



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Os substratos geológicos e os coeficientes morfométricos em bacias hidrográficas do carste dolomítico no Estado do Paraná

Elenice Fritzsos¹, Luiz Eduardo Mantovani²

1 Agrônoma, pesquisadora Dra. da Embrapa Florestas, Colombo, Paraná

2 Geólogo, professor Dr. do Depto de Geologia da UFPR, Curitiba, Paraná

Artigo recebido em 03/08/2010 e aceito em 07/12/2010.

RESUMO

Os estudos de morfometria de bacias hidrográficas e da rede de drenagem têm contribuído para a compreensão da evolução da paisagem. Nos trópicos e subtropicais, a ação das precipitações exerce uma função dominante na evolução dos canais de drenagem e as estruturas geológicas modulam a forma e a densidade da rede hidrográfica. O presente trabalho visa estabelecer algumas relações entre índices morfométricos de bacias hidrográficas e a litologia das bacias. O trabalho foi desenvolvido na bacia superior da rede hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape. A área foi subdividida em 10 sub-bacias e nelas foram obtidos os seguintes parâmetros morfométricos: densidade de drenagem (Dd), sinuosidade do rio principal (Sin), coeficiente de compactidade (Kc), amplitude altimétrica (AA), fator de forma (Kf), relação de relevo (Rr), densidade hidrográfica (Dh), índice de circularidade (IC). Os índices morfométricos foram submetidos à análise de agrupamento (cluster Ward's method) para agrupar as bacias com morfometrias semelhantes. Concluiu-se, a partir do resultado da análise de cluster, que os grupos formados apresentaram boa correlação com o substrato geológico. Para resultados mais conclusivos, outros estudos nesta área devem ser feitos com um maior número de bacias contendo outros arranjos litológicos e com novos índices sendo incorporados à análise.

Palavras chave: morfometria, substrato geológico, análise multivariada, hidrologia

The geological substrates and morphometric coefficients in dolomitic karst in State of Paraná

ABSTRACT

Morphometric studies of watersheds and drainage network have contributed to understand landscape evolution. In the tropics and subtropics, where precipitation represents a major force in modeling slopes and drainage channels, the geologic structure affects the formation of the drainage network. The major aim of this study was to investigate the relationship between watersheds morphometric indices and lithology. The study was conducted in the upper basin of the coastal Ribeira Valley river system, in Paraná State, Brazil. The area was subdivided into 10 sub-basins and over them we did estimated the following morphometric parameters: drainage density (Dd), sinuosity of the main stream (Sin), the compactness coefficient (Kc) altimetric amplitude (AA), shape factor (Kf), relief ratio (Rr), hydrographic density (Dh), circularity index (CI). The cluster analysis (Ward's method) was applied to the indices in order to group basins with similar morphometry. We conclude that the hierarchical groups formed by cluster analysis show a good correlation with geological substratum. For more conclusive results, others similar thematic studies should be done with a larger number of catchments, working with different lithologies and by testing other morphometric indices.

Keywords: morphometry, geological substrate, multivariate analysis, hydrology

Introdução

Os estudos de morfometria de bacias hidrográficas e da rede de drenagem têm contribuído de forma significativa para a compreensão da evolução da paisagem e da hidrologia das bacias hidrográficas. O comportamento hidrológico de uma bacia é modulado pelas características geomorfológicas, geológicas, rede de drenagem, solo, etc. além do tipo de cobertura vegetal existente (LIMA, 1997). Dentre os

fatores que modelam a paisagem, o substrato geológico, é de grande importância, inclusive nos trópicos e subtropicais de clima úmido a sub-úmido, onde a ação das precipitações representa uma componente de maior atividade na morfodinâmica dos canais de drenagem. Assim, rochas que podem apresentar em seu conjunto maior permeabilidade, como as carbonáticas, estão sujeitas a uma maior dissolução e conseqüentes processos de abaulamento

do relevo; enquanto rochas mais impermeáveis tendem a ocupar posições mais elevadas e proeminentes da paisagem. A presença de camadas intercaladas de rochas carbonáticas e não carbonáticas, como acontece na região de estudo, pode favorecer o desenvolvimento de uma rica rede de drenagem, em termos de diversidade tipológica.

Considerando estes aspectos, o objetivo deste trabalho foi verificar a relação entre índices morfométricos de bacia hidrográfica e as litologias presentes nas bacias definidas no quadro do presente trabalho. Para isto, utilizou-se como instrumento a análise de componentes principais para agrupar bacias semelhantes, a exemplo do trabalho de Oliveira et al., 2007. Um trabalho semelhante também foi conduzido por Pissarra et al. (2004, 2006) agrupando bacias hidrográficas, segundo o critério de proximidade taxonômica de solos.

