

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
URBANAS E PERIURBANAS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PARANÁ**

**MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF URBAN AND  
PERI-URBAN WATERSHEDS OF MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PARANÁ,  
BRAZIL**

Oscar Vicente Quinonez FERNANDEZ<sup>1</sup>

**Resumo:** O trabalho objetivou a caracterização morfométrica das bacias urbanas e periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon, Oeste do Paraná, situada no divisor entre os Arroios Guaçu e Fundo. O município está inserido no terceiro planalto paranaense onde predominam rochas basálticas da Formação Serra Geral. A área das bacias e as variáveis lineares (perímetro e comprimento da bacia e, extensão dos canais) foram obtidas com o software Global Mapper (12) a partir da carta topográfica Marechal Cândido Rondon (Escala 1:50.000). Com base nestas variáveis foram calculados os parâmetros morfométricos referentes às características geométricas, padrão de drenagem e aspectos do relevo. A declividade dos perfis foi definida com diferentes técnicas e a hipsometria das bacias foi descrita com curvas hipsométricas e retângulos equivalentes. Os afluentes do Arroio Guaçu são menos dissecados, alongados, possuem baixa densidade de drenagem e apresentam talvegues menos declivosos, enquanto que os afluentes do Arroio Fundo são mais dissecados, arredondados, apresentam maior densidade de drenagem e talvegues mais declivosos. Os dados morfométricos juntamente com a análise das curvas hipsométricas indicam que os afluentes do Arroio Fundo apresentam maiores riscos a enchentes e encontram-se num estágio de desenvolvimento geomórfico mais avançado, em comparação com os afluentes do Arroio Guaçu.

**Palavras chave:** Planalto basáltico paranaense, Curva hipsométrica, Enchente.

**Abstract:** The study aimed to morphometric characterization of urban and peri-urban watersheds in the city of Marechal Rondon, west of Paraná state, located in the drainage divide between Guaçu and Fundo streams. The city is set on the third plateau of Paraná dominated basaltic rocks of the Serra Geral Formation. The area of the watershed and the linear variables (circumference and length of the basin and extent of channels) were obtained with the Global Mapper software (12) from the topographic map (scale 1: 50,000). Based on these variables, morphometric parameters for the geometric characteristics, drainage pattern and relief aspects were calculated. The slope of the profiles was defined with different techniques and basin hypsometry was described with hypsometric curves and equivalent rectangles. The tributaries of the Arroio Guacu are less dissected, elongated, have low drainage density and are less slopping, while the tributaries of the Arroio Guacu are more dissected, rounded, have higher drainage density and more slopping. Basin-morphometry, channel network indices and longitudinal river profiles indicate a increase in fluvial incision and denudation for tributaries of Fundo stream compared to the tributaries of Guaçu stream.

**Keywords:** Paraná basaltic plateau, Hypsometric curve, Flood.

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Marechal Cândido Rondon  
[oscar.fernandez@unioeste.br](mailto:oscar.fernandez@unioeste.br)

## Introdução

As propriedades morfométricas de uma bacia de drenagem são quantificadas por parâmetros que descrevem as características geométricas, padrão de drenagem e aspectos de relevo da bacia.

A análise quantitativa das características morfométricas das bacias foi introduzida por Horton (1932, 1945). No Brasil, o primeiro trabalho publicado foi o de Freitas (1952), seguido pelas colaborações de Christofoletti (1969, 1970 e 1974). Após estes trabalhos pioneiros, inúmeras pesquisas foram desenvolvidas no Brasil. Nas últimas décadas, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica, vêm substituindo as técnicas manuais de aquisição de dados, aprimorando os estudos morfométricos das bacias.

Os estudos morfométricos das bacias são essenciais para o entendimento do estágio evolutivo e do comportamento hidrológico de uma rede de drenagem e ajudam a compreender e elucidar numerosas questões sobre processos morfogenéticos que atuam na esculturação da paisagem.

A análise morfométrica das bacias constitui a primeira fase numa sequência de pesquisas relacionadas ao levantamento e gerenciamento dos recursos hídricos. O presente trabalho foi realizado nesta perspectiva, objetivando descrever e analisar as características morfométricas das bacias hidrográficas urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon (PR).

## Área de Estudo

O município de Marechal Cândido Rondon está localizado na região Oeste do estado do Paraná (Figura 1). Nesta região afloram rochas basálticas da Formação Serra Geral de idade Cretácea (NARDY et al., 2002) e está inserida na unidade morfoescultural denominada Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2012), cujo relevo regional é caracterizado por um grau de dissecação média e alta, topos alongados com cristas e, vertentes convexas e retilíneas (SANTOS et al., 2006, BADE, 2014). A evolução da citada unidade está relacionada com o levantamento epirogenético da Plataforma Sulamericana ocorrida desde o Cretáceo Superior até o limite Paleógeno-Neógeno (FRANCO-MAGALHÃES et al., 2010) que soergueu toda a região até altitudes superiores a 1000 m na parte centro-sul do estado, submetendo a área de estudo a um contínuo processo de dissecação.

O clima no município de Marechal Cândido Rondon, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, clima subtropical mesotérmico, subtropical úmido (IAPAR, 1994), a altitude média é de 420 m e o relevo é constituído por 15% de áreas planas, 45% de áreas com suave ondulação, 30% ondulado e 10% com forte ondulado (MORESCO, 2007). A área do município é de 748 km<sup>2</sup>, a população projetada para 2014 é de 50.299 habitantes e a economia é baseada nas atividades agrícola (soja e milho) e pecuária (suínos e produção de leite) (IBGE, 2015).

A área urbana de Marechal Cândido Rondon encontra-se localizada no divisor de águas das bacias hidrográficas dos Arroios Guaçu (ao Norte da cidade) e Fundo (ao Sul). Os cursos d'água abordados neste estudo são: Peroba, cabeceira do córrego Guavirá, Bonito e Guará (afluentes do Arroio Guaçu) e, Matilde Cuê, Borboleta e Apepu (afluentes do Arroio Fundo) (Figura 2). Estas bacias estão situadas entre as cotas 450 e 250 m (Figura 3) e suas nascentes estão localizadas na área urbana instalada numa região plana denominada de platô Marechal, limitada pelas cotas 450 e 360 m (MORESCO, 2007).

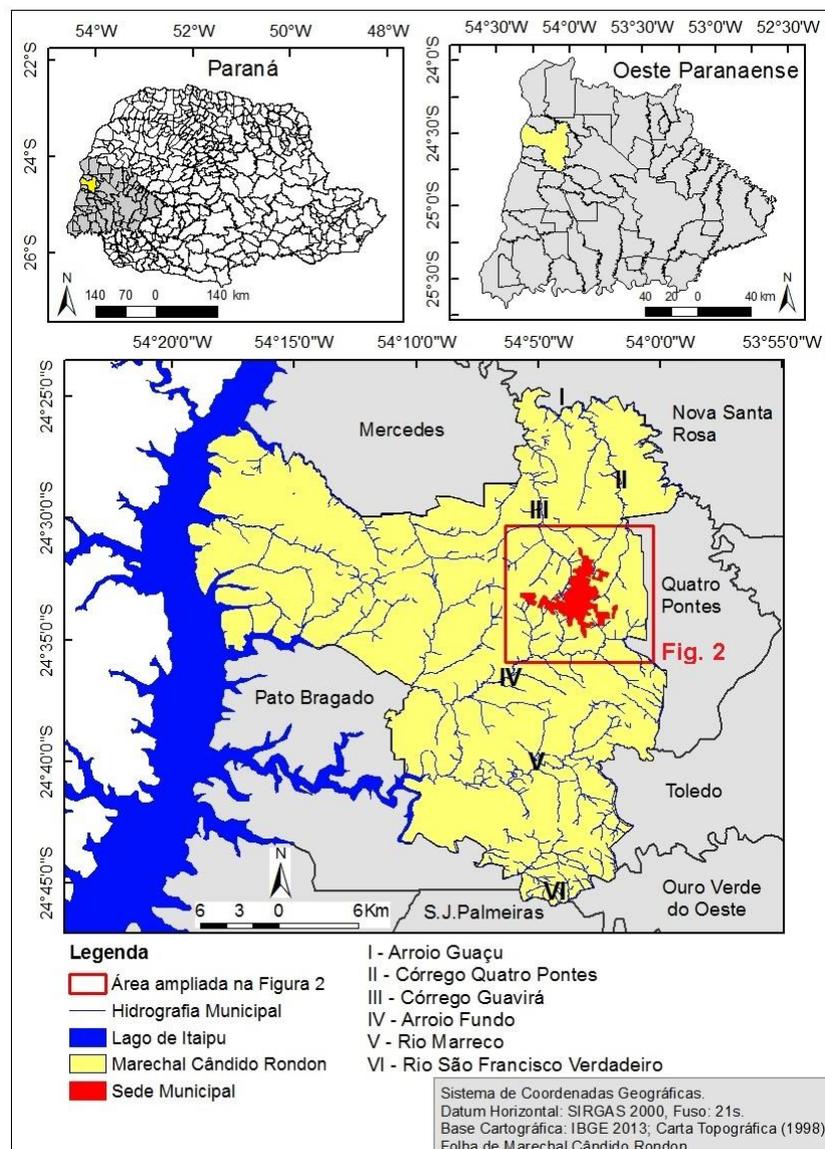
## Materiais e método

### Obtenção das variáveis e parâmetros morfométricos

O estudo morfométrico das bacias hidrográficas urbanas e periurbanas foi realizado com base na carta topográfica em escala 1:50.000, folha Marechal Cândido Rondon (SG.21-X-B-VI-2).

