sendo a sua delimitação um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais (ARAÚJO, TELES e LAGO, 2009, p. 4631). Assim, a análise morfométrica tem um papel importante em estudos envolvendo bacias, uma vez que possibilita uma avaliação sistemática dos aspectos físicos de uma bacia e um melhor entendimento da dinâmica dos recursos (FREIRE, LAGE e CHRISTÓFARO, 2013, p. 5443).

Segundo Nunes, Ribeiro e Fiori (2006, p. 01), o estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. Barbosa e Furrier (2012, p. 112) discorrem que a caracterização morfológica e morfométrica de uma área permitem conhecer os potenciais naturais existentes nela, facilitando a identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem.

A análise morfométrica tem uma relação estreita com a geografia, uma vez que permite compreender, através de um conjunto de parâmetros morfométricos, os quais relacionam um rol de características geográficas, a dinâmica da bacia como um todo, inclusive de seus diferentes compartimentos e, conseqüentemente a sua fragilidade natural.

Identificar a fragilidade ambiental de uma bacia significa avaliar, primeiramente através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos relevantes do ambiente em estudo, e posteriores cruzamentos destes, a intensidade com que este ambiente pode ser explorado sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio, levando em consideração as limitações a ele impostas através das componentes naturais e antrópicas (GHEZZI, 2003, p. 02).

É importante frisar que essa avaliação torna-se importante, uma vez que permite avaliar a vulnerabilidade natural de uma bacia, o que segundo Souza (2005, p. 52) corresponde ao grau de probabilidade que os atributos naturais têm em condicionar, induzir ou acelerar a ocorrência de um determinado perigo. O autor avalia a suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem como a parcela de responsabilidade do comportamento geométrico das bacias no desencadeamento de problemas, como: inundações, erosões, deslizamentos, entre outros.

Ghezzi (2003, p. 08) salienta que através do estudo da fragilidade pode ser identificada a vulnerabilidade de um ambiente a algum tipo de uso ou ocupação, quer por decorrência de sua exploração, quer por fatores naturais próprios. Seu estudo tem por objetivo observar como um ambiente, que naturalmente pode apresentar graus de fragilidade, se comporta ou pode vir a se comportar com o advento da interferência antrópica.

Portanto, a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica 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 (TEODORO et al., 2007, p. 137).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a análise e a compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental, na busca de um entendimento mais abrangente de como os processos naturais poderão ser influenciados pelos usos e ocupações impostos na área de estudo.

ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na Bacia do Rio Coco. Esta está localizada na margem direita da Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia, no estado do Tocantins. A área da bacia é de aproximadamente 6.670 Km², subdivididos entre os municípios de Caseara, Marianópolis do Tocantins, Divinópolis do Tocantins, Monte Santo, Paraíso do Tocantins, Chapada de Areia, Pium e Barrolândia. O principal curso d'água desta bacia é o Rio Coco, este tem suas nascentes na Serra do Estrondo, possuindo uma extensão aproximada de 356 km.

MATERIAL E MÉTODOS

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi dividido em três etapas, sendo: obtenção de dados topográficos e hídricos; levantamento de parâmetros morfométricos; análise e compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco.

- **Etapa 1:** Obtenção de dados topográficos e hídricos

A aquisição dos atributos do relevo foi realizada a partir de dados do projeto Topodata, este oferece dados do Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborados a partir do SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle).

A rede de drenagem foi obtida através da digitalização manual na escala 1:5.000, utilizando o ArcGis 10.1, para as quais foram utilizadas imagens do satélite RapidEye (resolução 5 m), datadas de setembro de 2011. É importante mencionar que foram considerados como canais de drenagem todos aqueles perceptíveis nas imagens RapidEye que permitem o escoamento linear das águas, incluindo os de curso intermitente.

A metodologia utilizada para a hierarquização da rede de drenagem foi a proposta por Strahler (1952), onde os canais sem tributários, são considerados como de primeira ordem, dois canais de primeira ordem formam um canal de segunda ordem, dois canais de segunda ordem formam um de terceira ordem e, assim sucessivamente.

A partir dos atributos do relevo e rede de drenagem, foram realizados os cálculos de área, perímetro, comprimento da bacia, comprimento do rio principal, comprimento dos cursos d'água e número de canais no ArcGis 10.1.