O trabalho foi desenvolvido na Bacia do Alto Capivari, nas extremidades meridionais da Bacia Rio Ribeira do Iguape, que pertence à Bacia do Atlântico Leste, norte do Primeiro Planalto Paranaense. Esta bacia compreende a região das nascentes do Rio Capivari, até a sessão de controle do trabalho: a Estação de Tratamento de Água da Sanepar (ETA) de São Dimas. Ela está situada a norte/nordeste da cidade de Curitiba, apresenta ao sul os divisores comuns às bacias Ribeira e Iguape, a oeste os divisores de água da Bacia do Rio Açungui, cuja drenagem dominante é direcionada para o norte, para o Rio Ribeira. Assim, nota-se nesta região o relevo ondulado a forte ondulado com altitudes elevadas (> 900 m), próprias dos locais de divisores de águas.

Esta região foi descrita como sendo uma região montanhosa, mais rebaixada em relação ao nível geral deste planalto, porém com entalhes profundos, provocados pela erosão regressiva dos afluentes do Rio Ribeira (BIGARELLA et al., 1979). Na parte não entalhada e suavemente ondulada do Primeiro Planalto localiza-se Curitiba, sobre uma bacia sedimentar cenozóica de idade plio-miocênica associada ao denominado Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI et al. 2004).

A bacia de estudo apresenta uma área de 125,19 km² (12.519 ha) e assume um contorno bastante irregular, podendo ser dividida em duas grandes sub-bacias, correspondentes aos dois maiores rios que compõem a sua rede de drenagem, o Rio Bacaetava e o Rio Capivari.

De acordo com a MINEROPAR (2001), na bacia estão presentes as seguintes formações litológicas: Formação Setuva ou Grupo Setuva de idade Mesoproterozóica – composta por rochas gnáissicas, rochas xistosas e quartzo-micaxistos; Formação Capiru do Grupo Açungui de idade Neoproterozóica, composta predominantemente por metacalcários dolomíticos e metadolomitos, filitos e quartzitos, e secundariamente, por filitos grafitosos, metassiltitos e metamargas; rochas intrusivas básicas do Cretáceo inferior, intervalo 138-127 Ma. (Valanginiano a Barremiano) representadas no setor por diques de diabásio; Granitos intrusivos – apenas um pequeno corpo de dimensões hectométricas aflora na calha do Capivari, próximo a Estação de São Dimas e apresenta coloração acinzentada e localmente é recortado por dique de diabásio (Figura 1).

Os aluviões holocênicos formam calhas aplainadas, quase sempre com nível freático raso ou aflorante, e encontram-se nas regiões de fundo de vale recobrando, preferencialmente, as rochas carbonáticas da Formação Capiru. A litologia diversificada e as estruturas geológicas controlam a circulação da água subterrânea. De acordo com Lisboa (1997), nesta região, os diques tabulares, verticais e subverticais de diabásio, impermeáveis e pouco fraturados seccionam o complexo metamórfico funcionando como barreiras hidrogeológicas ou aquícludes, formando verdadeiras represas subterrâneas, tendo, ao centro, os pacotes carbonáticos do Açungui, porosos, permeáveis e topograficamente rebaixados, os quais também são limitados pelas lombadas de filitos e cristas de quartzitos.

A dinâmica hídrica das áreas carstificadas também é particular, pois as águas das chuvas ou irrigação atingem os sistemas freáticos com facilidade devido aos condutos ou sumidouros (dolinas), comuns nesta paisagem, o que pode potencializar ao extremo o risco de poluição destes aquíferos, como observaram Fritzson et al. (2001).

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático da região é Cfb. Este clima se define como: temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2009). A média de precipitação estimada por Rosa Filho et al. (2002), com dados provenientes de cinco postos de observação mais próximos à área de estudo, foi, entre 1954 a 1997, 1.404 mm, valor bastante

próximo de outros postos situados no 1º Planalto Paranaense.