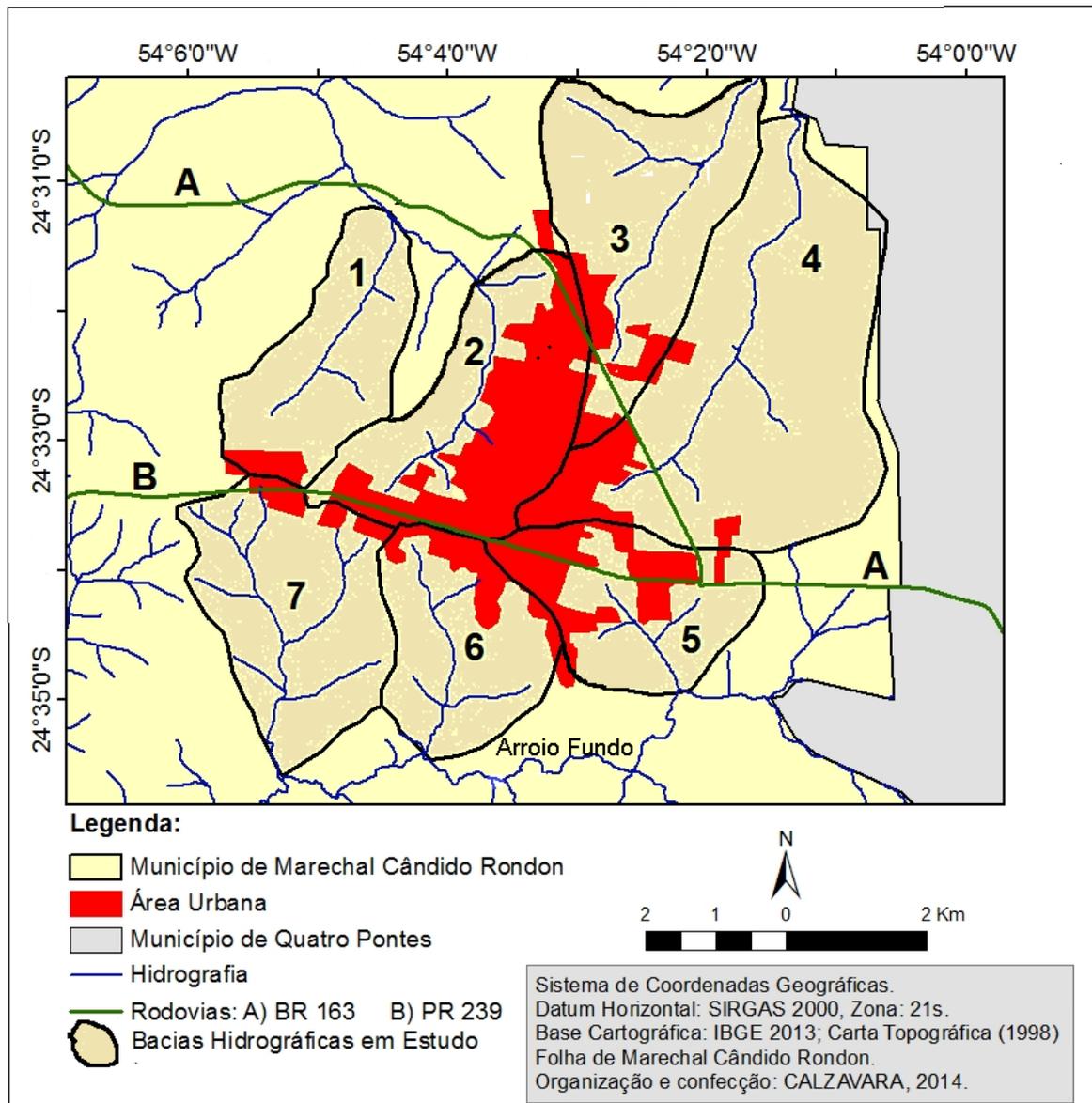
As variáveis como área e perímetro da bacia, comprimento dos canais e do eixo da bacia foram obtidas com auxílio do software Global Mapper (12). Quanto a hierarquização dos canais, existem vários métodos de classificação da rede de drenagem (HORTON, 1945; STRAHLER, 1964; SCHEIDEGGER, 1965 e SHREVE, 1966). Neste trabalho foi utilizado o de Strahler por ser o mais difundido e de simples aplicação. Com base na área e variáveis lineares foram calculados os parâmetros morfométricos das bacias referentes a suas características geométricas, padrão de drenagem e aspectos do relevo (Quadros 1, 2 e 3).

**Figura 1:** Localização do município de Marechal Cândido Rondon na região Oeste do Paraná.



Fonte: Calzavara (2015)

**Figura 2:** Localização das bacias em estudo. 1) Peroba, 2) cabeceira do córrego Guavirá, 3) Bonito, 4) Guará, 5) Matilde-cuê, 6) Borboleta e 7) Apepu.



**Fonte:** modificada de Calzavara (2015)

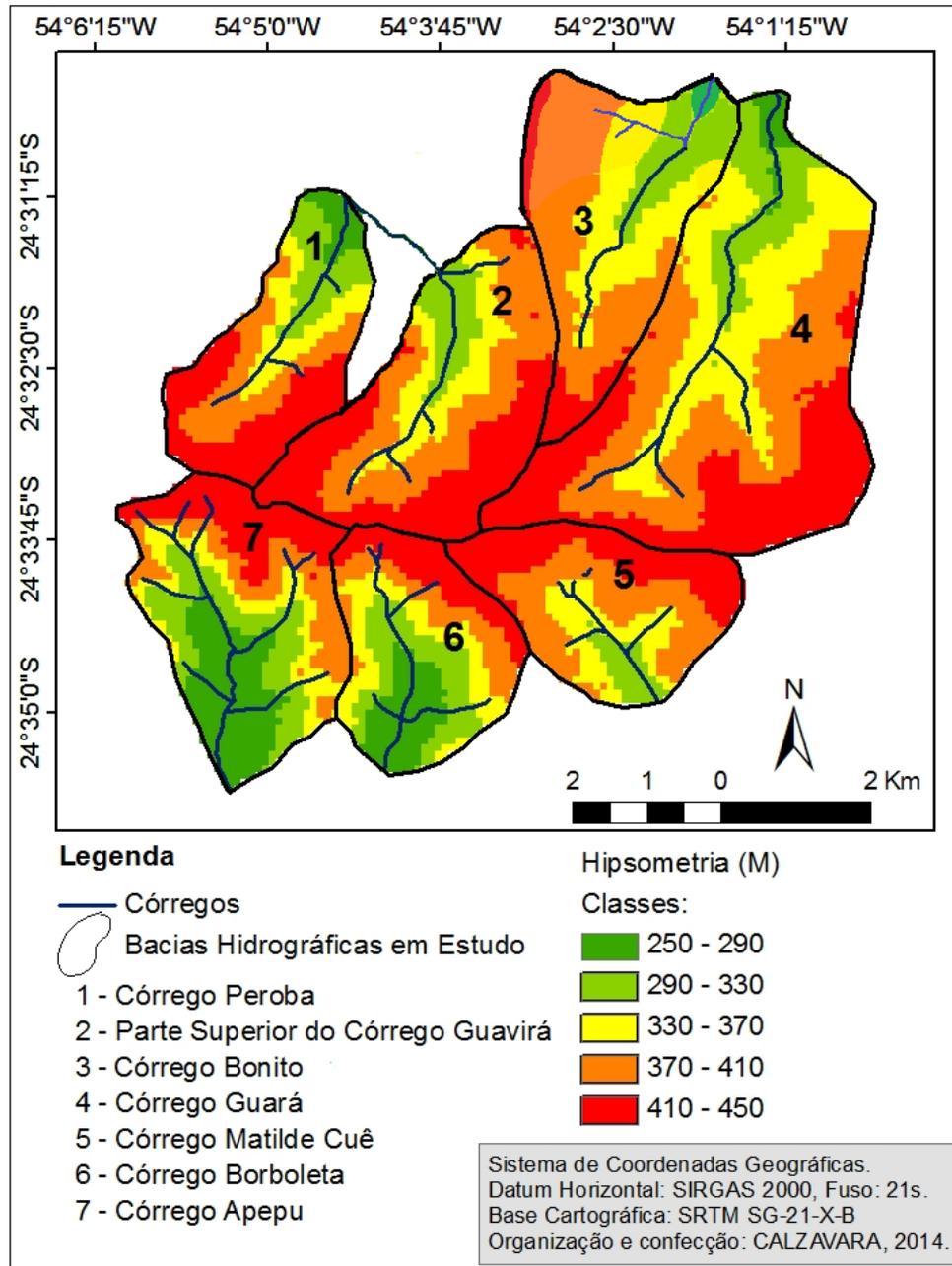
### Características do perfil longitudinal e da hipsométrica das bacias

