

PROPRIEDADES MORFOMÉTRICAS E ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA: CURITIBA-PARANÁ

NUNES, F. G.¹

1- UFPR – Pós Graduação em Geologia Ambiental. e-mail: fabrizia@ufpr.br

RIBEIRO, N. C.²

2- UFPR – Pós Graduação em Geologia Ambiental. e-mail: ncris@ufpr.br

FIORI, A. P.³

3- UFPR – Prof. Dr. Dept^o. de Geologia. e-mail: fiori@ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar as características fisiográficas e os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Atuba em Curitiba – PR, tendo como pressuposto que estes parâmetros refletem no seu funcionamento hidrológico. A metodologia utilizada para o levantamento dos parâmetros morfométricos seguiu a proposta de HORTON (1945), apresentada por CHRISTOFOLETTI (1980) e VILLELA & MATTOS (1975). Para o melhor detalhamento da rede de drenagem da bacia em estudo foi realizada a restituição de todos os canais fluviais e pluviais, em fotografias aéreas, na escala de 1:25.000, utilizando a técnica de fotointerpretação digital. Concluída a interpretação das fotografias aéreas, os dados gerados foram transferidos para um Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde realizou-se as medidas métricas da bacia como: área, perímetro, comprimento do canal principal, comprimento dos canais de cada ordem hierárquica e o comprimento do talvegue do rio principal. As medidas métricas obtidas serviram de base para o cálculo dos parâmetros morfométricos. Os índices obtidos foram: densidade de drenagem (Dd) 3km/km²; densidade hidrográfica (Dh) 1.66 rios/ km²; comprimento do rio principal (Lcp) 32.43 km; área da bacia (A) 127.43 km²; coeficiente de compacidade (Kc) 1.61; fator de forma da bacia (Kf) 0.12; sinuosidade (Sin) 1.36; extensão do percurso superficial (Eps) 16.66m; relação de relevo (Rr) 9.52; gradiente do canal principal (Gcp) 4.5 e hierarquia da rede de drenagem. A aplicação do estudo morfométrico na bacia hidrográfica do rio Atuba forneceu um grupo de dados consistentes, que permitem uma melhor interpretação da influência das características fisiográficas da região no seu comportamento hidrológico. O estudo poderá servir de base a uma melhor compreensão do regime hidrológico, para o monitoramento da bacia hidrográfica, auxiliando na análise de áreas sujeitas as enchentes e aos processos erosivos. A técnica de fotointerpretação digital, aplicada no detalhamento da rede de drenagem integrada às operações métricas do SIG, possibilitou uma rápida análise e uma maior precisão dos dados obtidos.

Palavras-chaves: morfometria, processo hidrológico, bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. A análise de parâmetros morfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas pois, através da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que, os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial.

Os primeiros trabalhos de morfometria fluvial foram realizados por HORTON (1945), que procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos d'água e suas respectivas bacias. Para isso se utilizou de uma abordagem quantitativa das bacias, o que serviu para uma nova concepção metodológica (GUERRA, 1997).

Para CUNHA in GUERRA & CUNHA (1994) o estudo dos cursos d'água tem importância para a compreensão dos processos fluviais e formas resultantes, enquanto que a análise das bacias hidrográficas permitem avaliar em que medida suas propriedades condicionam o regime hidrológico.

A fim de se obter uma melhor compreensão da dinâmica hidrológica da bacia do rio Atuba, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar as características fisiográficas da bacia e como estas características influenciam nos parâmetros morfométricos. Busca avaliar como a configuração geomorfológica da bacia e como os parâmetros morfométricos da rede de drenagem refletem no seu funcionamento hidrológico.

A área em estudo está situada no Primeiro Planalto Paranaense, entre as latitudes $25^{\circ} 17' 00''$ a $25^{\circ} 30' 00''$ S e longitude $49^{\circ} 17' 00''$ a $49^{\circ} 10' 00''$ W (figura 01). Pertencente à bacia hidrográfica do rio Iguaçu, o rio Atuba é afluente da margem direita do mesmo. Possui suas nascentes na região Serrana do Açungui, próximo à sede municipal de Colombo e, segue em direção a Bacia Sedimentar de Curitiba.