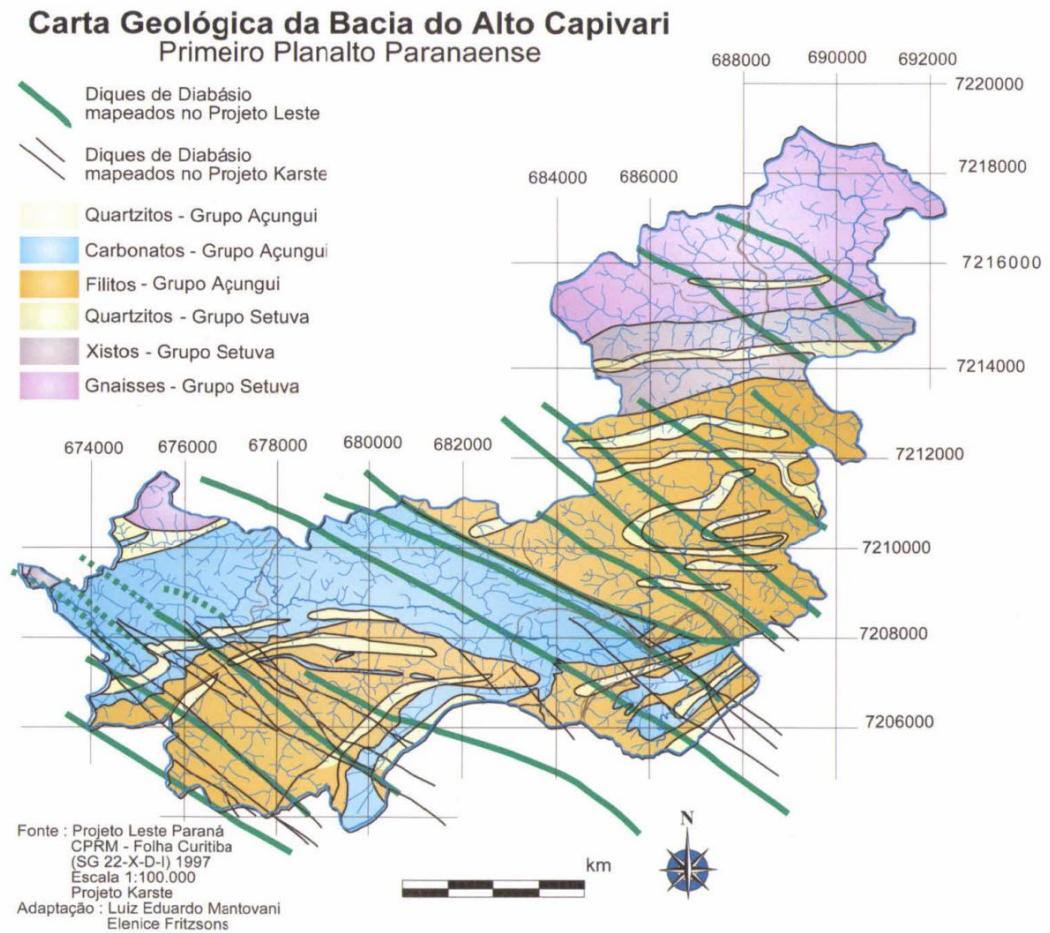


Figura 1. Carta geológica

Quanto ao excedente hídrico médio anual, resultou em apenas 363 mm (Rosa Filho et al., 2002). Isto considerando a precipitação de 1.404 mm/ano e utilizando o maior valor atribuído para a ETR (evapotranspiração real), segundo Morton (1983), de 1.040,6 mm/ano. Este excedente representa a quantidade de água disponível para ser infiltrada no solo e escoada superficialmente, devendo alimentar o aquífero e os rios (infiltração e escoamento superficial).

Material e Métodos

Para este trabalho, a Bacia do Alto Capivari foi dividida em duas sub-bacias. A primeira delas, orientada de norte para sul, corresponde à sub-bacia do Capivari, onde se localizam as nascentes da Bacia do Alto Capivari. A segunda, de orientação geral de oeste para leste, corresponde à sub-bacia do Bacaetava e seus afluentes, sendo que o Rio Bacaetava deságua no Rio

Capivari. Em área apresentam tamanhos semelhantes, a do Capivari tem 65,58 km² e a do Bacaetava 59,61 km².

Para facilitar a compreensão deste estudo estas duas sub-bacias foram subdivididas em cinco sub-bacias cada uma. Assim, na sub-bacia do Capivari temos: Nascentes do Capivari, Água Comprida (do Capivari), Antinha, Médio Capivari e Várzea do Capivari. Na sub-bacia do Bacaetava: Alto Bacaetava, Médio Bacaetava, Pinhal Grande, Baixo Bacaetava, Campestre e Água Comprida (do Bacaetava).

O critério utilizado para a separação destas sub-bacias foi o encontro de um determinado rio de uma sub-bacia, normalmente de quarta ou quinta ordem, com outro maior. Assim, por exemplo, o exutório da sub-bacia das “Nascentes do Capivari” foi considerado no encontro com a foz dos rios principais que drenavam a sub-bacia “Antinha” e “Água

Comprida“. Além disto, houve também a preocupação de separar localidades que se mostraram diferenciadas durante os levantamentos de campo. A carta hidrográfica com as ordens dos rios, em simbologia de

cores, apresenta as subdivisões das bacias, bem como os nomes das localidades mais importantes da área (Figura 2).