- **Etapa 2:** Levantamento de parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos utilizados no presente trabalho foram: amplitude altimétrica (Hm), declividade do rio principal, declividade da bacia, densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), índice de compactidade (Kc), índice de conformação ou fator de forma (F), índice de sinuosidade (Is), índice de rugosidade (Ir), índice de circularidade da bacia (Ic), tempo de concentração (Tc), coeficiente de manutenção (Cm), gradiente de canais (Gc), relação de bifurcação (Rb) e relação entre o comprimento médio dos canais (Rl). Tais parâmetros seguiram as metodologias descritas por Horton (1945), Christofolletti (1969), Strahler (1952).

- **Etapa 3:** Análise e compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco

Nessa etapa foi realizada a análise morfométrica da bacia do Rio Coco como um todo, visando a compreensão da morfometria dessa unidade, sobretudo o entendimento da dinâmica da bacia, uma vez que a mesma pode apresentar formas, processos e evolução, diferenciada, através de compartimentos heterogêneos.

A identificação e definição dos compartimentos morfométricos existentes na bacia foi realizada com base em análises da configuração da rede de drenagem na paisagem (hidrografia e relevo). A



partir desta avaliação foram definidos 05 compartimentos (sub-bacias), sendo: Sub-bacia do Ribeirão Prata, Sub-bacia do Ribeirão Piedade, Sub-bacia do Ribeirão Surubim, Sub-bacia do Alto Rio Coco e Sub-bacia do Baixo Rio Coco.

Vale ressaltar que a região que envolve a planície da bacia foram excluídas da análise por se tratar de um ambiente bastante heterogêneo, os quais não se enquadram na análise dos parâmetros morfométricos definidos no presente estudo.

Com o intuito de identificar o comportamento de cada compartimento morfométrico em relação a sua fragilidade ambiental foram realizadas análises de cada compartimento a partir dos parâmetros morfométricos definidos na etapa 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MORFOMETRIA DA BACIA DO RIO DO COCO

Na Tabela 1 estão descritos os resultados morfométricos obtidos para a Bacia do Rio do Coco.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros morfométricos da Bacia do Rio do Coco

Características morfométricas	Resultados
Área de drenagem (A)	6.258,07 Km ²
Perímetro (P)	613,96 km
Comprimento do Rio Principal	355,3 Km
Comprimento dos Cursos d'água	7.533,31Km
Comprimento da Bacia	164,99 Km
Padrão de drenagem	Dentrítico
Ordem da bacia (Strahler)	7 ^o
Altitude mínima	142,96 m
Altitude média	233,54 m
Altitude máxima	697,18 m
Amplitude altimétrica (Hm)	554,22 m
Declividade do Rio Principal	0,97 m/Km
Declividade da Bacia	3,35 m/Km
Declividade máxima da bacia (Dv max)	73,91%
Declividade média da bacia (Dv méd.)	3,80%
Densidade de drenagem (Dd)	1,203 Km/Km ²
Densidade hidrográfica (Dh)	2,637 canais/Km ²
Índice de compacidade (Kc)	2,17
Índice de conformação ou fator de forma (F)	0,229
Índice de sinuosidade (Is)	2,37
Índice de rugosidade (Ir)	666,72
Índice de circularidade da bacia (Ic)	0,208
Tempo de concentração (Tc)	42 horas
Coefficiente de manutenção (Cm)	831,255 m/m ²

A bacia hidrográfica do Rio do Coco é classificada com de 7^o ordem, conforme a classificação de Strahler (1952). Esta possui uma área de 6.670 Km², porém, a área considerada para análise foi de 6.258,07 Km², uma vez que a área que compõem a planície sazonalmente alagada (região de lagos) não foi considerada para análise.

A densidade de drenagem observada foi de 1,203 Km/Km², indicando, que a bacia possui média capacidade de drenagem. No que diz respeito a densidade hidrográfica, o valor encontrado foi de

2,637 canais/km², ou seja, a cada quilômetro quadrado existe 2,637 canais, entretanto, observa-se que a bacia apresenta um adensamento variável da rede de drenagem, sendo constituída por regiões mais ricas em número de canais em relação a outras, justificando a necessidade de compartimentação da área em estudo.

Os valores observados para o índice de compacidade (2,17), fator de forma (0,229) e índice de circularidade (0,208) indicam que a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco não possui uma forma circular, correspondendo, portanto, a uma bacia de característica alongada, sendo, pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação. Além dessas características, o tempo de concentração encontrado foi considerado alto (41,8 horas), reforçando a baixa probabilidade de enchentes.

A sinuosidade observada para o Rio do Coco foi de 2,37, de acordo com Stipp et al. (2010, p. 122), valores acima de 2,0 de sinuosidade é característico de uma rede de drenagem sinuosa, podendo haver acúmulo de sedimentos ao longo do canal, o que pode ser agravado pela ação antrópica.

