



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

® **M** Plataforma Moretti

Disciplina: Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem

UNIDADE 1 – Hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica

Prof. Jorge Luiz Moretti de Souza

E-mail: jmoretti@ufpr.br

<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/index.htm>

1 ASPECTOS GERAIS SOBRE HIDROLOGIA

1.1 Relação da hidrologia com outras ciências

- Hidrologia e a interdisciplinaridade;
- Evolução e desenvolvimento da ciência hidrológica
descritiva => qualitativa => quantitativa
- Importância da quantificação hídrica

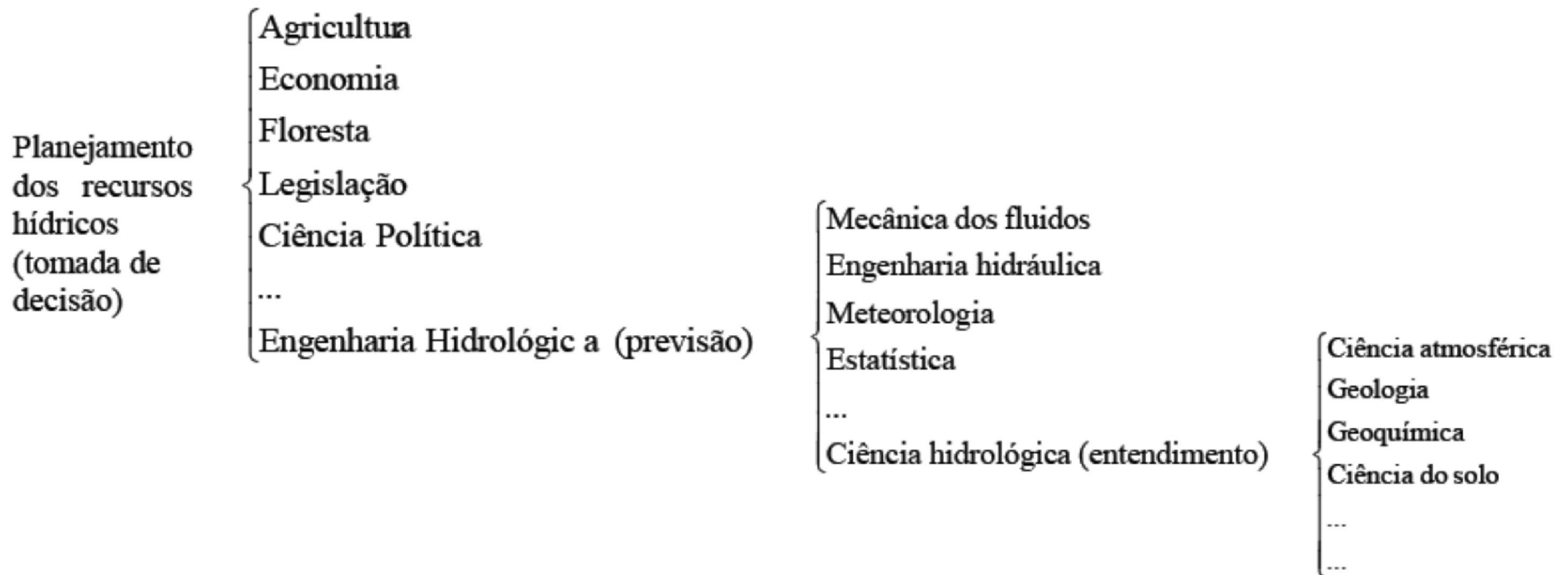


Figura 1.1 – Áreas para a realização de projetos e planejamento dos recursos hídricos.

1.2 Disponibilidades hídricas mundiais

Tabela 1.1. Distribuição da água na Terra.

Reservatório	Volume 10 ³ km ³	Volume total (%)	Volume de água doce (%)
Oceanos	1338000,0	96,5379	—
Subsolo:	23400,0	1,6883	—
– Água doce	10530,0	0,7597	30,0607
– Água salgada	12870,0	0,9286	—
Umidade do solo	16,5	0,0012	0,0471
Áreas congeladas	24064,0	1,7362	68,6971
Antártida	21600,0	1,5585	61,6629
Groelândia	2340,0	0,1688	6,6802
Ártico	83,5	0,0060	0,2384
Montanhas	40,6	0,0029	0,1159
Solos congelados	300,0	0,0216	0,8564
Lagos:	176,4	0,0127	—
– Água doce	91,0	0,0066	0,2598
– Água salgada	85,4	0,0062	—
Pântanos	11,5	0,0008	0,0328
Rios	2,1	0,0002	0,0061
Biomassa	1,1	0,0001	0,0032
Vapor d'água na atmosfera	12,9	0,0009	0,0368
Armazenamento total de água salgada	1350955,4	97,4726	—
Armazenamento total de água doce	35029,1	2,5274	100,0
Armazenamento total de água	1385984,5	100,0	—

1.2 Disponibilidades hídricas mundiais

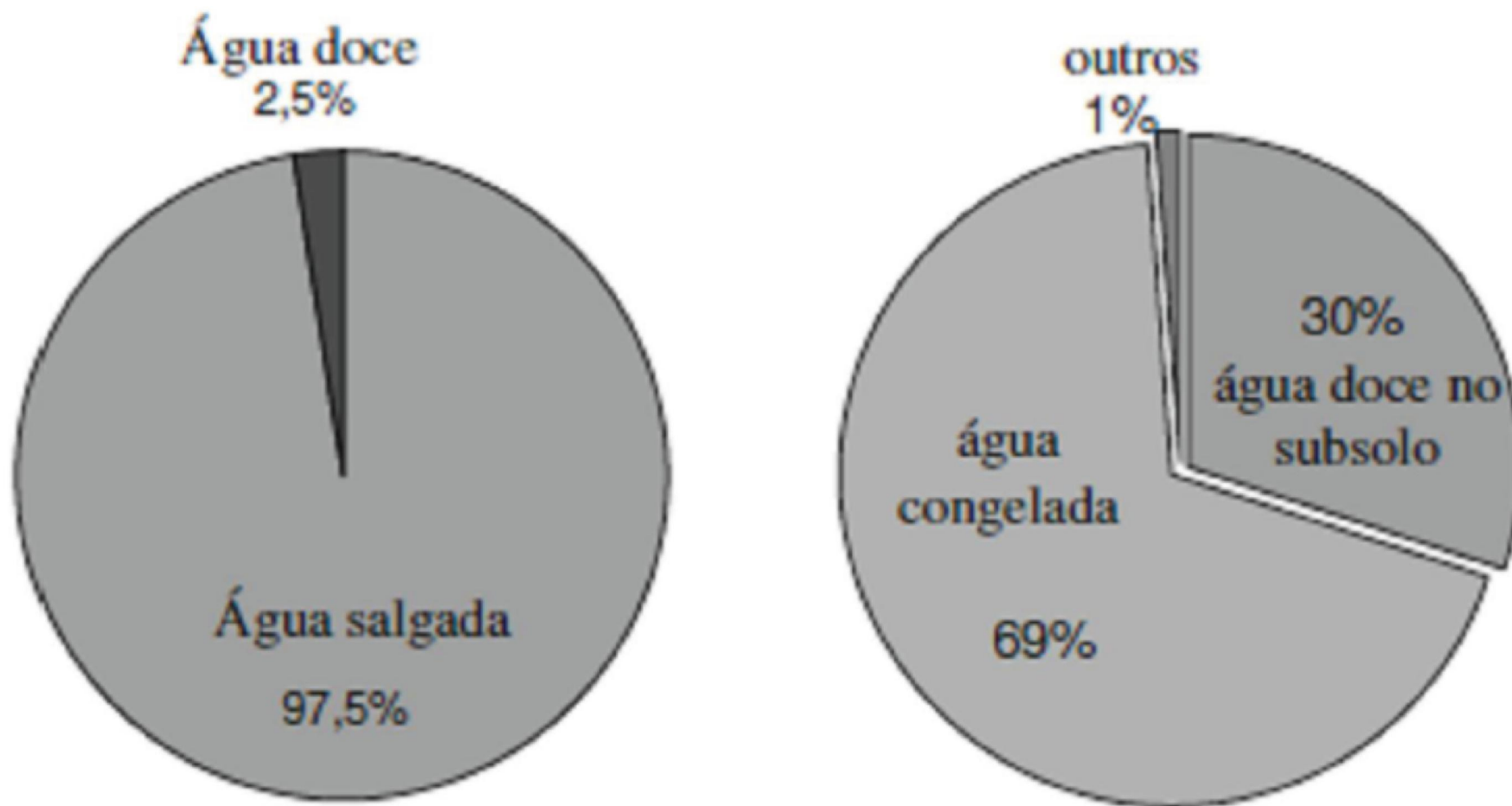


Figura 1.2 – Percentuais de água salgada e doce no planeta Terra.

