

BACIA HIDROGRÁFICA

(Obs: Este material é uma compilação de assuntos, não devendo ser adotado como única forma de estudo da disciplina. O mesmo não substitui a bibliografia apresentada no primeiro dia de aulas. Agradecimentos aos Prof. Daniel Fonseca de Carvalho; Leonardo Duarte Batista da Silva; Alexandre Dalrí; Ronalton Machado)

1. Introdução

Bacia Hidrográfica: área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída.

Com a Lei 9.433/97 passou a ser considerada a unidade de gestão estratégica para os recursos hídricos. O Brasil foi dividido em várias bacias, a seguir:



Pode-se ainda utilizar o conceito de regiões hidrográficas, com sendo, o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. A seguir uma divisão para conhecimento:



O estado de São Paulo foi dividido em 21 unidades de gerenciamento de recursos hídricos – UGRHI's – com a finalidade de se controlar melhor as atividades e gestão do recurso no estado. O Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE – é o responsável pela gestão de recursos hídricos na esfera estadual e a Agência Nacional de Águas – ANA – na esfera federal.

A cidade de Jaboticabal encontra-se na UGRHI 9 sendo gerida pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Mogi Guaçu – CBH-MOGI. A seguir uma figura representativa das UGRHI's.



A mesma idéia foi abordada em demais estados da federação.

A área da microbacia depende do objetivo do trabalho que se pretende realizar (não existe consenso sobre qual o tamanho ideal).

- Para verificação do efeito de diferentes práticas agrícolas nas perdas de solo, água e nutrientes → área não deve exceder a 50 ha.
- Estudo do balanço hídrico e o efeito do uso do solo na vazão → áreas de até 10.000 ha.
- Estudos que requerem apenas a medição de volume e distribuição da vazão → bacias representativas com áreas de 10 a 50 mil ha.

A resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica é transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo (Figura 1).

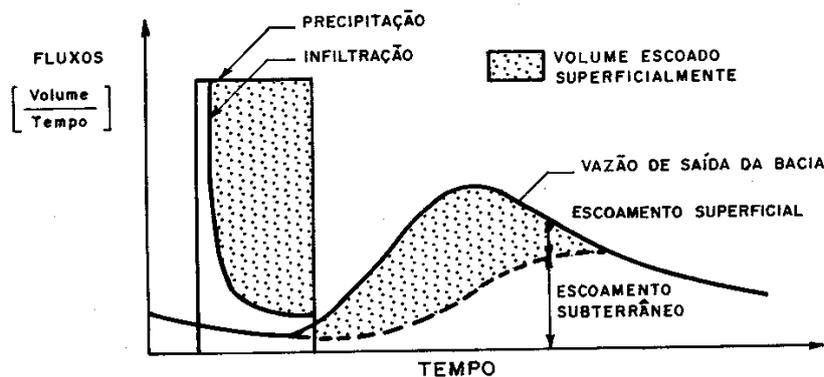


Figura 1 – Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica.

2. Divisores

Divisores de água: divisor superficial (topográfico) e o divisor freático (subterrâneo).

Conforme a Figura 8, o divisor subterrâneo é mais difícil de ser localizado e varia com o tempo. À medida que o lençol freático (LF) sobe, ele tende ao divisor superficial. O subterrâneo estabelece os limites dos reservatórios de água subterrânea de onde é derivado o deflúvio básico da bacia. Na prática, assume-se por facilidade que o superficial também é o subterrâneo.

