

LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL – HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

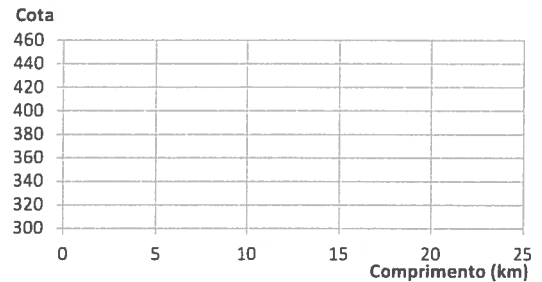
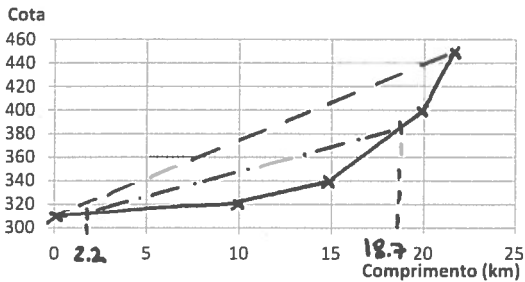
1º Exame – 11 de julho de 2023

Duração total de 2.0 h – cotação de 2.0 val. por pergunta; pode utilizar o verso de cada página para completar as respostas relativas apenas às perguntas dessa página

TEM DE JUSTIFICAR E APRESENTAR OS CÁLCULOS QUE EFETUAR E NÃO SOMENTE INDICAR O RESULTADO FINAL

1) A tabela abaixo refere-se ao perfil longitudinal de um rio.

Comprimento (km)	Cota
0	310
10	320
15	340
20	400
22	450



- a) Utilize a figura para representar com o maior rigor possível esse perfil, bem como os segmentos de reta representativos dos declives médio e 10:85 do rio (são fornecidas duas figuras para o caso de inutilizar uma delas).
- b) Estime os anteriores declives expressando-os em m/km, em percentagem e em termos adimensionais. Apresente todos os cálculos que efetuar.

-- declive médio,  $d_m$   
 -.- declive 10:85,  $d_{10:85}$

$$d_m = \frac{450 - 310}{22} = 6.36 \text{ m/km}$$

ou 0,64% ou 0.0064 m/m

$$L_{10} = 0.1 \times 22 = 2.2 \text{ km}$$

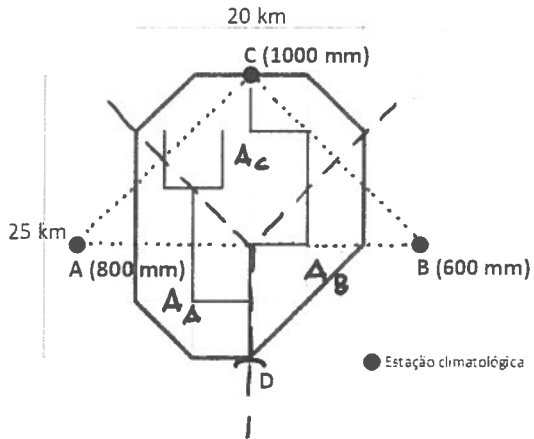
$$z_{10} = 310 + \frac{320 - 310}{10 - 0} \times (0.1 \times 22) = 312.2 \text{ m}$$

$$L_{85} = 0.85 \times 22 = 18.7 \text{ km}$$

$$z_{85} = 340 + \frac{400 - 340}{20 - 15} \times (0.85 \times 22 - 15) = 384.4 \text{ m}$$

$$d_{10:85} = \frac{384.4 - 312.2}{18.7 - 2.2} = 4.38 \text{ m/km ou } 0.44\% \text{ ou } 0.0044 \text{ m/m}$$

2)



Na figura esquematiza-se a bacia hidrográfica na secção D de um rio. Use a fórmula de Turc para estimar o escoamento anual médio (expresso em hm³) na secção D.

Para o efeito considere que a precipitação anual média registada nas estações climatológicas A, B e C é de 800, 600 e 1000 mm, respetivamente, e que a temperatura média anual na bacia foi estimada em 12 °C.

