

Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná

Fabiano Hugo Borsato* e Astrid Meira Martoni

Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.
*Autor para correspondência. e-mail: fabiano_hugo@hotmail.com

RESUMO. O objetivo deste trabalho é fazer uma caracterização física das bacias hidrográficas da área urbana do município de Maringá, Estado do Paraná, visando fornecer subsídios para um manejo adequado dos recursos hídricos do município. Para tanto foi utilizado o programa computacional *Spring 4.0* desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, sobre um mapa de curvas de nível. Os resultados obtidos permitem uma visão geral das características de relevo e da rede de drenagem das bacias.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, rede de drenagem, área urbana, município de Maringá.

ABSTRACT. Study of the physical characteristics of watersheds in the urban area of Maringá, state of Paraná, Brazil. The objective of this work is to determine the physical characteristics of watersheds in the urban area of Maringá-PR providing elements for a proper management of water resources. The software *Spring 4.0*, developed by National Institute of Spatial Research - (Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) was utilized for this aim with the help of a topographic contour map. Results provide an overall view of the watershed relief and drainage system.

Key words: river basins, drainage system, urban area, Maringá.

Introdução

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. Ela pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída (Linsley e Franzini, 1978; Tucci, 1997). A quantidade de água que atinge os cursos d'água depende do tamanho da bacia, da precipitação total e de seu regime e das perdas devido à evaporação, à transpiração e à infiltração (Christofoletti, 1974).

O papel hidrológico da bacia hidrográfica seria, segundo Tucci (1997), o de transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação), em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo. Esse papel hidrológico vai ser grandemente influenciado pelas características físicas das bacias que compreendem a sua área de drenagem, forma, sistema de drenagem e características do relevo. Para Vilella e Mattos (1975), existe uma grande correspondência entre as características físicas e o regime hidrológico, pois através de relações e

comparações entre esses dois elementos pode-se determinar indiretamente valores hidrológicos em regiões onde esses dados são escassos. Além disso, através de informações de características físicas, pode-se inferir condições sobre formações geológicas, perdas de sedimentos entre outras características relacionadas ao solo da região.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi o de estudar as características físicas das bacias hidrográficas da área urbana de Maringá-PR, compreendendo as sub-bacias do ribeirão Maringá e do ribeirão Morangueira, pertencentes à bacia do rio Pirapó e as sub-bacias do córrego Moscado, ribeirão Borba Gato e ribeirão Água Suja, pertencentes à bacia do rio Ivaí. A escolha desses rios decai do fato de suas nascentes encontrarem-se no interior da área urbana de Maringá-PR, portanto, são rios cujas características físicas e hidrológicas terão grande impacto à população e, além disso, são os que mais sofrem da ação antrópica.

Área de estudo

De acordo com Silveira (2003), o município de Maringá possui uma extensão territorial de aproximadamente 472 km², situando-se sobre o Terceiro Planalto Paranaense, na região Noroeste do Estado do Paraná, entre os paralelos 23° 15' e 23° 34'

de latitude sul e os meridianos 51° 50' e 52° 06' de longitude oeste. O município abrange terras das bacias do rio Pirapó e do rio Ivaí, estendendo-se sobre o espigão divisor de águas. As altitudes encontradas variam desde 360 m, nos vales mais dissecados, no extremo noroeste e sudeste do município, até 599 m, cota mais elevada, a qual se encontra no interior da área urbana, no topo do principal espigão divisor de águas, que separa as sub-bacias do ribeirão Maringá, pertencente à bacia do rio Pirapó, e as sub-bacias do córrego Moscado e ribeirão Borba Gato, pertencentes à bacia do rio Ivaí.

Segundo Zamuner (2001), o substrato geológico do município é constituído por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, resultante dos derrames do lava do período Jurássico-Cretáceo. Segundo o autor, a intemperização dessas rochas gerou os Latossolos Roxos e a Terra Roxa Estruturada, que são solos profundos, desenvolvidos e de alta fertilidade natural. Nos topos dos principais divisores de água, segundo Silveira (2003), predominam os Latossolos Roxos, ora eutróficos ou distróficos. Os solos de Terra Rocha Estruturada são os solos predominantes nas médias vertentes e fundos de vales. Solos resultantes da associação de Terra Roxa estruturada com solos litólicos são encontrados em algumas áreas, nas imediações de fundos de vales.

Nos extremos oeste e noroeste do município, verifica-se a ocorrência de arenito, mas em pequena proporção. Esse arenito é classificado por Maack (1953), citado em Silveira (2003) como “arenito Caiuá, formação supratrapp eólica”.

A forma do relevo é basicamente a de espigões longos, aplainados e levemente ondulados nos topos dos divisores de água, em especial na área urbana. A partir das médias vertentes e nos fundos dos vales mais dissecados é que se verificam as superfícies mais onduladas (Silveira, 2003).

A vegetação da Floresta Estacional Semidecidual que cobria a parte norte do Terceiro Planalto e seus vales fluviais é uma variação da mata pluvial tropical do litoral (Bigarella e Mazuchowski, 1985; Veloso e Góes Filho, 1985, citados em Zamuner, 2001). No interior do município, ainda hoje existem algumas reservas remanescentes dessa vegetação, sendo que as três principais são o Bosque II, Parque do Ingá e Horto Florestal. Apenas a primeira encontra-se em estado natural, sendo que as duas últimas já possuem obras de urbanização no seu interior.

Segundo Silveira (2003), a área em estudo, atravessada pelo trópico de Capricórnio, encontra-se em uma zona climática caracterizada, por diversos estudiosos, como de transição entre os climas tropical e subtropical. A pluviosidade e temperatura apresentam uma acentuada variação devido à alternância dos sistemas atmosféricos, ora tropicais ora extratropicais. Segundo a classificação climática

de Koppen (1978), citado em Zamuner (2001), o clima predominante na região de Maringá é do tipo Cfa - subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas menos frequentes, tendência de concentração de chuvas em dezembro, janeiro e fevereiro e temperatura do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C.

Material e métodos

A *área de drenagem* de uma bacia hidrográfica é o elemento básico para o cálculo da maioria das características físicas que a representam (Vilella e Mattos, 1975). Segundo Tucci (1997), a área da bacia é fundamental para definir a sua potencialidade hídrica e tem grande importância na sua resposta hidrológica, pois, se desconsiderarmos os outros fatores, quanto maior a área, menos pronunciados serão os picos de enchentes, pois maior será o tempo para que toda a bacia contribua de uma só vez.

A área e outras características físicas das bacias hidrográficas da área urbana de Maringá-PR foram determinadas com o auxílio do programa computacional *Spring 4.0* - Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. A carta do IBGE para o município de Maringá-PR, com escala 1:20.000 e curvas de nível de 5 em 5 m, foi digitalizada no *Spring 4.0* e os dados separados em duas categorias: uma de modelo numérico contendo as curvas de nível e outra de modelo temático composta pela rede de drenagem. Para a delimitação das bacias foi criada uma nova categoria temática e utilizada a ferramenta *Edição Vetorial*. As áreas, perímetros e comprimentos foram obtidos utilizando-se a ferramenta *Operações Métricas*.

Existem controversas quanto à classificação das áreas das bacias hidrográficas. Alguns autores consideram como *bacias pequenas* aquelas com área inferior a 3 km², *bacias médias*, com área variando de 3 km² a 1000 km² e *bacias grandes* com área superior a 1000 km². Para Wisler e Brater (1964), *bacias pequenas* são as que possuem área inferior a 10 milhas quadradas (26 km²) e *bacias grandes* com área superior a esse valor.