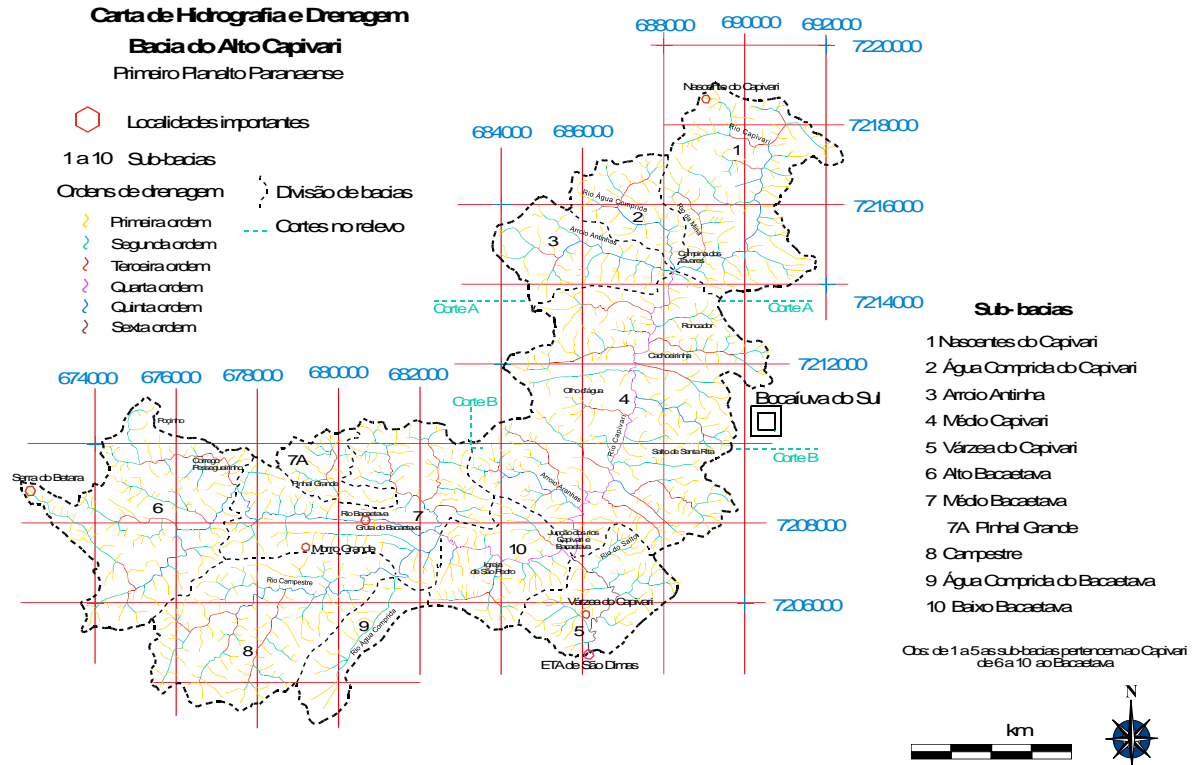


Figura 2. Carta de hidrografia e drenagem da bacia do Alto Capiva

A importância da determinação quantitativa das características físicas, ou morfométricas, das bacias hidrográficas está no comportamento hidrológico. Há

uma série de fórmulas para caracterizar as bacias hidrográficas e, algumas delas, utilizadas neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros morfométricos utilizados e suas definições.

Ítem	Equação	Definição	Significado
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \cdot P/\sqrt{A}$	O coeficiente da compacidade (Kc), diz respeito à relação entre o perímetro (P) e a raiz da área da bacia (A).	Quanto mais irregular for a bacia, maior o coeficiente de compacidade e menos sujeita a enchentes ela será ($Kc = 1 - 1,25$ - redondas para ovaladas; $Kc = 1,25 - 1,50$ -ovaladas; $Kc = 1,50 - 1,70$ -blongas; Villela e Matos, 1975).
Fator de Forma	$Kf = A / L^2$	A é a área da bacia e obtêm o L seguindo o curso de água mais longo, desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia.	Este índice deve ser utilizado na comparação de bacias de áreas semelhantes. É também um indicativo da possibilidade de enchentes: uma bacia de fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma mais elevado.

