

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CADENA/SANTA MARIA-RS

Vagner Brasil do Nascimento
Universidade Federal de Santa Maria
vagnerbrasil_geo@hotmail.com

Mauro Kumpfer Werlang
Universidade Federal de Santa Maria
mkwerlang@smail.ufsm.br

Ronaldo Facco
Universidade Federal de Santa Maria
ronaldo-facco@bol.com.br

EIXO TEMÁTICO: GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS, BACIA HIDROGRÁFICAS, PLANEJAMENTO AMBIENTAL E TERRITORIAL

Resumo

Os elementos físicos que relacionam as configurações da bacia hidrográfica com o seu comportamento hidrológico fornecem informações para o planejamento e para o manejo integrado das bacias hidrográficas. São, portanto, os parâmetros físicos que proporcionam detalhes que permitem explicar fenômenos da paisagem. Paisagem que para Bertrand (1971), é o resultado da combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológicos, antrópicos que reagem dialéticamente uns sobre os outros fazendo da paisagem um conjunto único e indissociável em constante evolução numa determinada porção do espaço. Nesse sentido o trabalho estabelece a definição de alguns índices morfométricos da bacia hidrográfica do arroio Cadena/Santa Maria-RS.

Palavras chave: Índices morfométricos; Paisagem; Bacia hidrográfica.

Abstract

The physical elements that connect the hydrological basin configurations with his hydrological behaviour supply informations for the projection and for the integrated handling of the hydrological basins. It is, so, the physical parameters that provide details which allow to explain phenomena of the scenery. Scenery, according to Bertrand (1971), is the result of the dynamic and unstable combination of physical, biological and antropics elements that react dialectically ones upon others, doing from the scenery an only and indissociable set in constant evolution on a determined portion of the space. In this sense, the work establishes the definition of some morphometric rates of the stream Cadena hydrological basin, located in Santa Maria – Rio Grande do Sul.

Key - words: morphometric rates; Landscpa; hydrological basin.

Introdução

Os estudos vinculados com a drenagem fluvial possuem relevante função na geomorfologia uma vez que a configuração da rede hidrográfica leva ao entendimento de numerosas questões relativas à geomorfologia, pois os cursos d'água constituem importante função no processo de esculturação da paisagem terrestre. Nesse sentido, a concepção teórica do trabalho considera a abordagem de que a relação entre a configuração da drenagem e as formas do relevo permite estabelecer uma relação de causa e efeito refletida nessas formas ou os conjuntos de formas. Assim, a

configuração dos padrões, redes ou sistemas de drenagem expressa, em grande parcela, a história evolutiva do relevo.

A análise de bacias hidrográficas passou a apresentar caráter mais objetivo a partir de 1945 com o trabalho publicado por Robert E. Horton, que procurou estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e de suas bacias. Também cabe a Horton (1945) a primazia de efetuar a abordagem quantitativa das bacias de drenagem. Entretanto, devem-se destacar a influência exercida por Arthur N. Strahler e seus seguidores conforme destaca Christofolletti (1980).

Objetivos

O trabalho destaca, para um estudo analítico, alguns dos parâmetros como a hierarquia fluvial, a análise areal, a análise linear e a análise hipsométrica. Portanto o presente trabalho tem como objetivo geral a caracterização da bacia hidrográfica do Arroio Cadena numa escala de 1:25.000, a partir dos objetivos específicos que foram: 1- determinação dos parâmetros relativos aos cursos d'água como: relação do comprimento médio dos canais, relação do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, densidade da drenagem. 2- determinação dos parâmetros relativos à bacia como: área, comprimento, relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, densidade de rios, coeficiente de manutenção, declividade média, coeficiente de rugosidade, amplitude altimétrica máxima, razão de relevo e densidade de segmentos.

Material e método

Entende-se por metodologia, conforme observa Pádua (2004), o conjunto de técnicas e processos empregados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento de maneira sistemática. Também, as metodologias, são ferramentas mentais que os pesquisadores criam e, eventualmente, recriam influenciadas pela dinâmica que condiciona e instiga a pesquisa para melhor interagir e modificar as experiências no mundo real.

