

Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS

Eduardo Périco¹
Gisele Cemin²
Úrsula Arend¹
Claudete Rempel¹
Rafael Rodrigo Eckhardt¹

¹ Centro Universitário UNIVATES
Rua Avelino Tallini, 171 - 95900-000 – Lajeado - RS, Brasil
{ perico, ursulaarend, crempel, rafare@univates.br }

² Universidade de Caxias do Sul (UCS)
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - 95070-560 – Caxias do Sul – RS, Brasil
gicemin@yahoo.com.br

Abstract. In Brazil, by federal decree, the watershed is legally recognized as a planning unit, because it is the ecosystem and morphological unit that best reflects the impacts of anthropogenic interference. The Forqueta river Basin is placed in remnants of Atlantic rainforest. Due to agriculture and urbanization just few areas still with continuous forest, showing a lot of fragmented habitats, separated by farms or urban areas. In the small farms are practice subsistence agriculture and livestock, particularly pigs and poultry. Most estates are located on the banks Forqueta, Forquetinha or Fão river, which facilitates the dumping of waste *in nature*. As for the spatial planning activities, Geographic Information Systems (GIS) has proven a useful tool for presenting the interaction and analysis of different information layers that make up a landscape. The work aim was to conduct an physiographic analysis of Forqueta river basin, RS, through the use of cartographic data and Geographic Information Systems (GIS). To obtain the net drainage from Forqueta river basin, the army planimetric maps were scanned and georeferenced in Idrisi software. For physiographic analysis it was chose to use the data in vector format, due to higher precision and practicality. It was performed the basin linear and areal analysis. The Forqueta river basin is 6 th order, with a relatively branched system and has an elongated shape, which indicates a lower probability of flooding. Drainage density is low, with 1,23 km / km², indicating that the rocks of the study area are permeable.

Palavras-chave: planning, hydrography, GIS, ecological aspects, planejamento, hidrografia, SIG, aspectos ecológicos

1. Introdução

A bacia hidrográfica pode ser definida como unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo divisor de água. Atualmente, configura-se como uma das principais unidades de gerenciamento territorial disponível para as atividades agrossilvopastoris, sendo modelada pelas condições geológicas e climáticas locais. Entretanto, em função do processo de desenvolvimento urbano e do entorno necessário para mantê-lo, cada vez mais, as bacias hidrográficas têm sofrido alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, na composição da biota, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia. Tais alterações e o padrão espacial do uso e cobertura do solo têm importantes efeitos sobre a produção e o transporte de sedimentos (Vanacker *et al.* 2005).

No Brasil, desde 1986, com a resolução CONAMA 001 (Brasil 1986) a bacia hidrográfica é reconhecida legalmente como unidade de planejamento. No seu artigo 5º item III é colocado: “definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominados da área de influência do projeto, considerando em todos os casos, a bacia hidrográfica, na qual se localiza”. Isso se deve ao fato da bacia hidrográfica ser a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas.

A manutenção dos recursos hídricos, no que diz respeito ao regime de vazão dos cursos d'água e da qualidade de água, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem. Um destes mecanismos, por exemplo, é a relação íntima que existe entre a cobertura vegetal e a água, especialmente nas cabeceiras dos rios onde estão suas nascentes. Esta condição natural de equilíbrio dinâmico vem sendo constantemente alterada pelo homem através do desmatamento, expansão da agricultura, abertura de estradas, urbanização e vários outros processos de transformação antrópica da paisagem, que alteram os ciclos biogeoquímicos e o ciclo da água. Levando em conta as projeções de crescimento da população mundial, não há dúvida de que os impactos ambientais destas transformações começam a ameaçar a sustentabilidade dos recursos hídricos (Lima 2000).