Figura 01 - Localização da área de estudo

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Atuba é formada por rochas metamórficas e plutônicas de idade Pré-Cambriana correspondente aos mármore, filitos e quartzitos do Grupo Açungui além de gnaisses e granitos migmatizados. Estas rochas são cortadas por intrusões de diques de diabásios de idade Mesozóica. Na sua porção central são encontrados depósitos argilosos, arcósios e areias finas da Formação Guabirota e, mais ao sul, terrenos aluvionares e coluvionares do Holoceno, formando a planície aluvial do rio Atuba.

A partir da litologia local e do predomínio de formas de relevo, a área em estudo foi dividida em quatro unidades geomorfológicas distintas: I - Sistema de Planícies Aluvionais; II - Sistema de Colinas (unidades de topos alongados); III - Sistema de Colinas (unidades de topos planos); IV - Sistema de Morros, conforme proposta adaptada de SALAMUNI (1998).

Localizado na porção sul da bacia do rio Atuba, o Sistema de Planícies Aluvionais, possui um relevo praticamente plano, com baixa declividade entre 0 a 10%, onde sobressaem algumas colinas suavemente onduladas. Esta unidade é constituída pelos terrenos aluvionares e depósitos coluvionares do Holoceno, com depósitos sedimentares pouco entalhados e terrenos sujeitos a alagamentos. O padrão de drenagem é paralelo com baixa densidade fluvial e fraca assimetria.

O Sistema de Colinas com unidades de topos alongados situa-se na parte central da área em estudo. Apresenta um sistema de relevo constituído por colinas alongadas com direção N-S e NE-SW. Nesta unidade o processo de entalhamento e à dissecação da paisagem são lentos no desenvolvimento das formas de relevo. As suas vertentes possuem declividades moderadas de 10 a 20%, no domínio da Formação Guabirota e Complexos Migmatíticos. A rede de drenagem é geralmente paralela a sub-dendrítica com densidade média.

O Sistema de Colinas com unidades de topos planos aparece na porção centro-norte da bacia, com relevo em forma de colinas bem arredondadas, tipo “meia laranja”. Suas vertentes são suaves, côncavas em geral, com entalhamento e dissecação pouco profundos e declividade média de 20 a > 30%. Situada sobre os Complexos Migmatíticos, esta unidade é a que apresenta maior densidade fluvial com padrão de drenagem sub-dendrítico e sub-retangular.

O Sistema de Morros corresponde à região do Grupo Açungui; aparece no extremo norte da área da bacia, na região de suas nascentes. O relevo desta unidade é formado por morros de cristas estreitas e alongadas com direção para NE-SW, podendo apresentar direções NW-SE. O padrão de drenagem que predomina é moderadamente retangular a treliça, estando, geralmente, adaptado às estruturas locais.

METODOLOGIA

No levantamento dos aspectos fisiográficos e análise morfométrica da rede de drenagem, o presente trabalho envolveu as etapas de: interpretação de fotografias aéreas; preparação da base cartográfica da rede de drenagem detalhada; levantamento e cartografia de aspectos geológicos e geomorfológicos e a compartimentação da bacia hidrográfica em unidades homólogas distintas.

Para o melhor detalhamento da rede de drenagem da bacia em estudo foi realizada a restituição de todos os canais fluviais e pluviais, em fotografias aéreas, na escala de 1:25.000, utilizando a técnica de fotointerpretação digital através da função “Stereo Analyst” do software Erdas versão 8.6.

A referida técnica divide-se em três fases: fase de orientamento das fotografias aéreas, subdividida em orientamento interno e orientamento externo; fase de restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas e fase de controle de campo.

