

# HIDROLOGIA APLICADA



Hidrologia é a  
ciência que  
estuda o ciclo  
hidrológico.





**Ciclo  
hidrológico é o  
ciclo d'água na  
natureza!**



Aproximadamente  
3/4 do nosso  
corpo é água!



Cerca de 71%  
do planeta é  
água!



Planeta Agua - Guilherme  
Arantes - ORIGINAL  
romanticas80  
236.709 visualizações

<https://www.youtube.com/watch?v=oPwnAq2xMUg>

Foto do Ribeirão Vargem Grande no  
final da Rua das Orquídeas  
Carapicuíba – São Paulo - Brasil




Infelizmente, este recurso natural  
encontra-se cada vez mais limitado e  
está sendo exaurido pelas ações  
impactantes nas bacias hidrográficas  
(ações do homem), degradando a sua  
qualidade e prejudicando os  
ecossistemas.



Como combater  
responsavelmente essas  
situações mostrada nesse  
slide e no slide anterior?

Aterro com objetivo de acabar tanto com o lago, como com a mata  
ciliar de uma das margens do Ribeirão Vargem Grande (foto tirada  
no final da rua das Orquídeas, Carapicuíba, São Paulo).



A landscape showing a reservoir in the foreground, a dirt road with a white car and a yellow tractor in the middle ground, and a construction site with large mounds of earth in the background. In the foreground, there are green trees and a red-tiled roof.

Afinal a ideia que a grande maioria das pessoas possui com relação à água é infinitamente abundante e sua renovação é natural, não garante a sustentabilidade!

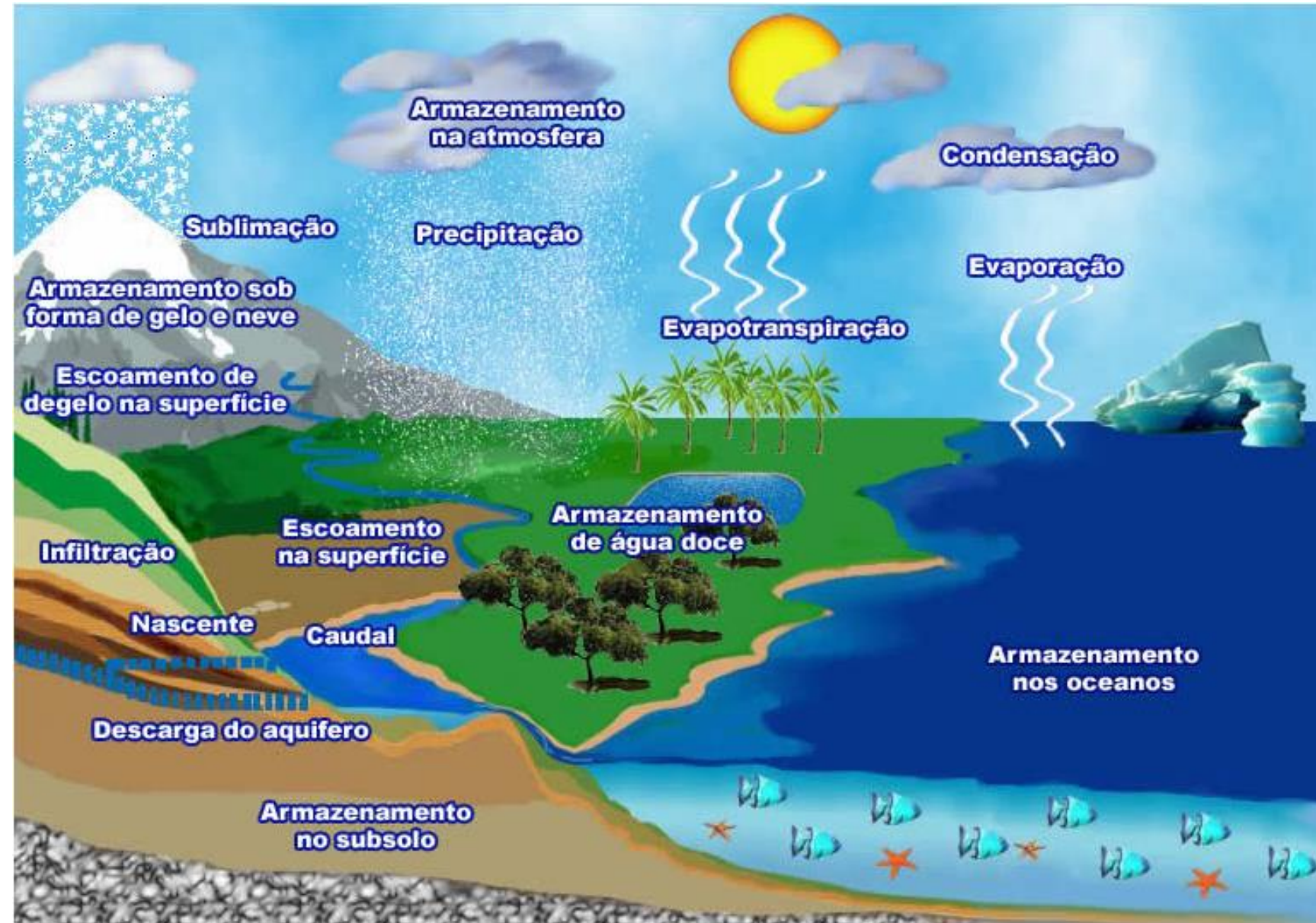




Sugestão  
de vídeos:

<https://www.youtube.com/watch?v=vW5-xrV3Bq4>

<https://www.youtube.com/watch?v=DI4XfVs-6eg>

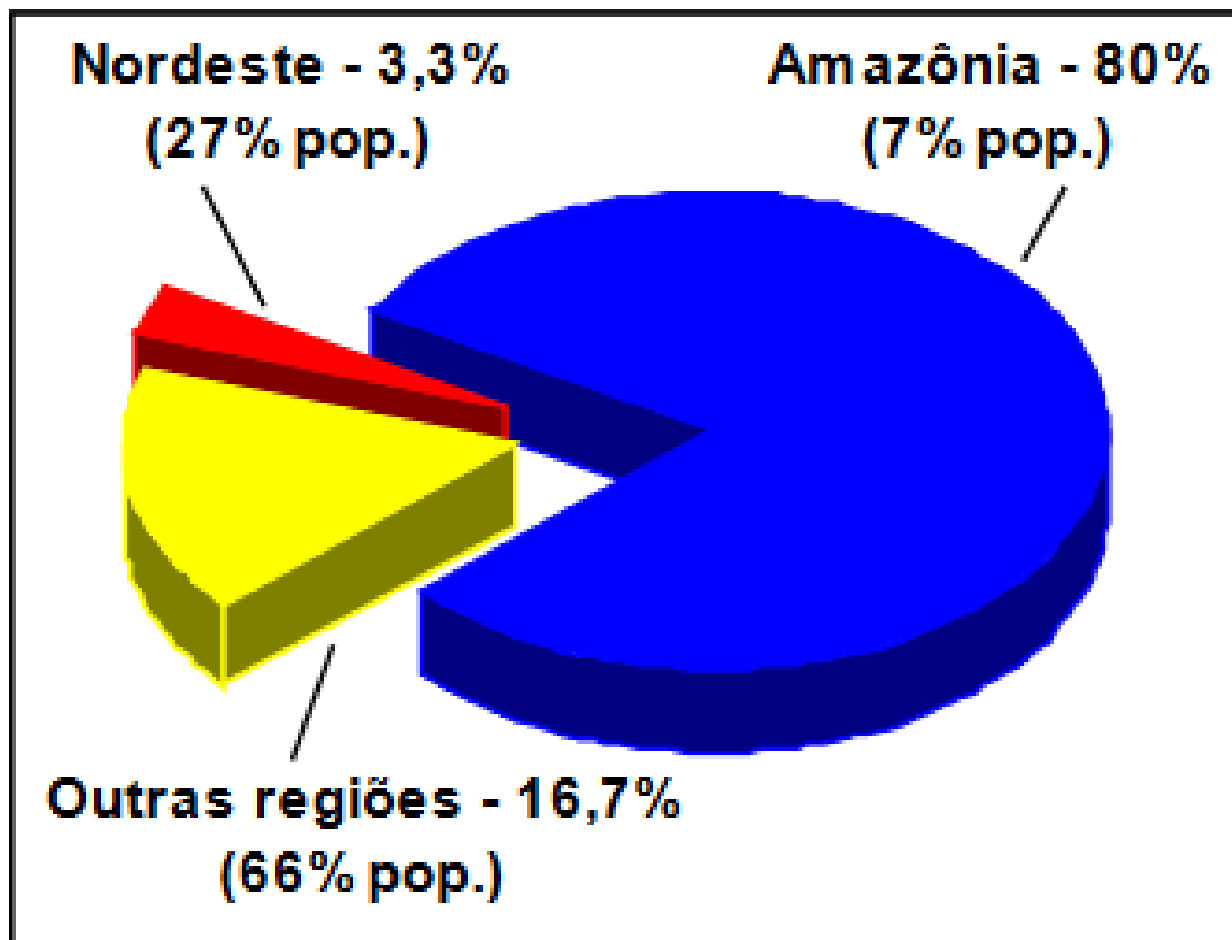


[http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteudo2.aspx?f=G&par\\_nrod=544&flag=PC-2](http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteudo2.aspx?f=G&par_nrod=544&flag=PC-2)





**Mesmo ocupando 71% da superfície do planeta, sabe-se que 97,3% deste total constituem-se de águas salgadas e somente 2,7% são águas doces. Do total de água doce, 2,07% estão congeladas em geleiras e calotas polares (água em estado sólido) e, apenas 0,63% resta de água doce não totalmente aproveitada por questões de inviabilidade técnica, econômica, financeira e de sustentabilidade ambiental!**



**Recursos hídricos no Brasil.**



**No Brasil 70% da água consumida ocorre na agricultura irrigada, 20% é utilizada para uso doméstico e 10% pelo setor industrial**

A Organização das Nações Unidas, ONU, prevê que, se o descaso com os recursos hídricos continuar, metade da população mundial não terá acesso à água limpa a partir de 2025. Hoje, este problema já afeta cerca de 20% da população do planeta – mais de 1 bilhão de pessoas. Mantendo-se as taxas de consumo e considerando um crescimento populacional à razão geométrica de 1,6% a.a., o esgotamento da potencialidade de recursos hídricos pode ser extinto por volta do ano 2053!