2 CICLO HIDROLÓGICO E OS PROCESSOS ENVOLVIDOS

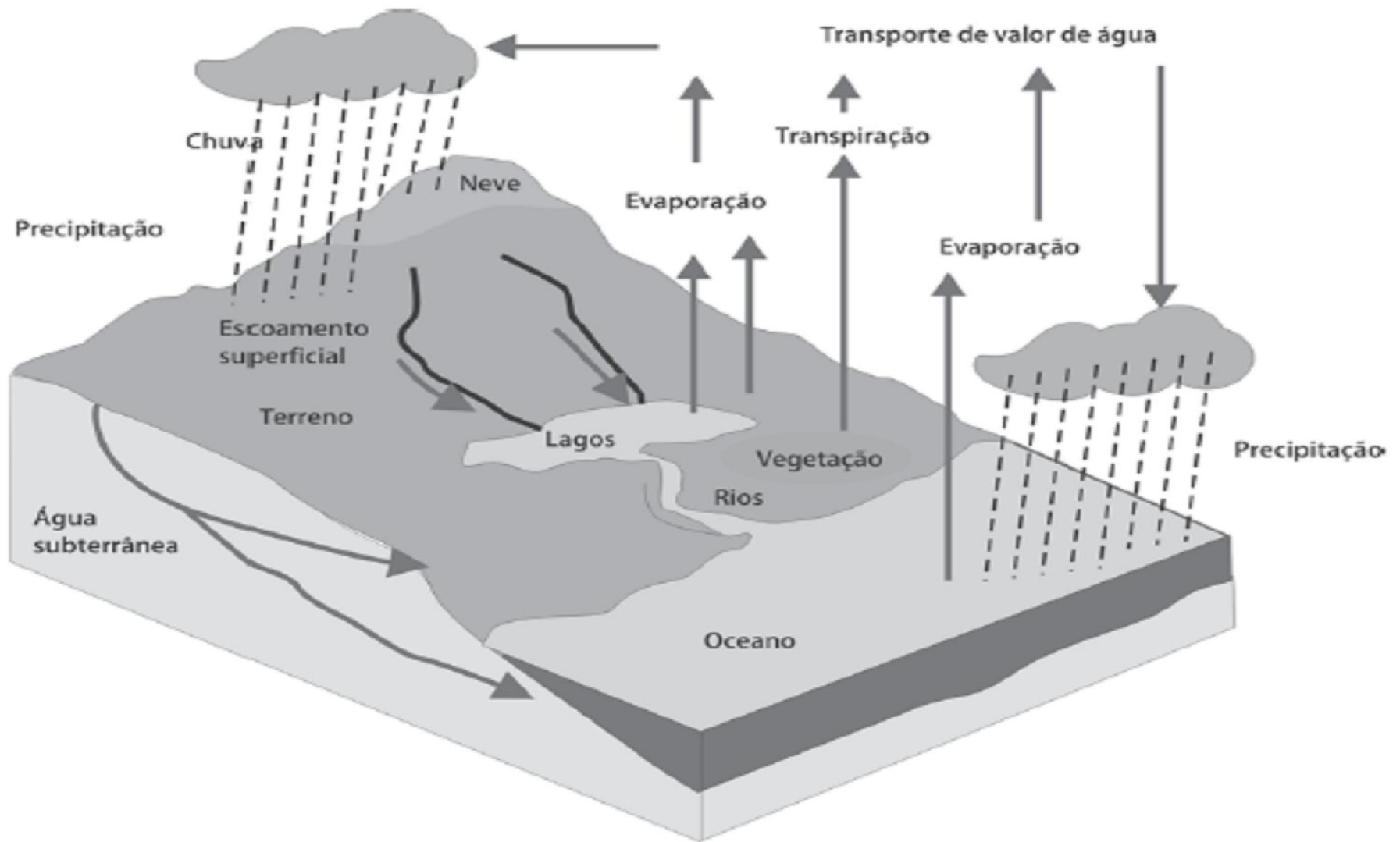


Figura 1.3 – Ciclo hidrológico global.

3 BACIA HIDROGRÁFICA

3.1 Generalidades

➤ Principais elementos fisiográficos:

- Divisores de água;
- Seção de controle;
- Rede de drenagem.

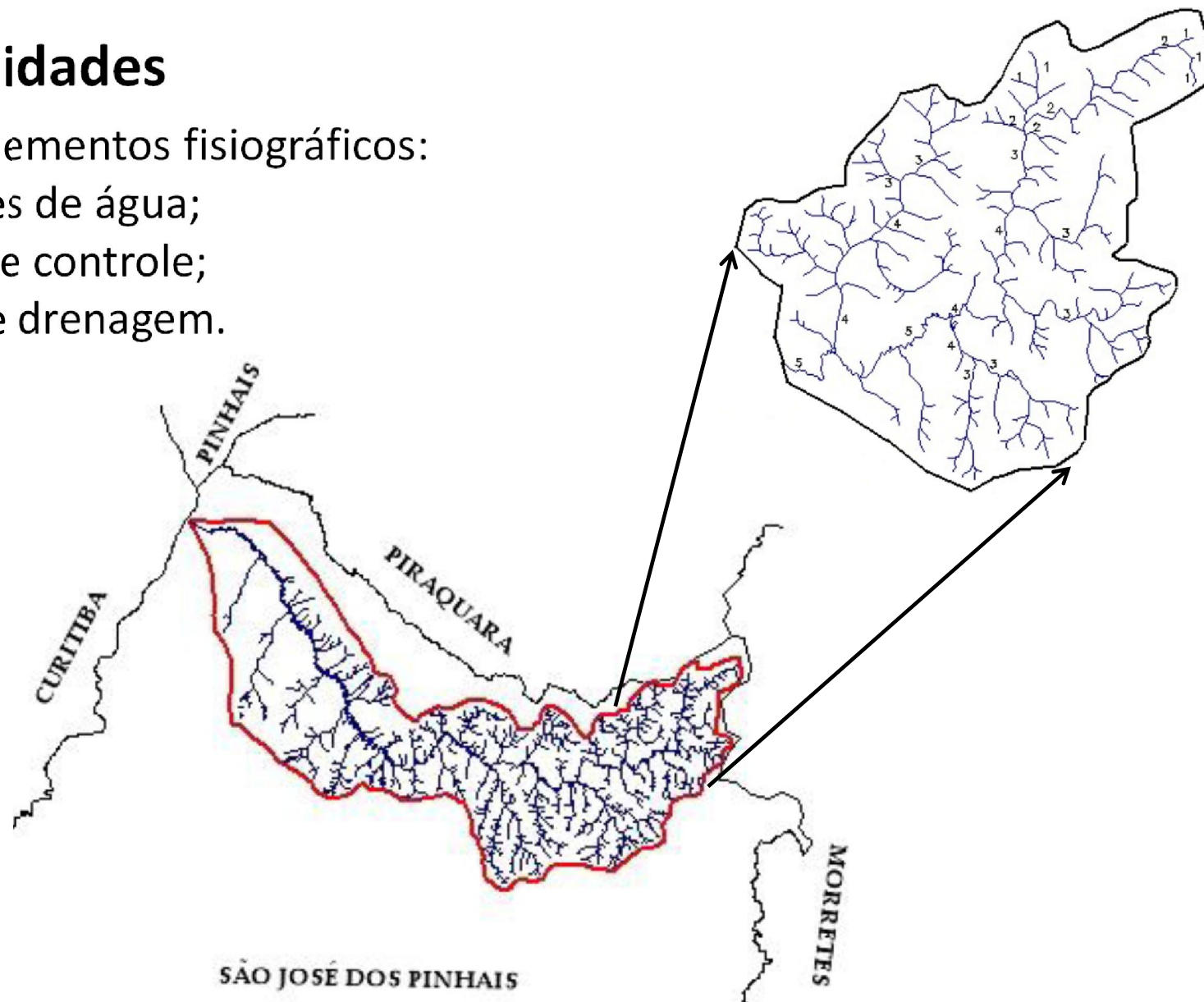


Figura 1.4 – Bacia hidrográfica do rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR.

3.1 Generalidades

- Hidrograma resultante na seção de controle

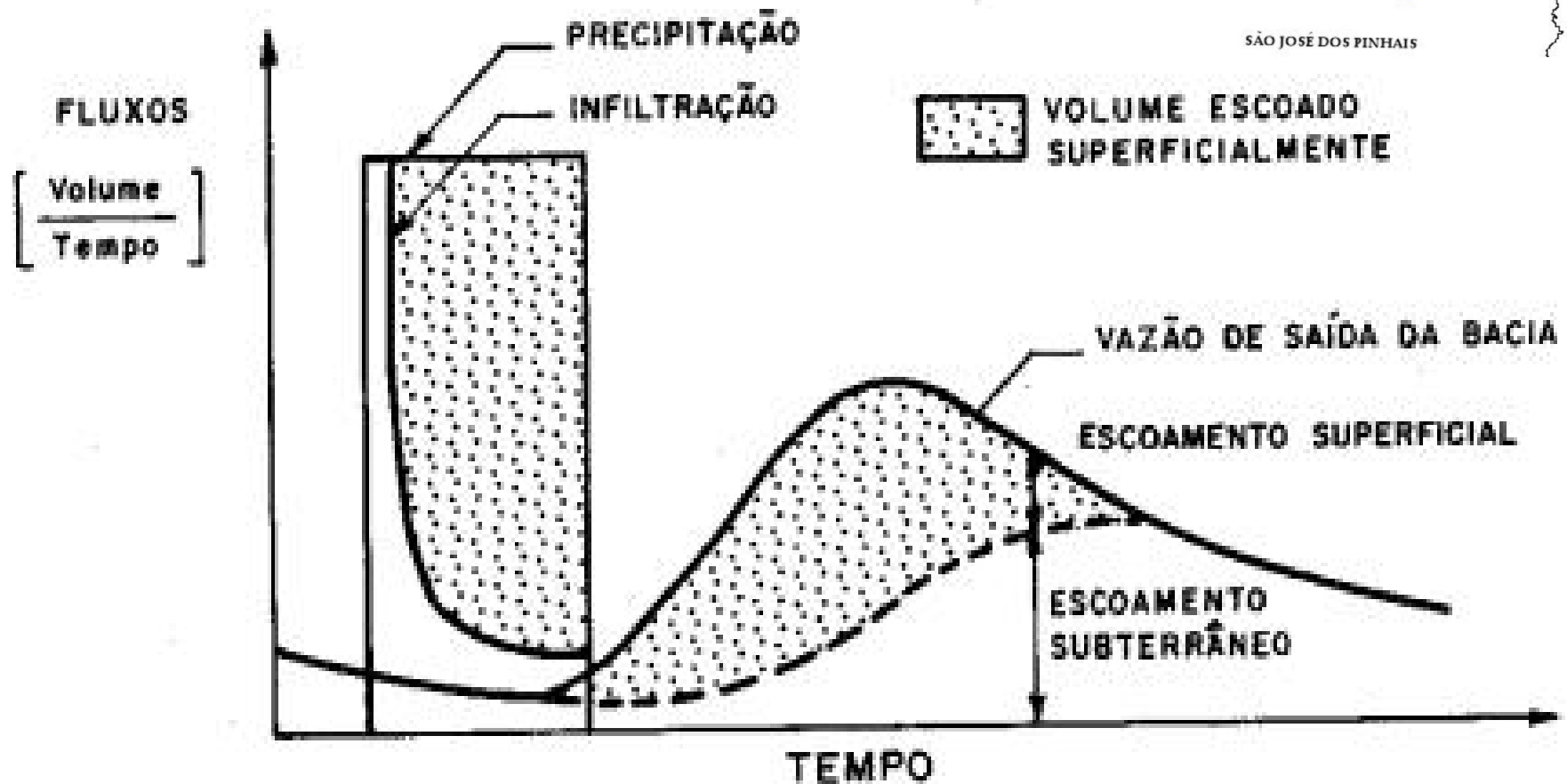
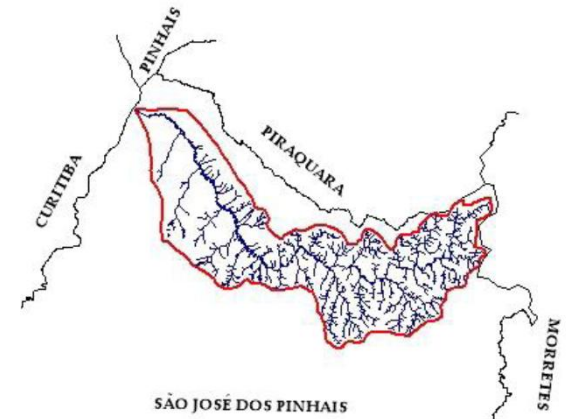