O perfil longitudinal é a representação gráfica da relação entre a altimetria e o comprimento do curso d'água desde a nascente até a foz (CHRISTOFOLETTI, 1981). A declividade do perfil longitudinal é um parâmetro de grande importância pela sua influência direta na velocidade do escoamento e é definida de acordo com três técnicas denominadas de S1, S2 e S3 (VILELLA; MATTOS, 1975).

Declividade S1 (m/m): relação entre a amplitude altimétrica do canal principal ( $\Delta H_c$ ) (m) e o comprimento do canal principal ( $L_c$ ) (m).

$$S1 = \frac{\Delta H_c}{L_c} \dots\dots\dots(1)$$

**Figura 3:** Hipsometria das bacias hidrográficas urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon (PR).



**Fonte:** modificado de Calzavara (2015).

Declividade S2 (m/m): nesta técnica é levada em conta a área formada no gráfico entre a linha do perfil, a abscissa e a ordenada e, o comprimento do canal.

$$S2 = \frac{M}{Lc} \dots\dots\dots(2)$$

Onde Lc é igual ao comprimento do canal principal. O numerador M é calculado através da equação (3).

$$M = \frac{2 \cdot At}{Lc} \dots\dots\dots(3)$$

Onde  $A_t$  é a área localizada entre a linha do perfil, a abscissa e a ordenada (em  $m^2$ ) e,  $L_c$  é o comprimento do canal principal (m).

**Quadro 1:** Variáveis e parâmetros morfométricos que descrevem os aspectos geométricos das bacias.

Variável/Parâmetro	Descrição	Fórmula	Fonte
Área da bacia (A) $km^2$	Área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída (foz) (TUCCI, 1997).	-	-
Perímetro da bacia (P) km	Extensão do limite da bacia.	-	-
Comprimento do córrego principal ( $L_c$ ) km	Extensão do córrego desde a nascente até a foz.	-	-
Comprimento axial da bacia ( $L_b$ ) km	Extensão da bacia medida ao longo do talvegue do canal principal.	-	-
Razão de alongação, $Re$ adimensional	$Re$ é a razão entre o diâmetro de um círculo com a mesma área da bacia e comprimento axial da bacia	$Re = \frac{2 \left( \sqrt{\frac{A}{\pi}} \right)}{L_b}$	Schumm (1956)
Índice de compacidade de Gravelius ( $K_c$ ) adimensional	Relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de uma bacia de igual área de forma circular.	$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$	Gravelius (1914) apud Jardí (1985)

**Organização:** o autor.

**Quadro 2:** Variáveis e parâmetros morfométricos que descrevem os aspectos lineares e a textura da rede de drenagem.

Variável/Parâmetro	Descrição	Fórmula	Fonte
Hierarquização dos canais	Categorização das linhas de drenagem de acordo com sua posição (ordem) dentro da bacia	-	Strahler (1952)
Número total de canais ( $N_s$ )	Quantidade de segmentos fluviais	-	Horton (1932)
Comprimento total dos canais ( $L_t$ ) km	Extensão dos canais fluviais de 1ª, 2ª e 3ª ordens	-	Strahler (1964)
Densidade hidrográfica ( $D_h$ ) canais/ $km^2$	Relação entre o número total de segmentos fluviais ( $N_s$ ) e a área da bacia ( $A$ , $km^2$ ).	$D_h = N_s/A$	Horton (1945)
Densidade de drenagem ( $D_d$ ) $km/km^2$	Relação entre o comprimento total dos segmentos fluviais de uma bacia hidrográfica ( $L_t$ , km) e a área da mesma ( $A$ , $km^2$ ).	$D_d = L_t/A$	Horton (1945)
Coefficiente de manutenção ( $C_m$ ) $km^2/km$	É o inverso da $D_d$ e representa a área necessária ( $km^2$ ) para a manutenção de um km de canal permanente	$C_m = 1/D_d$	Schumm (1956)
Extensão média de percurso superficial ( $E_p$ ) km	É a distância média que o escoamento superficial percorre até alcançar um curso de água na bacia.	$E_p = 1/(2D_d)$	Horton (1945)

**Organização:** o autor.

**Quadro 3:** Variáveis e parâmetros morfométricos que descrevem o relevo das bacias.

Variável/Parâmetro	Descrição	Fórmula	Fonte
Altimetria absoluta (Hmax) m	Ponto da bacia com maior altitude.	Hmax	
Amplitude altimétrica da bacia (ΔHb) m	Diferença entre o ponto de maior altitude da bacia (Hmax) e o ponto de menor altitude (Hmin) (Foz).	ΔHb=Hmax-Hmin	Strahler (1952)
Amplitude altimétrica do canal principal (ΔHc) m	Diferença entre a altitude da nascente do córrego principal e da foz.	ΔHc=Hnac-Hfoz	Strahler (1952)
Razão de relevo Rr (m/m)	Relação entre a amplitude altimétrica da bacia (m) e o comprimento axial da bacia (m)	Rr=ΔHb/Lb	Schumm (1956)
Índice de rugosidade (Ir) adimensional	Produto da amplitude altimétrica da bacia (ΔHb) (m) e a densidade de drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> ).	Ir=ΔHb.Dd	Schumm (1956)
Índice de dissecação (Id) adimensional	Relação entre a amplitude altimétrica da bacia (m) e o ponto com maior altitude (Hmax) (m)	Id==ΔHb/Hmax	Singh; Dubey (1994)

**Organização:** o autor.

A terceira técnica utilizada para calcular a declividade do perfil longitudinal é a chamada declividade equivalente constante (S3) e representa o valor de pendente mais representativo dentre as técnicas citadas, por considerar o comprimento e a declividade de cada trecho fluvial individualmente. A declividade S3 é calculada seguindo a equação (4).

$$S3 = \left[ \frac{\sum Li}{\sum \left( \frac{Li}{\sqrt{Di}} \right)} \right]^2 \dots\dots\dots(4)$$

Onde Li= comprimento de cada trecho do canal e Di= declividade de cada trecho. Os cálculos necessários para aplicar a equação (4) são encontrados no trabalho de Vilella; Mattos (1975).

O retângulo equivalente é a representação da área da bacia por meio de um retângulo com lados maior L e menor ℓ, cujos valores são calculados através das equações (5) e (6) empregando os dados da área, perímetro e fator de forma da bacia. A área da bacia entre as curvas de nível mais representativas é desenhada dentro do retângulo e mostra a hipsometria natural da bacia (VILELLA; MATTOS, 1975). Com o retângulo equivalente é possível visualizar a distribuição das altitudes ao longo da área da bacia representada pelo retângulo.

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$\ell = \frac{P}{2} - L \dots\dots\dots(6)$$

A curva hipsométrica é a representação gráfica da variação de altitude da bacia em relação à área. Para construir a curva é necessário o calculo da área entre as curvas de nível consecutivas. As áreas foram calculadas com o software Global Mapper (12). As curvas hipsométricas para cada bacia foram obtidas plotando no eixo x os valores acumulados das áreas (em porcentagem) partindo de montante para jusante e as respectivas cotas no eixo y (ver exemplo no Quadro 4).

Também foram calculadas a altitude média e a mediana das bacias. A altitude média do canal (Hm) foi calculada pela equação (7):

$$Hm = \frac{\Sigma(Pm \cdot Ap)}{A} \dots\dots\dots(7)$$

Onde Pm é o ponto médio dos intervalos das curvas de nível, Ap representa a área da bacia para cada intervalo de curvas de nível e A é a área total da bacia. A altitude mediana das bacias (Md) foi obtida graficamente nas curvas hipsométricas identificando a intercepção da linha correspondente a 50% da área acumulada com a curva.