As disponibilidades hídricas precisam ser ampliadas e, para tanto, são necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para exploração viável e racional da água e aí, tanto a hidráulica como a hidrologia podem ajudar!



**Vamos iniciar os estudos de hidrologia pelas bacias hidrográficas.**





Bacia Hidrográfica é a área ou região de drenagem de um rio principal e seus afluentes.



É a porção do espaço em que as águas das chuvas, das montanhas, subterrâneas ou de outros rios escoam em direção a um determinado curso d'água, abastecendo-o.

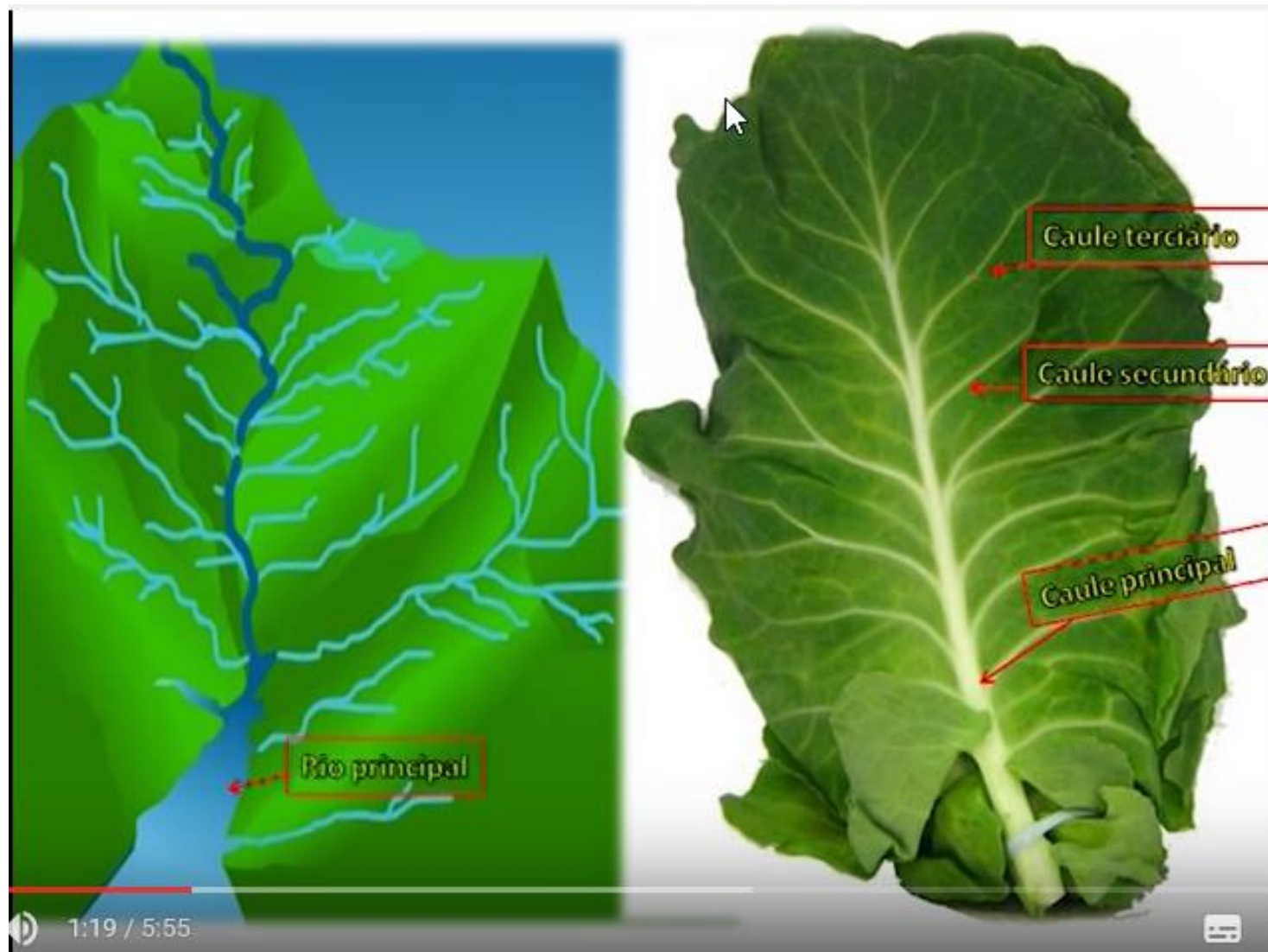
Cuidado com as enchentes e poluição!





**É importante, portanto, ter consciência de que, ao andarmos pelas ruas ou em uma mata, por exemplo, estamos andando necessariamente sobre a área de uma bacia hidrográfica, pois as águas que eventualmente escoam nesses locais tendem a se direcionar para um rio.**

# Representação de uma bacia hidrográfica



O que separa uma bacia hidrográfica de outra são os **divisores de água**. Eles são como uma espécie de fronteira em que, de um lado, escoam a água em direção a um rio e, de outro, escoam a água em direção a outro rio.