Densidade de drenagem	$Dd = L/A$	Onde L é a drenagem de toda a bacia e A é a área total da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1974). A densidade de drenagem é dada em km/km^2 e é classificada em classes de intervalos de drenagem	Este índice constitui um indicativo muito importante do escoamento superficial da água, o que reflete uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais, sendo também um indicativo da natureza, da litologia e dos solos. Seus padrões são elementos importantes de reconhecimento para identificação de fenômenos geológicos e ambientais. De acordo com Anderson (1982), ela é um dos fatores que devem ser levados em consideração para a compreensão da paisagem, pois reflete a corrosão da rocha (intemperismo) e da erosão do solo. (De acordo com Strhaler , baixa $Dd=5,0$; média $Dd= 5,0$ a $13,7$; alta $Dd= 13,7$ a $155,5$ e muito alta $Dd = ou > 155,3 km/km^2$).
Densidade hidrográfica	$Dh = n/A$	Onde n é o número de canais de drenagem e A , a área da bacia.	Expressa o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado de bacia, indicando o potencial hídrico da região.
Relação de relevo	$Rr = AA/L$	Onde AA é a amplitude altimétrica e L o comprimento do canal principal	Estabelece a relação entre a diferença entre a altitude máxima e a mínima da bacia com o comprimento do canal principal.
Sinuosidade do curso d'água (Sin)	$Sin = L/Lt$	Refere-se à relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento do talvegue (Lt)	Esta relação reflete a velocidade de escoamento de um rio (VILLELA; MATOS, 1975) e, de acordo com Christofolletti (1981), este índice distingue entre os canais que são meandros e os que não são. Segundo os autores, alguns pesquisadores consideram que o valor da relação acima de 1,5 é limite para se considerar os canais como meandros.
Índice de circularidade	$IC = A/Ac$	Refere-se à relação entre o a área da bacia e a área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.	$Ic = 0,51$ – escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas; $Ic > 0,51$ – bacia circular que favorece processo de inundação; $Ic < 0,51$ – Bacia mais alongada que favorece escoamento

Nestas bacias foram obtidos os seguintes parâmetros morfométricos: área, perímetro, extensão da drenagem, densidade de drenagem (*Dd*), sinuosidade do rio principal (*Sin*), coeficiente de compacidade (*Kc*), Amplitude altimétrica (*AA*), fator de forma (*Kf*), relação de relevo (*Rr*), densidade hidrográfica (*Dh*), índice de circularidade (*IC*).

Aplicando as fórmulas acima descritas, a caracterização física das sub-bacias foi individualizada para cada uma das 10 sub-bacias, para o conjunto das duas grandes sub-bacias e também para toda a área da Bacia do Alto Capivari. Estes cálculos seguiram as fórmulas indicadas em Villela e Mattos (1975) e (1981).

Método de agrupamento

Os índices morfométricos foram submetidos ao processo de agrupamento, que objetiva compor grupos com elevada homogeneidade interna, dentro dos grupos, e uma elevada heterogeneidade externa, entre os grupos. Há dois tipos de métodos de agrupamento: métodos não-hierárquicos, que produzem um número fixo de agrupamentos e métodos hierárquicos, que formam agrupamentos por meio de uma seqüência crescente de partições de grupos – abordagem divisiva – ou de junções sucessivas de grupos – abordagem aglomerativa.

Neste trabalho foi utilizado o método hierárquico de variância mínima (Ward's method). O método de Ward, de acordo com Hair et al. (2005), forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo, o que equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. O resultado pode ser visualizado por meio de um dendrograma.

Depois dos grupos formados foi feita a sobreposição da carta hidrográfica na carta geológica para verificar a relação dos grupos formados com o substrato geológico.

Tabela 2. Resultado das fórmulas aplicadas

Sub-bacias	Dd	Sin	Kc	AA	Kf	Rr	DH	IC
Nascentes do Capivari	3,8	1,74	1,35	242	2,3	19,36	6,74	0,53
Água Comprida	3,7	1,12	1,34	202	2,1	44,89	7,29	0,55
Antinha	3,6	1,05	1,36	136	2,4	27,20	6,56	0,53
Médio Capivari	3,1	1,12	1,46	287	7,0	30,21	7,32	0,46
Várzea do Capivari	4,0	1,33	1,16	157	3,6	39,25	7,18	0,74
Alto Bacaetava	4,3	1,08	1,53	259	3,7	29,77	7,14	0,42
Campestre	3,6	1,04	1,17	282	3,5	33,98	7,36	0,71
Água Comprida do Bacaetava	2,3	1,13	1,46	189	2,0	47,25	2,96	0,46
Médio Bacaetava	2,9	1,03	1,42	262	5,8	43,67	6,79	0,49
Baixo Bacaetava	3,8	1,33	1,24	152	3,7	38,00	7,47	0,64
Valores médios	3,51	1,19	1,35	217	3,616	35,36	6,68	0,55

Quanto à forma da bacia, esta constitui um parâmetro importante para se estimar o tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que a água, precipitada nos limites da bacia, atinja o exutório ou a saída da mesma. Para tanto, dois coeficientes foram obtidos: o coeficiente de compacidade e o fator de forma.