Segundo Ferreira (1997), os SIGs podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às várias questões sobre planejamento urbano e regional, meio rural e levantamento dos recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando o planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas. As cartas planialtimétricas do Exército ou IBGE, digitalizadas e arquivadas em um SIG, permitem o delineamento e a caracterização de bacias hidrográficas e rede de drenagem, possibilitando o cálculo de dados fisiográficos através de medidas diretas (áreas e comprimentos) no arquivo em meio digital e, a partir destes, outros os índices representativos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi de realizar uma análise fisiográfica da bacia do Rio Forqueta, através da utilização de dados cartográficos e Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica em estudo está inserida entre as latitudes 29° 30' e 28° 49'S e as longitudes 52°00' e 52° 45' W, a nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Rempel 2000) apresentando um total de 2.846,04 km² de área (Figura 1).

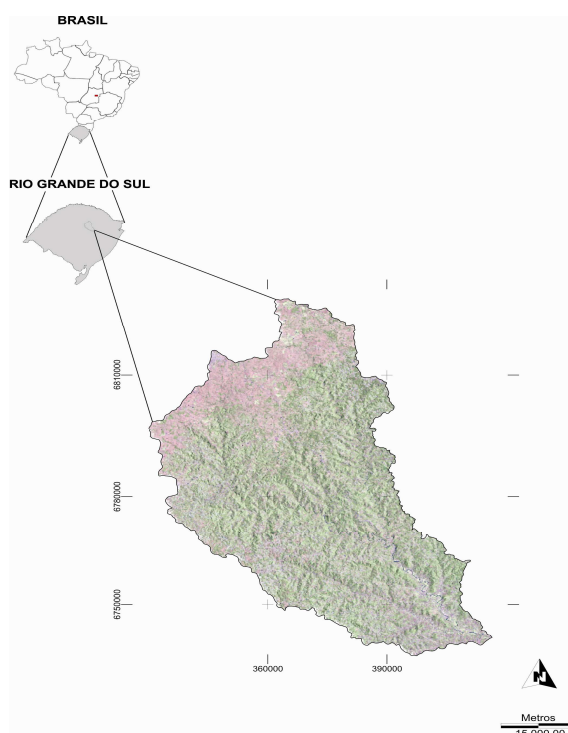


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2 Materiais

Para a realização do trabalho foi necessária a utilização das cartas planialtimétricas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (Brasil, Ministério do Exército 1979), em escala 1:50.000, referente as folhas de SH.22-V-D-I-4 de Marques de Souza, SH.22-V-D-I-3 de Sério, SH.22-V-D-I-2 de Nova Bréscia, SH.22-V-D-II-3 de Lajeado, SH.22-V-C-III-2 de Barros Cassal, SH.22-V-B-IV-1 de Nicolau Vergueiro, SH.22-V-B-IV-3 de Soledade-E, SH.22-V-B-IV-4 de Arvorezinha, SH.22-V-D-I-1 de Progresso, SH.22-V-B-IV-2 de Maria, SH.22-V-A-VI-4 de Soledade, *software* de SIG Idrisi Kilimanjaro. *software* de processamento de informações georreferenciadas Spring, versão 4.3 (Câmara *et al* 1996).

2.3 Métodos

2.3.1 Geração da base de dados

Para a obtenção da rede de drenagem da bacia do rio Forqueta, as cartas planialtimétricas do exército foram escaneadas e georreferenciadas no *software* Idrisi para a digitalização em tela desta informação. Este processo resultou em linhas vetoriais, que foram classificadas segundo sua hierarquia fluvial, de acordo com a metodologia proposta por Strahler (1957). Segundo este autor, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem, e assim sucessivamente.

As cartas do planialtimétricas do exército também foram utilizadas para a delimitação do perímetro da bacia, através da identificação em tela, dos divisores de água, cotas das curvas de nível e valores dos pontos mais elevados (topos de morro).

Para a análise fisiográfica optou-se pela utilização dos dados no formato vetorial, devido à maior precisão e praticidade. Os dados referentes ao limite da bacia e da rede de drenagem foram exportados do *software* Idrisi no formato *.dxf. Estes dados foram importados para o *software* Spring 4.3 para a obtenção da área e perímetro da bacia e comprimentos da rede de drenagem, utilizando a ferramenta *Operações Métricas*.