Quanto à *forma*, normalmente as bacias tendem a ter o formato de uma pêra, mas variáveis geológicas podem resultar em grandes derivações dessa forma (Linsley *et al.*, 1975). Para as bacias geográficas maiores, as principais estruturas geológicas, dobras e cadeias de montanhas serão os fatores preponderantes da posição das linhas divisórias de água das nascentes, enquanto que os limites laterais podem ser determinados pelas estruturas geológicas ou erosão. Para as bacias menores, normalmente a erosão é o fator primordial (Wisler e Brater, 1964).

Gravelius (1914), citado em Wisler e Brater (1964), propôs o uso de dois índices de forma para uma bacia hidrográfica: o *coeficiente de compacidade* (k_c) e o *fator de forma* (k_f).

O *coeficiente de compacidade* (k_c) é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo, cuja área é igual à da área de drenagem da bacia. Quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia, assim se os outros fatores forem iguais, a tendência a enchentes será maior (Vilella e Mattos 1975), pois maior será a possibilidade de toda a área estar contribuindo de uma só vez.

O *fator de forma* (k_f) é a relação entre a largura média e o comprimento do eixo (ou axial) da bacia. Esse comprimento é medido da foz ao ponto mais distante da bacia. Obtém-se a largura média dividindo-se a área pelo comprimento do eixo. Para bacias com saídas laterais, com largura maior que o comprimento, este valor pode ser superior à unidade. O fator de forma também dá alguma indicação sobre a tendência a inundações, pois em uma bacia com fator de forma baixo há uma possibilidade menor de uma chuva intensa cobrir toda a sua extensão do que em uma bacia com mesma área e fator de forma maior (Wisler e Brater, 1964) e, também, segundo Vilella e Mattos (1975), em tal bacia a contribuição dos afluentes atinge o rio principal em vários pontos, afastando da condição ideal da bacia circular, na qual a concentração do deflúvio ocorre em um só ponto.

O *sistema de drenagem* de uma bacia é constituído pelo canal principal e seus afluentes ou tributários. A fim de se determinar o grau de ramificação ou bifurcação de uma bacia, Horton (1945) e Strahler (1957), citados em Tucci (1997), propuseram critérios para o *ordenamento dos canais* da rede de drenagem. No sistema proposto por Strahler, todos os canais sem tributários são de primeira ordem, os canais de segunda ordem originam-se da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter tributários também de primeira ordem; os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber tributários de segunda e primeira ordens e assim por diante. A ordem da bacia será determinada pelo canal de ordem maior. Baseado no ordenamento dos canais e em outras características físicas, diversos índices foram propostos para se avaliar o sistema de drenagem de uma bacia como a *relação de bifurcação* (R_b), *relação dos comprimentos* (R_L), *relação das áreas* (R_a), *densidade de drenagem* (D_d), *extensão média do escoamento superficial* (ℓ), *coeficiente de manutenção dos canais* (C), *densidade de confluências* (D_c), *sinuosidade do curso d'água* (Sin) e *densidade hidrográfica* (D_h).

A *relação de bifurcação* (R_b), proposta por Horton (1945), citado em Tucci (1997) é o resultado da divisão do número de canais de uma dada ordem,

pelo número de canais de ordem imediatamente superior. Segundo Strahler (1964), a relação de bifurcação não será exatamente a mesma de uma ordem a outra, por causa das variações na geometria da bacia, mas tenderá a ser constante. Essa observação é baseada na *lei do número de canais* de Horton (1945), citado em Strahler (1964), ao afirmar que o número de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa com o número de ordem. A relação de bifurcação, segundo Strahler (1964) varia normalmente entre 3,0 e 5,0. Já segundo Linsley *et al.* (1975), ela varia entre 2,0 e 4,0 com um valor médio próximo a 3,5.

Pelo fato de a relação de bifurcação ser adimensional e os sistemas de drenagem em materiais homogêneos tenderem a apresentarem similaridade geométrica, ela acaba variando pouco de região para região. Valores extremamente altos deste índice podem ser esperados em regiões de vales rochosos escarpados e vão sugerir bacias alongadas com hidrogramas apresentando o mesmo formato (Strahler, 1964). Essas regiões geralmente apresentam numerosos tributários de pequena extensão, enquanto nas regiões planas de solo profundo e permeável somente os tributários relativamente longos permanecem (Wisler e Brater, 1964).

A *relação dos comprimentos* (R_L) obtém-se fazendo a divisão da média dos comprimentos dos rios de uma certa ordem, pela média dos comprimentos dos rios de ordem imediatamente inferior (Tucci, 1997). De acordo com Bras (1990), resultados empíricos indicaram uma variação desse valor de 1,5 a 3,5 para as bacias naturais. Segundo Horton (1945), citado em Strahler (1964), a relação dos comprimentos tende a ser constante ao longo das sucessivas ordens de uma bacia. Baseado nisso ele formulou a *lei dos comprimentos dos canais*, que afirma que os comprimentos médios dos canais de cada uma das sucessivas ordens de uma bacia tendem a aumentar aproximadamente segundo uma progressão geométrica. Uma verificação das leis de Horton para os números de canais e para os comprimentos médios dá suporte à teoria de que a similaridade geométrica é preservada com o aumento da ordem dos canais, ou seja, uma bacia de terceira ordem tende a ser geometricamente similar às bacias de segunda ordem no seu interior e assim por diante. No entanto, segundo estudos de Hack (1957), citado em Strahler (1964), para bacias de até 4 ordens e área de até cerca de 260 km² (100 milhas quadradas), essa similaridade não se verifica, uma vez que as bacias tendem a ficar mais longas e estreitas, conforme aumentam de tamanho.

Schumm (1956), citado em Tucci (1997), propôs uma equação equivalente à de Horton para relacionar as áreas contribuintes dos canais que ficou conhecida como *relação de áreas* (R_a). Ela é obtida dividindo-se

a média das áreas contribuintes dos canais de uma dada ordem pela média das áreas contribuintes dos canais de ordem imediatamente inferior, considerando que a área de drenagem de uma ordem maior abrangerá também a área de todos os seguimentos de ordens menores que lhe são subsidiários (Christofolletti, 1974). De acordo com Bras (1990), resultados empíricos indicaram uma variação desse valor de 3,0 a 6,0 para as bacias naturais. Horton (1945), citado em Strahler (1964), verificou que também as áreas médias de contribuição dos canais tendem a aumentar aproximadamente com a ordem segundo uma progressão geométrica, exatamente como ocorre com os comprimentos médios. Schumm (1956), citado em Strahler (1964), chamou essa relação de *lei de área de canais*.

A *densidade de drenagem* (D_d) é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia (Linsley *et al.*, 1949). A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial (Vilella e Mattos, 1975), pois uma baixa densidade de drenagem significa uma maior superfície de contribuição, fazendo com que o deflúvio demore mais para atingir os rios (Garcez, 1974).