A declividade média da bacia foi de 3,8%, indicando a predominância de um relevo plano a suavemente ondulado e máxima de 73,91% (Figura 1), próximo a Serra do Estrondo (divisor de águas da bacia), relevo fortemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979). Convém mencionar que a Bacia do Rio do Coco é muito extensa, a qual possui um relevo heterogêneo em toda sua extensão, o que reforça a importância da compartimentação da mesma, com vistas a uma análise mais aprofundada.

Foi observado uma altitude mínima de 142,96 m e máxima de 697,18 m (Figura 1), resultando em uma amplitude altimétrica de 554,22 m. Esta tem uma relação direta com a rugosidade da bacia, a qual foi considerada forte ($I_r = 666,72$).

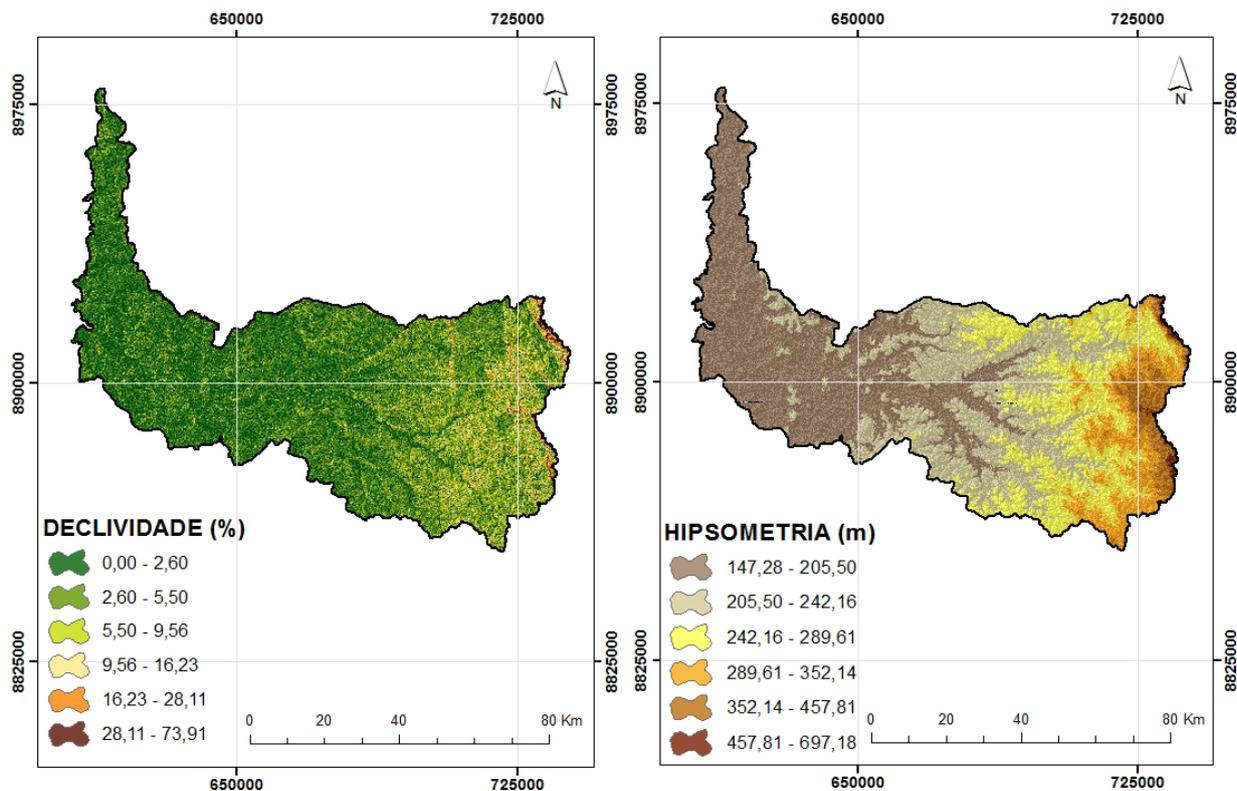


Figura 1 – Hipsometria e declividade da Bacia do Rio do Coco.

COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO DO COCO

A Bacia do Rio Coco foi subdividida em 5 compartimentos, sendo: Sub-bacia do Ribeirão Prata, Sub-bacia do Ribeirão Piedade, Sub-bacia do Ribeirão Surubim, Sub-bacia do Alto Rio do Coco e Sub-bacia do Baixo Rio do Coco, conforme Figura 2.