Em razão da força da gravidade, as águas correm sempre do ponto mais alto da superfície em direção aos pontos com menores altitudes.

Assim, podemos dizer que as localidades mais elevadas são os divisores de água e os pontos menos elevados costumam abrigar o leito dos rios.





# Características físicas de uma bacia hidrográfica

Estas características são importantes para se transferir dados de uma bacia monitorada para uma outra qualitativamente semelhante onde faltam dados ou não é possível a instalação de postos hidrométricos (fluviométricos e pluviométricos).

Brasil: 1 posto/ 4000 Km<sup>2</sup>; USA: 1 posto/ 1000 km<sup>2</sup>;  
Israel: 1 posto/ 200 km<sup>2</sup>



# 1. Área de drenagem



É a área plana (projeção horizontal) inclusa entre os seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas. É normalmente obtida por planimetria ou por pesagem do papel em balança de precisão. São muito usados os mapas do IBGE (escala 1:50.000). A área da bacia do Rio Paraíba do Sul é de 55.500 km<sup>2</sup>.

## 2. Forma da bacia

Essas características da bacia tem relação com o seu comportamento hidrológico, como por exemplo no tempo de concentração ( $T_c$ ).  $T_c$  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.

Existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas, são eles:

1. **Coefficiente de compacidade ( $K_c$ ):** é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia.

$$K_c = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}, \text{ onde : } P = \text{perímetro da bacia; } A = \text{área da bacia}$$

Se  $K_c = 1,0$  a bacia seria um círculo perfeito; se  $1,0 < K_c < 1,128$  temos a bacia hidrográfica arredondada e se  $K_c > 2$  temos a bacia alongada.

**Importante:** Quanto menor o  $K_c$  (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o  $T_c$  e maior a tendência de haver picos de enchente.

## 2. Forma da bacia (cont.)

**Coeficiente de forma ( $K_f$ ):** é a razão entre a largura média da bacia ( $L_m$ ) e o comprimento do eixo da bacia ( $L$ )

$$K_f = \frac{L_m}{L}, \text{ onde: } L_m = \frac{A}{L} \therefore K_f = \frac{A}{L^2}$$

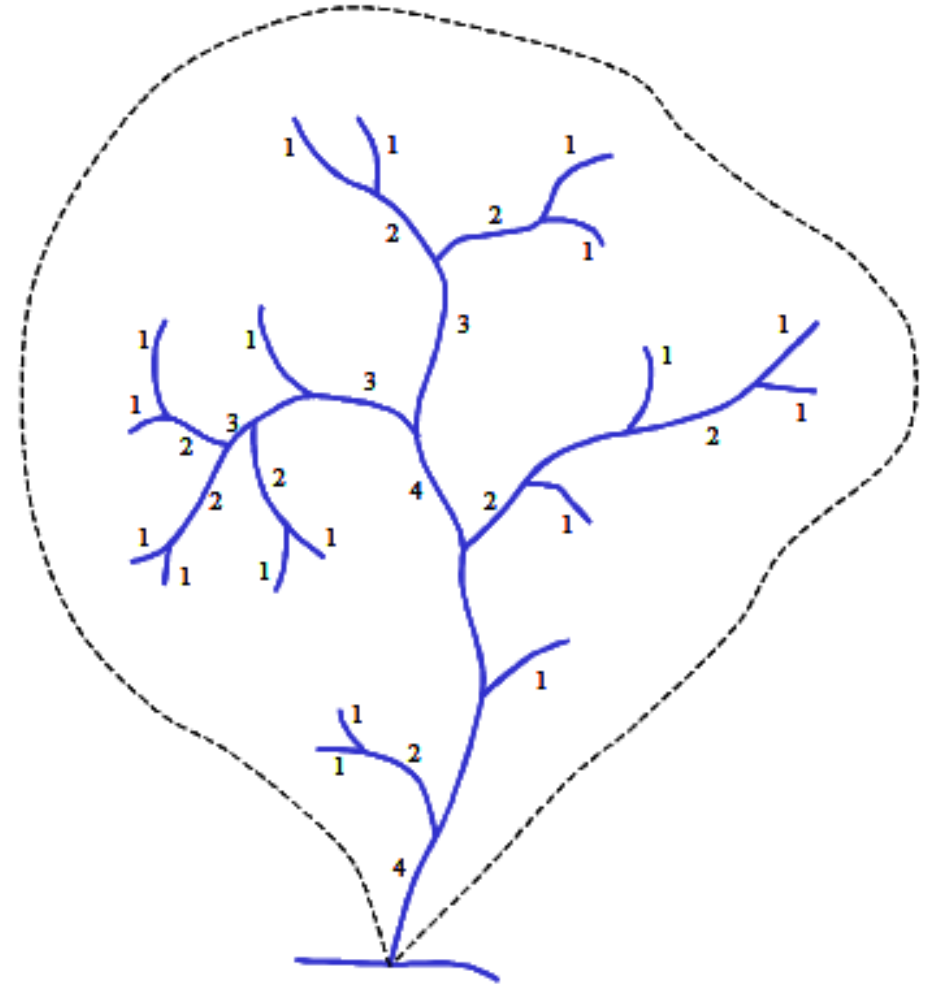
Esse fator compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento do eixo da bacia (comprimento axial) e se  $K_f = 1,0$  a bacia será considerada quadrada, quanto menor o  $K_f$ , mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o  $T_c$  é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.