Figura 1.5 – Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica.

3.2 Parâmetros fisiográficos de bacia hidrográfica

➤ Considerações

3.2.1 Delimitação da bacia hidrográfica

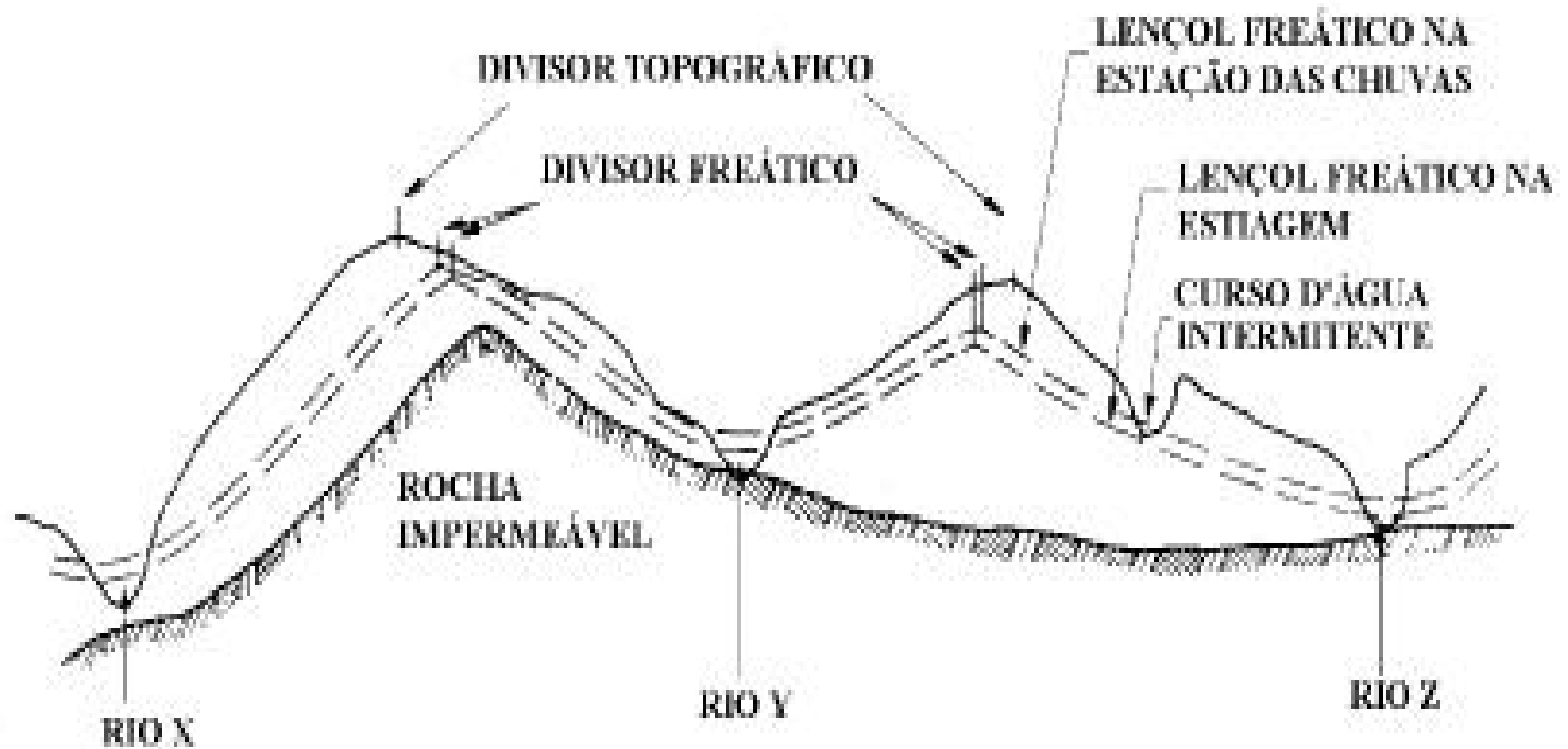


Figura 1.6 – Corte transversal contendo a delimitação de bacias hidrográficas.

3.2.2 Solos da bacia hidrográfica

Exemplo 1.1 – As classes e proporções dos solos encontrados na bacia do rio Pequeno são (**Figura 1.7**): 17% de Cambissolo (C); 23% de Latossolo Vermelho-amarelo (LVA); 27% de Argissolo Vermelho-amarelo (PVA); 32% de Organossolo (O); e, 1% de Neossolo Litólico (L).