Segundo Strahler (1964), a densidade de drenagem pode ser pensada como uma expressão da proximidade dos canais. Admite-se que a ela varie de 0,5 km/km² para bacias de drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (Vilella e Mattos, 1975). De acordo com Strahler (1964), foram feitas medições deste índice nos Estados Unidos nas mais variadas condições geológicas e climáticas. Os valores mais baixos variaram de 3 a 16 mi/mi² (1,9 a 10 km/km²) em regiões de rochas resistentes ou resistência moderada e climas mais úmidos para as densidades maiores. Os valores mais altos que chegaram a 400 mi/mi² (250 km/km²) foram encontrados em regiões áridas de argila mole.

Segundo Linsley *et al.* (1975), uma densidade de drenagem alta reflete uma bacia altamente dissecada, que responde de maneira relativamente rápida a uma determinada quantidade de chuva, enquanto uma densidade de drenagem baixa reflete uma bacia de drenagem pobre com respostas hidrológicas lentas. Conforme os autores, densidades de drenagens baixas são observadas normalmente em solos mais resistentes à erosão ou muito permeável e onde o relevo é suave. Valores altos podem ser esperados em bacias cujos solos são facilmente erodidos ou relativamente impermeáveis, as declividades são altas e as coberturas de vegetação são ralas. Segundo Christofolletti (1974), o cálculo da densidade de drenagem é importante nas análises de bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios, ou seja, conforme se aumenta

o valor da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos cursos d'água das bacias de drenagem.

A *extensão média do escoamento superficial* (ℓ) pode ser definida como a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta, desde o ponto onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso de água qualquer da bacia (Vilella e Mattos, 1975). Strahler (1964) concluiu que esse valor seria igual à aproximadamente a metade da distância média entre os canais de drenagem e, por essa razão, aproximadamente igual à metade do recíproco da densidade de drenagem.

O *coeficiente de manutenção dos canais* (C) foi proposto por Schumm (1956), citado em Strahler (1964), como o inverso da densidade de drenagem. Essa constante, cuja unidade é quilômetros quadrados por quilômetros, tem dimensão de comprimento e aumenta em magnitude conforme a área de contribuição aumenta. Especificamente, ela mostra a área de drenagem necessária em quilômetros quadrados, para sustentar um quilômetro linear de canal.

A *densidade de confluências* (D_c) é considerada uma forma mais simples de representar a densidade de drenagem de uma bacia e é obtida dividindo-se o número de confluências ou bifurcações apresentadas pela rede de drenagem pela área da bacia (Tucci, 1997).

A *sinuosidade do curso d'água* (Sin) é a relação do comprimento do rio principal e o comprimento de um talvegue, que seria o seu comprimento reto medido a partir do fundo do seu leito. É um fator controlador da velocidade de fluxo, pois quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo canal no seu caminho à foz, portanto menor a velocidade. Em um estudo das características físicas da bacia do ribeirão do Lobo em São Paulo, Vilella e Mattos (1975) obtiveram um valor de sinuosidade para o curso principal de 1,1, que eles consideraram como praticamente inexistente.

A *densidade hidrográfica* (D_h), também chamada *frequência de canais* (f), foi definida por Horton (1932, 1945), citado em Strahler (1964), como o número de canais por unidade de área. Utilizando-se a ordenação de Strahler, o número de canais corresponde ao número de rios de ordem um, pois implica que todo rio surge em uma nascente. Segundo Christofolletti (1974), a densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água. Melton (1958), citado em Strahler (1964), observou que para bacias com as mais variadas características de clima, relevo, cobertura

vegetal e formação geológica a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem tendem a variar de maneira constante, sendo possível a sua correlação através de uma relação empírica.

O último parâmetro físico a ser analisado para as bacias da região urbana de Maringá será a sua *topografia* ou *relevo*, que segundo Linsley *et al.* (1975) pode ter mais influência na resposta hidrológica de uma bacia que propriamente sua forma, uma vez que a velocidade de escoamento superficial depende em grande parte da declividade. Além disso, conforme destaca Vilella e Mattos (1975), o relevo também tem grande influência sobre os fatores meteorológicos como a temperatura, precipitação, evaporação, entre outros, que variam em função da altitude da bacia. Os principais elementos relacionados a relevo que caracterizam fisicamente uma bacia são os seguintes: *declividade da bacia*, *número de rugosidade (G)*, *curva hipsométrica*, *declividade do álveo* e *retângulo equivalente*.

A *declividade da bacia* é um parâmetro de grande interesse hidrológico, especialmente para as bacias pequenas, nas quais o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma (Linsley *et al.*, 1975). Isso ocorre porque a declividade é um dos fatores principais que regulam a velocidade desse escoamento. Além disso, a declividade vai ter grande influência nos processos de erosão e infiltração.

Segundo Linsley *et al.* (1975), por causa da considerável variação nos valores de declividade para uma bacia típica, é necessário a definição de um valor médio para se poder comparar com outras bacias, sendo que de acordo com Strahler (1964), é comum uma grande similaridade nesse valor e também na variância para bacias localizadas em regiões geológicas semelhantes.

Vilella e Mattos (1975), obtiveram um valor de declividade para a bacia do ribeirão do Lobo, Estado de São Paulo de 0,575% que eles consideraram como de baixa declividade. Em um outro estudo realizado na bacia do rio do Peixe, também em São Paulo, as declividades foram classificadas da seguinte forma: 0 a 12% como baixa declividade, 12 a 24%, média declividade, 24 a 36%, caracterizada como média a alta declividade, e maior que 36%, caracterizada como alta a muito alta declividade (Carta de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, 2004).

Além da declividade e de outras características físicas da bacia, outros fatores importantes para o escoamento superficial são o tipo de solo, como dimensão dos grãos, união, forma e arranjo das partículas, que afetará a sua taxa de infiltração, e, por conseguinte, o escoamento e a sua cobertura, que afetará diretamente a velocidade e volume do escoamento superficial. Para as bacias urbanas este fator é muito importante. O alto grau de impermeabilização que as mesmas estão submetidas

provoca um aumento vertiginoso do escoamento superficial e, conseqüentemente, dos picos de enchente. Além disso, sem encontrar as barreiras naturais impostas pela vegetação, a sua velocidade também aumenta bastante, provocando erosão nas vertentes e no leito dos rios.

A *declividade* foi calculada utilizando-se uma grade de valores gerada pelo *Spring 4.0* de 100 m de resolução, a partir do arquivo vetorial das curvas de nível de cinco em cinco metros, disponível em uma categoria do tipo MNT (modelo numérico do terreno). Para tanto, primeiramente foi criada uma grade triangular (TIN), que serviu de base para a geração da grade de declividade. Dispondo-se desses valores foi realizada uma distribuição de frequência cujos valores de frequência acumulada e declividade média do intervalo foram plotados em um gráfico semi-logaritmico para a obtenção de uma curva de distribuição de declividades, na qual foi possível a obtenção da declividade mediana da bacia.

O *número de rugosidade (G)* é um valor adimensional definido por Strahler (1964) como o produto da diferença máxima de altitude dentro de uma bacia pela sua densidade de drenagem. De acordo com o autor, se a densidade de drenagem aumentar e a diferença de altitude permanecer constante, significa que a distância horizontal média entre os divisores e os canais adjacentes é reduzida, acompanhada de um aumento na declividade das vertentes. Se a altura aumenta e a densidade de drenagem permanece constante, a diferença de elevação entre os divisores e canais adjacentes também será maior, acarretando também um aumento nos valores de declividade.