A utilização da quantificação contribui para ordenar informações e torná-las manipuláveis e compreensíveis. Nentwing Silva (1978) destaca a utilização de métodos quantitativos na linguagem científica, interdisciplinar e universal quanto à precisão de um dado. Observa também que a quantificação oferece eficientes modelos analíticos, preditivos e de planejamento.

Também se utilizou a concepção da abordagem sistêmica, pois esta contribuiu para uma melhor compreensão organizacional do objeto de estudo, a bacia hidrográfica. Os primeiros estudos sob essa concepção metodológica ocorreram em 1940 com estudos desenvolvidos por Robert E. Horton. Esses trabalhos foram seguidos por publicações de autores como Freitas (1952), Strahler (1952 e 1957), Schumm (1956), Tolentino et al. (1968) e trabalhos de Christofolletti (1969, 1970, 1977, 1978 e 1980), que propuseram parâmetros para análise introduzindo a abordagem sistêmica no estudo das bacias hidrográficas (TONELLO et al., 2006).

Para a realização de um estudo, dentro da concepção sistêmica, é necessário analisar e explicar o objeto em estudo através de sua dinâmica de evolução no tempo e das relações que mantém com outros sistemas em seus diferentes estágios de evolução. Nesse sentido, a análise integrada da paisagem permite interpretar a influência das características hidrográficas na evolução dessa paisagem. Assim a determinação dos parâmetros propostos no presente trabalho, relativos a análise areal, linear e hipsométrica, forneçam informações acerca da evolução do relevo, limite-se a determinação quantitativa destes. O procedimento adotado para a obtenção de cada parâmetro está descrito junto ao resultado obtido, no respectivo item.

Resultados e discussões: caracterização geral dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Arroio Cadena

Caracterização geral da área da bacia hidrográfica do Arroio Cadena

A área abrangida pela bacia hidrográfica do Arroio Cadena está localizada no município de Santa Maria-RS, na região central do Rio Grande do Sul junto a Depressão Periférica Sulriograndense (Ross,1996) nas proximidades do Rebordo Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná. Abrange parte da área do Município e grande parte da área urbana de Santa Maria.

O clima da região, com base na classificação de Köppen, *apud* Ayoade, (1986) enquadra-se como sendo mesotérmico brando Cfa. Apresenta como característica invernos frios, com temperatura média do mês mais frio entre 13°C e 15°C e média das mínimas entre 8°C e 10°C. Os verões são quentes, com temperatura média do mês mais quente superior a 24°C, média das máximas variando entre 28°C e 32°C e as máximas absolutas podendo oscilar em torno dos 39°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 16°C e 20°C. As precipitações são regulares durante todo o ano, não apresentando estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1.500 mm e 1.600 mm. Os ventos predominantes são de leste e sudeste.

A área abrangida pela bacia hidrográfica do Arroio Cadena está assentada sobre litologias Paleozóicas da Bacia do Paraná relativas a Formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas e Membro Alemoa), Formação Caturrita, Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formação Sanga do Cabral e Cenozóicas constituídas pelos Terraços Fluviais e Sedimentos Atuais do Quaternário.

A unidade da Formação Santa Maria Membro Passo das Tropas constitui o membro inferior da Formação. Está representado por rochas de tamanho górsseo. Conforme Bortoluzzi (1974) e Silva (1997), sotoposto a essa formação, aparece a Formação Sanga do Cabral e, sobreposto o Membro Alemoa. O membro superior da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) caracteriza-se por ser constituído por rochas sedimentares de textura maciça (sem orientação) de caráter argiloso a síltico (lamito com pequena ocorrência de concreções calcárias). Sotoposto ocorre o Membro Passo das Tropas e sobreposto a Formação Caturrita (BORTOLUZZI, 1974; SILVA, 1997).

A Formação Caturrita está constituída por camadas de arenitos finos a médios, de cor cinza claro de composição quartzosa. O arenito basal geralmente é mais górsseo e menos argiloso.