$$A_A = 5.5 \times 25 = 137.5 \text{ km}^2$$

$$A_B = 4.0 \times 25 = 100 \text{ km}^2$$

$$A_C = 7.0 \times 25 = 175 \text{ km}^2$$

$$A_{\text{bacia}} = A_A + A_B + A_C = 412.5 \text{ km}^2$$

$$P_{\text{bacia}} = \frac{P_A \times A_A + P_B \times A_B + P_C \times A_C}{A_{\text{bacia}}} = 836 \text{ mm}$$

$$L = 300 + 25 \times 12 + 0.05 \times 12^3 = 686.4 \text{ mm}$$

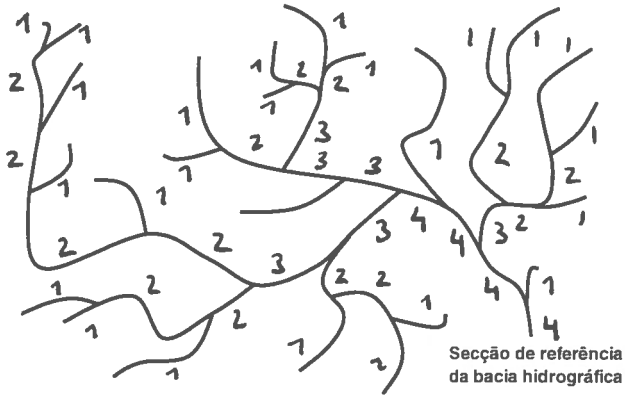
$$\frac{P^2}{L^2} = 1.48 > 0.1 \Rightarrow \bar{D} = \sqrt{\frac{\bar{P}^2}{0.9 + \frac{\bar{P}^2}{L^2}}} = 542 \text{ mm}$$

$$\bar{H} \approx \bar{P} - \bar{D} = 294 \text{ mm. Em volume: } \frac{294}{1000} \times 412.5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ou } 121.6 \text{ km}^3$$

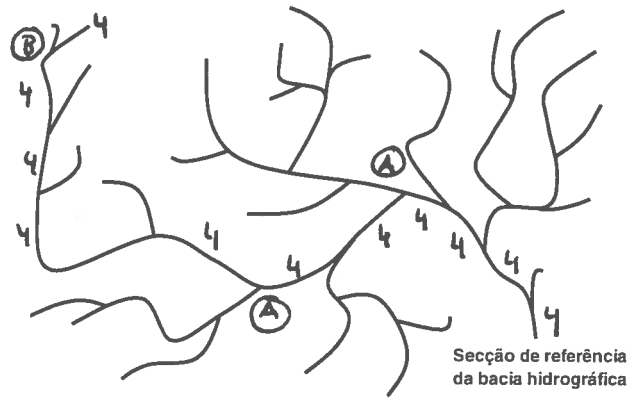
3) Considere a representação esquemática da rede de drenagem numa bacia hidrográfica a que respeita a figura da página seguinte.

- a) Aplique a classificação de Stralher à rede de drenagem esquematizada na figura do lado esquerdo.
- b) Embora revestindo-se de subjetividade, uma vez que não dispõe de informação topográfica, tente identificar, de acordo com a classificação de Horton, o curso de água principal, especificando a sua ordem. Para o efeito, utilize a figura do lado direito.

Classificação de Stralher



Classificação de Horton



- Ⓐ critério da maior área drenada
- Ⓑ critério do maior comprimento

4) Numa dada bacia hidrográfica com a área de 34 km<sup>2</sup> estimaram-se os seguintes valores anuais médios para a precipitação e para o escoamento: 1300 mm e 22.5 hm<sup>3</sup>, respetivamente. A evapotranspiração potencial anual média na bacia hidrográfica foi estimada em 520 mm e o caudal mediano na secção terminal da bacia hidrográfica foi avaliado em 1.05 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Comente, justificando com rigor, os resultados relativos à evapotranspiração potencial e ao caudal mediano.

$$H = 22.5 \text{ hm}^3 \text{ ou } \frac{1000 \times 22.5 \times 100^3}{34 \times 1000^2} = 661.8 \text{ mm}$$

$$P = H + ETR \Rightarrow ETR = 638 \text{ mm} \quad ETP = 520 \text{ mm}$$

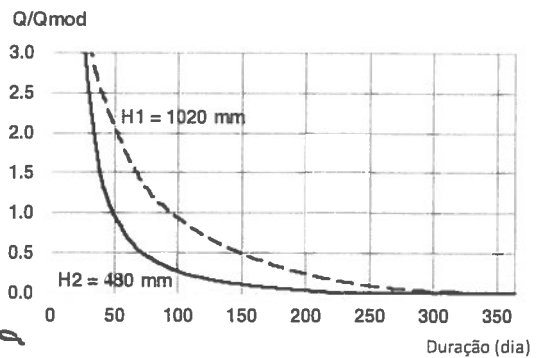
Como  $ETP < ETR$  este resultado não parece ser válido.

$$Q_{mod} = \frac{22.5 \times 100^3}{86400 \times 365} = 0.71 \text{ m}^3/\text{s}$$

Devido à assimetria característica da distribuição de caudais médios diários em bacias naturais, espera-se que  $Q_{mod} > Q_{med}$ . Novamente, o resultado não parece válido.