Valores extremamente altos do número de rugosidade indicam que tanto a densidade de drenagem quanto a variação de altitude são altas em uma bacia, o que significa dizer que as vertentes, além de possuir uma declividade alta, são longas. Valores de número de rugosidade observado nos Estados Unidos mostraram uma variação de 0,06 para bacias localizadas nas planícies litorâneas da Louisiana até valores acima de 1,0 para bacias localizadas na costa da Califórnia.

A *curva hipsométrica* é a representação gráfica das variações de altitude em uma bacia em relação à área. O uso de porcentagem da área é conveniente quando se compara a distribuição da elevação em bacias de tamanhos diferentes (Linsley *et al.*, 1949).

Tanto a variação de altitudes como a altitude ou elevação média da bacia são fatores importantes relacionadas à precipitação e temperaturas. Variações grandes de altitude dentro da bacia serão responsáveis por diferenças significativas de temperaturas e de precipitação. De acordo com Woodcock (1976), a temperatura cai em média 1°C a cada 150 m de elevação, sendo que essa relação poderá variar

bastante e dependerá principalmente da quantidade de vapor de água presente no ar. As variações de temperatura exercerão influência sobre as perdas de água que ocorrem sob a forma de evaporação e transpiração, e as variações de precipitação exercerão influência direta sobre o escoamento superficial, infiltração e o tempo de concentração da bacia, afetando, conseqüentemente, o deflúvio médio (Vilella e Mattos, 1975).

Com a curva hipsométrica, pode-se determinar a altitude mediana, que corresponde à altitude na qual metade da área da bacia fica acima dela. Segundo Wisler e Brater (1964), a altitude mediana é mais representativa da influência da altitude em relação a hidrologia do que a altitude média, e normalmente é menos elevada que esta última, embora a diferença seja quase sempre insignificante.

Segundo Linsley *et al.* (1975), bacias geologicamente maduras tendem a apresentar curvas semelhantes, com uma distribuição equilibrada de área para as diferentes altitudes, que depois de alcançado o equilíbrio, tendem a variar muito pouco, apesar da diminuição das altitudes provocadas pela erosão. Já bacias muito pequenas podem apresentar curvas com características muito diferentes. De acordo com Strahler (1964), bacias em estados iniciais de desenvolvimento geológico apresentam uma porcentagem maior de terras elevadas, com a curva caindo abruptamente próxima à seção de exutório. Já bacias onde há a presença de corpos isolados de rocha resistentes podem vir a ocorrer a formação de colinas, sobre uma superfície mais baixa, resultando em uma curva hipsométrica distorcida com o formato oposto à anterior.

A curva hipsométrica foi obtida através do uso de uma ferramenta do *Spring 4.0* chamada de *Fatiamento*, sobre o mapa de curvas de nível. Obtida as classes de altitude, a área de cada classe, correspondente a um intervalo de cota de 20 m, foi determinada através da ferramenta *Medidas de Classes*. Para a obtenção da curva propriamente dita, os valores de área acumulada em porcentagem e as cotas foram plotados em um gráfico.

A **declividade de álveo** ou **declividade do canal** é a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo trecho fluvial (Christofoletti, 1974). A declividade afeta a velocidade de escoamento de um rio e por essa razão tem papel importante na forma do hidrograma (Linsley *et al.*, 1975). Segundo Vilella e Mattos (1975), quanto maior a declividade, maior a velocidade de fluxo e mais estreitos e pronunciados serão os hidrogramas de enchente.

De acordo com Strahler (1964), a declividade dos canais está intimamente ligada com a declividade dos terrenos de uma bacia. Vertentes com declividades altas contribuem com uma grande quantidade de

detritos maiores em direção aos canais que, por sua vez, devem ter uma declividade alta para poderem efetuar o transporte, ao passo que vertentes com relevo mais suave acabam gerando detritos menores e em menor quantidade, facilitando o transporte pelos rios, que necessitam então de uma declividade menor.

Pode-se obter a declividade de um canal, em qualquer ponto, fazendo a tangente do seu perfil longitudinal no referido ponto. O perfil longitudinal é a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso d'água, entre a nascente e a foz (Christofoletti, 1981). Canais típicos apresentam um perfil longitudinal côncavo para o céu (Linsley *et al.*, 1975), com os valores de declividade aumentando em direção à nascente do rio. Segundo Strahler (1964), o perfil longitudinal de quase todos os canais, sob as mais variadas condições climáticas e geológicas, apresentam essa condição.

Gilbert (1877), citado em Strahler (1964), explicou essa forma de perfil longitudinal como um efeito do aumento da vazão. Segundo sua *lei de declividades*, conforme a vazão aumenta, a seção do canal também aumenta, reduzindo proporcionalmente as perdas por fricção do canal e permitindo-lhe carregar seus materiais com uma declividade menor. Outros autores atribuem a concavidade do perfil longitudinal do rio devido à diminuição da granulometria das partículas de sedimento transportadas pelo rio em direção à jusante, fazendo com que essas partículas necessitem de uma declividade menor para se movimentarem.

Basicamente, existem três maneiras de se determinar a declividade de álveo. A chamada declividade S_1 é obtida dividindo-se a diferença de elevação entre a nascente e a foz do rio pela sua extensão horizontal. Trata-se de um valor pouco representativo para canais com grande variação de declividade. Um valor mais realista, chamado de declividade S_2 , e largamente utilizado, é obtido traçando-se no gráfico uma linha cuja área compreendida entre ela e o eixo das abscissas seja a mesma da área compreendida pelo perfil longitudinal do rio e a abscissa.

Por fim, tem-se a chamada declividade equivalente constante (S_3), proposta por Taylor e Schwarz (1952), citado em Linsley *et al.* (1975), que é um valor também bastante representativo de declividade e vem dar uma idéia do tempo de percurso da água ao longo do perfil longitudinal (Vilella e Mattos, 1975). Uma vez que a velocidade é proporcional à raiz quadrada da declividade, o procedimento utilizado por Taylor e Schwarz é equivalente a se atribuir pesos aos seguimentos de canais calculando a raiz quadrada da sua declividade, o que faz com que a influência das altas declividades seja menor. O valor de S_3 pode ser obtido, então, pela fórmula:

$$S_3 = \left(\frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2$$

em que:

L_i = comprimento de cada trecho e

D_i = declividade de cada trecho.

Valores de S_1 , S_2 e S_3 próximos sugerem que o rio apresenta declividades semelhantes ao longo do seu percurso em direção a foz. Esse fato é mais comum para pequenos canais, nos quais não haverá muita variação de vazão. Vilella e Mattos (1975), ao estudarem os valores de declividade para o ribeirão do Lobo, em São Paulo, obtiveram para S_1 , S_2 e S_3 , respectivamente, os seguintes valores: 11 m/km, 6 m/km e 5 m/km, que eles consideraram como sendo bastante baixos.

O *retângulo equivalente* foi introduzido por hidrologistas franceses com o objetivo de comparar melhor a influência das características físicas da bacia sobre o escoamento. Um retângulo de lado menor ℓ e lado maior L da mesma área da bacia é construído e as curvas de nível são posicionadas paralelas a L , respeitando-se a hipsometria natural da bacia (Vilella e Mattos, 1975). Com o retângulo equivalente é possível ter uma noção melhor da distribuição de altitudes ao longo da área da bacia. Utilizando os conceitos de área, perímetro e fator de forma, chegam-se as relações:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right], \ell = P/2 - L$$

em que

K_c = fator de forma,

A = área da bacia e

P = perímetro.