Apresenta estratificação cruzada acanalada e planar, intercalados com siltitos vermelhos de ambiente fluvial (MACIEL FILHO, 1990). Com relação a Formação Botucatu, Bortoluzzi (1974) observa que essa Formação é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados, cimentados por sílica, predominantemente, ou por óxido de ferro.

A Formação Serra Geral está constituída por duas seqüências vulcânicas: uma de caráter básico e outra ácida, com intercalação de sedimentação eólica, nos períodos de recesso da atividade vulcânica, conhecidos como arenitos “intertrapps” (Maciel Filho, 1990). O primeiro derrame assenta-se sobre a Formação Caturrita. Veiga (1973) observa que na formação Serra Geral as rochas vulcânicas, intercaladas com os primeiros derrames, ocorrem sedimentos eólicos, semelhantes ao da Formação Botucatu, indicada pelo ambiente árido que perdurou durante o vulcanismo. Destaca que há presença de riolitos, riodacitos, basaltos, andesitos e “intertrapps” de arenitos.

Os Depósitos Quaternários, que pela razão de serem originários da dinâmica presente e pré-atual de acumulação sedimentar, encontram-se associados aos atuais agentes de sedimentação. Conforme FIBGE/RADAMBRASIL (1986), esses depósitos ocupam as calhas dos rios e estão constituídos por material mal graduado com textura desde seixos até cascalhos, areias, siltes e argilas. Os sedimentos mais grósseos localizam-se preferencialmente nas cabeceiras de drenagem e são predominantemente oriundos do Rebordo do Planalto, enquanto que os materiais com textura fina, caracterizando uma sedimentação siltico-argilosa, desenvolvem-se mais acentuadamente na planície de aluvial.

Quanto a geomorfologia, a área está situada na Depressão Periférica Sulriograndense (Ross,1996) e no Rebordo do Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná. O relevo caracteriza-se por apresentar uma topografia suave, com baixas cotas altimétricas, onde se destacam as planícies aluviais os terraços fluviais e as coxilhas¹. A área relativa a planície aluvial está constituída por sedimentos recentes (Quaternário), que foram removidos de superfícies topograficamente mais elevadas e depositadas nas áreas mais planas das margens dos rios e arroios, onde atuam processos de agradação e predomina modelado de relevo de acumulação. As coxilhas aparecem em porções isoladas e constituem as áreas topograficamente mais elevadas do setor sul e oeste da bacia. Nelas atuam processos de degradação constituindo modelados de relevos de aplanamento e dissecação.

No Rebordo do Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná ocorrem depósitos de tálus e colúvios. Também há presença de patamares no relevo formados a partir de níveis de pedimentação. Nessa área do Rebordo, ainda ocorre a presença de vales ocasionados pela erosão fluvial regressiva, resultado do recuo da escarpa. Esse recuo proporciona, em alguns pontos, a presença de relevos residuais. Esses vales apresentam-se encaixados nas cabeceiras com elevados desníveis topográficos. A forma desses

¹ O termo coxilhas, segundo Guerra (1987) é uma denominação regional, onde no Rio Grande do Sul é usada para designar pequenas elevações ou colinas. Conforme o autor, “...as coxilhas são elevações arredondadas e de pequena altitude que se destacam na área peneplanizada, cuja cimeira se apresenta, quando vista de longe, com o aspecto de uma faca (cuchilha em espanhol)...”.

vales em “V” e “U” determina a presença de fostonamentos no Rebordo. Nessa área é comum a ocorrência de fenômenos de erosão acelerada e movimentos do regolito.

A área pertence a bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim. Apresenta um padrão de drenagem que, na classificação de Christofolletti (1980), enquadra-se no tipo sub-dentrítico (apresenta controle estrutural no curso principal). Em alguns casos, esse controle estrutural, caracteriza padrões sub-paralelos para a rede de drenagem. Hierarquicamente está representada por canais de primeira, segunda, terceira, quarta e quinta ordem que são responsáveis pelos processos de agradação e degradação do relevo a partir dos modelados de acumulação, aplanamento e dissecação dos interflúvios.