5) O módulo anual médio numa dada bacia hidrográfica com a área de 138 km<sup>2</sup> é 4.5 m<sup>3</sup>/s.

- a) Qual das duas curvas de duração representadas na figura ao lado adotaria para descrever o regime de caudais médios diários na anterior bacia hidrográfica? Justifique.
- b) Defina caudal mediano e estime o seu valor, em m<sup>3</sup>/s, na anterior bacia hidrográfica.



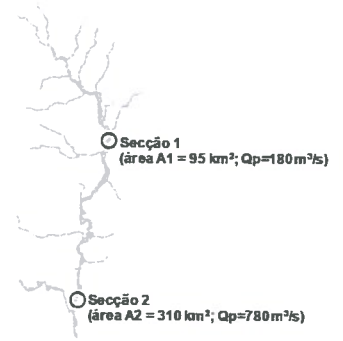
$$a) Q_{mod} = \frac{H}{1000} \times \frac{138 \times 1000^2}{86400 \times 365} = 1028 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  a curva H<sub>1</sub> é a mais adequada para o fim proposto.

b)  $Q_{med}$  corresponde à duração de 180 dias.

$$\text{Utilizando H}_1: \frac{Q_{med}}{Q_{mod}} \approx 0.35 \Rightarrow Q_{med} \approx 4.5 \times 0.35 = 1.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 6)
- Defina caudal específico de ponta de cheia.
  - O rio esquematicamente representado na figura encontra-se em regime natural e ocupa um vale com configuração e características geomorfológicas sensivelmente uniformes. Nesse rio foram consideradas as duas secções 1 e 2 esquematicamente localizadas na figura, conjuntamente com a indicação das correspondentes áreas de bacia hidrográfica (95 km<sup>2</sup>, na secção de montante e 310 km<sup>2</sup>, na de jusante). Os caudais de ponta da cheia centenária estimados para essas secções foram de 180 m<sup>3</sup>/s (secção 1) e 780 m<sup>3</sup>/s (secção 2). Averigue se estes caudais são compatíveis ou não entre si, justificando.



a) ver apresentadas HRH10 das aulas teóricas, slides 38 a 40.

b)  $q_1 = \frac{Q_{p1}}{A_1} = 1.89 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$

$q_2 = \frac{Q_{p2}}{A_2} = 2.51 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$

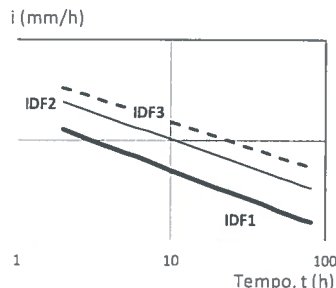
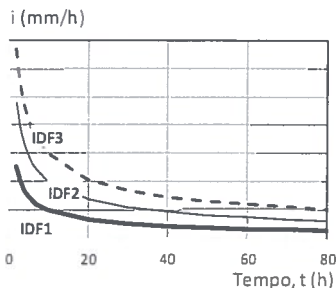
Como  $A_2 > A_1$ , seria de esperar que  $q_1 > q_2$  porque  $q$  diminui para jusante.

$\Rightarrow$  Os caudais não parecem compatíveis numa bacia em regime natural.

- 7) No decurso das aulas foi-lhe apresentado e fez uma aplicação de um modelo de balanço hídrico sequencial mensal (Thornthwaite-Mather).
- Diga a que se destina tal modelo.
  - Na aplicação que fez do anterior modelo considerou dois parâmetros:  $S_{max}$  e  $\alpha$ . Diga o que esses parâmetros pretendem representar.

HRH7 slides 24 a 45 e ficheiro com a descrição do modelo no página da discipline (Describe\_balanço\_hidrico\_sequencial\_mensal\_2022.pdf)

8)



Nas figuras estão representadas três curvas intensidade-duração-frequência, curvas IDF, para diferentes períodos de retorno relativos a um dado posto udométrico. A figura do lado direito tem escalas lineares e a do lado esquerdo, escalas duplamente logarítmicas.

- Escreva as equações gerais das curvas IDF e das correspondentes linhas de possibilidade udométrica.
- Qual das curvas das figuras respeita ao menor período de retorno? Justifique

HRH9 slides 5 a 9

- 9) Um açude num rio está a ser projetado para a vida útil de 100 anos. O açude não será galgado enquanto o caudal no rio for inferior a um dado valor Q. O dono da obra pretende que a probabilidade de o açude ser galgado durante aquela vida útil seja no máximo 20%.
- Determine o menor período de retorno, T, do caudal máximo anual no rio, Q, para o qual o açude tem de ser dimensionado.
  - Assumindo que o anterior caudal segue a lei Gumbel e que os registos desse caudal na secção do açude têm as características estatísticas indicadas no quadro que se segue, determine o caudal de dimensionamento do açude, Q. Se não resolveu a alínea a), considere T=200 anos.