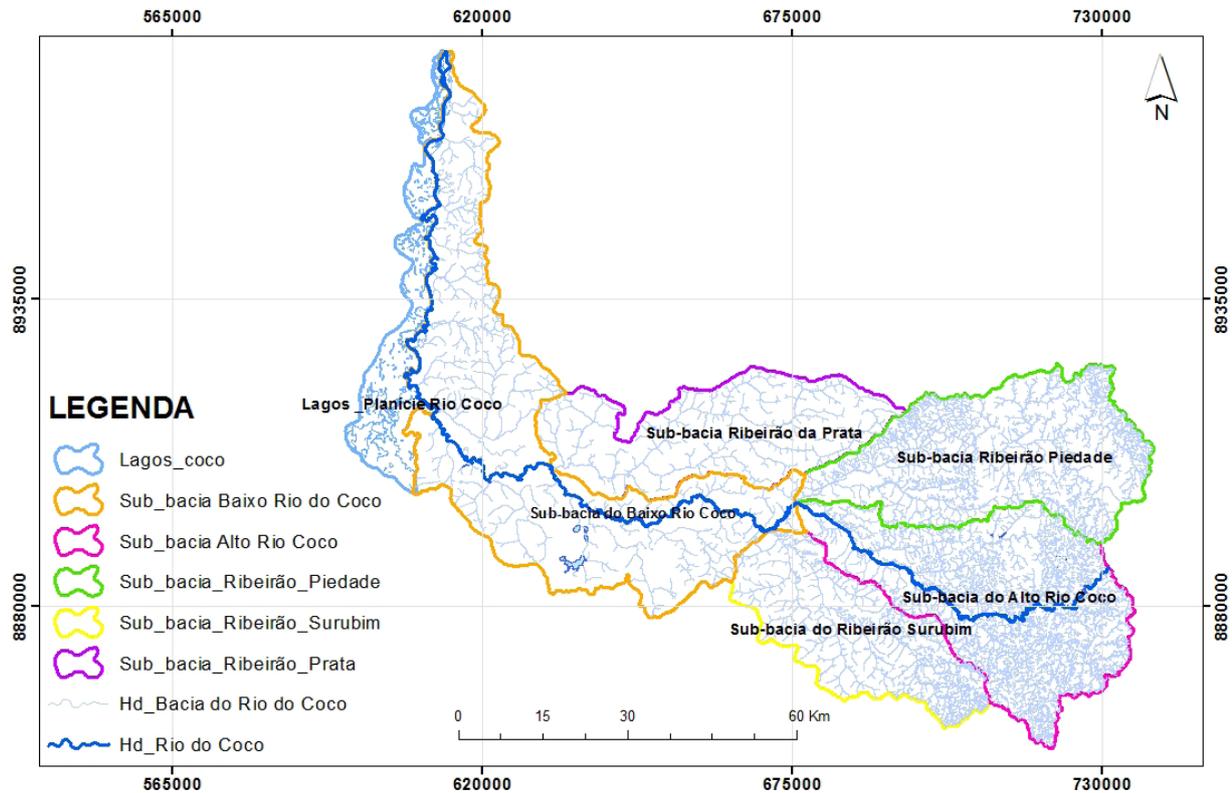


Figura 2 – Compartimentação morfométrica da Bacia do Rio do Coco.

A compartimentação morfométrica da Bacia do Rio do Coco possibilitou a identificação de características distintas ao longo de toda a bacia. Na Tabela 2 estão descritos os resultados obtidos para os parâmetros morfométricos avaliados nos compartimentos.

As sub-bacias avaliadas apresentaram um padrão de drenagem dendrítico, com valores de densidade de drenagem diversificados. De acordo com Villela e Mattos (1975, p. 245), a densidade de drenagem (Dd) pode variar de 0,5 km/km² para bacias com pouca drenagem a valores acima de 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas. Neste contexto, sub-bacias avaliadas podem ser agrupadas, quanto a sua drenagem, da seguinte forma: a) bem drenada – sub-bacia do Alto Rio Coco (2,104 Km/Km²); b) drenagem média – sub-bacias do Ribeirão Piedade (1,55 Km/Km²) e Ribeirão Surubim (1,321 Km/Km²) e c) drenagem pobre – sub-bacias do Ribeirão Prata (0,62 Km/Km²) e Baixo Rio Coco (0,636 Km/Km²).