O coeficiente de compacidade ou Kc é maior quanto mais irregular for a sub-bacia e, portanto, menos sujeita a enchentes, se distanciando de uma forma circular (kc) e do valor numérico 1. O coeficiente de compacidade mais próximo de 1, ocorreu na sub-bacia do Campestre (1,17) e na Várzea do Capivari (1,16). Em visita a campo foi constatado

Resultados e Discussão

As informações obtidas (Tabela 2) sintetizam as informações morfométricas referentes à: ordens das bacias, áreas, perímetros, extensão da drenagem, densidade de drenagem (Dd), sinuosidade do rio principal (Sin), coeficiente de compacidade (Kc), amplitude altimétrica (AA), fator de forma (Kf), relação de relevo (Rr), densidade hidrográfica (Dh), índice de circularidade (IC) (Tabela 2 e 3).

que nos locais situados próximos aos exutórios destas sub-bacias ocorriam enchentes freqüentes.

Quanto ao fator de forma ou Kf, constitui-se numa medida comparativa para bacia de mesma área. A interpretação é contrária da anterior, pois quanto maior o Kf, maior sujeição às enchentes. Assim, pelo Kf, a sub-bacia do Capivari é menos sujeita às enchentes que a do Bacaetava, o contrário da análise anterior.

Entretanto, a avaliação das bacias, considerando o Kc e Kf quanto a sujeição a enchentes fica prejudicada, pois elas possuem áreas muito diferentes em dimensão. Além disso, em algumas delas,

além da precipitação, recebem água proveniente do deflúvio de outras bacias.

A sub-bacia do Bacaetava apresenta a maior amplitude altimétrica (349 m), devido ao ponto mais alto da região estar dentro desta sub-bacia, tratando-se do Morro do Setuva, com 1.224 m de altitude sobre rochas metamórficas do Grupo Setuva.

Ainda quanto à sinuosidade do rio principal (Sin), nota-se que o rio não apresenta, em geral, um caráter meandrante, pois a sinuosidade resultou em índices com valores de 1,39 para a sub-bacia do Capivari e 1,11 para a sub-bacia do rio Bacaetava. Estes valores estão abaixo do limite de 1,50 quando se considera o rio como meandrante. Entretanto, na sub-bacia das “Nascentes do Capivari”, o rio apresenta um caráter meandrante, principalmente próximo ao seu exutório, devido ao barramento parcial do rio por corpos alongados de quartzito, restringindo seu livre escoamento (Figura 2).

Também se observam meandros em Várzea do Capivari, sem que o rio tenha, pela interpretação da fórmula, um caráter meandrante. Estes meandros, tendência natural de todos os rios, são favorecidos pela presença de aluviões inconsolidados e facilmente mobilizáveis, depositados em segmentos de baixo desnível altimétrico do rio principal, compondo estas áreas, os solos inundáveis das várzeas. A drenagem lenta destes solos torna-se evidente especialmente após períodos de precipitação onde há acúmulo de água superficial.

Apesar da importância do levantamento destes parâmetros morfométricos na caracterização físicas das bacias hidrográficas, Beltrame (1994), lembra que eles são apenas instrumentos auxiliares numa avaliação preliminar dos recursos hídricos, não devendo ser considerados como elementos finais. Uma análise mais completa envolveria estudos de solos, geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e mesmo experimentos de campo.

Quanto à densidade de drenagem, pode-se notar que a densidade de drenagem apresenta uma tendência a ser maior nas áreas de gnaisses e xistos da Formação Setuva (sub-bacias de Água Comprida do Capivari, Antinha e Nascentes do Capivari), sendo mais reduzida, relativamente, nas áreas de rochas meta carbonáticas do Grupo Açungui, localizados na parte central das sub-bacias do Bacaetava. É o caso da sub-bacia do Médio Bacaetava e de Água Comprida do Bacaetava.

Entretanto, a presença de litologias mistas numa mesma bacia, como é o caso da sub-bacia de Várzea do Capivari, bem como a frequência dos diques que seccionam o complexo metamórfico, fazem com que estas áreas apresentem uma densidade de drenagem também alta.

Pode-se observar que a sub-bacia Água Comprida do Bacaetava se diferencia das demais, apresentando uma baixa densidade de drenagem (Dd). Trata-se de uma sub-bacia relativamente pequena, de terceira ordem, e composta predominantemente por litologias carbonáticas em parte carstificadas, as quais devem permitir uma boa infiltração, o que diminui os processos de escoamento superficial e também a esculturação dos canais. O escoamento superficial nesta bacia se mostra extremamente reduzido.