**Quadro 4:** Exemplo dos cálculos necessários para confecção da curva hipsométrica na bacia do córrego Peroba, baseado em Vilella; Mattos (1975).

Intervalo das curvas de nível (m)	Ponto médio do intervalo das cotas (Pm)	Área parcial (Ap) (km <sup>2</sup> )	Pm.Ap	Área (%)	Área acumulada (%)
442-440	450	0,047	21,15	0,832	0,832
440-420	430	1,587	682,41	28,088	28,920
420-400	410	1,585	649,85	28,053	56,974
400-380	390	1,549	604,11	27,416	84,390
380-360	370	0,540	199,80	9,558	93,947
360-340	350	0,342	119,70	6,05	100
Total		Área total 5,65 km <sup>2</sup>	2277,02		

**Organização:** o autor.

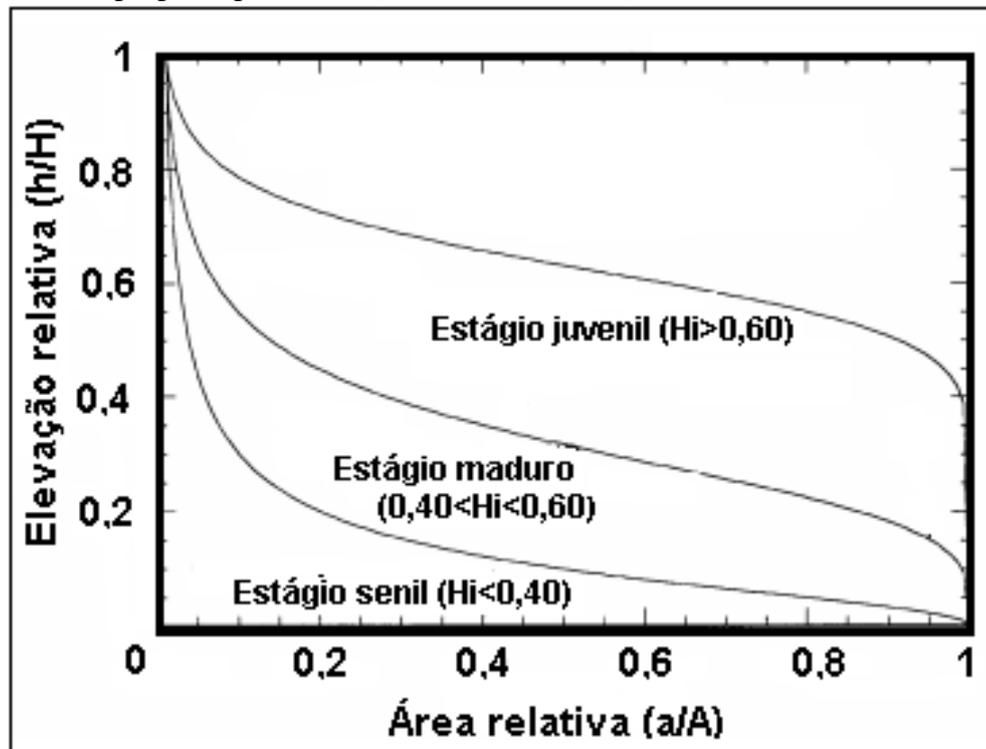
Também foram confeccionadas as curvas hipsométricas normalizadas (CHN) das bacias em estudo. O Quadro 5 mostra um exemplo dos cálculos necessários para traçar a CHN, que é confeccionada plotando os dados da área relativa (a/A) no eixo x e os dados da elevação relativa (h/H) no eixo y. Após a confecção desta curva, é possível calcular o índice da integral hipsométrica (Hi) que representa a área formada abaixo da curva normalizada e varia de 0 a 1 (STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956). Strahler (1952) associou os valores de Hi aos estágios do ciclo Davisiano de desenvolvimento das paisagens: Hi > 0,60 agrupam curvas convexas formadas em relevos pouco dissecados e superfícies evolutivamente mais jovens (Estágio juvenil). Na situação oposta, curvas côncavas e com valores de Hi < 0,40 sugerem terrenos com maior grau de dissecção (Estágio senil). Além das duas categorias citadas, Strahler (1952) definiu uma fase intermediária denominada de madura, caracterizada por curvas quase retilíneas ou em forma de “S” com valores de Hi variando entre 0,40 e 0,60 (Figura 3). A área situada acima da curva hipsométrica normalizada representa a porção erodida do terreno e é denominada de integral de erosão (Ei).

**Quadro 5:** Exemplo dos cálculos necessários para confecção da curva hipsométrica normalizada na bacia do córrego Peroba, baseado em Pareta e Pareta (2012).

Intervalo das curvas de nível	Área parcial (a) (km <sup>2</sup> )	Amplitude altimétrica h (m)	Área relativa (a/A)	Elevação relativa (h/H)
442	0	102	0,0	1,0
442-440	0,047	100	0,008	0,98
440-420	1,627	80	0,29	0,78
420-400	3,215	60	0,57	0,59
400-380	4,763	40	0,84	0,39
380-360	5,300	20	0,94	0,20
360-340	5,650	0	1,0	0,0
Total	5,65 km <sup>2</sup>			

Área total (A)=5,65 km<sup>2</sup> e amplitude altimétrica (H)=102 m.

**Figura 4:** Exemplos de curvas hipsométricas normalizadas e sua associação com os estágios do ciclo de erosão proposta por Davis (STRAHLER, 1952).



## Resultados e discussões

### Parâmetros morfométricos das bacias

As variáveis e os parâmetros morfométricos referentes às características geométricas, padrão de drenagem e relevo das bacias são listados no Quadro 6. As bacias estudadas são de 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens e suas áreas variam de 5,50 km<sup>2</sup> (Matilde-cuê) a 14,13 km<sup>2</sup> (Guará). Cabe citar que no caso do córrego Guavirá somente a sua cabeceira foi incluída no presente trabalho. Este curso de água é afluente do Arroio Guaçu e sua área total é de 100 km<sup>2</sup>.

Na análise da forma das bacias, foram utilizados os índices de compactidade de Gravelius e a razão de alongação. No índice de Gravelius (Kc), o valor mínimo corresponde à unidade e representa uma bacia circular, enquanto que as bacias mais alongadas possuem valores de Kc mais distantes de 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes quanto mais sua forma se aproxima de um círculo. No presente estudo, as bacias dos córregos Matilde-cuê e Borboleta possuem forma mais arredondada (Kc=1,12) e portanto mais propensas à enchentes, enquanto que as bacias dos córregos Guará e Bonito são as mais alongadas (Valores de Kc iguais a 1,38 e 1,40 respectivamente).

Os valores teóricos da razão de alongação (Re) variam de 0 (bacia muito alongada) a 1 (bacia circular) e definem bacias com as seguintes formas: muito alongada (Re < 0,50), alongada (0,50 < Re < 0,70), pouco alongada (0,70 < Re < 0,80), ovalada (0,80 < Re < 0,90) e circular (Re > 0,90) (SCHUMM, 1956). Nas bacias estudadas, o valor de Re varia de 0,58 no córrego Bonito (bacia alongada) a 0,80 no córrego Matilde-cuê (bacia pouco alongada a ovalada).

**Quadro 6:** Valores das variáveis e parâmetros morfométricos correspondentes as bacias urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon.

	Bacias hidrográficas						
	Afluentes do Arroio Guaçu				Afluentes do Arroio Fundo		
	Peróba	Guavirá	Bonito	Guará	Matilde- cuê	Borboleta	Apepu- cuê
<b>Geometria das bacias</b>							
Área A (km <sup>2</sup> )	5,65	8,17	9,6	14,13	5,50	5,87	8,17
Perímetro P (km)	10,642	12,76	15,42	18,39	9,275	9,638	11,98
Comprimento do córrego principal Lc (km)	3,624	3,671	5,157	6,550	2,152	3,275	4,521
Comprimento axial da bacia (Lb) (km)	4,20	4,85	5,98	7,17	3,30	3,56	4,45
Razão de alongação, Re	0,64	0,67	0,58	0,59	0,80	0,77	0,72
Índice de compacidade de Gravelius, Kc.	1,26	1,26	1,40	1,38	1,12	1,12	1,18
<b>Rede de drenagem</b>							
Hierarquização dos canais	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
Número total de canais	5	8	9	9	8	11	18
Comprimento total de canais Ct (km)	4,388	7,007	6,757	12,096	5,014	8,959	14,974
Densidade de drenagem Dd (km/km <sup>2</sup> )	0,777	0,858	0,704	0,856	0,912	1,53	1,83
Densidade hidrográfica (Dh) (canais/km <sup>2</sup> )	0,885	0,979	0,937	0,637	1,45	1,87	2,20
Extensão média do percurso superficial (Emps) (km)	0,644	0,583	0,710	0,584	0,548	0,327	0,273
Coefficiente de manutenção (Cm) (km <sup>2</sup> /km)	1,13	1,17	1,42	1,17	1,10	0,72	0,55
<b>Características do relevo</b>							
Altimetria absoluta Ra (m)	442	442	425	430	433	433	442
Altitude max. e min. da bacia	442-340	442-357	425-318	430-323	433-333	433-293	442-279
Amplitude altimétrica da bacia ΔHb (m)	102	85	107	107	100	140	163
Altitude máxima e mínima do córrego principal (m)	400-340	405-357	404-318	405-323	395-333	415-293	420-279
Amplitude altimétrica do córrego principal ΔHc (m)	60	48	86	82	62	122	141
Razão de relevo Rr (m/m)	0,0243	0,0175	0,0179	0,0149	0,030	0,0393	0,0366
Índice de rugosidade (Ir)	79,25	72,93	75,33	91,59	91,20	214,20	298,29
Índice de dissecação (Id)	0,23	0,19	0,25	0,25	0,23	0,32	0,37