A densidade hidrográfica relaciona o número de canais com a área total da bacia (ALMEIDA et al., 2013, p. 139), ou seja, indica o número de canais existentes a cada quilômetro quadrado. Como pode ser observado na Tabela 02, os valores variaram consideravelmente entre os compartimentos analisados, merecendo destaque a sub-bacia do Alto Rio do Coco com 6,725 canais/Km², e as sub-bacias do Baixo Rio do Coco com 0,411 canais/Km² e Ribeirão Prata com 0,49 canais/Km², indicando que a sub-bacia do Alto Rio do Coco possui maior capacidade de gerar novos canais em relação as demais sub-bacias avaliadas o que pode estar relacionado com as suas características pedológicas, geológicas e climáticas. Esses resultados concordam com os valores obtidos para a densidade de drenagem, apontando alta infiltração para as sub-bacias do Baixo Rio do Coco e Ribeirão Prata e elevado escoamento superficial para a sub-bacia do Alto Rio do Coco.

Em relação à forma das sub-bacias, todas exibiram forma alongada, podendo ser comprovado pelos valores obtidos para os índices de compacidade, circularidade e fator de forma, o que indica pouca susceptibilidade a enchentes em condições regulares de precipitação, merecendo destaque a sub-bacia do Baixo Rio do Coco, a qual apresentou o menor fator de forma (0,174) e índice de circularidade (0,157) e, conseqüentemente o valor mais elevado para o índice de compacidade

(2,50), confirmando que este compartimento é o mais alongado em relação aos demais, o que pode ser evidenciado na Figura 2 acima. De acordo com Cardoso et al. (2006, p. 244), nas bacias com forma circular há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros morfométricos para os compartimentos da Bacia do Rio do Coco

Características morfométricas	Unidade	Bacia Rib. Prata	Bacia Rib. Piedade	Bacia Rib. Surubim	Bacia Alto Rio do Coco	Bacia Baixo Rio do Coco
Área de drenagem (A)	Km ²	951,64	1203,05	777,97	1315,07	2.010,32
Perímetro (P)	Km	181,53	193,01	145,62	201,02	400,65
Comprimento do Rio Principal	Km	90,30	130,18	68,79	118,47	236,81
Comprimento dos Cursos d'água	Km	592,15	1.865,76	1.028,34	2.767,98	1.279,66
Comprimento da Bacia	Km	63,91	64,27	50,08	65,55	107,30
Padrão de drenagem	-	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico
Ordem da bacia (Strahler)	°	5°	6°	6°	6°	7°
Altitude mínima	m	168,27	185,89	182,47	186,47	142,96
Altitude média	m	212,3	275,12	232,53	282,11	187,61
Altitude máxima	m	288,3	697,18	361,60	679,19	247,22
Amplitude altimétrica (Hm)	m	120,03	511,29	179,13	492,72	104,26
Declividade do Rio Principal	m/Km	1,131	1,141	2,18	2,75	0,128
Declividade da Bacia	m/Km	1,878	7,95	3,57	7,516	0,97
Declividade máxima da bacia (Dv max)	%	21,56	73,91	32,88	70,03	39,30
Declividade média da bacia (Dv méd.)	%	2,64	5,66	3,53	5,95	2,31
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²	0,62	1,55	1,321	2,104	0,636
Densidade hidrográfica (Dh)	canais/ Km ²	0,49	3,47	2,795	6,725	0,411
Índice de compactidade (Kc)	-	1,647	1,558	1,461	1,552	2,50
Índice de conformação ou fator de forma (F)	-	0,232	0,291	0,31	0,306	0,174
Índice de sinuosidade (Is)	-	1,42	2,251	1,457	2,095	2,323
Índice de rugosidade (Ir)	-	74,4	792,49	236,63	1036,6	66,3
Índice de circularidade da bacia (Ic)	-	0,363	0,404	0,461	0,408	0,157
Tempo de concentração (Tc)	h	3,9	8,6	6,4	13,7	10,2
Coefficiente de manutenção (Cm)	m/m ²	1612,9	645,16	757,002	475,285	1572,32
Gradiente de canais (Gc)	%	0,113	0,114	0,218	0,27	0,012

No que diz respeito ao tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a precipitação caída em qualquer ponto da bacia chegue ao seu ponto final, observou-se para as sub-bacia do Alto e do Baixo Rio do Coco os valores mais elevados, sendo 13,7 para a primeira e 10,2 para a segunda. A sub-bacia que apresentou um menor tempo de concentração foi a sub-bacia do Ribeirão Prata (3,9), tendo as sub-bacias do Ribeirão Piedade um valor de 8,6 e Ribeirão Surubim de 6,4.