Quando sobre os filitos da Formação Capiru, a densidade de drenagem varia entre alta e muito alta. Na sub-bacia do Campestre, sobre filitos de granulação mais fina, mais impermeáveis, a drenagem é expressivamente densa, enquanto que na sub-bacia do Médio Capivari, a drenagem é menos expressiva, comparativamente, possivelmente devido à presença de filitos de granulação mais grosseira, mais permeáveis.

Quanto aos diabásios, a espessura delgada dos diques, geralmente, não permite o desenvolvimento de uma rede de drenagem própria. Entretanto, quando eles cortam corpos calcários, formam-se lombadas ou espigões muito alongados que ao serem cortadas pela drenagem barram o livre escoamento das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas. Os diques podem também direcionar a drenagem de alguns corpos de água.

O resultado da análise de agrupamento aplicado às bacias hidrográficas pode ser verificado na Figura 3.

Observa-se na figura 3:

1. Há uma primeira separação entre água Comprida do Bacaetava, Médio Capivari e Médio Bacaetava (grupo 1) dos demais (grupo 2). Estas bacias do grupo 1 são contíguas e apresentam semelhança em termos de substrato geológico (metacarbonatos, filitos e quartzitos) cortados por diques de diabásio, e estão nas cotas mais baixas da área;

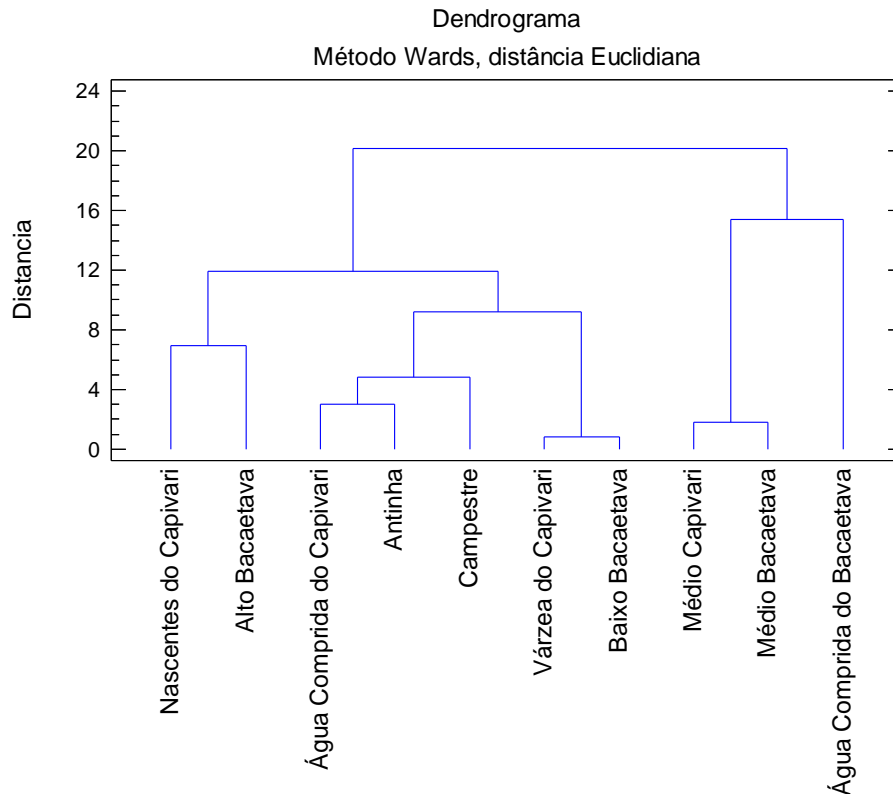


Figura 3. Análise de agrupamento para as bacias hidrográficas

2. A sub bacia de Água Comprida do Bacaetava (Grupo 1.2) isolou-se das demais: Médio Capivari e Médio Bacaetava (grupo 1.2). Esta bacia, conforme já colocado, apresenta substrato de rochas carbonáticas bastante carstificado, forma muito alongada e está situada entre espigões de quartzitos, que são os divisores de água.
3. No grupo 2, as sub-bacias “Nascentes do Capivari” e “Alto Bacaetava” isolaram-se das demais (Água Comprida do Capivari, Antinha, Campestre, Várzea do Capivari e Baixo Bacaetava). Estas bacias estão sob as litologias mais impermeáveis da área (“Gnaisses do Grupo Setuva”) e, neste lugar, inclusive, ocorrem as maiores altitudes e localizam-se as nascentes do rio Bacaetava e do rio Capivari. São rochas fisicamente mais duras e mais resistentes ao intemperismo;

4. No grupo 2.2, as bacias de Várzea do Capivari e Baixo Bacaetava isolaram-se das demais (Água Comprida do Capivari, Antinha e Campestre). Estas duas sub-bacias são similares, apresentam uma baixa altitude média, são contíguas e compostas com os mesmos substratos geológicos.