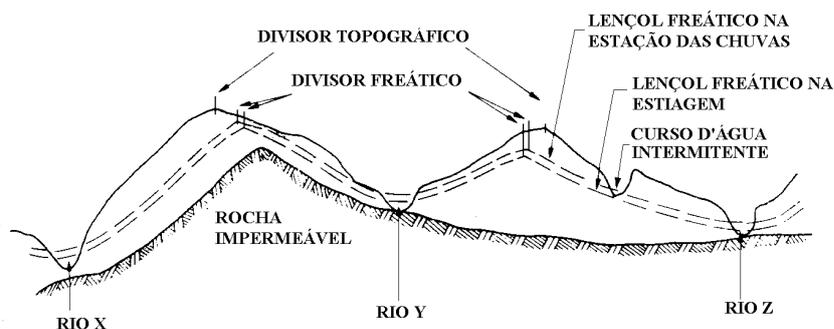
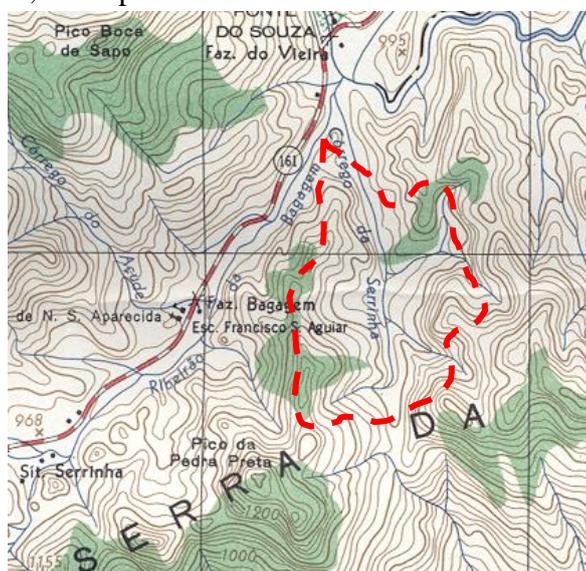


Figura 2 - Corte transversal de bacias hidrográficas.

A figura abaixo apresenta um exemplo de delimitação de uma bacia hidrográfica utilizando o divisor topográfico. Note que o divisor de águas (linha tracejada) acompanha os pontos com maior altitude (curvas de nível de maior valor). O divisor não corta cursos d' água, exceto na seção de controle, e sempre deve cortar a curva de nível em um ângulo reto.



3. Características fisiográficas da bacia hidrográfica

- Importância de se estudar:
 - ✓ comparar bacias hidrográficas;
 - ✓ interpretar fenômenos passados;
 - ✓ efetuar “previsões” de descarga de um rio;

- Principais Características Físicas
 - ✓ Área de drenagem;
 - ✓ Comprimento do rio principal;
 - ✓ Declividade média do rio principal;
 - ✓ Densidade de drenagem;
 - ✓ Desnível.

3.1. Área de drenagem

É a área plana (projeção horizontal) inclusa entre os seus divisores topográficos. É normalmente obtida por planimetria, geoprocessamento, pesagem do papel em balança de

precisão e ferramentas digitais (Autocad/Idrisi). São muito usados os mapas do IBGE (escala 1:50.000). A área da bacia do Rio Paraíba do Sul é de 55.500 km².

Exemplo: Determine a vazão específica da bacia.

Vazão específica (Q = q. A)

q: vazão específica (em mm ou l s⁻¹ km⁻²)

A: área em km²

Q = 30 m³/s numa bacia de 2000 km²

Vazão específica? q = l s⁻¹ km⁻²

Relembrando: MEDIÇÕES EM MAPAS TOPOGRÁFICOS:

ESCALA DO MAPA	km/cm	km ² /cm ²
1:1000	0,01	0,0001
1:2400	0,024	0,000576
1:10000	0,1	0,01
1:12000	0,12	0,0144
1:20000	0,20	0,0400
1:24000	0,24	0,0576
1:25000	0,25	0,0625
1:30000	0,30	0,09
1:50000	0,50	0,250
1:100000	1,00	1,00
1:125000	1,25	1,562
1:250000	2,50	6,250
1:500000	5,00	25,00

Escala 1:100.000?

1 cm no papel = 100.000 cm (1,0 km) na medida real

1 cm² = 1 cm x 1 cm = 1 km² real

Exemplo: Uma bacia hidrográfica ocupa 7 quadrados (2 cm de lado) em uma carta topográfica. Considerando a escala de 1:250.000, calcule a área da bacia hidrográfica. **Resp. 175 km²**

Exemplo: Tem-se um mapa topográfico na escala de 1:30.000, com dimensões de 45 cm de comprimento por 27 cm de largura. Deseja-se fazer uma redução de escala a 1/3 da escala original. Em relação ao novo mapa, determine a escala, as dimensões reduzidas do mapa (cm) e a área representada (km²). **Resp. 109,35 km²; 15 x 9 cm; Esc. 1:90:000.**

3.2. Forma da bacia

Afeta diretamente o tempo de transformação da chuva em escoamento.