# 3. Sistema 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. O padrão de drenagem de uma bacia depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia.

- a. **Ordem dos cursos d'água é estabelecida adotando-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.



### 3. Sistema de drenagem (cont.)

b. Densidade de drenagem ( $D_d$ ): é uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. Expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros (somente ocorre o escoamento superficial, o lençol freático está sempre abaixo do vale), intermitentes (escoamento durante parte do ano e secam completamente em estiagem prolongadas) ou perenes (o lençol freático garante o escoamento permanente)) de uma bacia e a sua área total.

**Classificação:**

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

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

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

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

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

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



## 4. Características do relevo da bacia

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia.



O relevo brasileiro se divide principalmente em planaltos, planícies e depressões



b. Curva hipsométrica é definida como sendo a representação gráfica do relevo médio de uma bacia hidrográfica (BH).

Através da curva hipsométrica calculamos:

b.1 altitude média =  $z_m$

$$\text{altitude\_média}(z_m) = \frac{\sum z_i \times A_i}{A}$$

b.2 altura média =  $H_m$

$$\text{altura\_média}(H_m) = z_m - \text{cota\_mais\_baixa}$$

A altura média será igual a altitude média quando a cota mais baixo for zero, ou seja, a água desagua em uma cota zero.



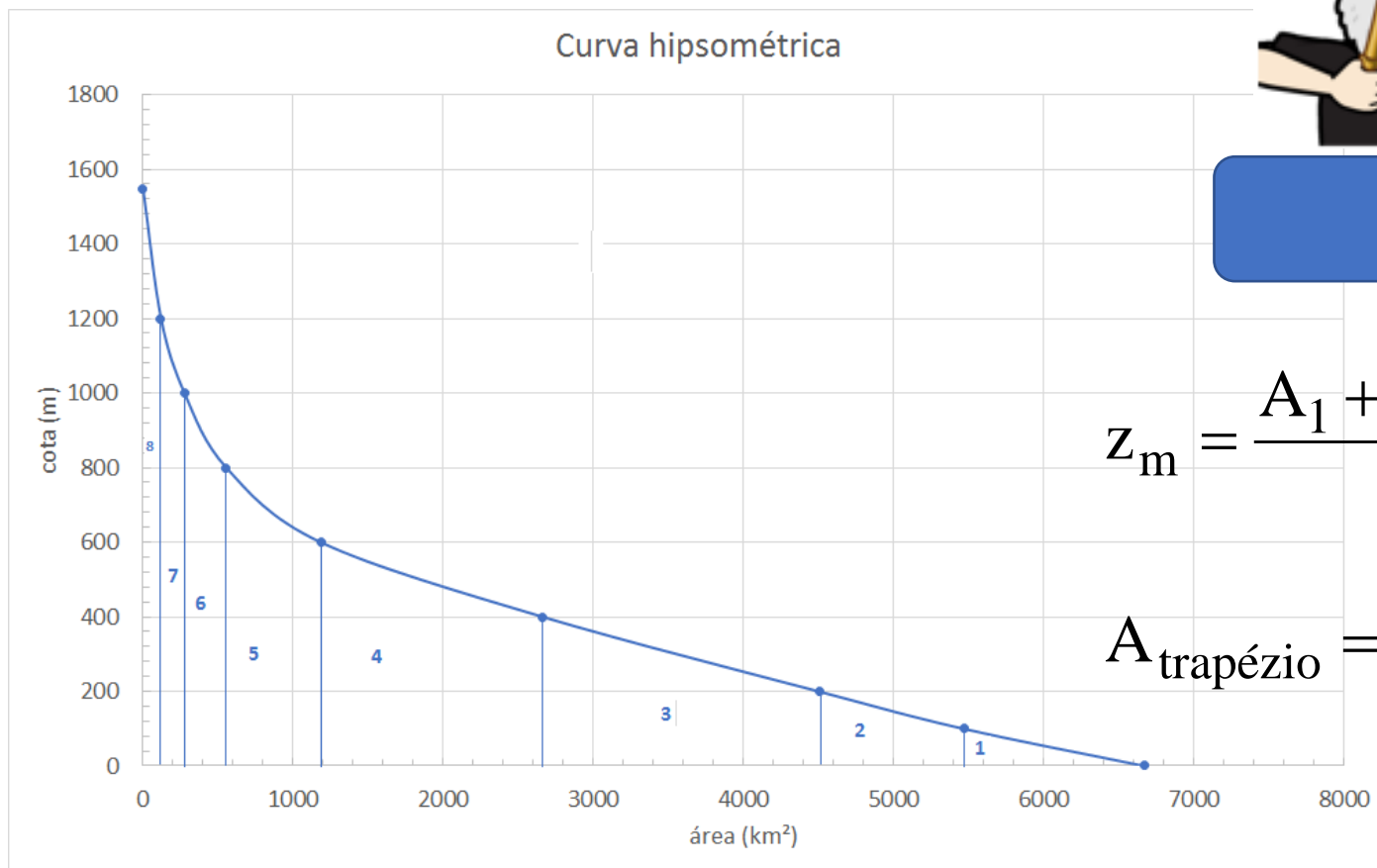


Uma das possibilidades para o cálculo da altitude média através da curva hipsométrica e baseado na explicação do professor Pontes no YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=FJ0i9tSuc9M>