Para obtenção do perfil longitudinal do rio que servirá de base para o cálculo das *declividades de alveo* foram medidos os comprimentos dos canais em planta entre cada curva de nível. Nesse caso tais medições foram feitas na carta de Maringá do IBGE com curvas de 20 em 20 metros.

Resultados e discussão

As *áreas de drenagem* das bacias pesquisadas de acordo com a Tabela 1, que apresenta também os índices de forma, podem ser classificadas como de tamanho médio. Já para a classificação de Wisler e Brater (1964), as bacias do ribeirão Borba Gato e do córrego Moscado podem ser classificadas como pequenas; as demais já entrariam na classificação de bacias grandes. Para esse trabalho será considerada a classificação de Wisler e Brater (1964).

Tabela 1. Área de drenagem e índices de forma das bacias urbanas

do Município de Maringá, Estado do Paraná.

bacia	A (km²)	Tama-nho	K_c	K_f	Forma
Pirapó		(1)			(2)
Maringá	88,73	M	G	1,32	A
Morangueira	40,69	M	G	1,34	A
Ivaí					
Moscado	26,86	M	P	1,24	C
Borba Gato	21,88	M	P	1,14	C
Água Suja	34,72	M	G	1,22	C

(1) - Classificação segundo Wisler e Brater (1964), em que P = Pequena, M = Média e G = Grande, (2) - Classificação baseada nos valores de índices de forma encontrados em que A = alongada e C = circular

Pelos índices de forma encontrados, observa-se com relação aos valores de *coeficiente de compacidade* (K_c), que as bacias da vertente do rio Pirapó, com uma área de drenagem maior, como a bacia do ribeirão Maringá e do ribeirão Morangueira apresentam também maiores valores de K_c . Assim, considerando apenas o coeficiente de compacidade, pode-se dizer que são bacias não muito sujeitas a enchentes, uma vez que dificilmente a bacia toda estará contribuindo de uma só vez, tanto devido à sua forma mais alongada, quanto à sua maior área, principalmente se forem consideradas as chuvas intensas de verão, que são mais localizadas temporal e espacialmente. Por outro lado, as bacias da vertente do rio Ivaí são bacias menores e apresentam o formato mais circular, sendo que a bacia do ribeirão Borba Gato apresenta um valor de K_c de 1,14, sendo, portanto, a bacia mais sujeita a enchentes.

O *fator de forma* (K_f) também é um índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia (Vilella e Mattos, 1975), pois uma bacia com fator de forma baixo terá maiores chances de apresentar um formato mais retangular, ou seja, mais estreita e longa, portanto, menos sujeita a enchentes do que outra de mesmo tamanho, mas com fator de forma maior.

Neste caso, verifica-se que as bacias do ribeirão Maringá e ribeirão Morangueira são as que apresentam os menores valores, confirmando a tendência de não sujeita a enchentes apresentada pelo coeficiente de compacidade. Já as bacias da vertente do rio Ivaí, apresentam valores superiores, portanto menos retangulares e com maior tendência a enchentes, embora os valores ainda possam ser considerados baixos.

Para as bacias pesquisadas a rede de drenagem resultante foi de ordem 3. A Figura 1 apresenta a rede de drenagem do município de Maringá com a delimitação das bacias pesquisadas e a ordem dos canais.

Os valores de *relação de bifurcação* (R_b), *relação dos comprimentos* (R_L) *relação de áreas* (R_a) para as bacias da área urbana de Maringá são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Índices de drenagem.

bacia	R_{b1}	R_{b2}	R_{L2}	R_{L3}	R_{a2}	R_{a3}
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Pirapó						
Maringá	3,8	4,0	3,0	2,8	5,7	5,6
Morangueira	8,0	2,0	1,8	2,9	5,6	3,9
Ivaí						
Moscado	2,5	2,0	1,8	1,1	3,7	2,4
Borba Gato	2,5	2,0	2,1	0,1	4,3	2,0
Água Suja	3,5	2,0	3,1	0,9	4,9	2,5

As bacias do ribeirão Maringá, córrego Moscado e ribeirão Borba Gato apresentam valores semelhantes de relação de bifurcação entre as ordens, o que confirma a *lei do número de canais* de Horton (1945), citado em Strahler (1964). Para a bacia do ribeirão Morangueira isso não ocorre pelo fato de essa bacia ser a mais alongada, com grande número de pequenos tributários de ordem 1 ao longo do curso principal, resultando também em um valor elevado desse índice. Esse grande número de tributários de ordem 1 é típico de áreas escarpadas (Wisler e Brater, 1964), o que é confirmado pelos altos valores de declividade observados em partes dessa bacia, em especial próximo à jusante.

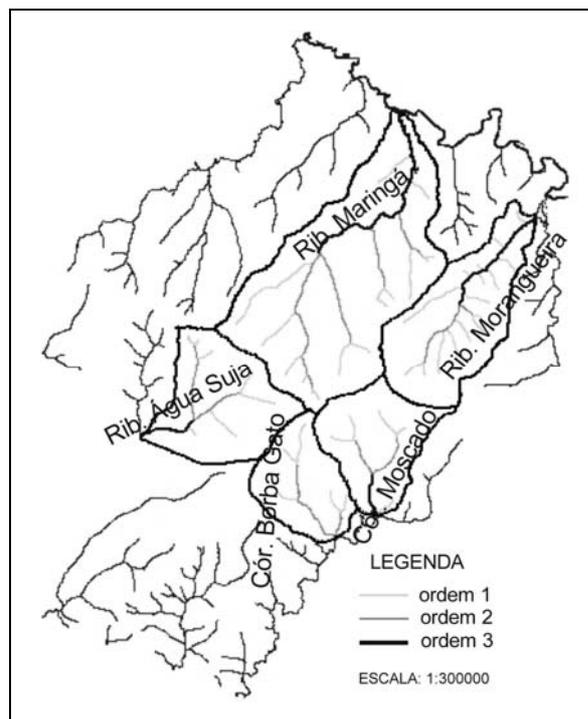


Figura 1. Delimitação das bacias hidrográficas urbanas do município de Maringá, Estado do Paraná, e ordem dos canais.

De modo geral, verifica-se para as bacias analisadas que o comprimento médio dos canais de ordem 3 é maior que o de ordem 2, que, por sua vez, é maior que o de ordem 1. Apenas as bacias do ribeirão Borba Gato e Água Suja não apresentam tal tendência, destacada por Strahler (1964). Porém, somente a bacia do ribeirão Maringá apresenta uma grande semelhança entre os valores de relação de comprimentos entre as ordens 1 e 2, e 2 e 3,

respeitando, portanto, a *lei dos comprimentos dos canais* de Horton (1945), citado em Strahler (1964). Como os valores de relação de bifurcação também foram semelhantes isso é um indício, baseado nas afirmações de Strahler (1964), de que esta bacia apresenta também uma similaridade geométrica com suas sub-bacias de menores ordens.

Para as demais bacias, no entanto, não se verifica tal semelhança portanto pode-se inferir que provavelmente não haja uma similaridade geométrica entre bacias e sub-bacias, o que vem a confirmar o exposto por Hack (1957), citado em Strahler (1964), que discorda da teoria da similaridade geométrica e em seus estudos verificou que não ocorre tal similaridade para bacias de até 4 ordens e 260 km² de área.