A área sofreu significativas alterações na cobertura original da vegetação. Parte dela está inserida no domínio dos Campos com Capões e Matas Galerias (Vieira, 1984). Os setores da área que atualmente são dedicados ao uso com pecuária, apresentam cobertura com gramíneas entre a vegetação arbórea e arbustiva em regeneração. Naqueles onde o uso é com agricultura, houve a supressão da vegetação original. No Rebordo, entretanto, há alguns pontos apresentando remanescentes da Floresta Estacional, Semidecidual. Conforme FIBGE/RADAMBRASIL (1986) essa floresta está dividida em quatro formações: Aluvial; Terras Baixas; Submontana e Montana. Na área de estudo os agrupamentos remanescentes dessa cobertura vegetal, se situam nas partes mais íngremes das encostas junto ao Rebordo.

Nos setores, onde os processos erosivos esculpiram colinas alongadas (coxilhas) sobre litologias paleozóicas da Bacia do Paraná, aparecem solos medianamente profundos como os Argissolos Amarelos. Nas áreas da planície e terraços fluviais, onde a flutuação do lençol freático associado a conformação da topografia, imprime maior influência sobre os processos pedogenéticos, ocorrem Plintossolos, Gleissolos e Planossolos. Nas áreas com forte dissecação do relevo, desenvolvidos a partir de rochas efusivas básicas e ácidas da formação Serra Geral, aparecem Argissolos Vermelhos, Nitossolos e Neossolos Litólicos. Também em alguns pontos, caracterizados pela irregularidade topográfica, ocorrem alguns Cambissolos. Entretanto, nesses setores, com forte energia do relevo, predominam as associações de solos.

Hierarquia fluvial

A hierarquia fluvial consiste no processo de classificação do curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual esse se encontra inserido. O objetivo é facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas. Para a ordenação dos cursos d'água, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de Segunda ordem, mas também podem receber afluentes de primeira ordem; os de Quarta ordem recebem tributários de terceira ordem, e também, os de ordem inferior, e assim sucessivamente. O rio principal é consignado pelo

mesmo número de ordem desde a sua nascente Horton (1945 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980). Para a determinação do afluente e do canal principal a partir da última bifurcação podem ser usadas as regras: 1-partindo da jusante da confluência, estender a linha do curso de água para montante, para além da bifurcação. O canal confluyente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor; 2-se ambos os curso possuem o mesmo ângulo, o rio de menor extensão é geralmente designado como de ordem mais baixa.

A bacia do Arroio Cadena enquadra-se como de 5ª ordem, considerando a hierarquização proposta por Strahler (1952).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial. A partir de então, processa-se a análise dos aspectos lineares, areais e hipsométricos.

Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

A lei básica da composição da drenagem pode ser assim enunciada: “ numa bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios” (Christofoletti, 1980).

Para calcular a relação entre os comprimentos médios emprega-se a expressão:

$$RLm = \frac{Lmu}{Lmu - 1} \text{ (equação 1)}$$

Onde RLm é a relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem, e $Lmu - 1$ é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

A bacia do Arroio Cadena apresenta relação entre o comprimento médio dos canais conforme resultados expressos no quadro 1.

Quadro 1-Bacia hidrográfica do Arroio Cadena/relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem.

Ordem dos rios	Relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem
1ª e 2ª	0,27
2ª e 3ª	0,28
3ª e 4ª	1,81
3ª e 4ª	0,42

Fonte: dos autores

Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação

Também se deve a Horton (1945) o estabelecimento dessa relação, que se constitui num importante fator na relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas. Se a relação entre o comprimento médio e o índice de bifurcação for igual, o tamanho médio dos canais crescerá ou diminuirá na mesma proporção. Para o caso de não serem iguais, o tamanho dos canais poderá diminuir ou aumentar progressivamente com a elevação da ordem

dos canais, pois são os “fatores hidrológicos, morfológicos e geológicos que determinam o último grau do desenvolvimento da drenagem em determinada bacia” (CHRISTOFOLETTI, 1980).