**Organização:** o autor.

Na análise da textura de drenagem foram empregados vários índices. A primeira delas, a densidade de drenagem (Dd) indica a eficiência do sistema de drenagem em remover o excesso da precipitação que se transforma em escoamento superficial na bacia (PATTON; BAKER, 1976). Este parâmetro depende do clima, condições geológicas, cobertura vegetal, capacidade de infiltração do substrato rochoso e do solo e, os aspectos do relevo e da declividade da bacia (HORTON, 1932; STRAHLER, 1964). Os valores de Dd variam dentro de um espectro muito amplo na natureza. Foram encontrados valores de 600 km/km<sup>2</sup> em Perth Amboy (Austrália) (SCHUMM, 1956) a menos que 1 km/km<sup>2</sup> em planaltos pouco dissecados ou planícies (SLAYMAKER, 2010). Levando em conta a afirmação de Dash et al. (2013) de que os valores de Dd aumentam conforme a bacia evolui de uma fase juvenil para madura, podemos sugerir que os córregos Borboleta e Apepu (Dd igual a 1,53 e 1,83 respectivamente) encontram-se num estágio evolutivo mais avançado que as demais bacias, que apresentam valores de Dd inferiores (Quadro 6).

A densidade hidrográfica (Dh) ou frequência de canais representa o número de canais por unidade de área e possui uma forte correlação linear positiva com a densidade de drenagem (Dd). Nas bacias em estudo, essa relação é dada pela equação:

$$Dh=0,180+0,692.Dd \quad (R^2=0,854) \dots\dots\dots(7)$$

A extensão média de percurso superficial (Emps) é definida como a distância média em linha reta que o escoamento superficial teria que percorrer até alcançar qualquer curso de água na bacia (VILELLA; MATTOS, 1975). Quanto maior for o valor de Dd numa bacia, menor seria o valor de Emps. Esta relação é observada nas bacias em estudo, onde as bacias do Apepu e Borboleta apresentam os menores valores de Emps (Quadro 6).

O coeficiente de manutenção (Cm) depende da litologia, permeabilidade e capacidade de infiltração do solo e das condições climáticas e tipo de vegetação (SCHUMM, 1956). Baixos valores de Cm indicam maior densidade de drenagem e por tanto é necessário menos área para a manutenção de uma unidade de canal permanente. Nas bacias estudadas, os valores de Cm são menores nos afluentes do Arroio Fundo e maiores nos afluentes do Arroio Guaçu (Quadro 6).

No estudo morfológico do relevo nas bacias em apreço, foram adotadas a razão de relevo e os índices de rugosidade e dissecção.

A razão de relevo (Rr) proposta por Strahler (1957) é a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e seu comprimento axial e indica o declive total de bacia. O valor mínimo de Rr obtido nas bacias em estudo corresponde a bacia do Guará (Rr=0,0149 m/m) e o máximo a bacia do Borboleta (Rr=0,0393 m/m).

Índice de rugosidade (Ir) é um parâmetro que pode ser utilizado como indicador de eventos geomórficos extremos (SLAYMAKER, 2010). O autor comenta que bacias com valores de Ir inferiores a 300 são menos propensas a eventos geomórficos extremos como deslizamentos, enchentes, etc. Por outro lado, bacias com Ir>3000 apresentam maior probabilidade para ocorrência de eventos extremos geomorfológicos e hidrológicos. Nas bacias estudadas, o Ir varia de 72,93 na bacia do Guavirá a 298,29 na bacia do Apepú.

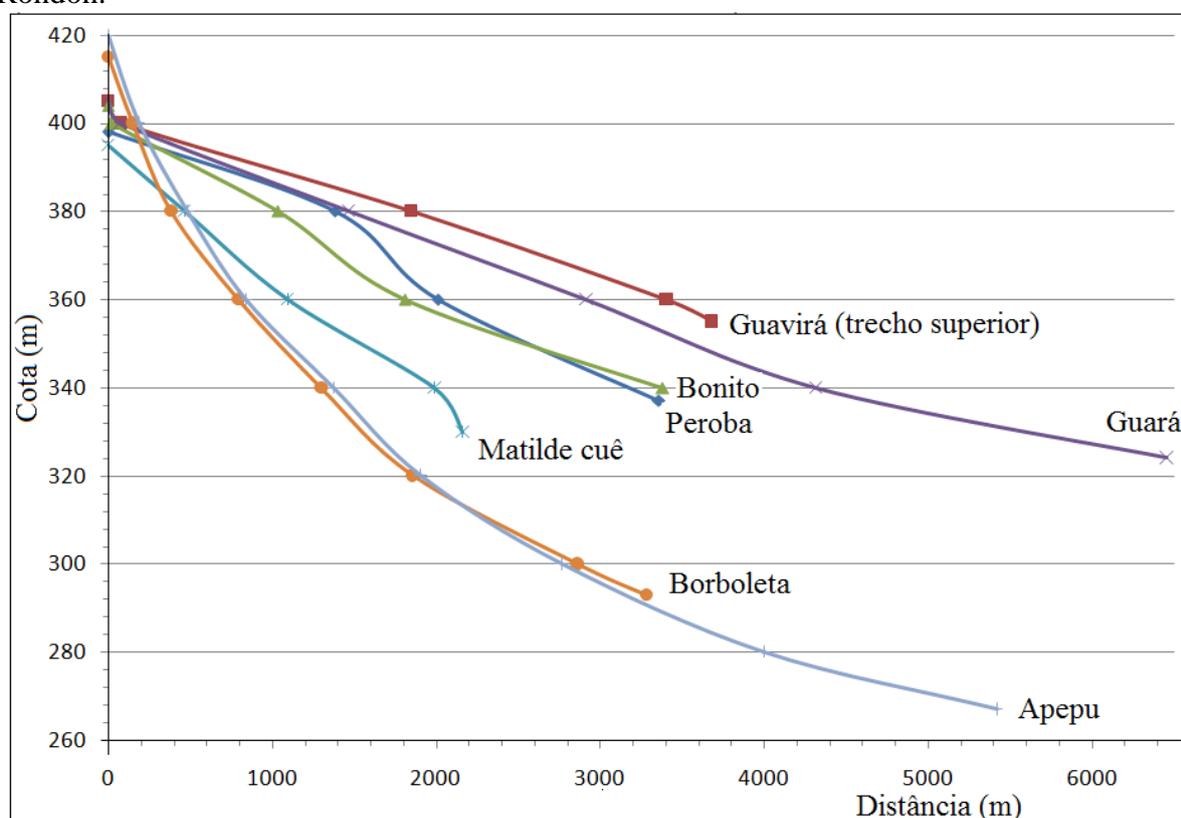
O índice de dissecção (Id) é um parâmetro que expressa o grau de erosão vertical imperante na bacia hidrográfica (SINGH; DUBEY, 1994). Os valores de Id variam de 0 (terreno plano) a 1 (terreno com encosta escarpada). Nas bacias em apreço, a bacia com menor valor Id é a do córrego Guavirá (0,19), enquanto que as bacias com maiores índices de dissecção constituem os córregos Borboleta e Apepu com valores Id igual a 0,32 e 0,37 respectivamente.

Análise do perfil longitudinal e das características hipsométricas das bacias

Os perfis longitudinais dos córregos urbanos e periurbanos em Marechal Cândido Rondon são mostrados na Figura 4, na qual se destaca visualmente a maior declividade dos três córregos afluentes do Arroio Fundo (Matilde-cuê, Borboleta e Apepu) (ver Figura 2).