2.3.2 Análise linear da rede hidrográfica

Segundo Christofletti (1979) a análise linear da rede hidrográfica refere-se às medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Neste trabalho foram avaliados os seguintes índices:

Número total de canais (Nt) e número de canais por ordem (Nu)

Neste caso também foi utilizado o sistema de ordenamento proposto por Strahler (1957), portanto, o valor do índice Nt será correspondente ao número de canais de primeira ordem, já que um rio sempre surge de uma nascente.

Comprimento total de rede de drenagem (Lt), comprimento total dos canais por ordem (Lu) e comprimento médio dos canais de cada ordem (Lmu)

São variáveis dimensionais que neste trabalho foram expressas em km.

Relação de bifurcação

Expressa a relação entre o número de canais de certa ordem e o número de canais imediatamente superior (Horton 1945) (Equação 1).

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1} \quad (1)$$

Em que:

Nu é o número de canais de certa ordem

Nu+1 é o número de canais de uma ordem imediatamente superior.

2.3.3 Análise areal da bacia hidrográfica

Na análise areal estão englobado os índices das medições planimétricas e das medições lineares. Foram avaliados os seguintes índices:

Área e perímetro da bacia

O perímetro é o comprimento da linha que delimita o divisor de águas de uma bacia e que circunda a área da bacia. Estes parâmetros área e perímetro são duas variáveis de maior importância, havendo a necessidade de maior rigor na sua delimitação, pois, oferecem características que influenciam diretamente na geração de escoamentos na bacia hidrográfica (Lima 1996).

Índice de compacidade de Gravelius (índice de forma) (Kc) e índice de circularidade (Ic)

Relaciona perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de mesma área. Quanto mais próximo o valor de 1 mais compacta é a bacia, e maior a tendência em produzir escoamentos rápidos. De acordo com Villela & Mattos (1975) esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade (Equação 2).

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Em que:

P é o perímetro da bacia (km).

A é a área da bacia (km²).

As bacias com o formato retangular ou triangular são menos susceptíveis a enchentes que as circulares, ovais ou quadradas, que têm maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (Rocha 1997).

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade (Ic) tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (Cardoso *et al.* 2006). Para o cálculo deste índice, utilizou-se a equação proposta por (Miller 1953) (Equação 3).

$$I_c = \frac{4\pi \square A}{P^2} \quad (3)$$

Sinuosidade do curso d'água - Índice de Sinuosidade (Is)

É a relação entre a distância da foz do rio e a nascente mais distante em linha reta e o comprimento do rio principal no formato vetorial adaptado de Mansikkaniemi (1970) (Equação 4).

$$I_s = \frac{100 \square L - L_r \square}{L} \quad (4)$$

Em que:

L é o comprimento do rio principal.

L_r é o comprimento, em linha reta, do exutório até a nascente mais distante.

Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade: I = muito reto (<20%), II = reto (20, - 29,9%), III = divagante (30,0 – 39,9), IV = sinuoso (40,0 – 49,9) e V = muito sinuoso (50,0).

Densidade de drenagem (Dd)

Consiste na relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, sendo este índice considerado importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, vegetação e solos de uma bacia hidrográfica e está relacionado, com o tempo gasto para o escoamento superficial da bacia (Horton 1945). Quanto maior a densidade de drenagem maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório (Equação 5).

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (5)$$

Em que:

L_t é o comprimento total dos cursos d'água da bacia.

A é a área da bacia.

Densidade hidrográfica (Dh)

Relação existente entre o número de canais e a área da bacia. Como neste trabalho foi utilizada a ordenação proposta por Strahler (1957), o número de cursos d'água deve corresponder ao número de canais de 1° ordem (Equação 6).

$$Dh = \frac{Nu_{1^\circ \text{ ordem}}}{A} \quad (6)$$

Em que:

Nu_{1° ordem} é o número total de canais de 1° ordem

A é a área da bacia (km²)

A densidade hidrográfica é uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um dos seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água (Christofolletti 1974).

3. Resultados e Discussão

Os índices foram obtidos através do cálculo de dados primários, como o comprimento dos canais de cada ordem, utilizando a ferramenta de *Operação Métrica*, disponível na barra de menus *Ferramentas* do *software* de SIG Spring 5.2.1.