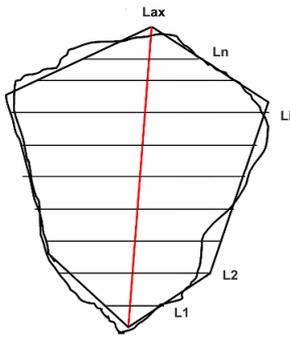
Tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, no **tempo de concentração (Tc)**. Tc é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle.

a) coeficiente de compacidade (Kc) – Índice de Gravélius: é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Kc	Característica da bacia
1,00 – 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
1,25 – 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
> 1,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

b) fator de forma (K_f) – índice de conformidade: é a razão entre a largura média da bacia (\bar{L}) e o comprimento do eixo da bacia (L) (da foz ao ponto mais longínquo da área).



$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

K_f	Característica da bacia
1,00 – 0,75	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
0,75 – 0,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
< 0,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

c) Índice de conformação - I_c

Representa a relação entre a área da bacia e um quadrado de lado igual ao comprimento axial da bacia. Este índice pode ser matematicamente expresso por:

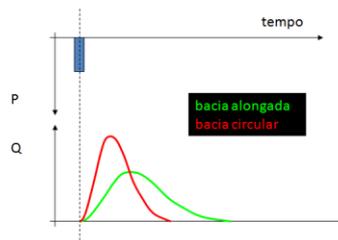
$$I_c = \frac{A_{BH}}{L_{axial}^2}$$

Em que: L_{axial} é o comprimento axial da BH.

Este índice também expressa a capacidade da bacia em gerar enchentes. Quanto mais próximo de 1, maior a propensão à enchentes, pois a bacia fica cada vez mais próxima de um quadrado e com maior concentração do fluxo.

Efeito da forma da bacia

- Mesma área, forma diferente



3.3. Rede de drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

3.3.1. Classificação dos cursos d'água

- Perenes:** contém água durante todo o tempo. O lençol freático mantém uma alimentação contínua.

- b) **Intermitentes:** em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Durante as estações chuvosas, transportam todos os tipos de deflúvio, pois o lençol d'água subterrâneo conserva-se acima do leito fluvial e alimentando o curso d'água, o que não ocorre na época de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito.
- c) **Efêmeros:** existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial. A superfície freática se encontra sempre a um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo a possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo.

3.3.2. Ordem dos cursos d'água e razão de bifurcação (Rb):

De acordo com a Figura 3, adota-se o seguinte procedimento:

- os cursos primários recebem o número 1;
- a união de 2 de mesma ordem dá origem a um curso de ordem superior; e
- a união de 2 de ordem diferente faz com que prevaleça a ordem do maior.

Quanto maior Rb média, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a tendência para o pico de cheia.

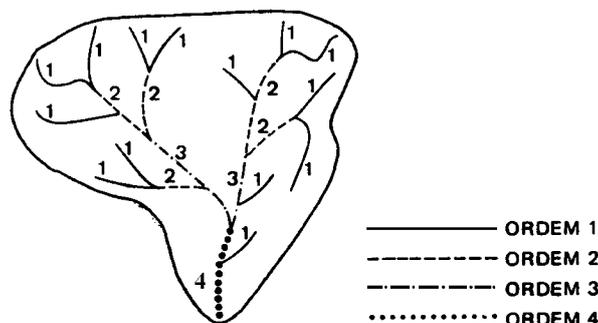


Figura 3 – Ordem dos cursos d'água.

Obs: método de Horton modificado por Strahler.

3.3.3. Densidade de drenagem (Dd).

Expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e a sua área total.

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Para avaliar Dd, deve-se marcar em fotografias aéreas, toda a rede de drenagem, inclusive os cursos efêmeros, e depois medi-los com o curvímeter.

Bacias com drenagem pobre $\rightarrow Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem regular $\rightarrow 0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem boa $\rightarrow 1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem muito boa $\rightarrow 2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$

Bacias excepcionalmente bem drenadas $\rightarrow Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

3.3.4. Frequência de rios (FR).

Pode-se calcular também a frequência de rios em uma bacia. Está relacionada com a capacidade de uma bacia produzir maior ou menor quantidade de água.