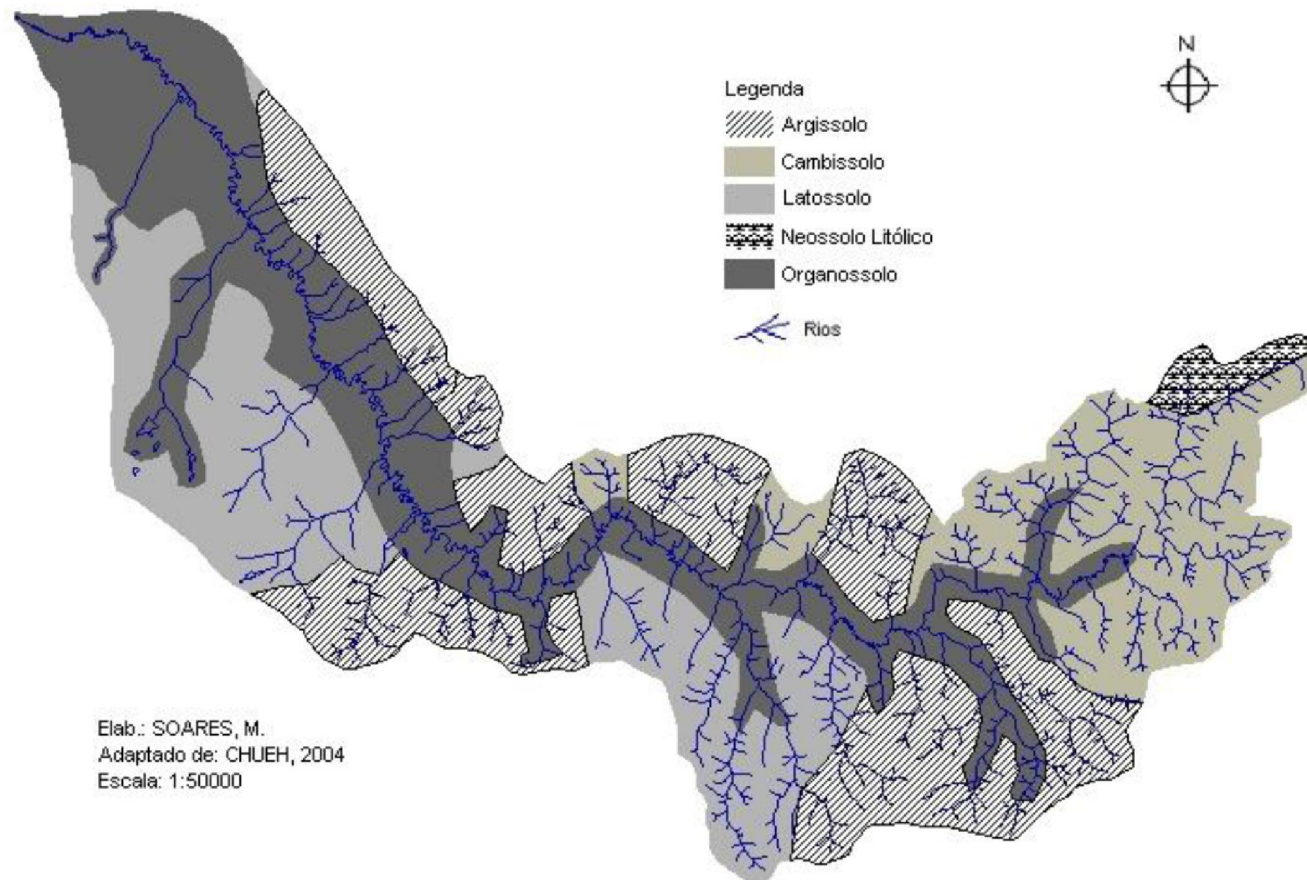


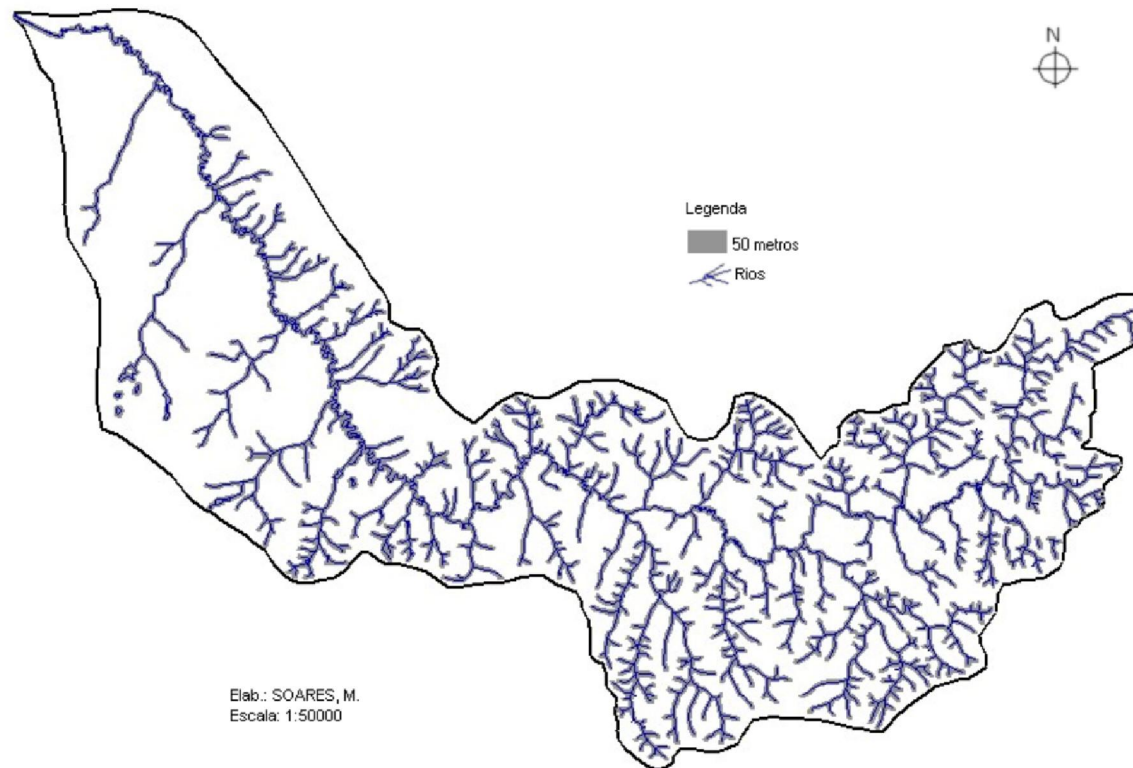
Figura 1.7 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR.

3.2.3 Características geométricas

3.2.3.1 Área de drenagem da bacia hidrográfica

➤ Normalmente expressa em km² ou hectares (ha)

Exemplo 1.2 – A bacia hidrográfica do rio Pequeno tem área aproximada de 128,68 km², ocupando aproximadamente 14% da área total do município de São José dos Pinhás-PR.



3.2.3.2 Forma da bacia hidrográfica

- Influencia na transformação da chuva em escoamento superficial direto e sua constatação na seção de controle (saída)

a) Coeficiente de compacidade (K_C)

$$K_C = \frac{P}{P_C}$$

Sabendo que:

$$A = A_C$$

$$A_C = \pi R_C^2$$

$$P_C = 2 \pi R_C$$

Tem-se que:

$$P_C = 2 \pi \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot A}{\pi}} = 2 \sqrt{\pi A}$$

Assim K_C também pode ser calculado da forma:

$$K_C = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}}$$

Sendo: K_C – coeficiente de compacidade (adimensional); P – perímetro da bacia (km); P_C – perímetro da circunferência (km); A – área da bacia (km²); A_C – área da circunferência (km²); R_C – raio da circunferência (km).

a) Coeficiente de compacidade (K_C)

Interpretação do coeficiente de compacidade (K_C) (Figura 1.8):

- Entre $1,0 \leq K_C < 1,25$: bacia hidrográfica com alta propensão a grandes enchentes;
- Entre $1,25 \leq K_C < 1,50$: bacia hidrográfica com propensão mediana a grandes enchentes;
- Para $K_C \geq 1,50$: bacia hidrográfica com menor propensão a grandes enchentes.

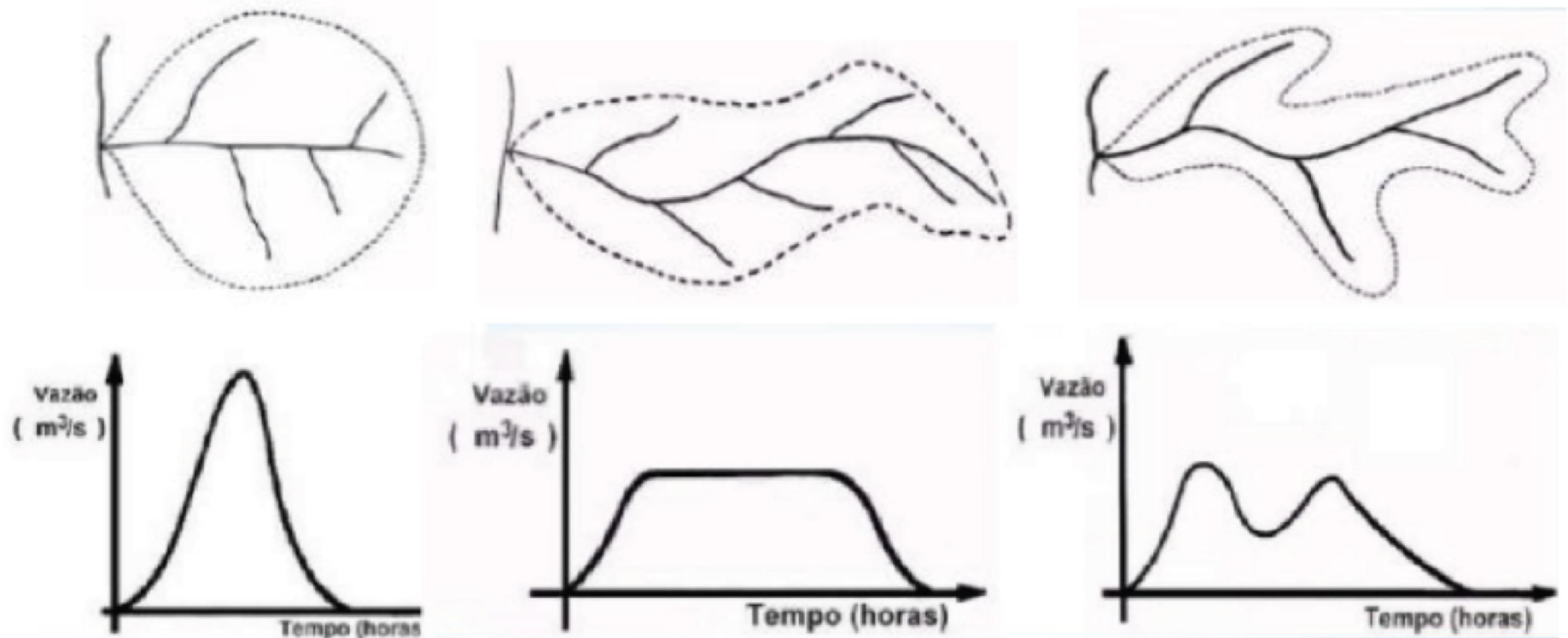


Figura 1.8 – Distribuição do escoamento superficial direto em três bacias hidrográficas, influenciada pela geometria.

3.2.3.2 Forma da bacia hidrográfica

a) Fator de forma (K_f)

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L_{AX}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n L_{AX}}$$

No entanto, considerando que: $\bar{L} = \frac{A}{L_{AX}}$

Tem-se que:

$$K_f = \frac{A}{L_{AX}^2}$$

Sendo: K_f – fator de forma (adimensional); \bar{L} – largura média da bacia (km); L_{AX} – comprimento axial da bacia (km); L_i – i -ésimas larguras do polígono que é construído contornando a bacia hidrográfica; n – número de larguras amostradas no polígono; A – área da bacia (km²).

Interpretação do fator de forma (K_f):

- Entre $1,0 \leq K_f < 0,75$: bacia hidrográfica propensa a enchentes;
- Entre $0,75 \leq K_f < 0,50$: bacia hidrográfica com propensão mediana a enchentes;
- Para $K_f \leq 0,50$: bacia hidrográfica com menor propensão a enchentes.

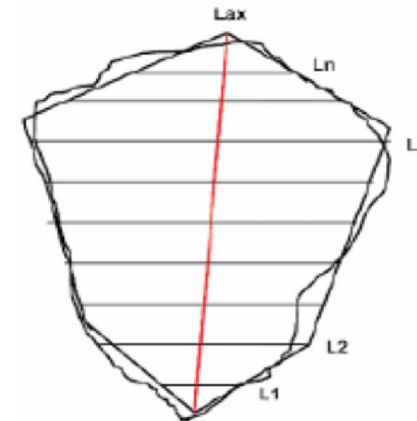


Figura 1.9 – Obtenção do comprimento axial (L_{AX}) e larguras do polígono (L_i).

Exemplo 1.3 – Calcular os coeficientes de compacidade (K_C) e forma (K_f) da bacia do rio Pequeno, dados: $A = 128,68 \text{ km}^2$; $P = 72,72 \text{ km}$; $L_{AX} = 23,2 \text{ km}$.

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{72,72}{2\sqrt{\pi 128,68}} = 1,81$$

$$K_f = \frac{A}{L_{AX}^2} = \frac{128,68}{23,2^2} = 0,24$$

Os resultados obtidos indicam que a bacia hidrográfica tem baixa propensão a grandes enchentes.