O orientamento interno é realizado através da obtenção de dados fornecidos pelas próprias fotografias aéreas. Consiste na associação das fotografias aéreas com o tipo de câmera digital que as retirou. Nesta fase foram fornecidas informações sobre a distância focal, sistema de coordenadas fotográficas paralelas às fotografias aéreas e posicionamento das marcas fiduciais.

Durante o orientamento interno também foram atribuídos os parâmetros geodésicos de georreferenciamento como: tipo da projeção, esferóide, datum, fator de escala do meridiano central, longitude do meridiano central e latitude de origem da projeção.

As fotografias trabalhadas foram transportadas para meio digital com o auxílio do scanner, em formato Tif, com uma resolução de 600 dpi. Após o orientamento interno realizou-se o orientamento externo, onde as mesmas foram georreferenciadas no sistema de coordenadas da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) South America e Esferóide/ Datum Hayford.

O orientamento externo consiste no posicionamento das fotografias aéreas em relação às coordenadas geográficas do globo terrestre, ou seja, o seu georreferenciamento global.

No orientamento externo, o georeferenciamento foi realizado através da colocação de GCPs (ground control points) pontos de controle terrestre sobre as fotografias aéreas, tendo como base de referimento cartas topográficas em formato digital e registradas.

Sobre as cartas topográficas foram lançados GCP(s) em regiões visíveis e coincidentes com as fotografias aéreas como: cruzamentos de estradas, confluências de rios, curvas de rios, curvas de estradas, habitações e feições geomorfológicas salientes. Após, foram extraídas de cada GCP as suas coordenadas cartesianas: latitude (x), longitude (y) e altitude (z). Por fim, os pontos foram transferidos para as fotografias aéreas, obedecendo as suas coordenadas identificadas. Para o georreferenciamento, cada fotografia aérea recebeu cerca de 23 a 25 GCP(s) distribuídos uniformemente sobre toda a sua área.

Durante a fase de restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas foram traçadas as principais vias de acesso, a rede de drenagem detalhada e algumas feições geomorfológicas visíveis na paisagem. O detalhamento da rede de drenagem foi realizado através da restituição dos canais de primeira ordem, identificados, pelas suas incisões presentes nas encostas.

Concluída a interpretação das fotografias aéreas, os dados gerados foram transferidos para um Sistema de Informação Geográfica (SIG), realizando as medidas métricas da bacia como: área, perímetro, comprimento do canal principal, comprimento dos canais de cada ordem hierárquica e o comprimento do talvegue do rio principal. Para tais medidas, utilizou-se a função operações métricas do Software Spring versão 4.2.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

O levantamento dos parâmetros morfométricos foi baseado na proposta de HORTON (1945), apresentada na literatura por CHRISTOFOLETTI (1980) e VILLELA & MATTOS (1975). Estes índices envolvem a determinação da densidade de drenagem, densidade hidrográfica, comprimento do rio principal, coeficiente de compacidade, fator de forma da bacia, sinuosidade, extensão do percurso superficial, relação de relevo, gradiente do canal principal e hierarquia da rede de drenagem.

A densidade de drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total de todos os cursos de água e a área total da bacia. O resultado é dado em km/km^2 , sendo expresso por:

$Dd = Lt / A$, onde Lt é o comprimento total de todos os canais da rede hidrográfica e A é a área da bacia.

VILLELA & MATTOS (1975), afirmam que este índice varia de 0.5 km/km^2 , para bacias com drenagem pobre, a 3.5 km/km^2 ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas. Quanto maior for este índice, maior capacidade tem a bacia de escoar suas enchentes.

A densidade hidrográfica (Dh) é definida como $Dh = N1 / A$, sendo $N1$ o número de canais de primeira ordem. O resultado é dado em números de rios por km^2 (N/km^2).

O coeficiente de compacidade (Kc) pode ser interpretado como a relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de área (A) igual a da bacia. Quanto mais irregular for à bacia, maior será o coeficiente de compacidade que pode ser expresso por: $Kc = 0.28 / \sqrt{A}$.