È expressa por:

$$Rlb = \frac{Rlm}{Rb} \text{ (equação 2)}$$

Onde *Rlb* é a relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação; *Rlm* é o índice do comprimento médio entre duas ordens subseqüentes e *Rb* é a relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subseqüentes. O quadro 2 traz os resultados obtidos para a bacia hidrográfica do Arroio Cadena.

Quadro 2-Bacia hidrográfica do Arroio Cadena/relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação.

Ordem dos rios	Relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação
1ª e 2ª	0,06
2ª e 3ª	0,08
3ª e 4ª	0,75
3ª e 4ª	0,21

Fonte: dos autores

Comprimento do rio principal

O comprimento do rio principal é a distância que se estende ao longo do curso d’água desde a sua foz até determinada nascente. Para a determinação do comprimento do rio principal, o maior problema está na definição do rio principal. Para isso pode-se utilizar os seguintes critérios: (1) aplicar os critérios estabelecidos por Horton (1945), pois o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal; (2) em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude; (3) em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia; (4) considerar o curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos.

O resultado obtido para o Arroio Cadena foi 21.229,78m de comprimento. Constitui-se num critério prático em vista do funcionamento hidrológico da bacia.

Densidade da drenagem

A densidade da drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Foi proposta inicialmente por Horton (1945) e é dada pela equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \text{ (equação 3)}$$

onde *Dd* significa a densidade da drenagem; *Lt* é o comprimento total dos canais e *A* é a área da bacia.

Num mesmo ambiente climático o comportamento hidrológico das rochas repercute na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração é mais difícil há melhores condições para o escoamento superficial, gerando possibilidades para a incisão de canais, como em rochas clásticas de granulação fina, tendo como consequência, densidade de drenagem mais elevada. O contrário ocorre em áreas onde predominam rochas de granulometria grosseira.

O cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. A medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para a bacia do Arroio Cadena foi obtido o valor de 18,13 m/ha como índice de densidade da drenagem.

Extensão do percurso superficial

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a extensão do percurso superficial é ajustada a um tamanho apropriado. Está relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco valor da densidade da drenagem (Christofoletti, 1980). É obtido pela expressão:

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \text{ (equação 4)}$$

Onde *Eps* representa a extensão do percurso superficial e *Dd* é o valor da densidade de drenagem.

Quanto maior for a densidade da drenagem, menor a extensão superficial. Aplicando-se a equação 4 para a bacia do Arroio Cadena obteve-se um resultado de 0,027 m/ha para a extensão do percurso superficial.

Área da bacia

A área da bacia corresponde a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. A área total da bacia do Arroio Cadena, obtida com o auxílio da mesa digitalizadora e de aplicativo computacional foi de 20.768,02 ha, tomando-se como base cartográfica a carta topográfica em escala de 1:50.000.

Comprimento da bacia

Várias são as definições a respeito do comprimento da bacia, o que acarreta diversidade no valor a ser obtido. A figura 1 ilustra os procedimentos: (1) distância medida em linha reta a foz e determinada ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele. O ponto mencionado representa então, a metade da distância correspondente ao comprimento total

do perímetro. Para esse critério foi encontrado o valor de 20.250 m para a bacia do Arroio Cadena; (2) maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro. Nesse critério o valor encontrado para a bacia do Arroio Cadena foi 21.600 m. (3) distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro. Para esse critério o resultado encontrado foi 20.800 m. (4) distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal. Usando esse critério, o valor encontrado para a bacia do Arroio Cadena foi 21.150 m.