Os valores das altitudes média e mediana do perfil longitudinal, assim como a declividade S1, S2 e S3 dos córregos são elencados no Quadro 7. Os valores de S1, S2 e S3 são semelhantes na maioria dos córregos, indicando perfis com traçado regular e pouca variação da declividade. Nos córregos Borboleta e Apepu, as declividades S3 variam consideravelmente com respeito aos valores de S1 e S2, significando mudanças locais na pendente ao longo do talvegue.

**Figura 5:** Perfis longitudinais dos córregos urbanos e periurbanos de Marechal Cândido Rondon.



**Organização:** o autor.

**Quadro 7:** Valores das altitudes média e mediana, declividades dos canais principais (S1, S2 e S3) e dados do retângulo equivalente (L e  $\ell$ ) das bacias urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon.

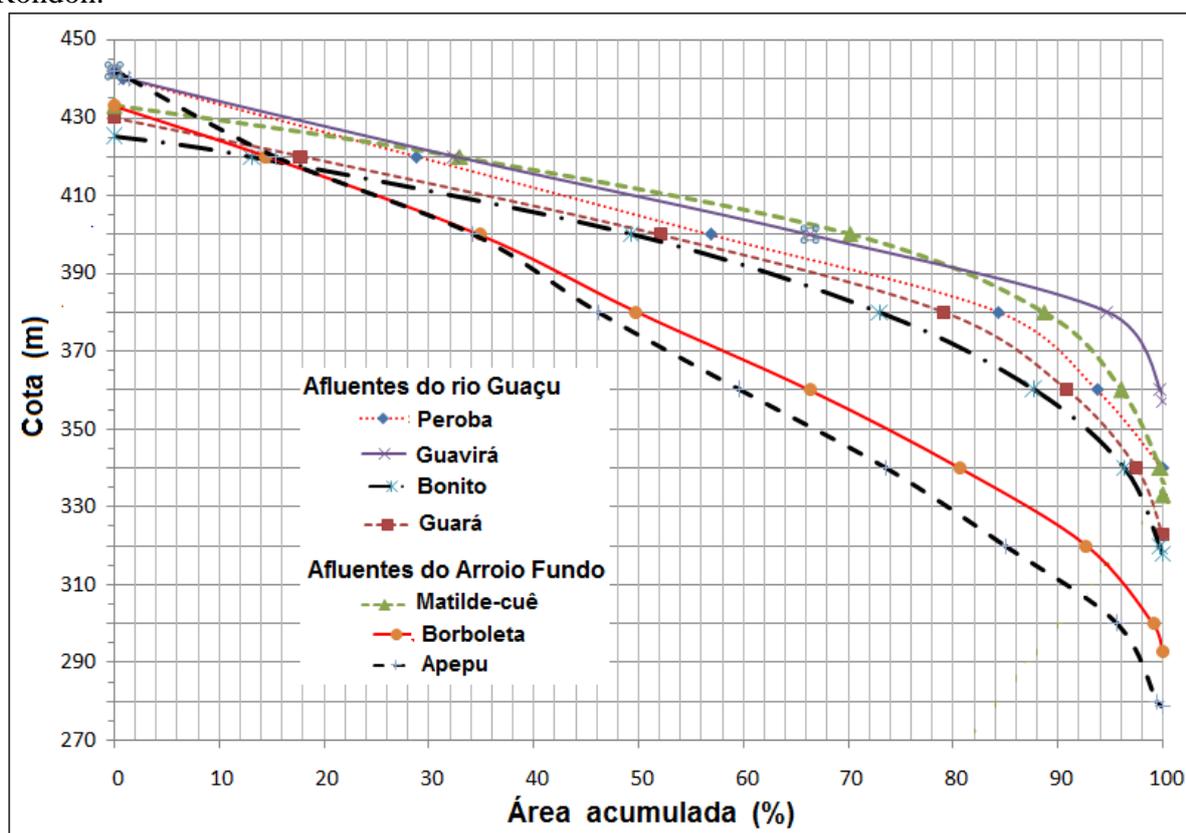
Bacias hidrográficas	Altitude média (Hd) (m) - Altitude mediana (Md) (m)	S1 (m/m)	S2 (m/m)	S3 (m/m)	L (km)	$\ell$ (km)
Peroba	403,0 – 405	0,017	0,015	0,015	3,90	1,42
Guavirá	408,7 – 410	0,013	0,012	0,012	4,69	1,69
Bonito	393,9 – 399	0,017	0,014	0,015	6,197	1,858

Guará	397,5 – 402	0,013	0,010	0,011	7,337	1,858
Matilde-cuê	407,6 – 411	0,029	0,028	0,028	2,34	2,29
Borboleta	377,7 – 380	0,037	0,025	0,029	2,42	2,40
Apepu	372,6 – 375	0,032	0,019	0,015	3,96	2,03

**Organização:** o autor.

De acordo com Strahler (1964), as curvas hipsométricas de bacias em fase inicial de evolução geomorfológica, apresentam maior porcentagem de terrenos elevados, decaindo rapidamente nos trechos inferiores dos córregos. Este comportamento é observado nos córregos Peroba, Guavirá, Bonito, Guará e Matilde-cuê. Situação oposta é verificada nos córregos Borboleta e Apepu, nos quais a diminuição da altitude da bacia de drenagem já se inicia no trecho intermediário (Figura 5). Esta característica faz com que a altitude mediana destes dois últimos córregos seja nitidamente inferior aos demais (Quadro 7).

**Figura 6:** Curva hipsométrica das bacias urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon.



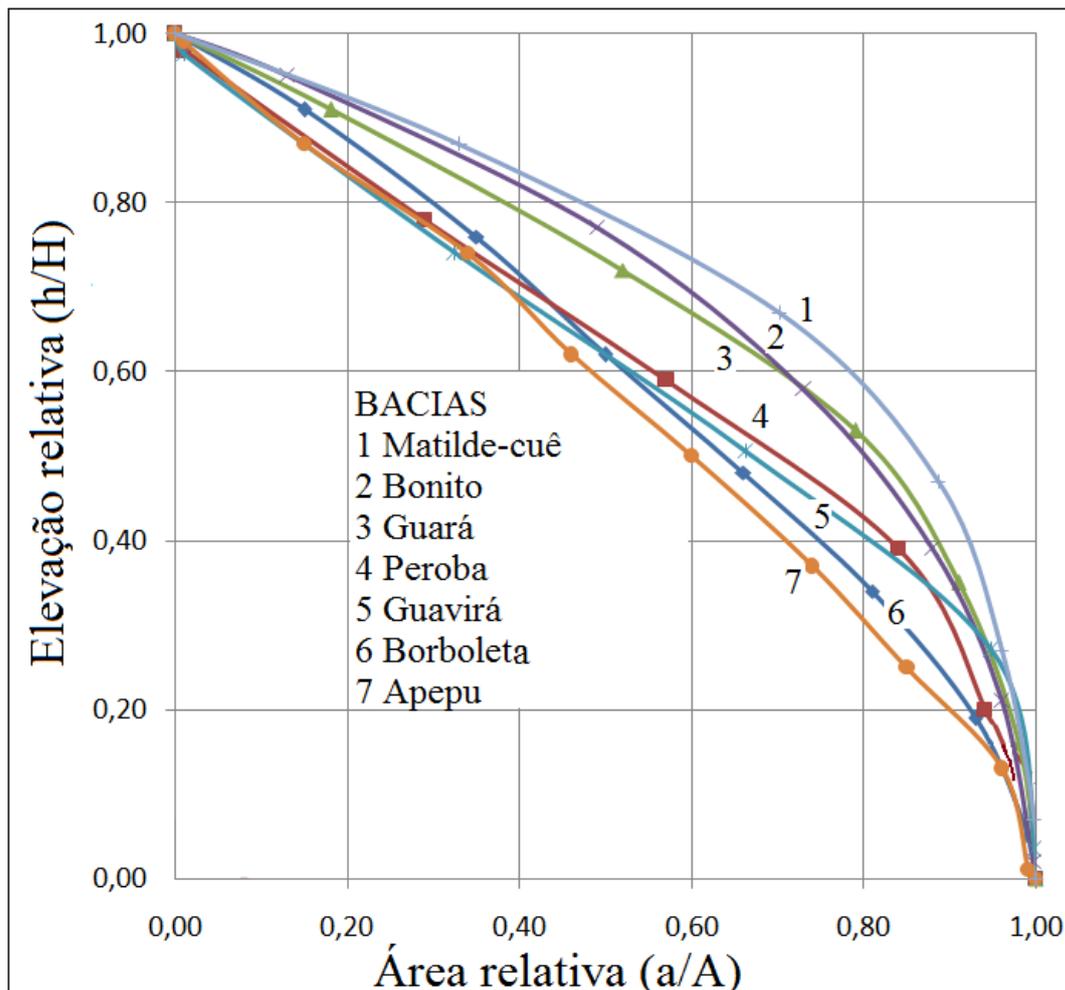
**Organização:** o autor.