Para VILLELA & MATTOS (1975), a tendência de uma bacia hidrográfica sofrer cheias será tanto maior quanto mais próximo de 1.0 for Kc , ou seja, quanto mais próximo de um círculo for à forma da bacia.

O fator de forma (Kf) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia hidrográfica. É expresso por: $Kf = A / L^2$, sendo L^2 , o comprimento do rio em km . Quanto menor é o fator de forma mais alongada é a bacia. Uma bacia que apresenta fator de forma baixo é menos sujeita as enchentes do que outra bacia com maior fator de forma. Isto é devido a menor possibilidade de ocorrerem chuvas intensas em todos os pontos de uma bacia comprida e estreita.

A sinuosidade (Sin) de uma bacia hidrográfica representa a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do seu talvegue. Este índice é um fator controlador da velocidade de escoamento superficial, sendo calculado pela fórmula: $Sin = Lcp / Lt$, sendo Lcp , o comprimento do rio principal e Lt o comprimento do talvegue.

De acordo com a classificação de CHRISTOFOLETTI (1980) canais que apresentam índices de sinuosidade superior ou igual a 1.5 são considerados meândricos.

A extensão do percurso superficial (Eps) é considerada como a distância média que um fluxo hídrico percorre até chegar ao leito do rio. Este coeficiente é expresso por: $Eps = 1 / 2Dd$.

A relação de relevo (Rr) é expressa pela equação $Rr = Hb / Lb$, onde Hb é a altura da bacia, ou seja, altitude mais elevada da bacia menos à altitude menos elevada, e Lb é o

comprimento da bacia medido em linha reta ao longo do canal principal até encontrar a borda da bacia, ou seja, o seu divisor.

O gradiente do canal principal (G_{cp}) é um bom indicador da capacidade de transporte de sedimentos de um rio. Quanto maior for o gradiente do canal principal maior será a capacidade de transporte de um rio, pois maior é a sua declividade. Pode ser representado pela equação $G_{cp} = H_{cp}/L_{cp}$, sendo H_{cp} , a altura do canal principal e L_{cp} o comprimento do canal principal.

A ordem dos cursos de drenagem consiste em dar uma hierarquia aos seguimentos de canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. Neste trabalho a hierarquia dos cursos d'água foi realizada pelo método de STRAHLER (1952) apud CHRISTOFOLETTI (1980). Este estudo é importante, pois indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

No quadro 01 é apresentada a hierarquia da bacia do rio Atuba com o número de segmentos de canais para cada ordem hierárquica e o seu comprimento total.

Ordem	Nº de segmentos	Comprimento total dos canais em (km)
1º	212	201.45
2º	47	81.03
3º	32	43.43
4º	9	28.15
5º	1	28.34
Total	301	382.4

Quadro 01: Segmento dos Canais por Ordem Hierárquica

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho apresenta como resultado os cálculos dos parâmetros morfométricos e das medidas métricas dos elementos da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Atuba, ilustrados no quadro 02.

A densidade de drenagem de 3km de cursos d'água por km^2 de área demonstra que a bacia do rio Atuba possui D_d elevada, ou seja, alta capacidade de escoamento de suas enchentes. Este coeficiente demonstra a capacidade de infiltração do terreno. O valor alto da D_d revela uma baixa capacidade de infiltração do substrato rochoso e um relevo de topografia moderada.