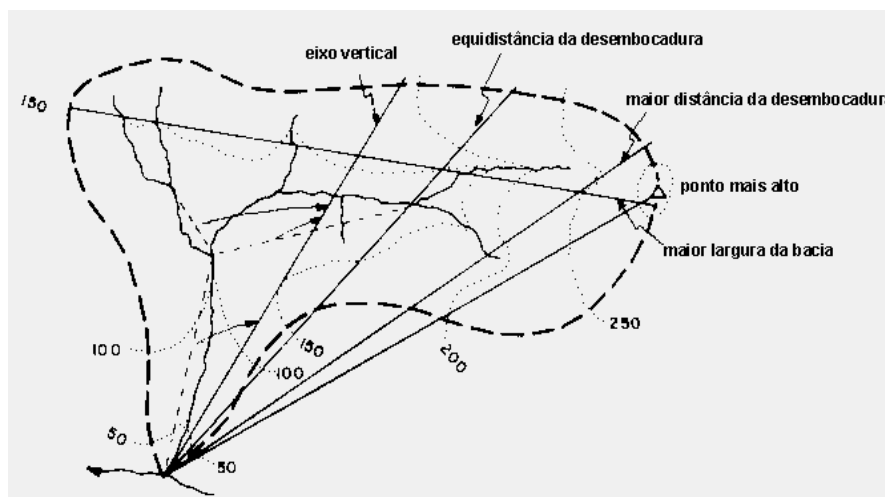


Figura 1-Critérios empregados para determinar o comprimento da bacia.

Fonte: CHRISTOFOLETTI, (1980).

Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia

Esta relação foi estabelecida por Hack (1957), ao estudar bacias do vale do Shenandoah e da Nova Inglaterra (Christofolletti, 1980). Posteriormente, outros pesquisadores abordaram o tema e essas pesquisas mostraram consistência dos dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água principal possa ser calculado de acordo com a equação:

$$L = 1,5A^{0,6} \text{ (equação 5)}$$

Onde L é o comprimento do rio principal, em quilômetros, e A é a área da bacia, em quilômetros.

O resultado obtido, através da equação 5, para a bacia do Arroio Cadena foi 9.258 m.

Densidade de rios

É a relação existente entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão, como por exemplo o quilômetro quadrado. De acordo com Christofolletti (1980), esse índice foi proposto inicialmente por Horton (1945), sendo calculado pela equação:

$$Dr = \frac{N}{A} \text{ (equação 6)}$$

Onde D_r é a densidade de rios; N é o número total de rios ou cursos d'água e A é a área da bacia considerada.

Utilizando a ordenação proposta por Horton (1945) e aplicando-se a equação 6 para os cursos de 1ª ordem, o resultado obtido para a bacia do Arroio Cadena foi 1,26 rios/km².

Coefficiente de manutenção

Conforme Christofletti (1980) foi proposto por Schumm (1956). Esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O autor considera-o como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser obtido através da equação:

$$C_m = \frac{1}{D_d} \times 1000 \text{ (equação 7)}$$

Onde C_m é o coeficiente de manutenção e D_d é o valor da densidade da drenagem expresso em metros.

Para a bacia do Arroio Cadena, aplicada a equação 7, obteve-se o valor de 55,16 para o coeficiente de manutenção.

Declividade média da bacia

Representa a relação entre o somatório das curvas de nível e a área total da bacia considerada. Pode ser obtida pela equação:

$$H = \frac{\sum cn \times h}{A} \times 1000 \text{ (equação 8)}$$

Onde H é a declividade média; $\sum cn$ é o somatório do comprimento das curvas de nível; $\blacktriangle h$ é a equidistância entre as curvas de nível e A é a área da bacia considerada.

A declividade média tem grande importância, pois fornece idéia sobre os picos de enchente e a infiltração d'água, trazendo inferências sobre o maior ou menor grau de erosão. Através da equação 8, aplicada para a bacia do Arroio Cadena foi obtido o valor de 8,67% de declividade média para a bacia.

Coefficiente de rugosidade

Também chamado de índice de rugosidade, foi inicialmente proposto por Melton (1957) para expressar um dos aspectos da análise dimensional da topografia. O índice combina quantidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando como número adimensional que resulta entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (D_d). A equação utilizada é:

$$RN = H \times D_d \text{ (equação 9)}$$

Se a densidade de drenagem aumenta, enquanto o valor da declividade média permanece constante, a distância horizontal média entre a divisória e os canais adjacentes será reduzida,

acompanhada de aumento na declividade da vertente. Se o valor da declividade aumenta enquanto a densidade de drenagem permanece constante, também aumentarão as diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais e a declividade das vertentes.

Aplicando-se a equação 9 para a bacia hidrográfica do Arroio Cadena, o resultado obtido foi 157,18.