Quanto aos valores de relação dos comprimentos encontrados, verifica-se que a maioria varia de 1,5 a 3,5, valores que, segundo Bras (1990), ocorrem para as bacias naturais. O valor de aproximadamente 0,1 obtido para a bacia do ribeirão Borba Gato entre a ordem 2 e 3, decorre do fato do canal de ordem 3 apresentar um comprimento muito reduzido, resultado de uma confluência que ocorre próximo a foz.

Confirmando o que fora constatado com a relação dos comprimentos, apenas a bacia do ribeirão Maringá apresenta valores muito próximos de relação de áreas entre as ordens, portanto respeita a *lei de áreas* proposta por Schumm (1956), citado em Tucci (1997), que é análoga à *lei dos comprimentos* de Horton. Isso acaba por confirmar também a similaridade geométrica dessa bacia com suas sub-bacias. Quanto aos valores encontrados, verifica-se que a maioria varia de 3 a 6, valores que são normalmente encontrados para as bacias naturais, segundo Bras (1990). Nesse caso também, a bacia do córrego Moscado apresenta o menor valor, pelo motivo exposto anteriormente.

Os valores de *densidade de drenagem* (D_d), *extensão média do escoamento superficial* (l) e *coeficiente de manutenção dos canais* (C) encontrados são expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial e coeficiente de manutenção dos canais.

bacia	D_d (km/km ²)	Cla	l (km)	C (km ² /km)
Pirapó		(1)		
Maringá	0,636	P	0,786	1,572
Morangueira	0,799	P	0,626	1,251
Ivaí				
Moscado	0,504	MP	0,993	1,985
Borba Gato	0,622	P	0,804	1,608
Água Suja	0,523	MP	0,956	1,912

(1) - Classificação segundo Vilella e Mattos (1975) em que P = Pobre e MP = Muito Pobre.

Considerando a variação deste índice de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas

(Vilella e Mattos, 1975), verifica-se que todas as bacias analisadas podem ser consideradas de drenagem pobre, embora apresentem um grau de ramificação relativamente alto (ordem 3). Destaque para as bacias do ribeirão Borba Gato e córrego Moscado, que apresentam valores próximos ao limite de 0,5 km/km², podendo ser consideradas de drenagem muito pobre. São, portanto, segundo Linsley *et al.* (1975), bacias pouco dissecadas e, baseado apenas nos valores de densidade de drenagem, tendem a apresentar uma resposta hidrológica lenta, pois o caminho que a água da chuva terá que percorrer pelas vertentes é maior. No entanto, outros fatores como declividade e, principalmente, o grau de impermeabilização das vertentes serão fundamentais na velocidade e magnitude dos picos de enchentes.

Os valores mais baixos encontrados em várias regiões dos Estados Unidos (cerca de 2 km/km²), segundo Strahler (1964), são bem maiores que os encontrados para as bacias de Maringá-PR, mas são típicos de regiões mais úmidas e de rocha resistente, que é a condição em parte presente no município de Maringá, cujo derrame basáltico fraturado apresenta média resistência e o clima é úmido. De acordo com Linsley *et al.* (1975), densidades de drenagens baixas são observadas em solos mais resistentes à erosão ou muito permeável e onde o relevo é suave, condições essas que também são observadas na área de estudo. É importante observar também que a bacia do ribeirão Morangueira, a mais bem drenada, apresenta próximo à seção de exutório elevados valores de declividade, que é uma das situações observadas nas bacias com alta densidade de drenagem, conforme destacam Linsley *et al.* (1975).

Quanto à extensão média do escoamento superficial (ℓ), por tratar-se de um índice derivado da densidade de drenagem (D_d), os valores encontrados foram inversamente correspondentes ao mesmo. Para a bacia do córrego Moscado, de drenagem mais pobre, a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos da bacia, caso o escoamento se desse em linha reta, desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer, seria de aproximadamente 993 m, o caminho mais longo entre as bacias analisadas. Note-se que esse valor ignora os efeitos da declividade do canal e da bacia, que podem ser considerados insignificantes.

A mesma análise pode ser feita para o coeficiente de manutenção dos canais, no qual para a bacia do córrego Moscado, cada quilômetro linear de canal vai ter em média quase dois quilômetros quadrados de área de contribuição.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de densidade de confluências (D_c), sinuosidade do curso d'água (ℓ) e densidade hidrográfica (D_h).

Por se tratar de uma forma mais simples de se representar a densidade de drenagem de uma bacia, o índice D_c (densidade de confluência) não apresenta a mesma precisão, mas serve para se avaliar superficialmente a drenagem da bacia. Com isso, verifica-se que a bacia do ribeirão Morangueira apresenta o índice de 1 (uma) confluência para cada 2,71 km² de área de bacia, portanto, a mais bem drenada, o que é confirmado pela densidade de drenagem (D_d). Para as outras bacias, também se verifica uma correlação com o índice anterior.

Tabela 4. Densidade de confluências, sinuosidade do curso de água e densidade hidrográfica.

bacia	D_c (1/km ²)	Sin	Cla	D_h (1/km ²)
Pirapó			(1)	
Maringá	1/6,34	1,15	B	1/5,92
Morangueira	1/2,71	1,06	MB	1/2,54
Ivaí				
Moscado	1/6,72	1,17	B	1/5,37
Borba Gato	1/5,47	1,04	MB	1/4,38
Água Suja	1/5,79	1,08	MB	1/4,96

(1) - Classificação baseada no resultado obtido por Vilella e Mattos (1975) para o curso principal da bacia do ribeirão do Lobo em São Paulo em que B = Baixa e MB = Muito Baixa.

Pelos valores de sinuosidade encontrados, verifica-se que quase não existe sinuosidade no ribeirão Morangueira, córrego Borba Gato e ribeirão Água Suja, sendo que para os demais rios os valores também podem ser considerados baixos.

A densidade hidrográfica é um índice importante, pois analisa a capacidade de determinada área de gerar novos cursos d'água (Christofolletti, 1974). Nesse sentido, verifica-se que a bacia do ribeirão Morangueira é que apresenta essa maior "capacidade", provavelmente devido às condições geológicas favoráveis, conforme já mencionado na análise da relação de bifurcação. Como observou Melton (1958), citado em Strahler (1964), a densidade hidrográfica tende a variar de maneira constante com a densidade de drenagem. Portanto, baseado nos valores do primeiro índice é possível estimar a densidade de drenagem através de uma relação empírica. Comparando os valores de densidade hidrográfica encontrados com os de densidade de drenagem, verifica-se que existe uma certa correlação. O valor mais baixo para a bacia do ribeirão Maringá se deve ao fato de essa bacia apresentar um número pequeno de canais, comparado a área, mas de comprimentos maiores o que acaba elevando a densidade de drenagem.

A curva de distribuição de declividade para as bacias analisadas esta representada na Figura 2 e na Tabela 5 são apresentados todos os valores de declividade média e mediana encontrados e os valores de número de rugosidade (G).

Observa-se que as bacias analisadas apresentam valores de declividade média que variam entre 5,86 % (0,0586 m/m) a 7,70 % (0,0770 m/m), portanto,

baseada na classificação proposta para a bacia do rio do Peixe, Estado de São Paulo, podem ser consideradas bacias de baixa declividade. Porém, essas bacias apresentam uma alta taxa de impermeabilização de seus terrenos, especialmente as bacias do córrego Moscado e do ribeirão Borba Gato, que estão localizadas totalmente em área urbana e, além disso, são as menores bacias, portanto, segundo Linsley *et al.* (1975), o escoamento superficial, que será maior com a impermeabilização, será determinante na forma do hidrograma. Esses fatores irão contribuir para uma maior quantidade e maior velocidade de escoamento da água da chuva, principalmente através das galerias pluviais, com pouca infiltração, resultando numa elevação dos picos de enchente.