Quanto às bacias de Água Comprida do Capivari e Antinha (Grupo 2.2), elas estão agrupadas, são contíguas e apresentam o mesmo substrato geológico. A sub-bacia do Campestre, inteiramente desenvolvida sobre filitos, se diferencia das outras duas, e uma análise mais aprofundada deve ser realizada para compreender o motivo de ela ter sido alocada neste agrupamento.

Assim, ao longo deste estudo, pôde-se observar que há fortes indícios de que os índices morfométricos apresentam forte correlação com o substrato geológico

Conclusão e recomendações

Com o resultado da análise de agrupamento, observou-se que os grupos formados apresentaram uma forte correlação com o substrato geológico. Como exemplo, a bacia “Água Comprida” do Bacaetava, com substrato geológico de rochas carbonáticas, isolou-se das demais, bem como a das “Nascentes do Capivari” e do “Alto Bacaetava”, as quais estão sobre os gnaisses do Grupo Setuva. As áreas mais carstificadas apresentaram um padrão bastante diferenciado das demais litologias, sendo que o mesmo ocorreu com a bacia de rochas mais resistentes.

Deve-se observar que o agrupamento das bacias somente foi possível devido à utilização de índices morfométricos, uma vez que dados absolutos (extensão do percurso superficial, tamanho e área de bacia) não poderiam ter sido utilizados pelo fato das bacias apresentarem diversos tamanhos de áreas.

Outros estudos, neste sentido, devem ser realizados, com um maior número de bacias de diversas composições litológicas e testando-se, também, outros índices na busca de resultados mais conclusivos.

Para avaliação e monitoramento ambiental, estudos que envolvem análise de agrupamento podem ser bons indicadores tanto para selecionar bacias regionalmente representativas, quanto para excluir outras que diferem das demais.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, P. S. (Ed.). **Fundamentos para fotointerpretação**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 136 p.
- BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed da UFSC, 1994. 111 p.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; POPP, J. E. **Região Metropolitana de Curitiba**: recursos naturais: Ouro Fino. Curitiba: COMEC, 1979. 30 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**: o canal fluvial. São Paulo: E. Blücher, 1981. 313p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: E. Blücher, 1974. 188 p.
- FRITZSONS, E.; RIZZI, N. E.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. Estudo do impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 49, p. 39-52, 2001.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Trad. Adonai S. Sant'Anna e Anselmo C. Neto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IAPAR. **Zoneamento agrícola**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1043>>. Acesso em: 20 maio 2009.

LIMA, W. P. Indicadores hidrológicos do manejo sustentável de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT. Proceedings...Colombo: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. P. 13-29.

LISBOA, A. A. **Proposta de metodologia para avaliação hidrogeológica do aquífero cárstico, compartimento de São Miguel**. 1997. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MINEROPAR. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001. 116 p. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/10_relatorio_s_concluidos.pdf>. Acesso em: 15 maio 2009.

MORTON, F. I. **Operational Estimates of Aerial Evapotranspiration and their Significance to the Science and Practice of Hydrology**, Amsterdam, v. 66, p.1-76, 1983.

OLIVEIRA, Sandro Nunes de; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Ablio de ; SILVA, Telma Mendes da ; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; MARTINS, Eder de Souza; GUIMARÃES, Renato Fontes ; SILVA, Nilton Correia da . 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, p. 3-21, 2007.

PISSARRA, T. C. T.; BORGES, Maurício José; GALBIATTI, João Antonio ; RODRIGUES, Flávia Mazzer ; POLITANO, Walter . Análise Morfométrica da microbacia do córrego rico, região nordeste do Estado de São Paulo. **Científica (UNESP)**, v. 34, p. 171-177, 2006.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, Walter; FERRAUDO, Antonio Sergio. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, LUCY GOMES ; FERRARI, ANDRÉ LUIZ . **Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. In: Mantesso Neto, V. ; Bartorelli, A. ; Carneiro, C. D. R. ; Brito Neves, B. B. . (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 1 ed. São Paulo, SP: . Beca, 2004, v., p. 383-405

ROSA FILHO, E. F. da; POLIDORO, G.; HARUM, T.; LISBOA, A. A.; RIBAS, A.; ZOJER, H. **Projeto Carste**: relatório conclusivo final. Curitiba: Instituto de Hidrogeologia e Geotermia, 2002. Disponível em: <http://www.suderhsa.pr.gov.br/meioambiente/arquivos/File/suderhsa/rel_final.pdf>. Acesso em: 20 de maio 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975. 245 p.