$$\text{altitude\_média}(z_m) = \frac{\sum z_i \times A_i}{A}$$



Dividimos a curva em trapézios



$$z_m = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8}{A_{\text{total}}}$$

$$A_{\text{trapézio}} = \left( \frac{B + b}{2} \right) \times h$$



A outra possibilidade para resolver esse tipo de exercício é construindo a tabela:

- A solução seá:
- Altitude (cota) máxima = maior cota da montante
  - Altitude (cota) mínima = menor cota da jusante
  - Altitude (cota) média =  $z_m = w/T$
  - Altitude (cota) mediana =  $z_{mediana}$  obtida, através da interpolação, para  $T/2$
  - Altura média =  $H_m = z_m - \text{altitude mínima}$

1	1	2	3	4	5	6
Cota a montante (m)	Cota a jusante (m)	Ponto médio (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área acumulada (km <sup>2</sup> )	% acumulada	Coluna 2 * coluna 3 (m*Km <sup>2</sup> )
a	b	(a+b)/2	c	c	100*c/T	
d	e	(d+e)/2	f	c+f	100*(c+f)/T	
<b>TOTAL</b>			<b>T= c+f+...</b>			<b>W</b>

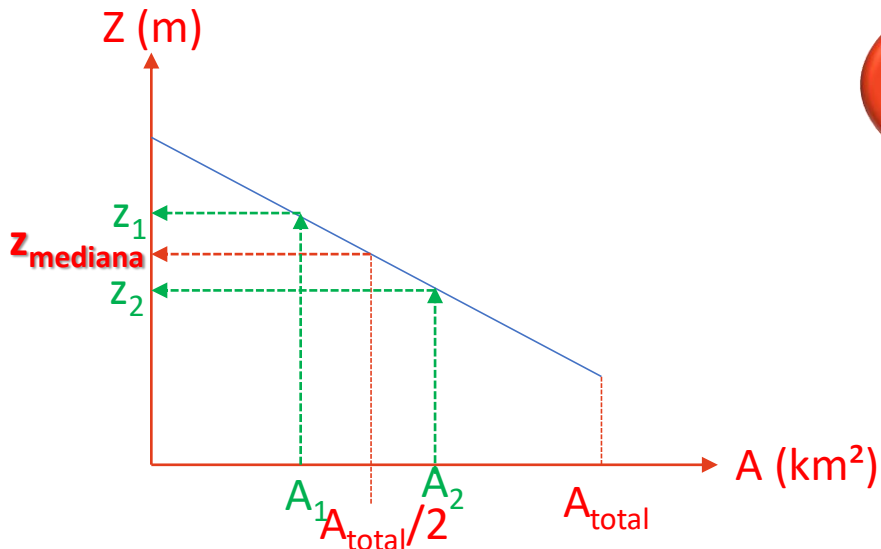
c. **Altitude mediana =  $z_{\text{mediana}}$**

A altitude mediana é igual ao valor da cota para uma área referente a 50% da área total da bacia hidrográfica.

Conhecemos  $A_1, z_1, A_2, z_2$  e  $A_{\text{total}}/2$ .

Desejamos determinar  $z_{\text{mediana}}$

Para isso, recorreremos a interpolação



$$\frac{z_{\text{mediana}} - z_2}{z_1 - z_2} = \frac{A_{\text{total}} - A_2}{A_1 - A_2}$$

$$\therefore z_{\text{mediana}} = z_2 + (z_1 - z_2) \times \left( \frac{A_{\text{total}} - A_2}{A_1 - A_2} \right)$$

d. **Percurso médio do escoamento superficial =  $\lambda$**



**Preciso fazer  
exercícios!**

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



# Exercício 1 - Os dados a seguir são da BACIA RIBEIRÃO LOBO - S.P. que tem uma área de drenagem igual a 177,25 km<sup>2</sup>

Cotas (m)	Área (km <sup>2</sup> )
940 – 920	1,92
920 – 900	2,90
900 – 880	3,68
880 – 860	4,07
860 – 840	4,06
840 – 820	2,92
820 – 800	19,85
800 – 780	23,75
780 – 760	30,27
760 – 740	32,09
740 – 720	27,86
720 – 700	15,45
700 - 680	7,89

Com esses dados preciso obter e curva hipsométrica e especificar a altitude máxima, mínima, média e mediana e calcular a altura média.