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

a) Constância do escoamento

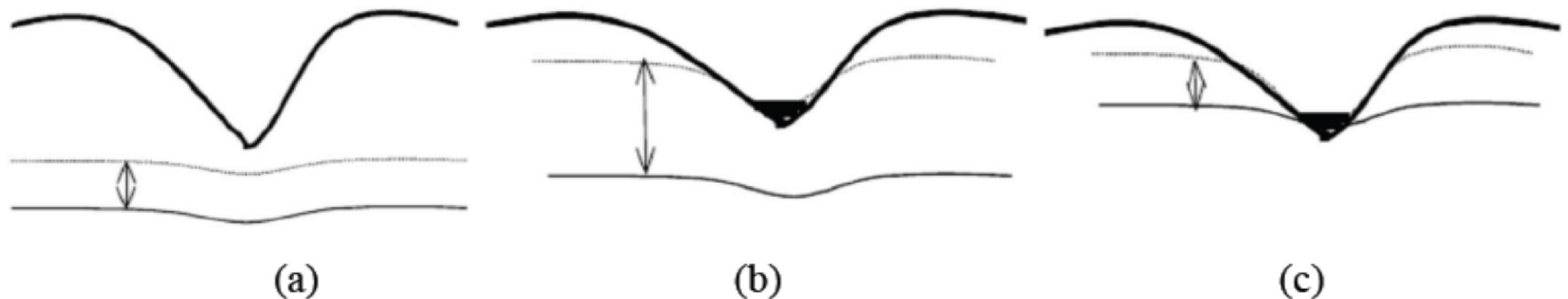


Figura 1.10 – Regime de escoamento dos cursos de água: (a) efêmeros; (b) intermitentes; e, (c) perenes.

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

b) Classificação ou ordem dos cursos de água (drenos)

- Método de [Strahler \(1974\)](#)

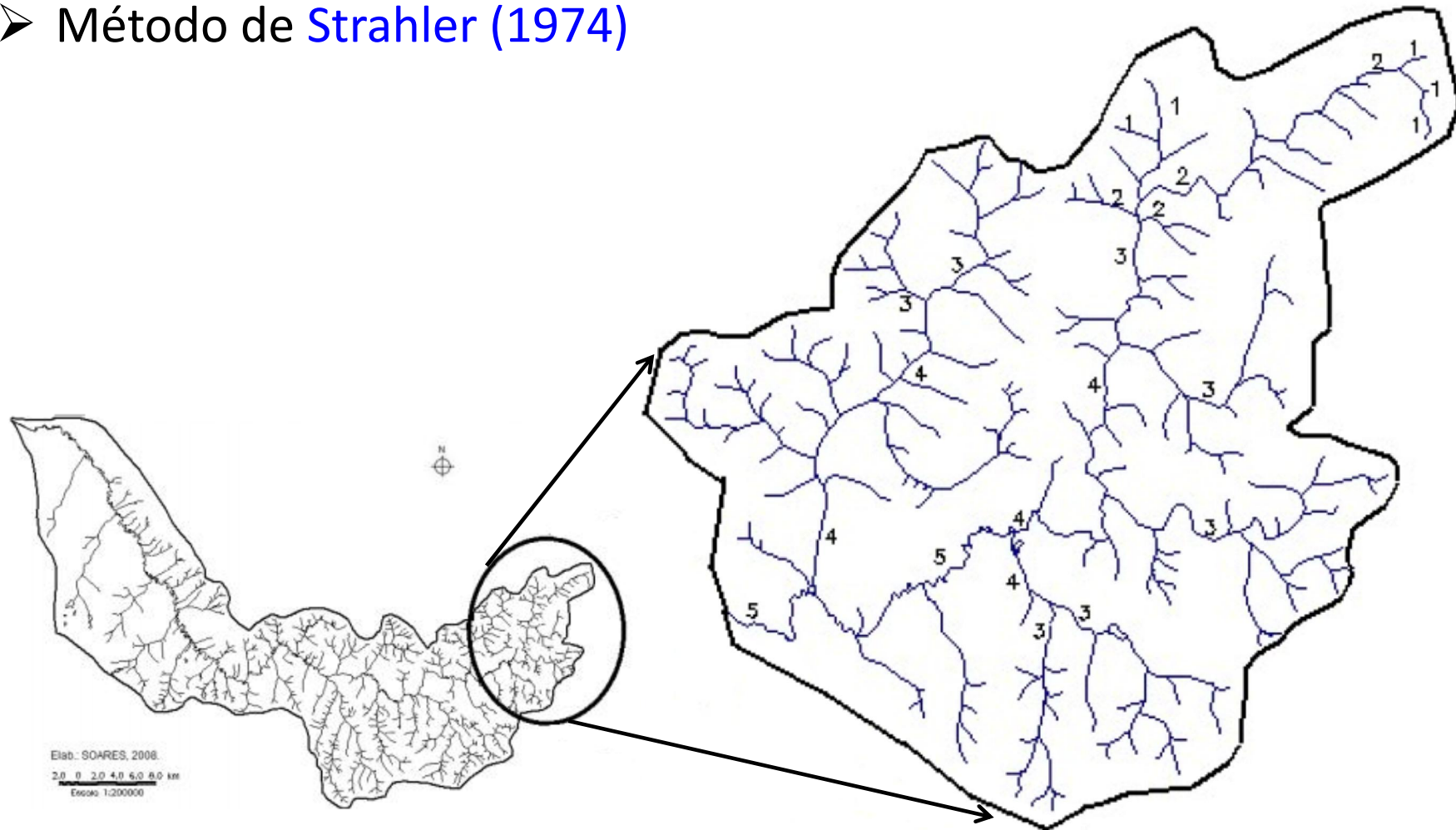


Figura 1.11 – Classificação da hierarquia fluvial com o método de Strahler (1974), no curso superior da bacia do rio Pequeno.

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

c) Densidade de drenagem (Dd)

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Ld_i}{A}$$

Sendo: Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}); Ld_i – comprimento do i -ésimo cursos de água ou dreno, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros (km); A – área de drenagem da bacia (km^2).

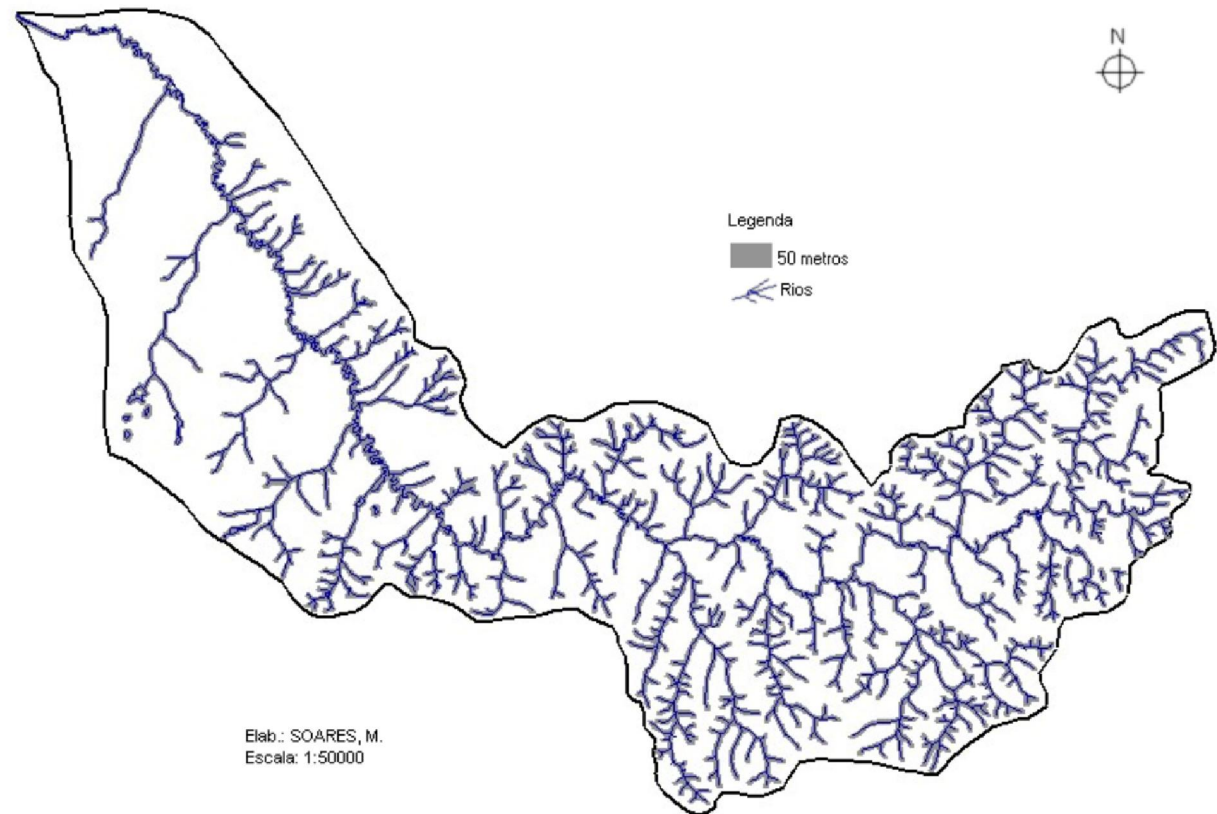
Interpretação do valor da densidade de drenagem (Dd):

- Para $Dd < 0,5 \text{ km km}^{-2}$: bacia hidrográfica com drenagem pobre;
- Entre $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km km}^{-2}$: bacia hidrográfica com drenagem regular;
- Entre $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km km}^{-2}$: bacia hidrográfica com drenagem boa;
- Entre $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km km}^{-2}$: bacia hidrográfica com drenagem muito boa;
- $Dd \geq 3,5 \text{ km km}^{-2}$: bacia hidrográfica excepcionalmente bem drenada.