	Q (m³/s)	ln Q
Média	235 m³/s	6.02
Desvio-padrão	127 m³/s	0.71
Coefficiente de assimetria	1.22	0.89

- c) Qual a probabilidade de o açude ser galgado em qualquer ano?

a) Risco hidrológico,  $R \leq 20\%$

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

$$\Rightarrow T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/N}}$$

$$T \geq \frac{1}{1 - (1 - 0.2)^{1/100}} \Rightarrow T \geq 448 \text{ anos.}$$

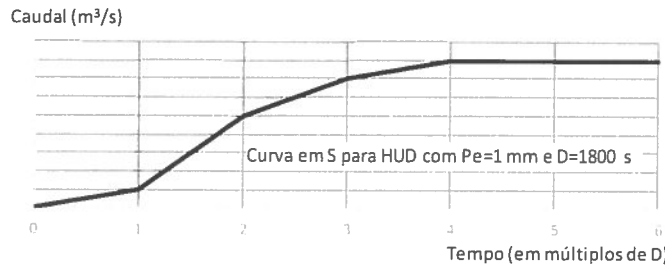
b)  $F = 1 - \frac{1}{T} = 0.9978$

$$k_G = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.577216 + \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{0.9978} \right) \right] \right\} = 4.31$$

$$Q = \bar{Q} + k_G \times \sigma_Q = 235 + 4.31 \times 127 = 782 \text{ m}^3/\text{s}$$

c)  $p = \frac{1}{T} = 0.00223$

- 10) Na figura esquematiza-se a curva em S obtida a partir do hidrograma unitário para uma precipitação efetiva de 1 mm com a duração de D=0.5 h relativo a uma bacia hidrográfica com a área de 28.8 km².



- Calcule o valor do patamar da anterior curva em S, justificando cuidadosamente os cálculos que efetuar.
- Indique o tempo de concentração da bacia hidrográfica.
- Obtenha o hidrograma unitário para D=0.5 h a que se refere a anterior curva em S. Se não resolveu a alínea a) considere que o valor do patamar é de 12 m³/s.

a) O valor do patamar corresponde à soma das ordenadas do hidrograma unitário (independentemente da sua forma)

$$Q_{\text{patamar}} = \sum u = \frac{A \times P}{D}$$

$$Q_{\text{patamar}} = \frac{28.8 \times 1000^2 \times \frac{1}{1000}}{0.5 \times 3600} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$$

- b) O tempo de concentração,  $t_c$ , coincide com a chegada ao patamar (quando toda a bacia contribui para o escoamento directo observado na secção de referência).

$$t_c = 4D = 2 \text{ horas}$$

10 c)	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	Q observado m <sup>3</sup> /s		
0	-	-	-	-	0	[m <sup>3</sup> /s · mm]	
u <sub>1</sub>	u <sub>1</sub> × 1	-	-	-	2		u <sub>1</sub> = $\frac{2}{1} = 2$
u <sub>2</sub>	u <sub>2</sub> × 1	2	-	-	10		u <sub>2</sub> = $\frac{10 - 2}{1} = 8$
u <sub>3</sub>	u <sub>3</sub> × 1	8	2	-	14		u <sub>3</sub> = $\frac{14 - 2 - 8}{1} = 4$
u <sub>4</sub>	u <sub>4</sub> × 1	4	8	2	16		u <sub>4</sub> = $\frac{16 - 2 - 8 - 4}{1} = 2$
0							

16 = (u<sub>1</sub> + u<sub>2</sub> + u<sub>3</sub> + u<sub>4</sub>) × P  
(verificação)

→ Pode fazer-se isto porque, da alínea b), sabemos que  $t_c = 4D = 2h$ . Disso resulta que  $u_5, u_6, \dots = 0$ . Da mesma forma, só precisamos de considerar 4 blocos de precipitação. A resolver sem atender ao valor de  $t_c$  teria mais linhas e colunas:

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	... = 1 mm
0								
u <sub>1</sub>								
u <sub>2</sub>								
u <sub>3</sub>								
u <sub>4</sub>								
u <sub>5</sub>								
u <sub>6</sub>								
u <sub>7</sub>								
⋮								

resolução alternativa:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= S_1 &= 2 \\
 u_2 &= S_2 - S_1 &= 10 - 2 = 8 \\
 u_3 &= S_3 - S_2 &= 14 - 10 = 4 \\
 u_4 &= S_4 - S_3 &= 16 - 14 = 2 \\
 u_5 &= S_5 - S_4 &= 16 - 16 = 0 \\
 u_6 &= S_6 - S_5 &= 16 - 16 = 0 \\
 && \dots
 \end{aligned}$$