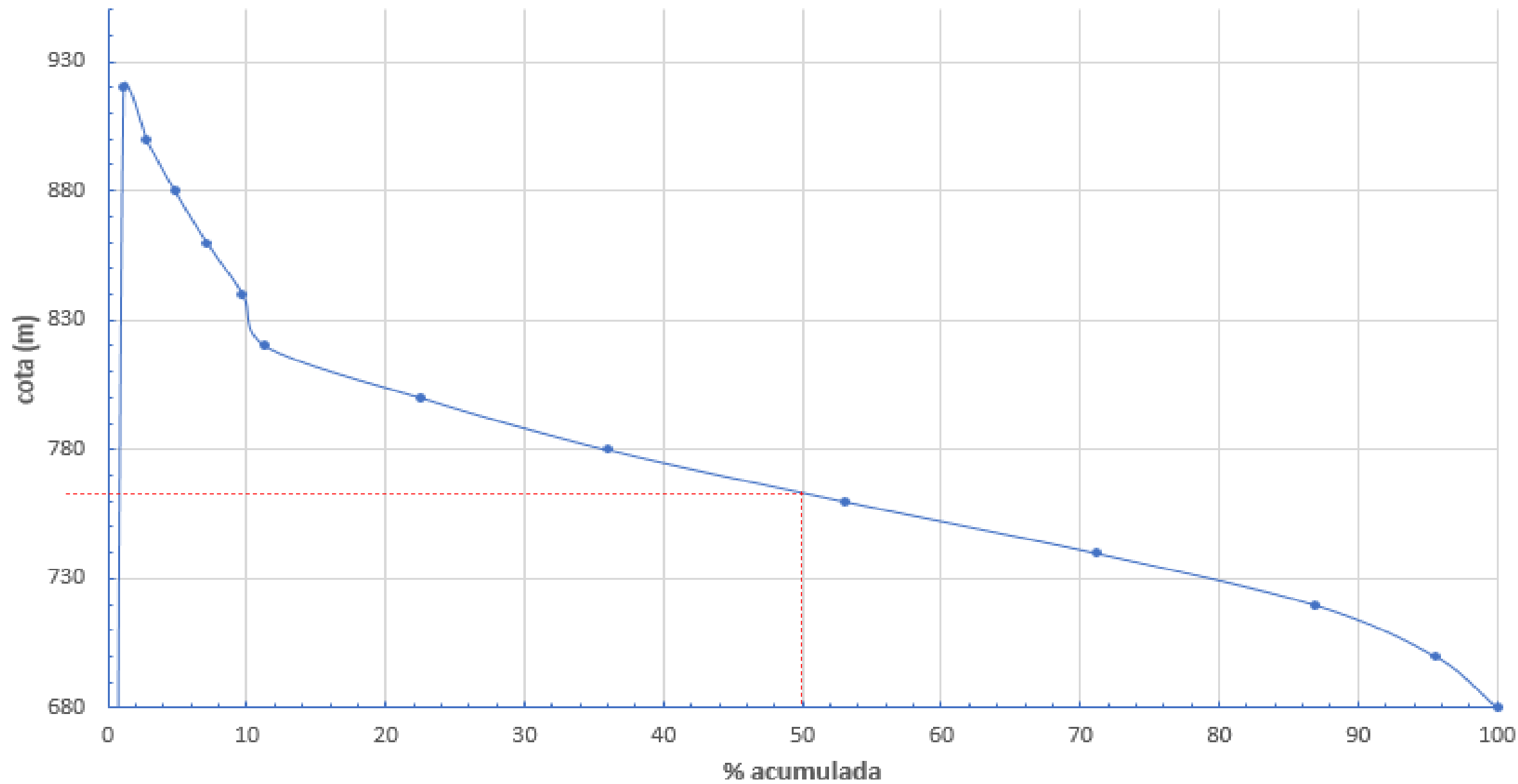




1	1	2	3	4	5	6
Cotas a montante (m)	Cotas a jusante (m)	Ponto médio (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área acumulada (km <sup>2</sup> )	% acumulada	Coluna 2 * coluna 3 (m*km <sup>2</sup> )
940	920	930	1,92	1,92	1,08	1785,6
920	900	910	2,9	4,82	2,72	2639
900	880	890	3,68	8,5	4,80	3275,2
880	860	870	4,07	12,57	7,09	3540,9
860	840	850	4,60	17,17	9,69	3910
840	820	830	2,92	20,09	11,33	2423,6
820	800	810	19,85	39,94	22,53	16078,5
800	780	790	23,75	63,69	35,93	18762,5
780	760	770	30,27	93,96	53,01	23307,9
760	740	750	32,09	126,05	71,11	24067,5
740	720	730	27,86	153,91	86,83	20337,8
720	700	710	15,45	169,36	95,55	10969,5
700	680	690	7,89	177,25	100,00	5444,1
TOTAL			177,25			136542,1