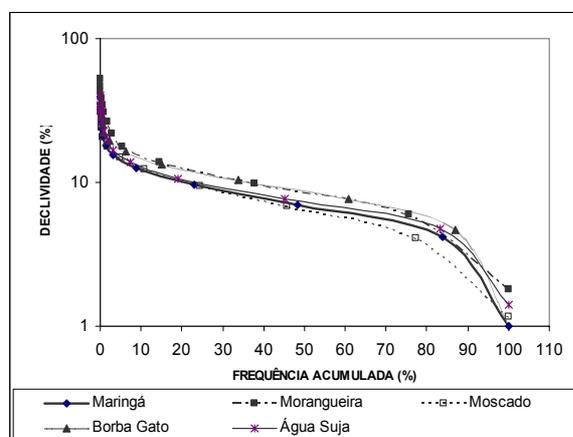


Figura 2. Curva de distribuição de declividade.

No caso das bacias supracitadas esse fator será agravado pelo formato mais circular das mesmas, no qual há mais possibilidade de toda a área da bacia poder estar contribuindo de uma só vez. Outro impacto resultante será a erosão no leito dos rios e em suas margens causadas pelas águas da chuva concentradas provenientes das galerias. Esse fato ocorre principalmente dentro dos parques centrais da cidade, pertencentes à bacia do córrego Moscado.

Um outro aspecto a ser observado são valores semelhantes de declividade entre as bacias o que, segundo Strahler (1964), caracteriza bacias com formações geológicas semelhantes, fato esse totalmente justificado por se tratar de bacias vizinhas.

Os valores de número de rugosidade também foram bastante baixos, comparando com os valores de bacias dos Estados Unidos, que variaram de 0,06 a valores acima de 1,0 (Strahler, 1964), o que é reflexo da baixa densidade de drenagem, principalmente para as bacias do córrego Moscado e ribeirão Água Suja. Isso significa dizer que de maneira geral, para as bacias pesquisadas, as vertentes são horizontalmente mais longas resultando na média em baixos valores

de declividade.

Tabela 5. Declividade média, mediana e número de rugosidade.

bacia	M (%)	Med (%)	Cl _a	G	Cl _b
Pirapó			(1)		(2)
Maringá	6,07	7,00	B	0,151	B
Morangueira	7,47	8,40	B	0,169	B
Ivaí					
Moscado	5,86	6,20	B	0,088	B
Borba Gato	7,70	8,80	B	0,125	B
Água Suja	6,48	7,10	B	0,091	B

(1) - Baseada na classificação proposta para a bacia do rio do Peixe em São Paulo onde B = Baixa, (2) - Comparativo aos valores obtidos em bacias dos EUA, segundo Strahler, 1964, em que B = Baixo.

A Figura 3 mostra a curva hipsométrica para as bacias analisadas. Por meio da curva hipsométrica foi possível a obtenção da altitude mediana, que juntamente com os valores de altitude máxima, mínima e média são apresentados na Tabela 6.

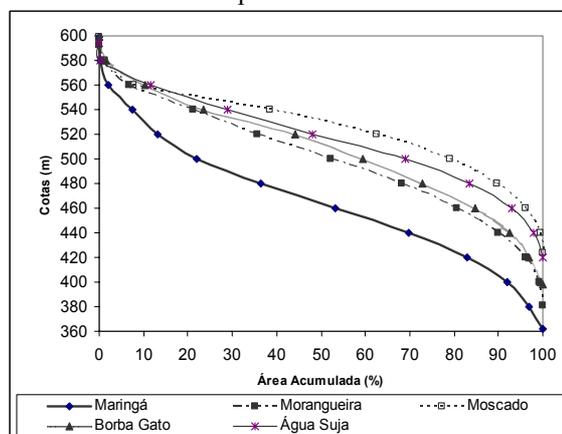


Figura 3. Curva hipsométrica.

Tabela 6. Altitudes das bacias.

bacia	Máx (m)	Mín (m)	Méd (m)	M (m)
Pirapó				
Maringá	599	362	465	464
Morangueira	592	381	500	502
Ivaí				
Moscado	599	424	525	532
Borba Gato	599	398	507	514
Água Suja	594	420	516	518

Pela análise da curva hipsométrica das bacias pesquisadas, verifica-se que as bacias de maior área, no caso a bacia do ribeirão Morangueira e ribeirão Maringá, principalmente, apresentam variações de altitude entre a seção de exutório e o seu ponto mais alto de cerca de 200 m a 230 m o que, baseado nas informações de Woodcock (1976), poderá acarretar diferenças na temperatura média de até 1,5 °C que, por sua vez, causará variações na evaporação e transpiração. Porém, as possíveis variações de precipitação anual serão mais significativas, o que trará conseqüências diretas sobre o deflúvio médio (Vilella e Mattos, 1975) como, por exemplo, a ocorrência de uma maior quantidade de chuvas em uma região da bacia do que em outra, que poderá

afetar o seu tempo de concentração.

Observa-se também que essas bacias, juntamente com a bacia do ribeirão Água Suja, apresentam uma distribuição mais equilibrada de área em função da altitude, no que resulta em valores bem próximos de altitude média e altitude mediana e, baseado nas informações de Linsley *et al.* (1975), pode-se dizer que são bacias geologicamente maduras, com a tendência da diminuição geral das altitudes devido à erosão. Já as bacias do córrego Moscado e ribeirão Borba Gato que são as de menor área apresentam também variações menores de altitude, mas uma proporção de terras altas maior, resultando em valores maiores de altitude mediana. No entanto, não se aproximam do formato de bacias em estágios iniciais de desenvolvimento geológico mostradas por Strahler (1964) e, como também são bacias vizinhas às anteriores, pode-se dizer que se tratam também de bacias geologicamente maduras.

Observa-se que a bacia do córrego Moscado que apresenta o menor valor de declividade média possui, por sua vez, o maior valor de altitude média. Isso se deve ao fato de que as superfícies mais onduladas (ou abruptas) ocorrem com mais freqüência a partir das médias vertentes (altitudes mais baixas) e nos fundos dos vales mais dissecados (Silveira, 2003), que no caso dessa bacia, essencialmente urbana, quase não se verifica.

A Figura 4 mostra o perfil longitudinal dos canais principais das bacias estudadas e a Tabela 7 as declividades S_1 , S_2 e S_3 . Também está representada na Tabela 7 os valores de L e ℓ do retângulo equivalente.

Com exceção do ribeirão Maringá e do ribeirão Borba Gato, os demais rios apresentam valores de declividade S_1 , S_2 e S_3 bastante próximos, o que mostra que os mesmos não apresentam grandes variações de declividade durante o seu percurso. Isso sugere, baseado na lei de declividades de Gilbert (1877) citado em Strahler (1964), que esses rios tenderão a apresentar uma vazão constante ao longo do seu curso, o que é justificado por tratar-se de canais de dimensões menores e, no caso do córrego Moscado, possuir poucos tributários. Para o ribeirão Maringá verifica-se no gráfico de perfil longitudinal uma declividade bastante elevada de sua nascente até cerca de um quarto de seu comprimento, mas que se reduz drasticamente até a foz, resultando em valores médios baixíssimos de declividade. Por se tratar do maior curso d'água entre os canais analisados, com muitos tributários, pode-se inferir que haverá um grande aumento de vazão em direção à foz.