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

d) Densidade da rede de drenagem (Dr)

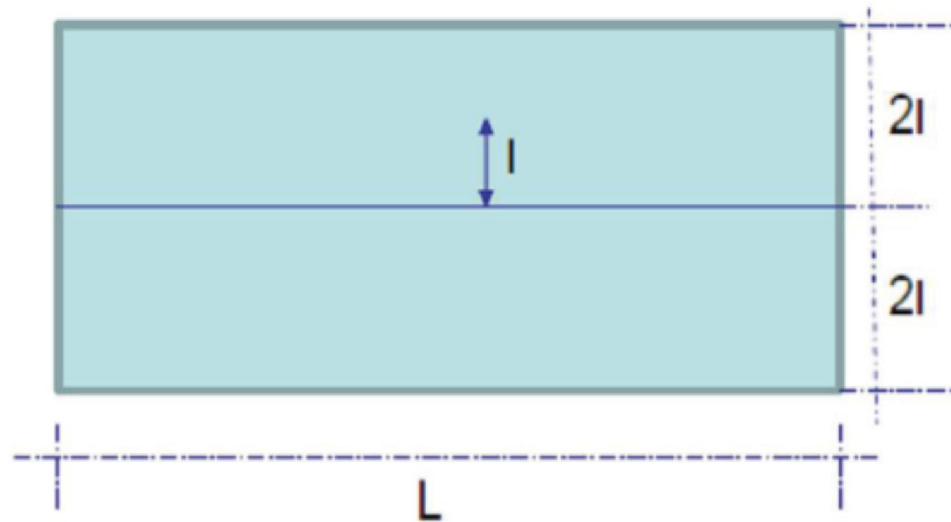
$$Dr = \frac{N}{A}$$



Sendo: Dr – densidade da rede drenagem (drenos km^{-2}); N – número total de drenos da bacia, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros (unidades); A – área de drenagem da bacia (km^2).

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

e) Extensão média do escoamento superficial (C_m)



$$l = \frac{A}{4L}$$

$$C_m = \frac{l}{4 Dd} = \frac{l}{4 \frac{\sum_{i=1}^n Ld_i}{A}} = \frac{A}{4 \sum_{i=1}^n Ld_i}$$

Sendo: C_m – extensão média do escoamento superficial (km); Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}); Ld_i – comprimento do i -ésimo cursos de água ou dreno, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros (km); A – área de drenagem da bacia (km^2).

3.2.4 Sistema de drenagem da bacia hidrográfica

f) Sinuosidade do curso d'água principal (S)

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

Sendo: S – sinuosidade do curso d'água principal (adimensional); L – comprimento do dreno principal (km); L_t – comprimento do talvegue do dreno principal (km).

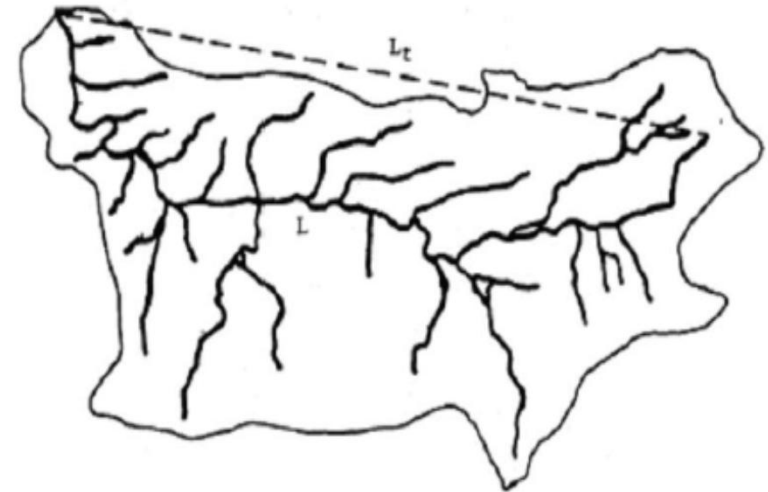


Figura 1.12 – Comprimento do dreno principal e seu talvegue.

Interpretação do valor da sinuosidade do curso d'água principal (S):

- Para S próximo de 1,0 o dreno principal tende a ser retilíneo;
- Para $S > 2$ tem-se que o dreno principal é tortuoso;

Exemplo 1.4 – Calcular a densidade de drenagem (Dd), extensão média do escoamento superficial (Cm) e a sinuosidade (S) da bacia do rio Pequeno, dados: $A = 128,68 \text{ km}^2$; $Ld = 335,85 \text{ km}$; $L = 56,4 \text{ km}$; e, $Lt = 23,2 \text{ km}$.

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Ld_i}{A} = \frac{335,85}{128,68} = 2,61 \text{ km km}^{-2}$$

$$Cm = \frac{A}{4 \sum_{i=1}^n Ld_i} = \frac{128,68}{4 \cdot 335,85} = 0,1 \text{ km}$$

$$S = \frac{L}{Lt} = \frac{56,4}{23,2} = 2,43$$

3.2.5 Características do relevo da bacia hidrográfica

a) Perfil longitudinal

$$S_1 = \frac{\Delta h}{L} \cdot 100$$

Sendo: S_1 – Declividade do curso ou dreno principal da bacia (%); Δh – diferença entre as cotas da nascente e seção de controle ou saída da bacia (km); L – comprimento no curso ou dreno principal da bacia (km).

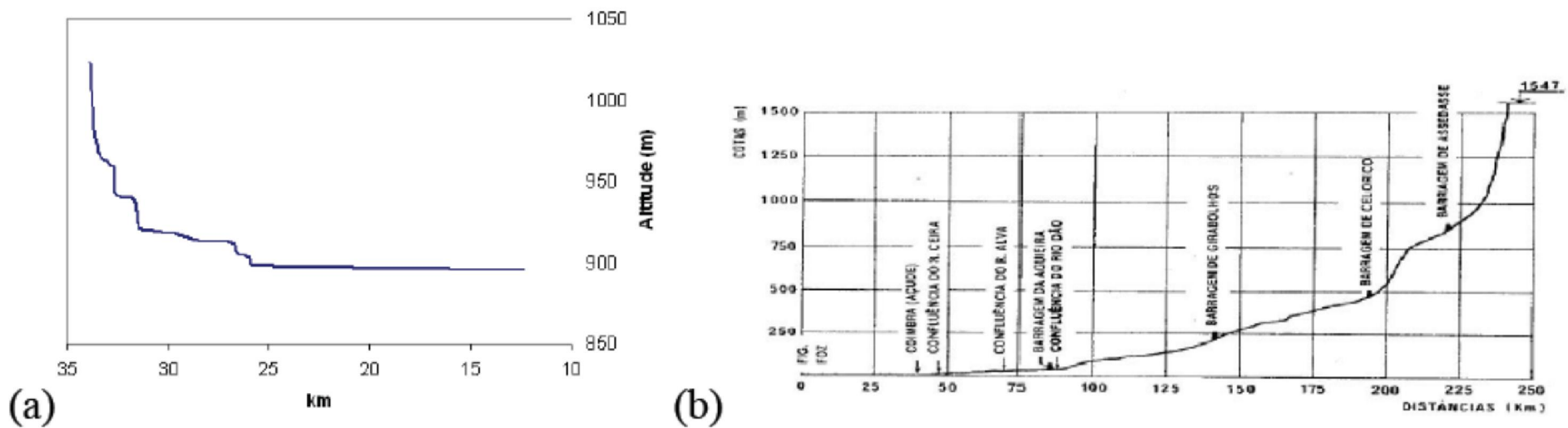


Figura 1.13 – Perfil longitudinal: (a) bacia do rio Pequeno; e, (b) bacia do rio Mondego.