Conforme a Tabela 1, a bacia do Rio Forqueta apresenta uma ordem hierárquica correspondente a uma bacia de 6° ordem, com uma área de drenagem de 3.509,88km. É composta por 1.880 canais, sendo que 1.438 de 1° ordem, 344 de 2° ordem, 77 de 3° ordem, 17 de 4° ordem, 3 e 5° ordem e 1 canal de 6° ordem (Figura 2).

Tabela 1. Dados da análise linear da rede hidrográfica da bacia do Rio Forqueta.

Hierarquia dos rios	Nº de canais por ordem-Nu	Comprimento total-Lu	Comprimento médio-Lmi	Relação de bifurcação-Rb
	km	km	km	
1° ordem	1.438	2.075,02	1,44	4,16
2° ordem	344	644,67	1,87	4,41
3° ordem	77	374,03	4,85	4,27
4° ordem	17	134,37	7,90	4,25
5° ordem	3	232,96	77,65	1,5
6° ordem	1	46,83	46,83	-
Total	1.880	3.509,88	-	-

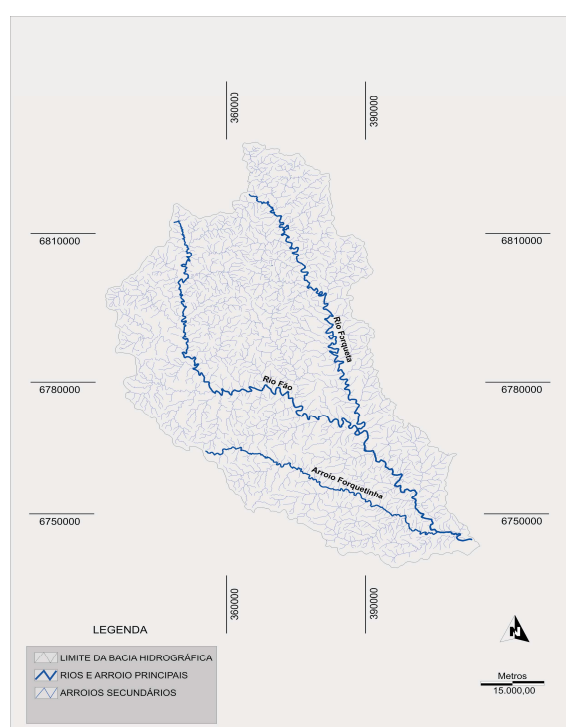


Figura 2. Rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, RS.

O índice de bifurcação, mostrado na Tabela 1, reflete o grau de ramificação dos canais de uma bacia hidrográfica. É possível observar que o maior valor de Rb foi para os canais de 2° ordem (4,41), seguidos pelos canais de primeira e segunda ordem.

Na tabela 2 pode-se observar os dados relativos à análise areal da bacia. A densidade de drenagem (Dd) foi de 1,23 km/km², sendo considerada, segundo Christofolletti (1969), baixa (Dd < 7,5 km/km²). Segundo o autor supra citado, nas rochas e regolitos em que a infiltração é mais dificultada há maior escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais permanentes e conseqüentemente uma densidade de drenagem mais elevada. Para Christofolletti (1980) a baixa densidade de drenagem permite comparar a suscetibilidade de correr erosão em uma bacia. Neste sentido, um baixo valor de Dd torna a bacia menos suscetível à erosão dos solos. É importante ressaltar que a densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica (Cardoso 2006). A densidade hidrográfica (Dh) indica o número de rios por unidade de área. Para a bacia em questão, o valor encontrado foi de 0,50 rios/km², o que corrobora com o resultado da densidade de drenagem.

Tabela 2. Dados da análise areal da rede hidrográfica da bacia do Rio Forqueta.