As curvas hipsométricas normalizadas das bacias em estudos são mostradas na Figura 6. A integral hipsométrica ( $H_i$ ) é a representação bidimensional da massa de rocha/solo encontrada na bacia acima de uma determinada cota referencial, que normalmente é o exutório. Baixos valores de  $H_i$  indicam que grande proporção da bacia se encontra em altitudes próximas ao exutório, enquanto que valores elevados de  $H_i$  sugerem que grande proporção da área da bacia é encontrada numa maior distância vertical do exutório

(HURTREZ et al., 1999). As curvas hipsométricas normalizadas e os valores de  $H_i$  proporcionam informações vitais sobre o estágio erosivo da bacia e também sobre os fatores que controlam o desenvolvimento da paisagem como a litologia, clima e a atividade tectônica (PEREZ-PEÑA et al., 2010). Nas bacias em estudo, os valores de  $H_i$  variam de 0,55 para a bacia do Apepu a 0,74 para o córrego Matilde-cuê. De acordo com os estágios evolutivos da paisagem propostos por Strahler (1952), as bacias do Borboleta e Apepu se enquadram na fase madura e as demais bacias se encontram numa fase inicial de denudação da superfície (estágio juvenil) (Quadro 8).

Nas figuras 7 e 8 são exibidos os retângulos equivalentes das bacias em estudo. O formato dos retângulos revela graficamente a forma da bacia. As bacias em que  $L$  apresenta uma valor expressivamente maior do que  $l$ , a bacia é alongada a muito alongada, como nos casos dos córregos que drenam para o Arroio Guaçu (Peróba, Guavirá, Bonito e Guará) (Figura 7). Observando os retângulos equivalentes destas bacias percebe-se um maior espaçamento das curvas altimétricas nas áreas intermediárias do retângulo (terreno mais plano) e um adensamento das mesmas nas áreas próximas ao exutório, indicando seções longitudinais mais íngremes somente nos trechos inferiores destes córregos. Esta característica no perfil longitudinal pode ser apreciada nas curvas hipsométricas da figura 5.

**Figura 7:** Curvas hipsométricas normalizadas das bacias urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon.



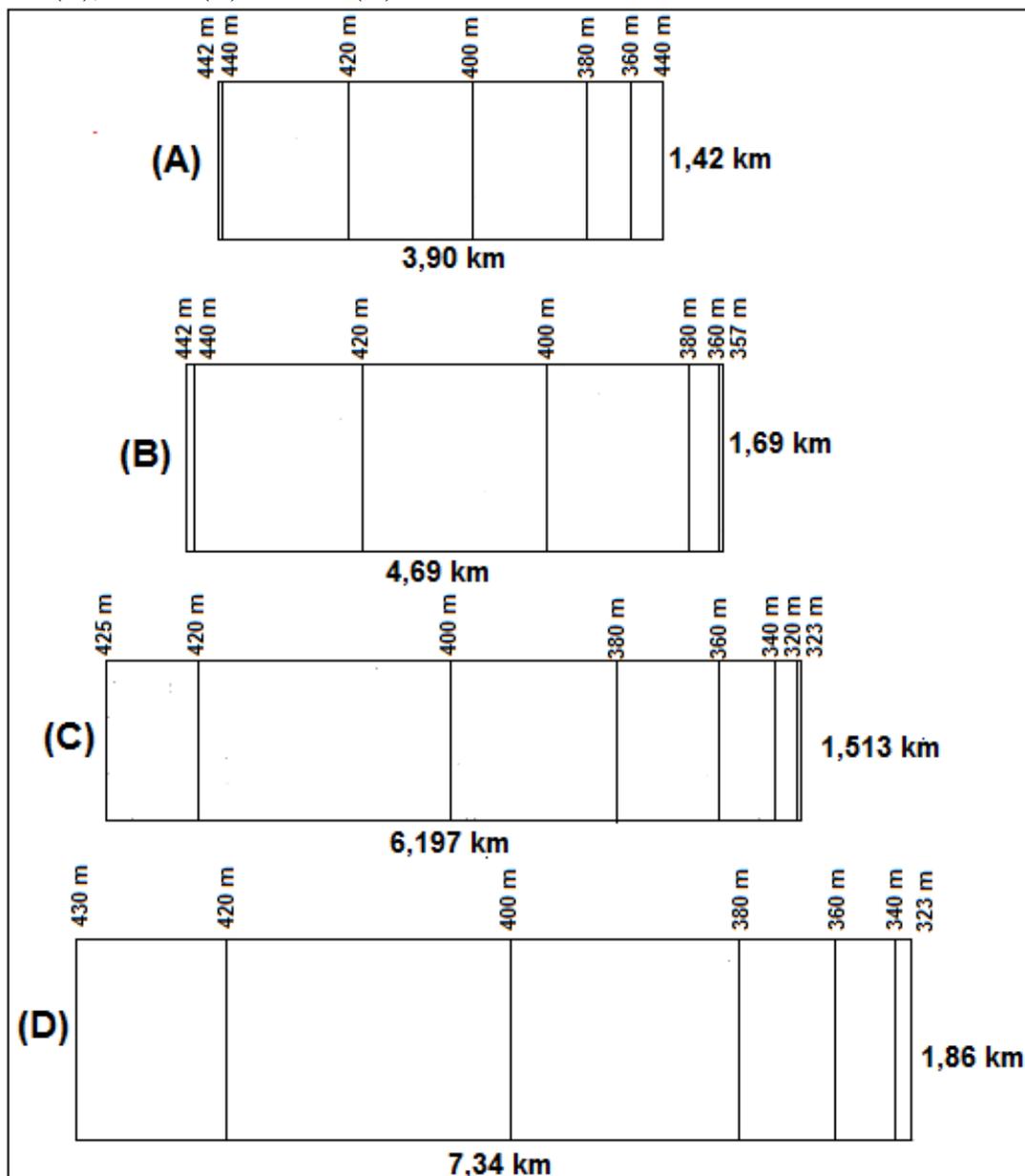
Organização: o autor.

**Quadro 8:** Valores dos integrais hipsométrica e de erosão e estágio evolutivo das bacias de acordo com a interpretação de Strahler (1952).

Bacias hidrográficas	Integral hipsométrica (Hi)	Integral de erosão (Ei)	Estágio evolutivo
Peroba	0,62	0,38	Juvenil
Guavirá (cabeceira)	0,62	0,38	Juvenil
Bonito	0,71	0,29	Juvenil
Guará	0,70	0,30	Juvenil
Matilde-cuê	0,74	0,26	Juvenil
Borboleta	0,60	0,40	Maduro
Apepu	0,55	0,45	Maduro

**Organização:** o autor.

**Figura 8:** Retângulo equivalente das bacias dos afluentes do Arroio Guaçu: Peroba (A), Guavirá (B), Bonito (C) e Guará (D).