3.2.5 Características do relevo da bacia hidrográfica

b) Perfil transversal

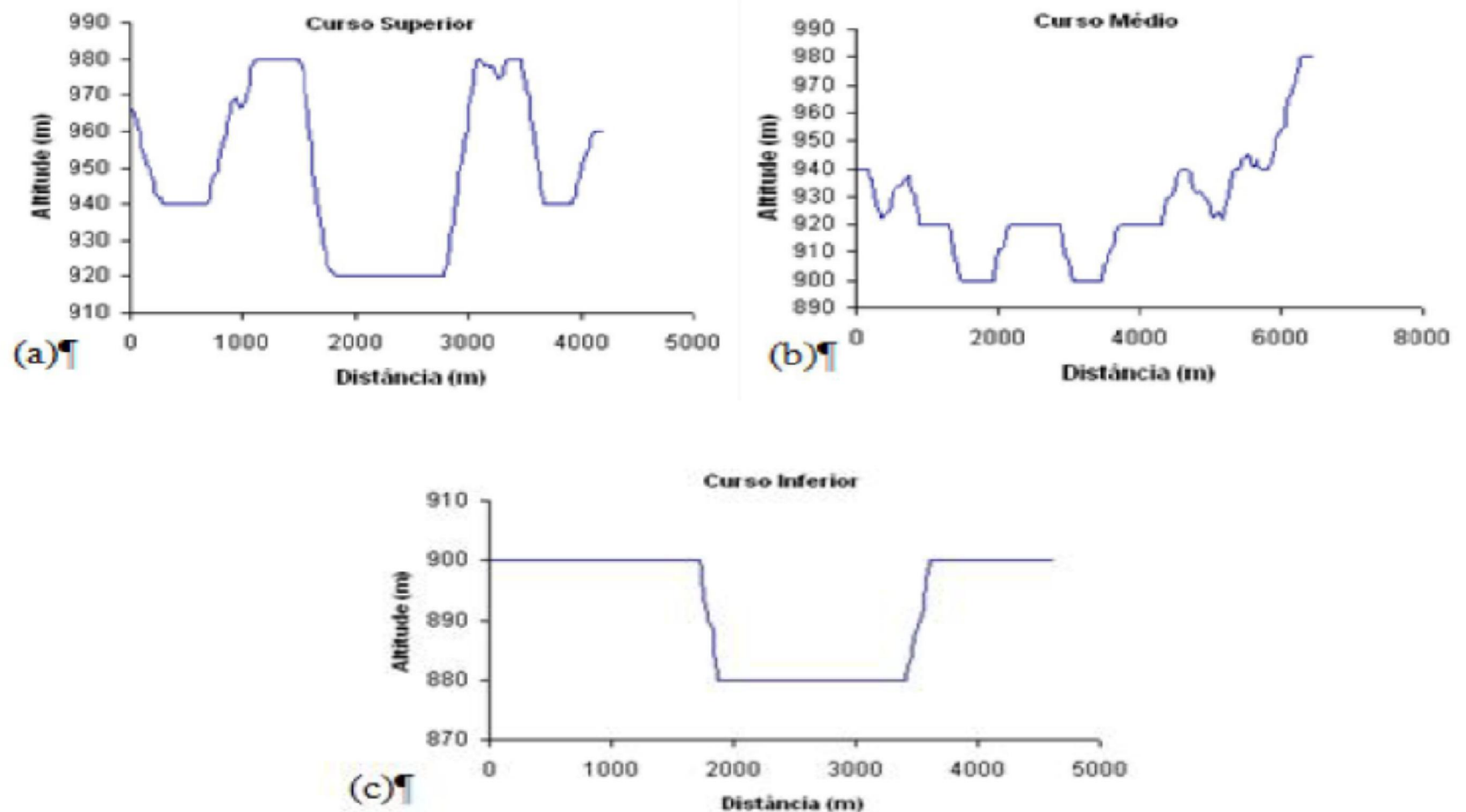


Figura 1.14 – Perfis transversais da bacia do rio Pequeno: (a) Curso superior; (b) Curso médio; e, (c) Curso inferior.

3.2.5 Características do relevo da bacia hidrográfica

c) Declividade média da bacia hidrográfica (dm)

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta h_i L_{CN.i})}{A} \cdot 100$$

Sendo: dm – declividade média da bacia (%); Δh_i – diferença entre as cotas da i -ésima curva de nível (m); $L_{CN.i}$ – comprimento da i -ésima curva de nível (m); A – área da bacia hidrográfica (m²).

d) Altitude média da bacia (\bar{Z})

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Z}_i A_i)}{A}$$

Sendo: \bar{Z} – altitude ou elevação média da bacia (m); \bar{Z}_i – i -ésima altitude média entre duas curvas de nível consecutivas (m); A_i – i -ésima área entre duas curvas de nível consecutivas (km²); A – área da bacia hidrográfica (km²).

➤ Altura média (\bar{H})

3.2.5 Características do relevo da bacia hidrográfica

e) Curva hipsométrica da bacia hidrográfica

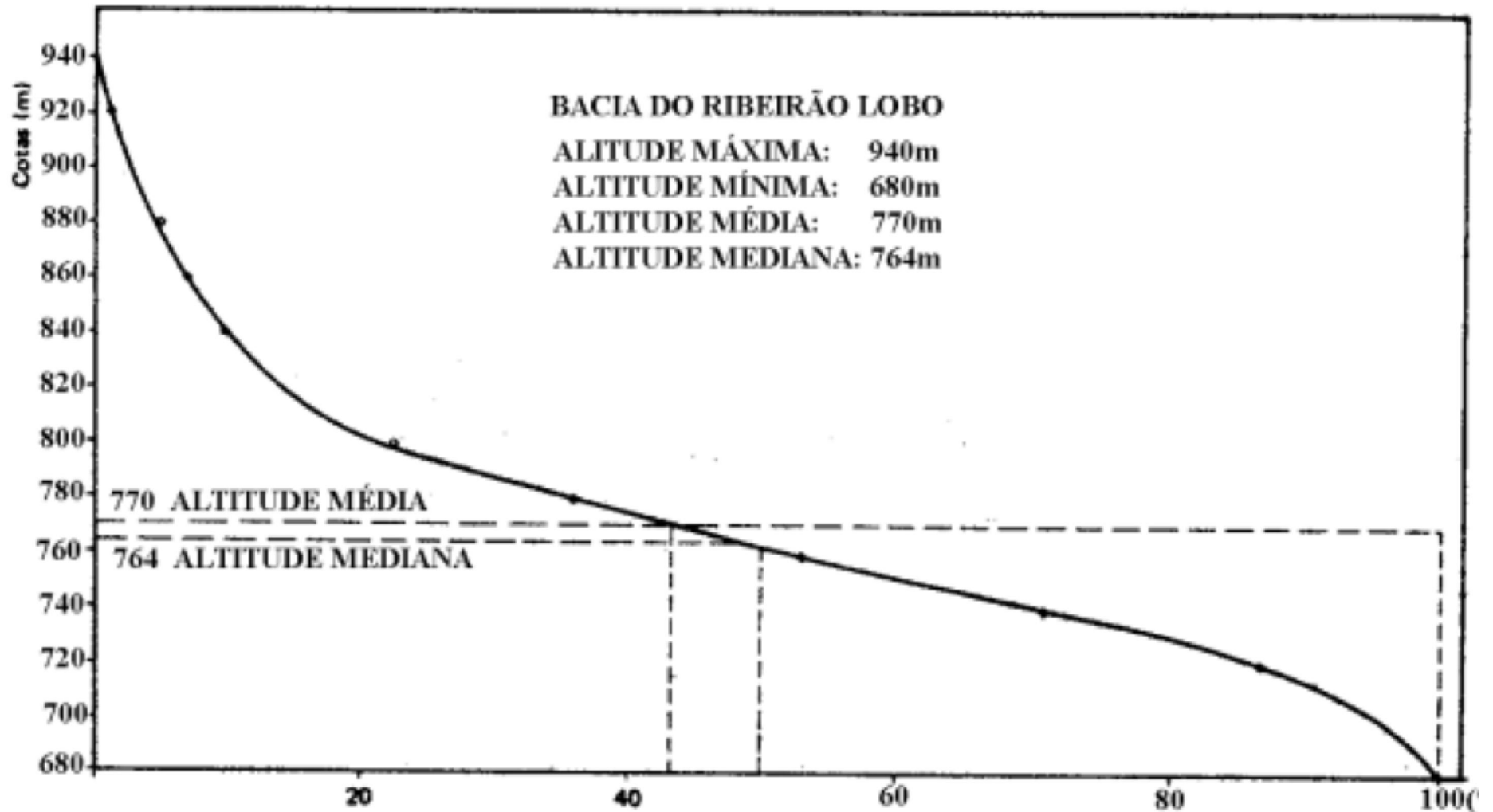


Figura 1.15 – Curva hipsométrica de uma bacia hidrográfica.

e) Curva hipsométrica da bacia hidrográfica

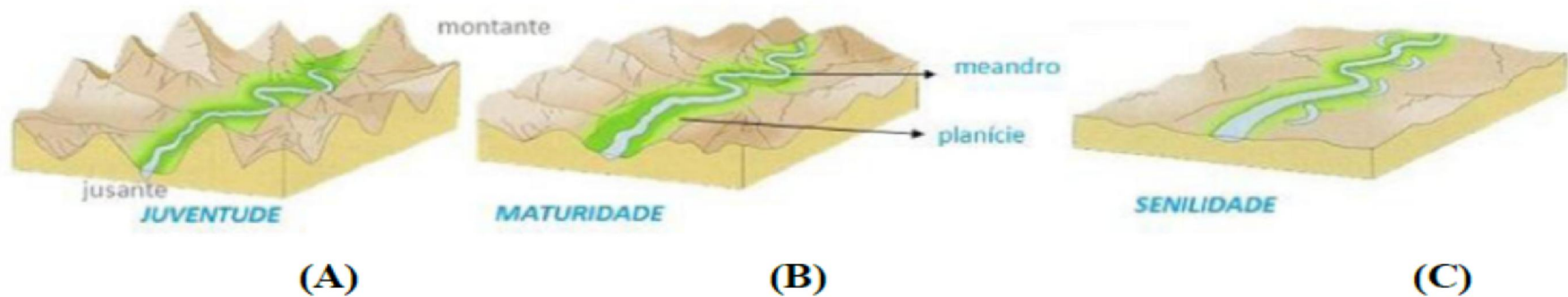
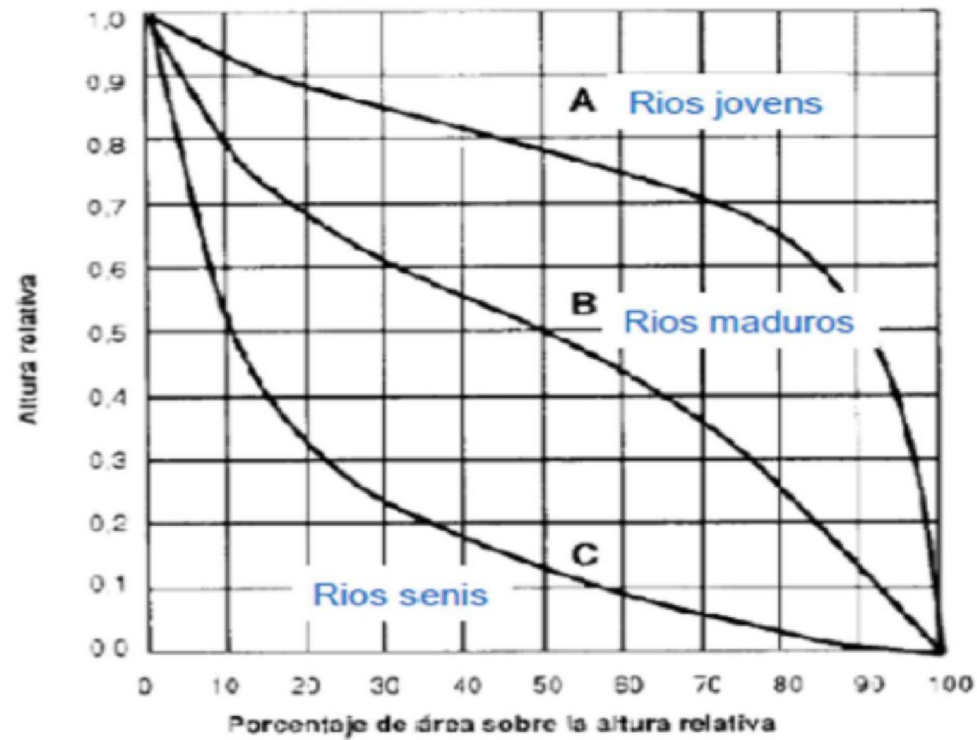