Índices	Unidade	Resultados
Área (A)	km ²	2.846,04
Perímetro (P)	km	302,79
Coefficiente de compacidade de Gravelius (Kc)	adimensional	1,58
Índice de circularidade (Ic)	adimensional	0,39
Sinuosidade	%	45,63
Densidade de Drenagem (Dd)	km/km ²	1,23
Densidade hidrográfica (Dh)	Rios/km ²	0,50

O índice de sinuosidade constitui um fator controlador da velocidade de escoamento das águas. O valor deste índice encontrado para a área de estudo foi de 45,63%, sendo considerado sinuoso. Analisando os valores encontrados para os índices de compacidade de Gravelius e circularidade (Kc=1,58 e Ic=0,39) pode-se inferir que a bacia não apresenta forma circular, tendendo a um formato mais alongado, apresentando menor possibilidade de enchentes rápidas em condições normais de precipitação. Uma bacia estreita e longa, com índice de compacidade maior que a unidade e índice circularidade menor que a unidade, apresenta uma menor possibilidade de ocorrências de chuvas intensas cobrindo concomitantemente toda a sua área, o que diminui a possibilidade de inundação.

4. Conclusões

A bacia do Rio Forqueta apresenta uma ordem hierárquica correspondente a uma bacia de 6° ordem, com uma área de drenagem de 3.509,88km. A densidade de drenagem foi de 1,23 km/km², sendo considerada baixa, o que torna a bacia menos suscetível à erosão dos solos. Foi encontrado 0,50 rios/km², o que corrobora o resultado da densidade de drenagem.

Os valores encontrados para os índices de compacidade de Gravelius e circularidade (Kc=1,58 e Ic=0,39) indicam que a bacia não apresenta forma circular, tendendo a um

formato mais alongado, apresentando menor possibilidade de enchentes rápidas em condições normais de precipitação.

5. Referências Bibliográficas

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 1986. Resolução 001 de 23 de janeiro de 1986. Define impacto ambiental e toma outras providências. D.O.U de 17/02/1986.

BRASIL. **Ministério do Exército - Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG**. 1979. Folhas: SH.22-V-B-IV-4 de Arvorezinha, SH.22-V-C-III-2 de Barros Cassal, SH.22-V-D-II-1 de Encantado, SH.22-V-D-II-3 de Lajeado, SH.22-V-D-I-4 de Marques de Souza, SH.22-V-B-IV-1 de Nicolau Vergueiro, SH.22-V-B-V-IV-2 de Maria, SH.22-V-D-I-1 de Progresso, SH.22-V-D-I-3 de Sério, SH.22-V-A-VI-4 de Soledade, SH.22-V-B-IV-3 de Soledade-E: cartas topográficas. Porto Alegre, Escala 1:50.000.

CÂMARA G; SOUZA R. C. M.; FREITAS U. M. & GARRIDO J. 1996. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. Computers & Graphics 20(3) 395-403.

CARDOSO, C. A; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B. & MARTINS, S.V. 2006. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan**, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore 30 (2): 241-248.

CHISTOFOLETTI, A. 1969. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas**. Notícias Geomorfológicas 9 (18):19-34.

CHRISTOFOLETTI, A. 1974. **Geomorfologia**. 2ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda. 149p.

CHRISTOFOLETTI, A. 1979. **A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas**. Geografia 4(8): 23-42.

CHISTOFOLETTI, A. 1980. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blüchler. 2a ed. 149p.

FERREIRA, C. C. M. 1997. Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. 156f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

HORTON, R.E. 1945. **Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of American Geological Society 56(3): 275-330.

LIMA, W.P. 1996. **Princípios de hidrologia florestal para manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", USP. 318 p.

LIMA, W.P. 2000. Importância das florestas para a produção de água. In: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, 3., 2000, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: IPEF/ESALQ.

MANSIKKANIEMI, H. 1970. **The sinuosity of rivers in northern Finland**: Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis, 52 :16-32.

MILLER, V.C. 1953. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee**. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University.

REMPEL, C. 2000. Aplicação do sensoriamento remoto para a determinação da evolução da cobertura da mata nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta – RS entre os anos de 1985 e 1995. 82 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

ROCHA, J.S.M. da. 1997. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Imprensa Universitária. 423 p.

STRAHLER, A.N. 1957. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Haven: Transactions: American Geophysical Union 38: 913-920.

VANACKER, V.; MOLINA, A.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DERCON, G. & DECKERS, S. 2005. **River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems**. Geomorphology, 72(1-4): 340-353.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. 1975. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p.