Para o ribeirão Borba Gato, apesar de apresentar dimensões semelhantes ao córrego Moscado, observa-se um valor de declividade S_1 elevado, se comparado aos demais índices, que é resultado de uma declividade maior próxima à nascente. Porém na

maior parte de seu percurso o canal apresenta uma declividade relativamente constante. Comparando com os valores obtidos por Vilella e Mattos (1975), para o ribeirão do Lobo em São Paulo, pode-se dizer que para os Ribeirões Maringá, Morangueira e Água Suja, os valores médios de declividade encontrados são bastante baixos.

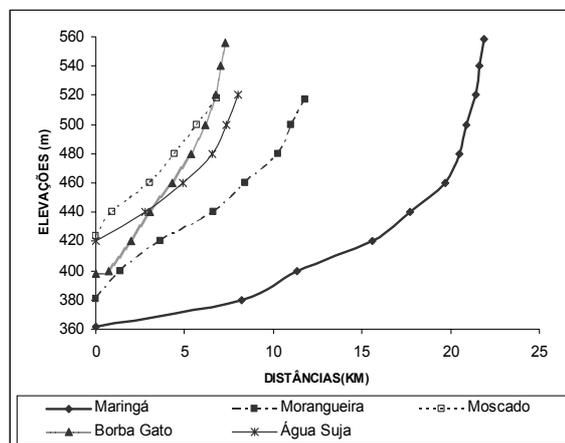


Figura 4. Perfil longitudinal.

Tabela 7. Declividades de álveo (m/km) e retângulo equivalente.

bacia	S_1	S_2	S_3	L (km)	ℓ (km)
Pirapó					
Maringá	9,0	4,1	4,4	16,90	5,25
Morangueira	11,5	10,0	10,2	11,86	3,43
Ivaí					
Moscado	13,8	13,2	13,2	8,20	3,27
Borba Gato	21,7	15,3	14,6	5,55	3,94
Água Suja	12,5	9,0	9,4	8,94	3,88

As Figuras 5 a 7 apresentam a representação gráfica dos retângulos equivalentes das bacias do ribeirão Maringá, ribeirão Morangueira, córrego Moscado, ribeirão Borba Gato e ribeirão Água Suja, respectivamente.

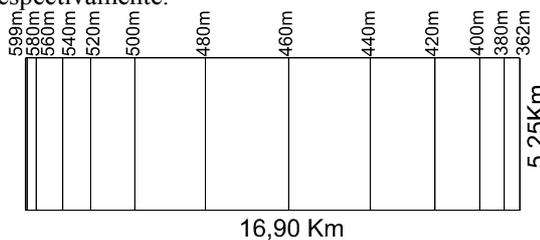


Figura 5. Retângulo equivalente da bacia do ribeirão Maringá.

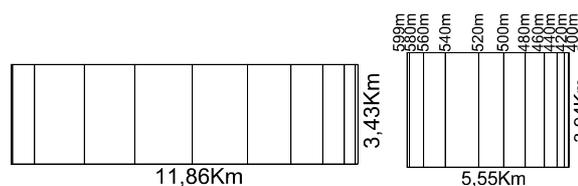


Figura 6. Retângulo equivalente da bacia do ribeirão Morangueira e ribeirão Borba Gato.

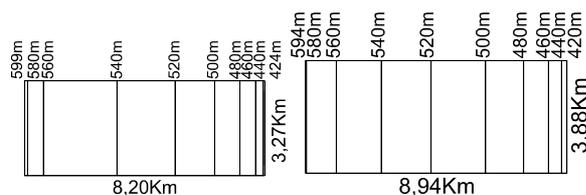


Figura 7. Retângulo equivalente da bacia do córrego Moscado e da bacia do ribeirão Água Suja.

Através do formato dos retângulos equivalentes, pode-se ter uma idéia melhor do formato de uma bacia, já que leva em consideração apenas a área da mesma. Nesse caso observa-se que a bacia menos retangular será a bacia do ribeirão Borba Gato. Isso vem a confirmar o valor obtido pelo coeficiente de compacidade, que é um outro índice que utiliza apenas valores de área, mas que compara a bacia a um círculo. Analisando-se a distribuição das cotas observa-se que as bacias tendem a apresentar uma diminuição dos espaçamentos entre as cotas em direção a cabeceira e da seção de exutório, o que é justificado pelo afunilamento das curvas de nível.

Conclusão

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que as bacias da área urbana de Maringá podem ser classificadas, segundo Wisler e Brater (1964), de pequenas a grandes. São naturalmente bacias não muito sujeitas a enchentes, ou seja, devido ao seu formato mais retangular (possivelmente com exceção da bacia do ribeirão Borba Gato), à drenagem pobre e à baixa declividade tenderão a apresentar uma resposta hidrológica lenta, com redução dos picos de enchente. Por outro lado, devido à alta taxa de impermeabilização de seus terrenos elas apresentarão uma taxa de escoamento superficial maior, elevando os picos de enchente, especialmente as bacias do córrego Moscado e do ribeirão Borba Gato, que estão localizadas totalmente em área urbana e são as bacias menores e mais circulares. Além disso, a velocidade com que a água atingirá os cursos d'água pelas galerias será maior, resultando em erosão nos leitos e margens, fato esse que é notório dentro dos parques centrais da cidade.

Diante disso, é necessário políticas de manejo adequado dos recursos hídricos, visando não somente o combate à erosão, mas, principalmente, o combate à poluição dos cursos de água, que ocorre através de ligações clandestinas nas galerias pluviais na área urbana e uso de defensivos agrícolas nas áreas rurais,

onde as taxas de declividades maiores, principalmente na bacia do ribeirão Morangueira contribuem para uma maior disseminação desses defensivos.

Referências

- BRAS, R.L. *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. Reading: Addison-Wesley, 1990.
- CARTA DE DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE-SP, 20--?. Disponível em: <<http://www.labgis.uerj.br/propeixe/decliv.html>>. Acesso em: 18 abr. 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- GARCEZ, L.N. *Hidrologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- LINSLEY, R.K. Jr.; FRANZINI, S. B. *Engenharia de Recursos Hídricos*. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- LINSLEY, R.K. Jr. *et al. Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1949. (McGraw-Hill Civil Engineering Series)
- LINSLEY, R.K. Jr. *et al. Hydrology for Engineers*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering)
- SILVEIRA, L. M. *Análise rítmica dos tipos de tempo no Norte do Paraná, aplicada ao clima local de Maringá - PR*. 2003. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, Ven Te (Ed.). *Handbook of applied Hidrology*. New York: McGraw-Hill, 1964. p. 4.39-4.76.
- TUCCI, C.E.M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4)
- VILELLA, S.M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- WISLER, C.O.; BRATER, E.F. *Hidrologia*. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964.
- WOODCOCK, R. G. *Weather and Climate*. Estover: MacDonald & Evans, 1976.
- ZAMUNER, L.D. *Erosão urbana em Maringá-Pr: o caso do Parque Florestal dos Pioneiros - Bosque II*. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

Received on May 06, 2004.

Accepted on November 22, 2004.