A sinuosidade dos canais principais das sub-bacias analisadas indicaram que o Ribeirão Piedade, o Alto Rio do Coco e Baixo Rio do Coco são tortuosos, os mesmos apresentaram, respectivamente, índices de sinuosidade de 2,251, 2,095 e 2,323. Em canais sinuosos pode haver um maior acúmulo de sedimentos, o que pode ser agravado por atividades humanas. Já os valores observados para os Ribeirões Prata (1,42) e Surubim (1,457) sugerem canais medianamente tortuosos ou transicionais. Conforme Lana et al. (2001, p. 07) e Stipp et al. (2010, p. 122), valores para o índice de sinuosidade próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.



É interessante destacar que para a sub-bacia do Alto Rio do Coco ($I_r = 1.036,68$) e a sub-bacia do Ribeirão Piedade ($I_r = 792,49$) a rugosidade foi considerada forte, concordando com a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica registrada para tais compartimentos, enquanto que para as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco, a rugosidade apresentou-se fraca, obtendo-se 74,4 e 66,3, respectivamente. Sousa e Rodrigues (2012, p. 142) destacam que elevados valores de rugosidade indicam acentuado escoamento superficial e também ocorrências erosivas.

Em termos de declividade média, os valores variaram de 2,31% a 5,95% representando um relevo plano a suavemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979), entretanto, vale ressaltar que também foi identificado a presença de um relevo fortemente ondulado, com declividade máxima de até 73,91%, merecendo destaque as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade, as quais apresentaram os valores mais elevados tanto para as declividades médias quanto para as máximas. Para estas sub-bacias, há uma tendência de maior escoamento superficial em comparação com as demais, sob as mesmas condições de cobertura vegetal, classe de solo e precipitação, sugerindo uma maior fragilidade natural e, conseqüentemente, maior predisposição à degradação.

Para a declividade média do canal principal e gradiente de canais, destacaram-se as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Surubim, observando valores respectivos de declividade de 2,75 m/Km e 2,18 m/Km. Tonello et al. (2006, p. 855) citam que a declividade do canal interfere na velocidade de escoamento da água no curso, assim, valores elevados indicam maiores escoamentos e menores tempo de permanência da água, sendo conveniente um manejo de solo e água mais intensivo.

De acordo com Santos e Moraes (2012, p. 626), o coeficiente de manutenção é um índice que visa calcular a área mínima que a bacia precisa dispor para a manutenção de um metro de canal fluvial, sendo seu resultado indicado em m/m^2 . Na análise realizada destacaram-se as sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco com os valores mais elevados para este coeficiente, sendo, encontrado 1.612,9 m/m^2 para a primeira e 1.572,32 m/m^2 para a segunda. Como pode ser observado as sub-bacias citadas necessitam de uma área considerável para a sua manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem. Estes resultados podem ser corroborados pela densidade de drenagem e hidrográfica, os quais foram os mais baixos registrados, sugerindo que as sub-bacias possuem dificuldade na renovação e formação de novos canais. Essa realidade pode ser entendida ao se verificar que as sub-bacias apresentaram baixas declividades médias, sendo seu relevo considerado plano a suavemente ondulado, conforme a classificação da Embrapa (1979), e baixos índices de rugosidade, fatores de grande relevância no escoamento fluvial e formação de canais novos.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as leis de Horton (1945).

O valor médio para a taxa de bifurcação (R_b) para as sub-bacias analisadas foram similares, tendo a sub-bacia do Alto Rio do Coco um maior valor observado (5,55). Vestena et al. (2011, p. 99) ao estudarem a morfometria da Bacia do Rio Caeté encontrou valor médio para a taxa de bifurcação próximo ao encontrado para as sub-bacias do Rio do Coco (4,0). O valor normalmente encontrado é 2,00, porém, se os canais apresentarem certos declives o mesmo pode variar (HORTON, 1945, p. 291). De acordo com Castro e Carvalho (2009, p. 04), a relação de bifurcação (R_b) indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam um relevo colinoso, portanto, os resultados encontrados sugerem a presença de um relevo dissecado para as sub-bacias analisadas.

Menciona-se que os valores da Relação de Bifurcação (R_b) para os segmentos das sub-bacias avaliadas não apresentam um padrão específico. É possível observar que a sub-bacia do Ribeirão Prata apresentou uma maior R_b entre os canais de primeira e segunda ordens (5,36), indicando para este compartimento que quanto menor a ordem hierárquica, maior a relação de bifurcação. No caso das sub-bacias dos Ribeirões Piedade e Surubim as maiores relações de bifurcação verificadas foram entre os canais de quarta e quinta ordem, tendo os canais de primeira a terceira ordens comportamentos similares de bifurcação. Já para as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Baixo Rio do Coco a taxa de bifurcação mais representativa foi para os canais de quinta ordem, tendo o Alto Rio



do Coco um maior número de canais de ordens inferiores (1o e 2o). Atenta-se ainda que a referida sub-bacia possui alta capacidade de articular canais formadores de bacias interiores (microbacias), haja vista o número de canais identificados de ordens superiores (quarta e quinta ordens).