Representa a relação entre o número de cursos d'água e a área da bacia.

Em que:

N_i = número dos cursos d'água

A = área da bacia hidrográfica, km².

$$F = \frac{N_i}{A_{BH}}$$

3.3.4. Sinuosidade do Curso d'água principal (S)

É a relação entre o comprimento do curso d'água principal e o comprimento do seu talvegue (L_t), medido em linha reta.

Em que:

L = comprimento do canal principal, km.

L_t = comprimento do talvegue, km.

$$S = \frac{L}{L_t}$$

Quanto maior S, maior a sinuosidade do curso d'água e menor será a declividade do terreno (bacia)

3.3.5. Declividade do curso d'água principal (Álveo)

Parâmetro de grande importância para o manejo de bacias, pois influencia diretamente no escoamento de água e consequentemente no tempo de concentração*

> Declividade → > o escoamento → < o tc

Para se traçar o perfil longitudinal do curso d'água e sua declividade pode-se utilizar vários procedimentos. A seguir serão expostos os três vistos em sala de aula.

1º) Método Direto - Declividade baseada nos extremos (S1):

Obtida dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos. Este valor superestima a declividade média do curso d'água e, consequentemente, o pico de cheia.

$$S1 = \frac{\Delta H}{L} = \frac{(Cota_{maior} - Cota_{menor})}{L} = \frac{H1}{L}$$

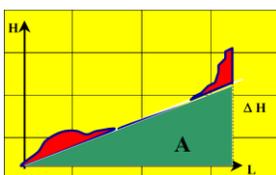
Em que:

$H1$ = diferença entre cotas, do ponto mais distante e da seção considerada, m.

L = comprimento do canal (talvegue) principal, m.

2º) Área equivalente (compensação de área) - Declividade ponderada (S2).

Consiste em traçar no gráfico uma linha, tal que a área, compreendida entre ela e a abcissa, seja igual à compreendida entre a curva do perfil e a abcissa. Calcula-se a área do triângulo (dividindo-o em áreas menores) e calcula-se a área total.

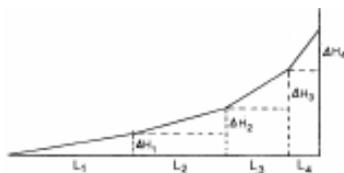


$$A_{\Delta} = A_{sobacurva} = \frac{L \cdot \Delta H'}{2} \Rightarrow I_{eq} = \frac{2 \cdot A_{TR}}{L^2}$$

3º) Declividade equivalente ou média harmônica (S3).

Leva em consideração o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal, considerando que o perfil tem declividade constante igual à uma declividade equivalente.

Mais recomendada pelos técnicos.



$$I_{eq} = \left(\frac{\sum L}{\sum \left(\frac{Li}{\sqrt{Ii}} \right)} \right)^2 \quad Ii = \frac{\Delta Hi}{Li}$$

Em que,

L: comprimento total do talvegue (horizontal);

Ii: declividade de cada trecho;

ΔHi: desnível entre as extremidades do trecho i;

Li: comprimento horizontal de cada trecho i;

A diferença entre este e o método da compensação de áreas, é que aqui, calcula-se as inclinações de cada um dos trechos, ao invés da área, como no outro método.

Exercício: Utilizando a tabela abaixo, com as cotas e o comprimento dos trechos de um talvegue, calcule a declividade equivalente pelos métodos direto, da compensação de área e da média harmônica. **Resp. 0,0060 m/m; 0,00393 m/m e 0,0042 m/m**

Trecho	Cota inicial	Cota Final	L (m)
AB	380	400	11.350
BC	400	435	8.900
CD	435	470	6.200
DE	470	520	5.400
EF	520	575	5.150
FG	575	640	4.600

3.4. Características do relevo da bacia

Influência os fatores hidrológicos e meteorológicos, pois, a velocidade do escoamento Superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e evaporação são funções da altitude da bacia.

3.4.1. Declividade da bacia:

É um parâmetro importante. Está diretamente associada ao tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água.

Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor Tc e maior as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos de enchente e a infiltração da água, dependem da declividade média da bacia, associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra.

Dentre os métodos utilizados na determinação, o mais completo denomina-se método das quadrículas associadas a um vetor e consiste em traçar quadrículas sobre o mapa da BH, cujo tamanho dependerá da escala do desenho e da precisão desejada; como exemplo, pode-se citar quadrículas de 1km x 1km ou 2km x 2km etc.

Uma vez traçadas as quadrículas, é procedida uma amostragem estatística da declividade da área, uma vez que sempre que um lado da quadrícula interceptar uma curva de nível, é traçado perpendicularmente à esta curva, um vetor (segmento de reta) com comprimento equivalente à distância entre duas curvas de nível consecutivas. Portanto, os comprimentos desses vetores serão variáveis, em função da declividade do terreno. Feita a determinação da declividade de cada um dos vetores traçados, os dados são agrupados, conforme dados da Tabela seguinte:

BACIA: RIBEIRÃO LOBO - S.P.

MAPA: IBGE (ESCALA - 1: 50.000)

ÁREA DE DRENAGEM: 177,25 km²

1	2	3	4	5	6
DECLIVIDADE (m/m)	Nº DE OCORRÊNCIAS	% DO TOTAL	% ACUMULADA	DECLIV. MÉDIA	COL. 2 + COL. 5
0,0000 - 0,0049	249	69,55	100,00	0,00245	0,6100
0,0050 - 0,0099	69	19,27	30,45	0,00745	0,5141
0,0100 - 0,0149	13	3,63	11,18	0,01245	0,1618
0,0150 - 0,0199	7	1,96	7,55	0,01745	0,1222
0,0200 - 0,0249	0	0,00	5,59	0,02245	0,0000
0,0250 - 0,0299	15	4,19	5,59	0,02745	0,4118
0,0300 - 0,0349	0	0,00	1,40	0,03245	0,0000
0,0350 - 0,0399	0	0,00	1,40	0,03745	0,0000
0,0400 - 0,0449	0	0,00	1,40	0,04245	0,0000
0,0450 - 0,0499	5	1,40	1,40	0,04745	0,2373
TOTAL	358	100,00	-	-	2,0572

$$\text{Declividade média (dm): } dm = \frac{\sum \text{Coluna 6}}{\sum \text{Coluna 2}} \quad dm = \frac{2,0572}{358} = 0,00575 \text{ m/m}$$

A Figura 4 representa a curva de distribuição da declividade em função do percentual de área da BH. Essa curva é traçada em papel mono-log, com os dados das colunas 1 e 4.

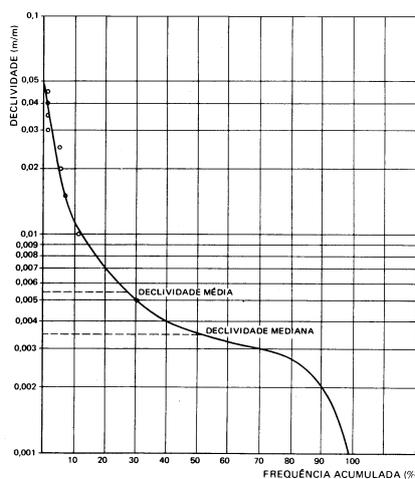


Figura 4 - Curva de distribuição da declividade de uma bacia hidrográfica.

Pode-se utilizar a equação abaixo:

Em que:

I = declividade média da bacia (m/m);

D = equidistância entre curvas de nível em m;

A_{BH} = área da bacia (m²);

CNi = comprimento total das curvas de nível em m.

$$I = \frac{D \cdot (\sum CNi)}{A_{BH}}$$

3.4.2. Altitude média da bacia:

Dada pela curva hipsométrica: Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Pode também ser determinadas por meio das quadrículas associadas a um vetor ou planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível.