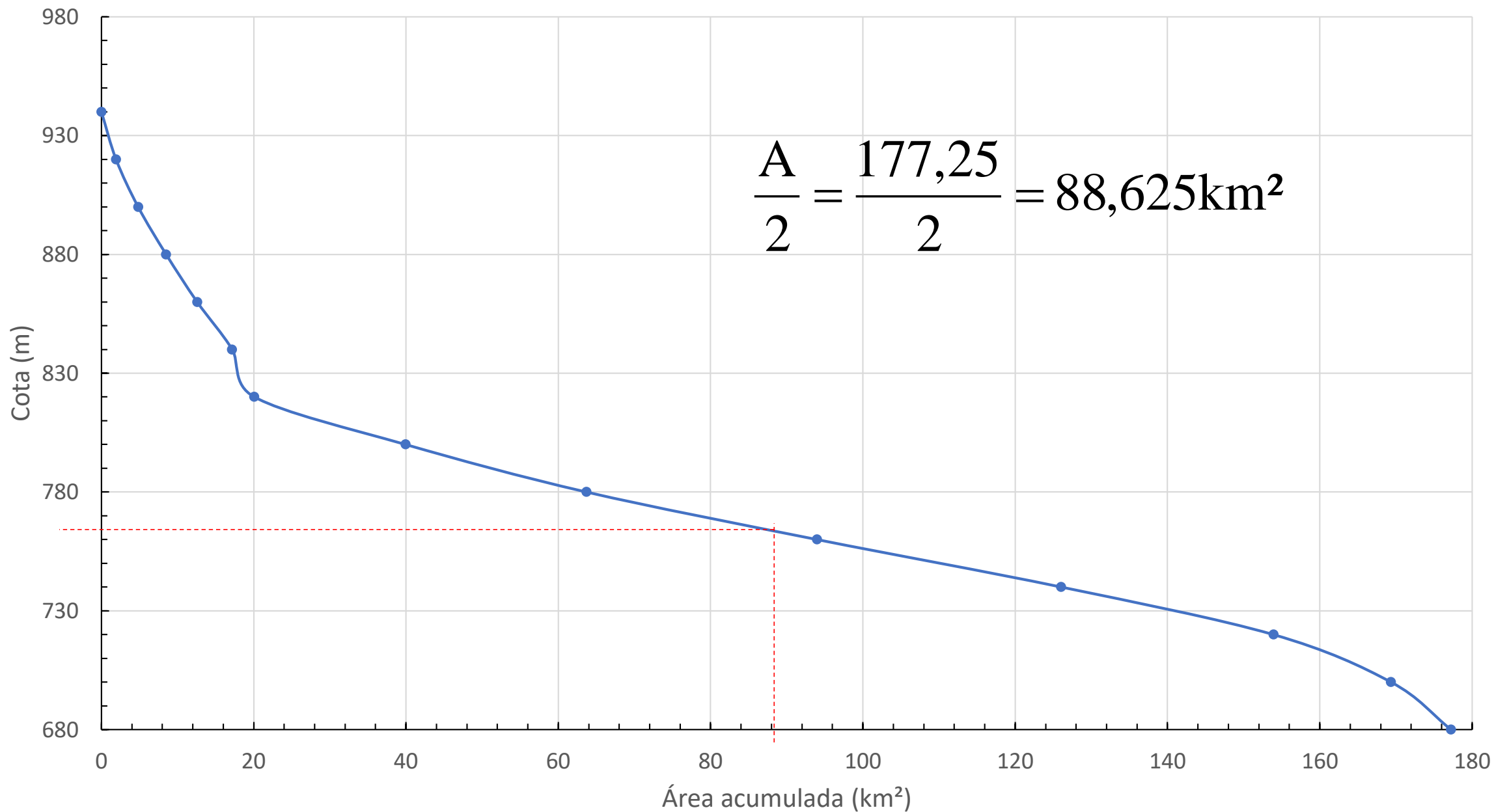


curva hipsométrica = cota em função da porcentagem acumulada





Segunda possibilidade - curva hipsométrica - cota em função da área acumulada



# Exercício 2

- Determinar a curva hipsométrica, especificar a altitude máxima e mínima, calcular a altitude media e mediana e a altura média da bacia hidrográfica para os dados da tabela ao lado :

Cotas (m)	Área (km <sup>2</sup> )
830– 800	3,2
800 – 770	4,0
770– 740	4,5
740 – 710	10,0
710 – 680	33,6
680– 650	40,2
650 – 620	25,8
620– 590	8,8

### Exercício 3



Esse exercício foi adaptado do exercício resolvido pelo Professor João S. Pontes no YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=FJ0i9tSuc9M>

Uma certa bacia hidrográfica tem uma área de drenagem de  $6671 \text{ km}^2$ , um perímetro de  $428 \text{ km}$  e um comprimento do eixo do rio principal igual a  $246 \text{ km}$ . O rio principal tem sua nascente a uma altitude de  $1547 \text{ m}$  e desagua (seção de referência) a uma cota zero. Pede-se:

- calcule o fator de forma e de compacidade e comente os seus resultados;
- construa a curva hipsométrica e calcule a altitude média, mediana e a sua altura média, além disso especifique a altitude máxima e altitude mínima;
- Calcule a densidade de drenagem e a classifique.

### DADOS

Cota (m)	0 - 100	100 - 200	200 - 400	400 - 600	600 - 800	800 - 1000	1000 - 1200	Maior que 1200
Área ( $\text{km}^2$ )	1203	963	1838	1480	631	279	157	120