Para a relação entre os comprimentos médios dos canais (Rl), destacaram-se a sub-bacia do Baixo Rio Coco com um valor médio de 6,74 e a sub-bacia do Ribeirão Piedade com 3,9. Já as sub-bacias do Ribeirão Prata, Ribeirão Surubim e Alto Rio do Coco apresentaram valores médios similares, sendo: 2,60, 2,65 e 3,50, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados da aplicação das leis de Horton para os compartimentos da Bacia do Rio do Coco

Compartimentos	Ordem (w)	Nw	Lw	Log 10 Nw	Rb	Lw média	Log 10 Lw	RI
Ribeirão Prata	1	238	249.803	2,37	4,03	1.049,59	3,02	2,39
	2	59	148.147	1,77	5,36	2.510,96	3,39	3,10
	3	11	85.879	1,04	3,66	7.807,18	3,89	2,63
	4	3	61.635	0,47	3,00	20.545,00	4,31	2,27
	5	1	46.686	0,00		46.686,00	4,66	
	Média					4,01		
Ribeirão Piedade	1	2.115	812.574	3,32	4,16	384,19	2,58	2,24
	2	508	438.658	2,70	4,13	863,50	2,93	2,26
	3	123	240.351	2,08	4,24	1.954,07	3,29	3,35
	4	29	189.853,83	1,46	4,83	6.546,68	3,81	1,77
	5	6	69.689	0,77	6,00	11.614,83	4,06	9,86
	6	1	114.638	0,00		114.638,00	5,05	
Média					4,67			3,90
Ribeirão Surubim	1	1.073	462.052	3,03	3,94	430,61	2,63	2,12
	2	272	248.456	2,43	4,00	913,44	2,96	2,32
	3	68	144.628	1,83	4,00	2.126,88	3,32	2,60
	4	17	94.306	1,23	8,50	5.547,41	3,74	2,45
	5	2	27.260	0,30	2,00	13.630,00	4,13	3,78
	6	1	51.551	0,00		51.551,00	4,71	
Média					4,48			2,65
Alto Rio do Coco	1	4.496	1.211.232	3,65	4,32	269,40	2,43	2,33
	2	1.039	652.748	3,01	4,31	628,24	2,79	2,74
	3	241	415.412	2,38	4,63	1.723,70	3,23	2,63
	4	52	236.054	1,71	6,50	4.539,50	3,65	4,03
	5	8	146.536	0,90	8,00	18.317,00	4,26	5,76
	6	1	105.597	0,00		105.597,00	5,02	
Média					5,55			3,50
Baixo Rio do Coco	1	396	49.1312	2,59	3,66	1.240,68	3,09	2,28
	2	108	306.350	2,03	4,32	2.836,57	3,45	2,62
	3	25	186.152	1,39	5,00	7.446,08	3,87	1,55
	4	5	57.732,58	0,69	5,00	11.546,51	4,06	20,50
	7	1	236.811	0,00		236.811,00	5,37	
	Média					4,50		

NOTA: Nw é o número de canais; Rb é a taxa de bifurcação; Lw é o comprimento médio; RI é a taxa de comprimento. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da análise morfométrica realizada nos diferentes compartimentos da Bacia do Rio do Coco indicaram que as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade são os compartimentos que apresentam maiores fragilidades naturais. Portanto, estes compartimentos merecem uma



atenção especial no que diz respeito as atividades de uso e ocupação do solo, as quais, se não forem executadas com cautela poderão potencializar os efeitos dos processos naturais, como a intensificação das perdas de solo por erosão e consequente assoreamento e diminuição da qualidade da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos para a compartimentação morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Coco pode-se concluir que:

- A análise dos índices de compacidade, circularidade e fator de forma indicaram que todos compartimentos avaliados exibiram forma alongada, sinalizando pouca susceptibilidade a enchentes em condições regulares de precipitação;
- As sub-bacias do Ribeirão Prata e Baixo Rio do Coco são os compartimentos que apresentaram os maiores coeficientes de manutenção, 1.612,9 m/m² e 1.572,32 m/m² respectivamente, indicando uma área considerável para a manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem;
- A sub-bacia do Alto Rio do Coco apresentou um maior número de canais de ordens inferiores (1o e 2o), além indicar alta capacidade de articular canais formadores de bacias interiores (microbacias), haja vista o número de canais identificados de ordens superiores (quarta e quinta ordens);
- A densidade de drenagem e hidrográfica mais representativa foi para a sub-bacia do Alto Rio do Coco com 2,104 Km/Km² e 6,725 canais/Km², respectivamente, apontando maior capacidade de gerar novos canais em relação as demais sub-bacias avaliadas o que pode estar relacionado com as suas características pedológicas, geológicas e climáticas;
- A rugosidade apresentada para a sub-bacia do Alto Rio do Coco ($I_r = 1.036,6$) e a sub-bacia do Ribeirão Piedade ($I_r = 792,49$) sugerem acentuado escoamento superficial e também as ocorrências erosivas para estes compartimentos, implicando em práticas conservacionistas do solo.

Portanto, o conjunto de parâmetros morfométricos analisados indicaram que as sub-bacias do Alto Rio do Coco e Ribeirão Piedade são os compartimentos que apresentam maiores fragilidades naturais, sendo necessário uma maior gestão das atividades de uso e ocupação do solo, visando minimizar os efeitos potenciais dos processos naturais ocorrentes nestes compartimentos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, Wagner Santos; SOUZA, Newton Moreira; REIS JÚNIOR, Dirceu Silveira; CARVALHO, José Camapum. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, (Abr-Jun), 2013. p. 139.

ARAÚJO, Eliene Pontes; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Natal, Brasil, 2009, INPE, p. 4631.

BARBOSA, Tamires Silva; FURRIER, Max. Avaliação Morfológica e Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Marés – PB, Para Verificação de Influência Neotectônica. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, novembro 2012. p. 112.

CARDOSO, C. A. C.; DIAS, H. C. T. SOARES, C. P. B. MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n.2, 2006. p. 244.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio

- Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena* 5, 2009. p. 04.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, n. 18, 1969. p. 35 – 64.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.
- FREIRE, Aline Jardim; LAGE, Gustavo Bretas; CHRISTÓFARO, Lage Cristiano. Comparação entre parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas gerados por dados SRTM e ASTER GDEM: estudo de caso para bacias do Vale do Jequitinhonha-MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu (PR), Brasil, 2013. p. 5443.
- GHEZZI, Alessandra Oliveira. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003. 02 e 08 p.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, 1945. p. 807 – 813.
- LANA, Cláudio Eduardo; ALVES, Júlia Maria de Paula; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. Rem: **Rev. Esc. Minas**, v. 54, n. 02, Ouro Preto (MG), Apr./June, 2001. p. 07.
- NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C; FIORI, A. P. Propriedades Morfométricas e Aspectos Físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba - Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. **Anais...** Goiânia (GO), setembro de 2006. p. 01.
- RODRIGUES, Flávia Mazzer; PISSARRA, Teresa Cristina Tarlé; CAMPUS, Sérgio. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, jul – set, 2008. p. 311.
- SALLES, Moacir Mello. **O uso do SIG na análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São João (MG)**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte (MG), 2010. 05 p.
- SANTOS, Daniel Araujo Ramos; MORAIS, Fernando. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão – TO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 3, n. 4, 2012. p. 626.
- SOARES, Márcia Regina Gomes de Jesus; SOUZA, Jorge Luiz Moretti. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Revista Geografia** (Londrina), v. 21, n. 1, jan/abr. 2012. p. 20.
- SOUZA, Celia Regina de Gouveia. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, n. 1, 2005. p. 52.
- SOUSA, Flávio Alves; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 11, n. 25, mai-ago, 2012. p. 142.
- STIPP, Nilza Aparecida Freres; CAMPOS, Ricardo Aparecido; CAVIGLIONE, João Henrique. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, Londrina v. 3 n. 1, 2010. p. 122.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, 1952. p. 1117 – 1142.
- TONELLO, Kelly Cristina; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOUZA, Agostinho Lopes de; RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro; LEITE, Fernando Palha. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas Guanhões (MG). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n.5, 2006. p. 855.
- TEODORO, Valter Luiz Iost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007. p. 137.



VESTENA, Leandro Redin; CHECCHIA, Tatiane; KOBAYAMA, Masato. Análise morfométrica e geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner (SC). **Bol. geogr., Maringá**, v. 29, n. 2, 2011. p. 99

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

Trabalho enviado em 6 de setembro de 2016

Trabalho aceito em 10 de novembro de 2016