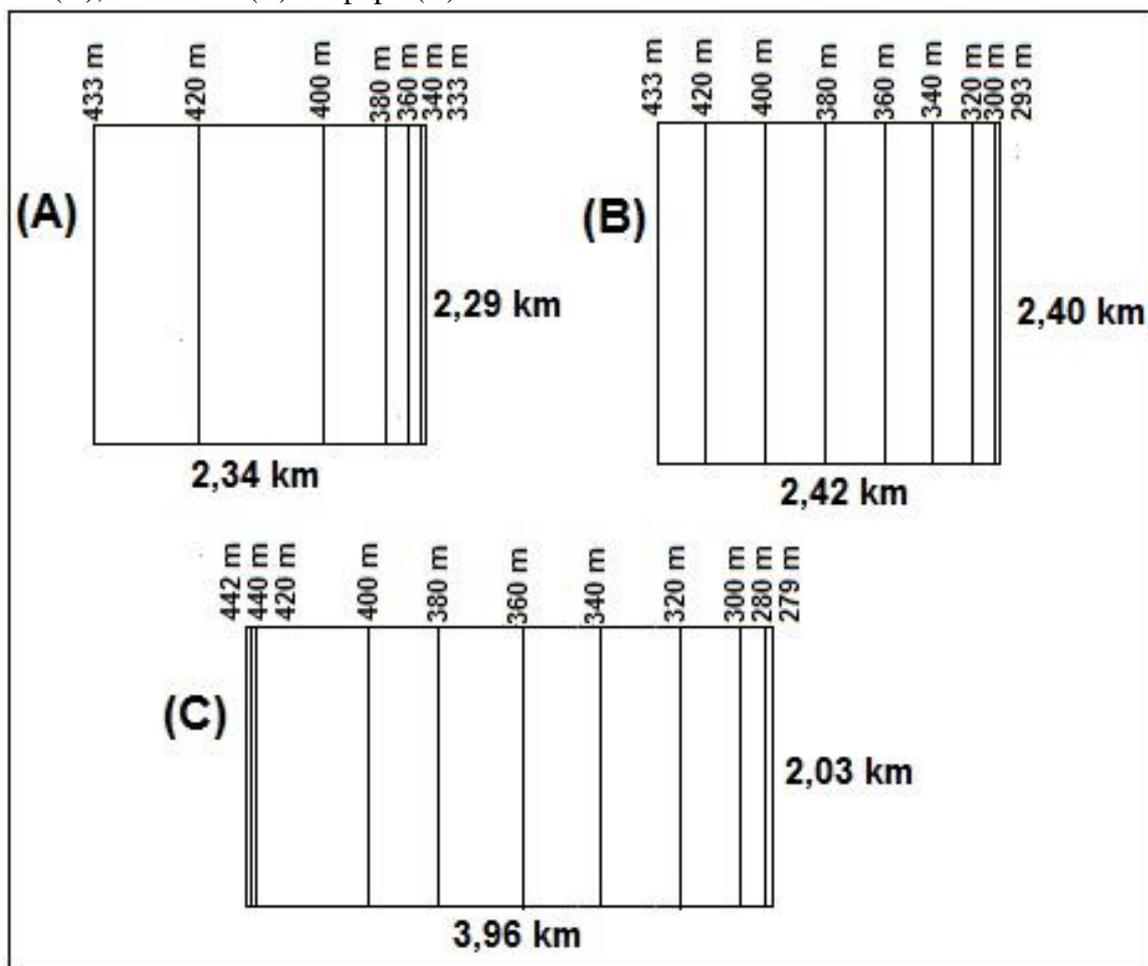


**Organização:** o autor.

Por outro lado, nas bacias com formato mais próximo a de um quadrado, os valores de  $L$  e  $\ell$  são próximos, como no caso das bacias do Matilde-cuê, Borboleta e Apepu (Figura 8). O formato quase quadrangular indica bacias mais arredondadas, o qual é corroborado pelos baixos índices de compacidade ( $K_c$ ) e altos valores de razão de alongação ( $R_e$ ) (ver Quadro 6). A maior densidade das curvas altimétricas nos retângulos das bacias do Borboleta e Apepu (Figura 8) indica um relevo mais dissecado. Esta informação pode ser confirmada observando os altos valores do índice de dissecção ( $I_d$ ) correspondentes para ambas as bacias (ver Quadro 6) e os valores de  $H_i < 0,60$ , que situam as duas bacias na fase madura do ciclo davisiano (Quadro 8).

O método básico para associar a morfometria das bacias com a magnitude das enchentes envolve a identificação e análise das relações entre as características físicas da bacia de drenagem, a precipitação e o hidrograma das cheias (PATTON e BAKER, 1976). No que tange ao papel dos parâmetros morfométricos, Patton e Baker (1976) asseveraram que em pequenas bacias ( $\text{Área} < 260 \text{ km}^2$ ), os altos valores dos índices de rugosidade ( $I_r$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ) e declividade do talvegue foram determinantes para definir as bacias com maior risco potencial de enchente. Nas bacias estudadas, os índices citados acima alcançaram valores mais elevados (ver Quadros 6 e 7) nos córregos Matilde-cuê, Borboleta e Apepu, colocando estas bacias em situações mais propensas a ocorrência de enchentes.

**Figura 9:** Retângulo equivalente das bacias dos córregos afluentes do Arroio Fundo: Matilde-cuê (A), Borboleta (B) e Apepu (C).



**Organização:** o autor.

## Conclusões

O presente estudo fornece as principais características fisiográficas das bacias urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon mensuráveis na escala de 1:50.000. Foi constatado que os afluentes dos Arroios Guaçu e Fundo apresentam características morfométricas distintas. Os córregos pertencentes ao Arroio Guaçu (Peroba, Guavirá, Bonito e Guará) apresentam menores índices de relevo, rugosidade e dissecação, possuem formas alongadas, baixa densidade de drenagem e talvegues menos declivosos. Por outro lado, as drenagens afluentes do Arroio Fundo (Maltide-cuê, Borboleta e Apepu) apresentam maiores índices de relevo, rugosidade e dissecação, são mais arredondados, densidade de drenagem mais alta e talvegues mais declivosos. Em função destas características morfométricas, os três últimos córregos apresentam maior risco de enchentes.

As diferenças nas características morfométricas entre os afluentes do Arroio Guaçu e os de Arroio Fundo sugerem que os últimos se encontram num estágio erosivo mais avançado do que os primeiros. Esta afirmação é fundada na análise das curvas hipsométricas que mostram valores de integral hipsométrica ( $H_i$ ) para os afluentes do Arroio Guaçu (Borboleta e Apepu), inserida na fase madura, enquanto que afluentes do Arroio Guaçu apresentam valores de  $H_i$  que se enquadram numa fase juvenil do ciclo geomórfico de Davis.

## Referências

BADE, M.R. **Definição e caracterização das unidades de paisagem das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)**. Marechal Cândido Rondon: Colegiado de Geografia, campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014, 114 p. Dissertação, mestrado em Espaço de Fronteira: Território e Ambiente.

CALZAVARA, S.F. **Uso e cobertura do solo e escoamento superficial nas bacias hidrográficas urbanas de Marechal Cândido Rondon-PR**. Marechal Cândido Rondon: Colegiado de Geografia, campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015, 141 p. Dissertação, mestrado em Espaço de Fronteira: Território e Ambiente.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, 9 (18): 35-64. 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas**. Rio Claro: Departamento de Geociências, Universidade Estadual Paulista, 1970, 375 p. Tese (Livre Docência).

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blücher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

DASH, P.; AGGARWAL, S.P.; VERMA, N. Correlation based morphometric analysis to understand drainage basin evolution: a case study of Sirsa river basin, western Himalaya, India. **Scientific Annals of Alexandru Ioan Cuza University of Iași**, 59 (1): 35-58, 2013.

FRANCO-MAGALHÃES, A.O.B.; HACKSPACHER, P.C.; SAAD, A.R. Exumação tectônica e reativação de paleolineamentos no Arco de Ponta Grossa: termocronologia por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, 40 (2): 184-195. 2010.

FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, 11: 53-57. 1952.

HORTON, R.E. Drainage basin characteristics. **Transaction of American Geophysics Union**, 13: 350-361. 1932.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, 56 (3): 275-370. 1945.

HURTREZ, J.E.; LUCAZEAU, F.; LAVÉ, J.; AVOUAC, J.P. Investigation of the relationships between basin morphology, tectonic uplift, and denudation from the study of an active fold belt in the Siwalik Hills, central Nepal. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 104: 12779-12796. 1999.

IAPAR - Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**, 1994. 49 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) **Censo populacional**. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br>> Acesso em: 19/09/2015.

JARDI, M. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de la variables morfométricas que nos la definen. **Revista de Geografia**, Barcelona, 19: 41-68. 1985.

MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MORESCO, M.D. **Estudos de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon - PR**. Maringá, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2007, 158 p. Dissertação, mestrado em Análise Ambiental e Regional.

NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Geociências**, São Paulo, 21 (1/2): 15-32. 2002.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative geomorphological analysis of a watershed of Ravi river basin, H. P.India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, 1(1): 41-56. 2012.

PATTON, P.C.; BAKER, V.R. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. **Water Resources Research**, 12 (5): 941-952. 1976.

PEREZ-PEÑA, J.V.; AZOR, A.; AZAÑÓN, J.M.; KELLER, E.A. Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. **Geomorphology**, 119: 74-87. 2010.

SANTOS, L.J.C.; FIORI, C.O. CANALI, N.E. FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T. da; SILVA, J.M.F. da; ROSS, J.L.S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 7 (2): 3-12. 2006.

SCHEIDEGGER, A.E. The algebra of stream order number. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, 525B, B1, 87-89. 1965.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society American Bulletin**, 67: 597-646. 1956.

SEMA (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) **Bacias Hidrográficas do Paraná, uma Série Histórica**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná. 2013.

SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, 74: 17-37. 1966.

SINGH, S.; DUBEY, A. **Geo-environmental planning of watersheds in India**, 28, Chugh Publication, India. 28, 69 p. 1994.

SLAYMAKER, O. Mountain hazards. In: Alcántara-Ayala, I.; Goudie, A.S. (Eds.) **Geomorphological hazards and disaster prevention**. Cambridge University Press, 2010, p. 33-49.

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

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **Transaction of American Geophysics Union**, 38: 913-920. 1957.

STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V.T. (Ed.) **Handbook of Applied Hydrology**. New York, McGraw Hill Book Company, 1964, Section 4-11.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

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

Artigo recebido em 08-03-16  
Artigo aceito para publicação em 26-02-17