1	2	3	4	5	6
COTAS (m)	PONTO MÉDIO (m)	ÁREA (km ²)	ÁREA ACUMUL. (km ²)	% ACUMUL.	COL. 2 * COL. 3
940 - 920	930	1,92	1,92	1,08	1.785,6
920 - 900	910	2,90	4,82	2,72	2.639,0
900 - 880	890	3,68	8,50	4,80	3.275,2
880 - 860	870	4,07	12,57	7,09	3.540,9
860 - 840	850	4,60	17,17	9,68	3.910,0
840 - 820	830	2,92	20,09	11,33	2.423,6
820 - 800	810	19,85	39,94	22,53	16.078,5
800 - 780	790	23,75	63,69	35,93	18.762,5
780 - 760	770	30,27	93,96	53,01	23.307,9
760 - 740	750	32,09	126,05	71,11	24.067,5
740 - 720	730	27,86	153,91	86,83	20.337,8
720 - 700	710	15,45	169,36	95,55	10.969,5
700 - 680	690	7,89	177,25	100,00	5.444,1
TOTAL		177,25			136.542,1

Altitude média (\bar{A}): $\bar{A} = \frac{\sum (e_i A_i)}{A}$

Altitude média = $\frac{\sum \text{Coluna 6}}{\sum \text{Coluna 3}} = \frac{136.542,1}{177,25} = 770m$

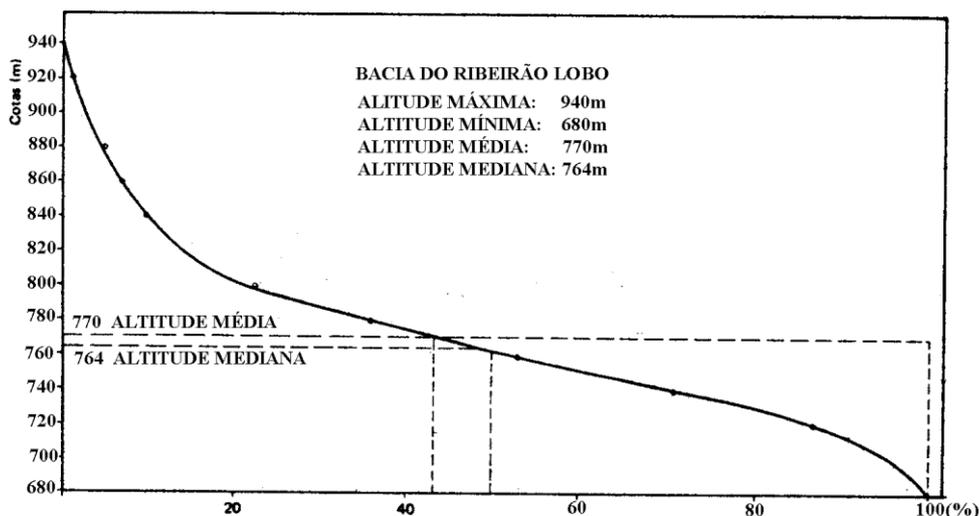
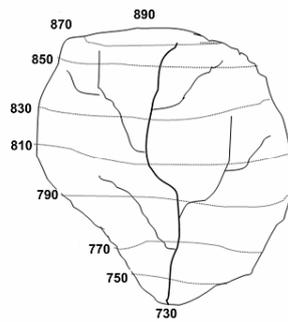


Figura 5 - Curva hipsométrica de uma bacia hidrográfica.

Exercício: Com os dados da tabela abaixo, determine: a) kc; b) kf ; c) Ic; d) declividade da bacia (I); e) altitude média, da BH. Dados: Área: 8,0 km²; Perímetro: 14,3 km; L_{axial} : 5,28 km; L_{média} da bacia : 3,7 km. **Resp. I = 0,104 m/m; Altitude: 815,175 m.**



CN	Li(km)
730	0
750	3,5
770	4,3
790	6,5
810	8,9
830	8,4
850	7,2
870	3,1
890	0
Soma	41,9

Curvas	ei (m)	ai (km ²)
730-750	740	0,25
750-770	760	0,82
770-790	780	1,1
790-810	800	1,2
810-830	820	1,5
830-850	840	1,73
850-870	860	1,0
870-890	880	0,4
		8,0

3.5. Características geológicas da bacia

Tem relação direta com a infiltração, armazenamento da água no solo e com a suscetibilidade de erosão dos solos.

3.6. Características agro-climáticas da bacia

São caracterizadas principalmente pelo tipo de precipitação e pela cobertura vegetal.