Área da bacia - (A)	127.43 km ²
Perímetro da bacia - (P)	64.92 km
Comprimento do canal principal - (Lcp)	32.43 km
Densidade de drenagem - (Dd)	3 km/km ²
Densidade hidrográfica -(Dh)	1.66 rios/ km ²
Coefficiente de compacidade - (Kc)	1.61
Fator de forma - (Kf)	0.12
Comprimento do talvegue - (Ltal)	23.63 km
Sinuosidade - (Sin)	1.36
Extensão do percurso superficial - (Eps)	16.66m
Altura da bacia - (Hb)	227.3m
Comprimento da bacia - (Lb)	23.87 km
Altura do canal principal - (Hcp)	146m
Relação de relevo - (Rr)	9.52 m/km
Gradiente do canal principal - (Gcp)	4.5 m/km

Quadro 02: Parâmetros Morfométricos da Bacia do Rio Atuba

A densidade hidrográfica de 1.66 cursos d'água por km² e a ordem hierárquica igual a 5 mostram que a bacia é moderadamente drenada.

A bacia do rio Atuba possui uma grande discrepância na distribuição e concentração dos cursos d'água. Esta discrepância pode ser explicada pelo excesso de canais de baixa ordem encontrados na região das nascentes, sobre o Grupo Açungui e Complexo Migmatíticos, e da escassa drenagem de canais de 1^a e 2^a ordem próximo a sua foz, na região dos aluviões e colúvios do Holoceno. Isso evidencia a influência da litologia no comportamento morfológico da rede de drenagem.

A distribuição e concentração irregular dos cursos d'água de 1^a e 2^a ordem revelam que, o escoamento dos fluxos d'água é bem mais rápido na porção superior da bacia. As águas precipitadas concentram-se na porção do baixo curso da bacia, onde a densidade de drenagem e a rede de canais de 1^a e 2^a ordem são bem mais baixas.

O coeficiente de compacidade de 1.61 e o baixo fator de forma de 0.12 indicam que a bacia é bastante irregular e alongada. Demonstra que o tempo de concentração do fluxo até o seu exutório é lento, com vazões mais regulares, pouco sujeita as enchentes.

A sinuosidade baixa de 1.36 indica que quase não existe sinuosidade controlando a velocidade de escoamento do curso d'água principal.

A extensão do percurso superficial de 16.66m revela que as águas precipitadas percorrem um curto trajeto até atingir o leito de um curso de água qualquer, contribuindo mais rápido para o aumento do volume de água dos canais receptores.

A relação de relevo de 9.52 m/km e o gradiente do canal principal de 4.5 m/km representam o moderado desnível topográfico da bacia em estudo, refletindo assim, a baixa capacidade energética dos seus fluxos d'água no processo erosivo e no transporte de sedimentos.

CONCLUSÃO

A aplicação do estudo morfométrico na bacia hidrográfica do rio Atuba forneceu um grupo de dados consistentes, que permitem uma melhor interpretação da influência das características fisiográficas da região no seu comportamento hidrológico. O estudo poderá servir de base a uma melhor compreensão do regime hidrológico, para o monitoramento da bacia hidrográfica, auxiliando na análise de áreas sujeitas as enchentes e aos processos erosivos.

É importante salientar que um bom detalhamento da rede de drenagem e a escolha da escala dos mapas e das fotografias aéreas a serem utilizados interferem, nos resultados dos parâmetros morfométricos calculados, tendo em vista que, tanto os canais fluviais como os pluviais contribuem para o escoamento das águas superficiais. Portanto, uma escolha adequada da metodologia de trabalho e dos materiais utilizados é fundamental para os estudos morfométricos.

O uso da técnica de fotointerpretação digital integrada às operações métricas do SIG, durante a coleta das medidas da bacia hidrográfica e dos elementos da rede de drenagem, possibilitou uma rápida análise e uma maior precisão dos dados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo / SP, Ed. Editora Edgard Blücher, 2ª. ed., 1980.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: Uma Atualização de Base e Conceitos**. Rio de Janeiro/RJ, Ed. Bertrand Brasil, 1994.

GUERRA, A. J. T. & GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico Geomorfológico**. Rio de Janeiro/RJ, Ed. Bertrand Brasil, 1997.

SALAMUNI, E. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociência e Ciência Exatas, UNESP, Rio Claro 1998.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo / SP, Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1º ed., 1975.