Amplitude altimétrica máxima da bacia

Corresponde a diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar do divisor topográfico. Também denominado de “relevo máximo”, foi proposto por Schumm, 1956 (Christofoletti, 1980). O valor obtido para a bacia do Arroio Cadena foi $Hm = 385$ m.

Relação de relevo

Foi inicialmente apresentada por Schumm (1956) considerando o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. Posteriormente Melton (1965) apresentou formulação buscando relacionar a diferença altimétrica (Hm) com a raiz quadrada da área da bacia (A), (Christofoletti, 1980). Pode ser calculada pela equação:

$$Rr = \frac{Hm}{A^{0,5}} \text{ (equação 10)}$$

O resultado obtido para a bacia do Arroio Cadena foi 2,67.m/ha

Densidade de segmentos

A densidade de segmentos é a quantidade de segmentos existentes em determinada bacia hidrográfica por unidade de área. Aplica-se o sistema de ordenação de Strahler e soma-se a quantidade de segmentos de todas as ordens da bacia. Para calculá-la utiliza-se a equação:

$$Fs = \frac{\sum ni}{A} \text{ (equação 11)}$$

Onde F_s é a densidade de segmentos; n_i é o número de segmentos de determinada ordem ($i = 1^a, 2^a, 3^a \dots$ enésima ordem); A é a área da bacia. Os valores obtidos para a bacia hidrográfica do Arroio Cadena constam no quadro 3.

Quadro 3-Bacia hidrográfica do Arroio Cadena/densidade de segmentos

Ordem	Densidade de segmentos
1ª ordem	9,7
2ª ordem	2,0
3ª ordem	0,67
4ª ordem	0,18

5ª ordem	0,048
----------	-------

Conclusão

Os resultados obtidos mostram que os principais índices morfométricos da bacia do Arroio Cadena servem para uma primeira análise da caracterização física dessa bacia. Deve ser observado que os dados foram obtidos a partir de uma base cartográfica em escala 1:25.000, apresentando generalizações. Entretanto, revelam importantes indicadores e uma boa resposta quanto a caracterização morfométrica da bacia. Assim, esses dados podem ser comparados com outras bacias hidrográficas, cujos parâmetros físicos ofereçam condições de crítica e análise face a escala de trabalho utilizada. Permitem, portanto, uma análise integrada.

Referências bibliográficas

- AYOADE, J. **Introdução a Climatologia dos Trópicos**. São Paulo: Difel. 1986.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global – esboço metodológico. **Cadernos de ciências da terra** Instituto de geografia/USP: São Paulo; 1971.
- BORTOLUZZI, C.A. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p.7-86, 1974.
- CRHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SH-21**. Rio de Janeiro:FIBGE;1986.vol.33.
- GUERRA , A.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 7ª edição. Rio de Janeiro: FIBGE;1987.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, **Geol.Soc. América Bulletin** ;1945, 56 (3), 275-370.
- MACIEL FILHO, C.L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria-RS: Imprensa Universitária, FINEP, 1990.
- NENTWING SILVA, B. Métodos quantitativos aplicados em geografia: uma introdução. **AGETEO**. Rio Claro, SP.Vol.3.nº 6.1978. p.33-73.
- PÁDUA, E.M.M.de. **Metodologia da pesquisa**: abordagem teórico-prática. Campinas: SP, 2004.
- ROSS, J.L. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 1996.546p.
- SILVA,J.L.S. **Estudo dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares mesozóicas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Tese de doutorado. Curso de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências UFRGS. 1997.
- STRAHLER, A.N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1952, 38: 913-920.

TONELLO, K.C.; DIAS,H.C.T.;SOUZA, A.L.de; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE,F.P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Sociedade de Investigações Florestais-SIF**. Viçosa,MG, V.30.nº 5.p.849-857.

VEIGA, P. **Estudo dos Arenitos “Intertrapps” da Formação Serra Geral na Região de Santa Maria-RS**. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências UFRGS. 1973.

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul. Geografia Física e Vegetação**. Porto Alegre: Sagra; 1984.