Figura 1.16 – Representação gráfica do relevo médio da bacia hidrográfica versus relevo dos terrenos: (A) Juventude; (B) Maturidade; (C) Senilidade.

e) Curva hipsométrica da bacia hidrográfica

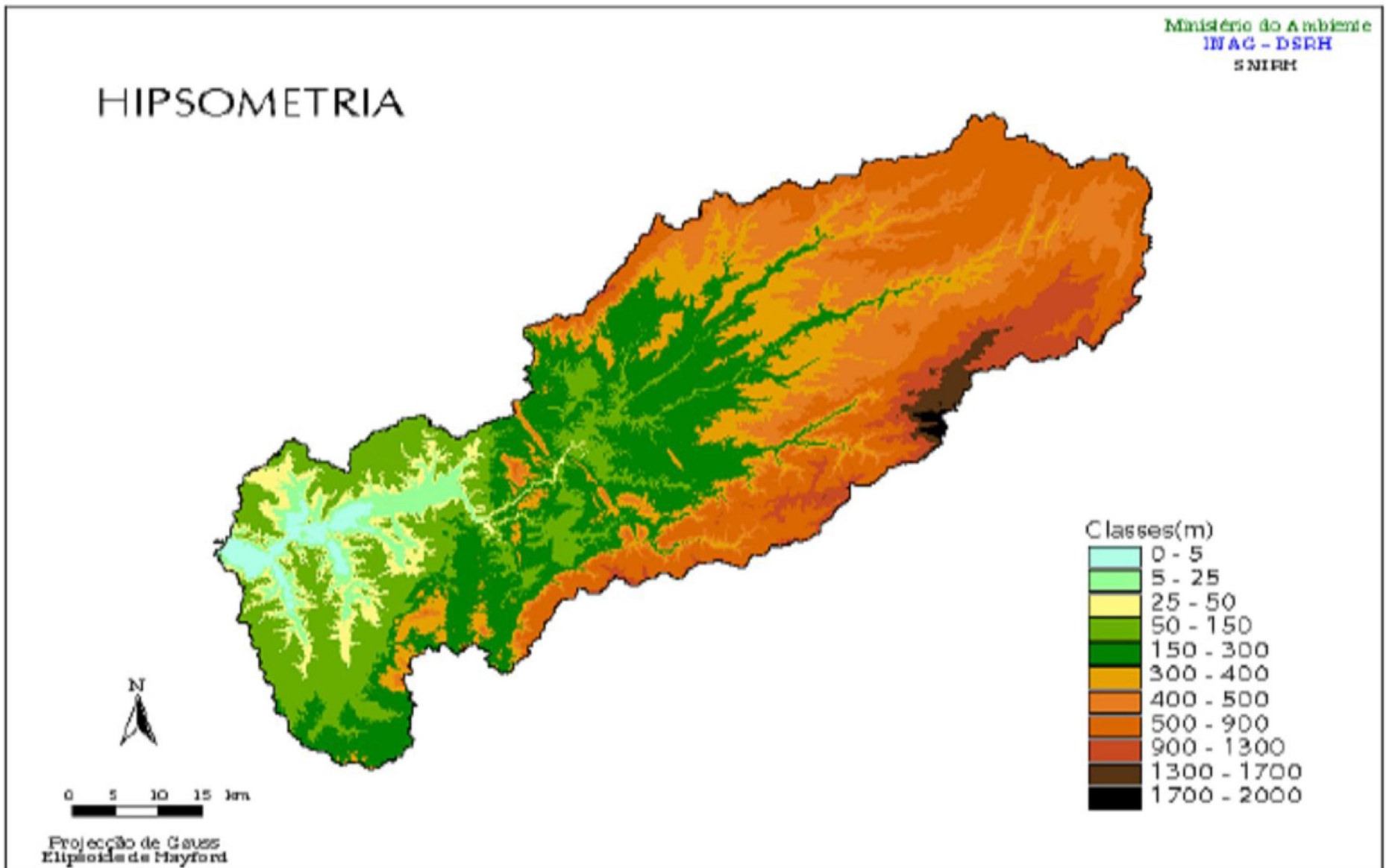


Figura 1.16 – Carta hipsométrica de uma bacia hidrográfica.

Exemplo 1.5: Para a curva hipsométrica disposta na Figura 1.15 determine:

i) A altura máxima e mínima da bacia hidrográfica;

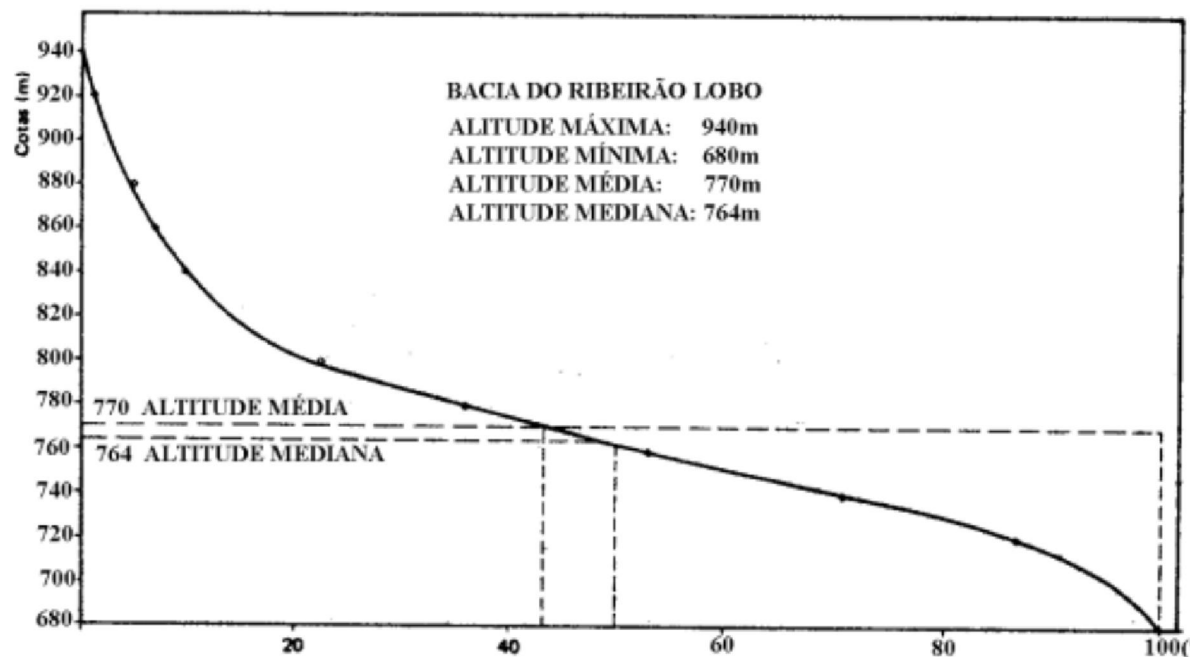
Altura máxima = 940 m e Altura mínima = 680 m

ii) Qual é a porcentagem de área que se encontra acima da altitude média da bacia?

– Sendo a altitude média 770 m, pela curva hipsométrica observa-se que aproximadamente 42% da área encontra-se acima desse valor;

iii) Qual é a porcentagem de área que se encontra abaixo e acima da altitude mediana da bacia?

– A altitude mediana encontra-se sempre na cota na curva hipsométrica que corresponde a 50% da área acima ou abaixo da bacia. Nesse caso, a cota 764 representa esse ponto.



Exemplo 1.6: A partir dos dados dispostos na Tabela 1.2, faça a caracterização do relevo (declividade média, altitude média e curva hipsométrica) da bacia hidrográfica.

Tabela 1.2. Dados da curvas de nível, \bar{Z}_i , $L_{CN,i}$ e A_i de uma bacia hidrográfica

Curvas de nível	\bar{Z}_i	$L_{CN,i}$	A_i	$\sum_{i=1}^n A_i$ acima		$\sum_{i=1}^n A_i$ abaixo	
	(m)	(km)	(km ²)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
730	730	0,0	0,00	8,50	100	0,00	0,0
730-750	740	3,5	0,25	8,50	100	0,25	2,9
750-770	760	4,3	0,82	8,25	97,1	1,07	12,6
770-790	780	6,5	1,20	7,43	87,4	2,27	26,7
790-810	800	8,9	1,30	6,23	73,3	3,57	42,0
810-830	820	8,4	1,60	4,93	58,0	5,17	60,8
830-850	840	7,2	1,83	3,33	39,2	7,00	82,4
850-870	860	3,1	1,10	1,50	17,6	8,10	95,3
870-890	880	0,0	0,40	0,40	4,70	8,50	100
890	890	0,0	0,00	0,00	0,0	8,50	100

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_i L_{CN,i}}{A} \cdot 100 = \frac{(20 \cdot 3500 + 20 \cdot 4300 + \dots + 20 \cdot 3100)}{8500000} \cdot 100$$

$$dm = \frac{838000}{8500000} \cdot 100 = 9,86\%$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i A_i}{A} = \frac{740 \cdot 0,25 + 760 \cdot 0,82 + \dots + 880 \cdot 0,40}{8,5} = \frac{6931,4}{8,5} = 815,5 \text{ m}$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Hidrología aplicada. Tradução de SALDARRIAGA, J. G. São Paulo: McGraw-Hill, 1994. 584p.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1ed. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455p.

MIJARES, F. J. A. Fundamentos de hidrología de superficie. Balderas: Limusa, 1992. 302p. SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. Análise morfométrica da bacia do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). Revista Geografia, v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

FIM