



**Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Hidrologia e Recursos Hídricos**  
**2018/19 – 2º semestre**

**NOTA PRÉVIA**

Os três trabalhos que constituem a parte prática da UC de Hidrologia e Recursos Hídricos incidem sobre uma mesma bacia hidrográfica, identificada no âmbito do Trabalho Prático n.º 1, e têm por objetivo exemplificar abordagens destinadas à caracterização das disponibilidades hídricas e ao estabelecimento de cheias de projeto.

---

**1º TRABALHO PRÁTICO: CARATERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CLIMÁTICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA**

O presente trabalho tem por objetivo a descrição geral de uma bacia hidrográfica, no que respeita às suas características fisiográficas e ao regime geral da precipitação. Para tanto, tendo por base uma carta topográfica à escala 1/50 000, identifique, com o apoio do docente da sua aula de laboratório, uma secção de um curso de água que defina uma bacia hidrográfica, desejavelmente, com área entre 80 e 200 km<sup>2</sup> e proceda à respetiva caracterização, fornecendo a informação a seguir identificada, organizada fundamentalmente sob a forma de quadros e de figuras.

**1 CARATERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA**

**1.1 Identificação da bacia hidrográfica**

- Identificação da secção de referência da bacia hidrográfica mediante indicação das respetivas coordenadas cartográficas M e P (Sistema Hayford Gauss Militar, datum Lisboa) e WGS84 e de um topónimo referente a uma singularidade (povoação, quinta, marco geodésico, etc.) inserida nas suas proximidades (transformação de coordenadas disponível em <http://www.igeoe.pt/coordenadas/>).
- Identificação do curso de água que define a bacia hidrográfica e bacia hidrográfica principal a que pertence, de entre as bacias sistematizadas no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH.
- Identificação do distrito e região hidrográfica a que pertence a bacia hidrográfica.
- Figura com a localização geográfica geral e esquemática da bacia hidrográfica, no contexto de Portugal Continental.
- Figura com a planta da bacia hidrográfica, sobre a cartografia à escala 1/50 000, realçando o contorno da bacia e o traçado do curso de água principal e as principais curvas de nível (em número nunca inferior a 5) utilizadas na obtenção da curva hipsométrica.

**1.2 Caraterização geomorfológica da bacia hidrográfica**

- Área da bacia hidrográfica e respetivas cotas mínima e máxima.
- Índice de compacidade de Gravelius.
- Curva hipsométrica: quadro com os elementos de traçado, com a especificação da altitude e da altura médias da bacia hidrográfica, e correspondente figura (com escalas absolutas e com a escala das áreas adimensional) com inclusão do segmento de reta representativo daquela altitude.

**1.3 Caraterização geomorfológica da rede hidrográfica**

- Comprimento do curso de água principal.
- Cotas mínima e máxima do curso de água principal.
- Comprimentos de todos os cursos de água representados na carta topográfica.
- Densidade de drenagem da bacia hidrográfica, comprimento de encosta e percurso médio à superfície do terreno até um curso de água.
- Figuras com a hierarquização da rede de drenagem pelos métodos de Strahler e de Horton.
- Perfil longitudinal do curso de água principal: quadro de valores e respetiva figura, complementada com os segmentos de reta representativos dos declives médio, equivalente e 10-85. Valores destes declives, expressos adimensionalmente, em percentagem e em m/km.

## 2 CARATERIZAÇÃO HIDROLÓGICA GERAL.

### 2.1 Caraterísticas gerais

Por consulta de mapas e de informação de carácter geral relacionados com o solo e clima, estime as seguintes grandezas para a bacia hidrográfica em análise ou para a região em que se insere, exprimindo-as numericamente e mediante reprodução de figuras ou excertos de figuras retirados das fontes que consultou.

- Identificação dos solos ocorrentes, desejavelmente com base numa figura e respetiva legenda.
- Temperatura anual média do ar
- Precipitação anual média
- Evapotranspiração real anual média
- Escoamento anual médio, exprimindo-o em altura de escoamento, em volume e através do respetivo caudal médio anual ou módulo.

### 2.2 Cálculo da precipitação anual média

- Por consulta do SNIRH (<http://snirh.apambiente.pt/t>), identifique os cinco postos udométricos da rede de monitorização nacional dispondo de pelo menos 15 anos de registos de precipitação anual, localizados na bacia hidrográfica e nas suas proximidades, neste último caso, mesmo que inseridos fora dos limites da carta que está a utilizar. Tendo identificado os postos nas anteriores condições e antes de prosseguir com o trabalho é fundamental que assegure junto do docente da sua aula que a localização dos postos é adequada ao objetivo em vista pois pode dar-se o caso de serem necessários outros postos ou mesmo mais postos.
- Calcule as precipitações anuais médias nos anteriores postos e, partir destes resultados, estime a precipitação anual média na bacia hidrográfica em estudo. Para o efeito, aplique os métodos de Thiessen e das isoietas. Para cada método, apresente de modo separado: **(i)** uma figura com o resultado gráfico da aplicação do método, incluindo na mesma, quer as linhas auxiliares (triangulação e segmentos de reta utilizados na interpolação), quer os resultados propriamente ditos do método de interpolação espacial (polígonos de Thiessen e isoietas); **(ii)** um quadro com os valores de cálculo, incluindo a especificação da precipitação anual média na bacia hidrográfica.



**Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Hidrologia e Recursos Hídricos**  
**2018/19 – 2º semestre**

**2º TRABALHO PRÁTICO: CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE ESCOAMENTO**

Considere a estação hidrométrica em regime sensivelmente natural e o(s) posto(s) udométrico(s) que lhe forem indicados pelo docente da sua aula de laboratório. A estação hidrométrica foi selecionada de modo a permitir estimar a curva de duração média anual do caudal médio diária da bacia hidrográfica considerada no 1º Trabalho, pelo que deverá inserir-se nas proximidades da mesma e apresentar uma altura de escoamento semelhante.

**1 CARATERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO DIÁRIO. CURVA DE DURAÇÃO MÉDIA ANUAL DO CAUDAL MÉDIO DIÁRIO NA ANTERIOR ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA E SUA TRANSPosição**

- Por consulta do SNIRH (<http://snirh.pt/>) obtenha as características da estação hidrométrica (coordenadas cartográficas e WGS84 e área da correspondente bacia hidrográfica), apresente uma figura com a localização geral da mesma no contexto de Portugal Continental e sistematize num quadro a amostra de caudais médios diários aí disponível de modo contínuo (i.e., sem falhas).
- Estime o escoamento anual médio afluente à estação hidrométrica, exprimindo-o em volume e em altura de água, e o correspondente módulo. Apresente os cálculos que efetuar.
- Obtenha a curva de duração média anual do caudal médio diário na bacia hidrográfica da estação hidrométrica.
- Transponha a curva de duração média anual do caudal médio diário que obteve para a estação hidrométrica para a bacia hidrográfica do 1º Trabalho, representando-a num gráfico com dois eixos verticais, um com os caudais médios diários expressos em m<sup>3</sup>/s (curva de duração com escala absoluta) e outro com caudais adimensionalizados por divisão pelo caudal modular (curva de duração adimensional). Não se esqueça de comparar as alturas do escoamento anual médio nas bacias hidrográficas da estação hidrométrica e estudada no âmbito do 1º Trabalho Prático de modo a concluir sobre a validade ou não da transposição.
- Acompanhe a curva de duração média anual do caudal médio diário referente à bacia hidrográfica em estudo de um quadro contendo a indicação dos pares dos valores da duração e do caudal representativos de alguns dos seus pontos. Estime o caudal mediano e assinale-o, conjuntamente com o módulo, sobre a anterior curva de duração

**2 APLICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL MENSAL À BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA (ver nota com a descrição geral da técnica do balanço hídrico sequencial mensal)**

Pretende-se aplicar o balanço hídrico sequencial à estação hidrométrica anteriormente analisada com vista à calibração do parâmetro S<sub>max</sub> do modelo (capacidade limite de armazenamento de água na bacia hidrográfica).

- Para o efeito, identifique previamente o período de tempo em que simultaneamente dispõe de caudais médios diários na estação hidrométrica e de registos de precipitações mensais no(s) posto(s) udométrico(s) que também lhe foi(foram) indicado(s).
- Para esse período obtenha, necessariamente a partir da amostra de caudais médios diários que recolheu anteriormente, a correspondente amostra de escoamentos mensais expressos em altura de água (mm).
- Identifique uma estação climatológica tão próxima quanto possível da bacia hidrográfica da estação hidrométrica e dispondo de registos de temperaturas mensais no período de tempo a que se referem as anteriores amostras de escoamentos e de precipitações mensais. Em alternativa, isto é, se não conseguir identificar uma estação climatológica, pode recorrer às normais climatológicas da temperatura mensal no período de 1981-2010, apresentadas no *site* do Instituto Português do Mar e

da Atmosfera para a estação climatológica mais próxima da bacia hidrográfica da estação hidrométrica, admitindo a sua repetição ano a ano (<http://www.ipma.pt/pt/> ⇒ Clima ⇒ Normais climatológicas).

- Tendo em conta temperaturas e as precipitações mensais no período a que se referem os escoamentos mensais, determine a evapotranspiração potencial mensal de Thornthwaite e aplique a técnica do balanço hídrico sequencial mensal para modelar escoamentos na estação hidrométrica.

Para o efeito, divida o período com registos em dois subperíodos: o primeiro contendo 2/3 do número total de anos e o segundo, apenas 1/3. Utilize o primeiro subperíodo para calibrar o parâmetro  $S_{max}$  (capacidade limite de armazenamento de água no solo) e o segundo subperíodo, para validar o modelo. Para calibrar o anterior parâmetro e para avaliar o desempenho geral do modelo utilize as medidas de ajustamento que lhe forem indicadas na aula. Entre essas medidas, recomenda-se o desvio quadrático médio, dado por:

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum (H_i - H_i^*)^2}{N}}$$

em que  $H_i$  representa a altura do escoamento observado no mês  $i$  e  $H_i^*$  a estimativa dada pelo modelo para esse mesmo mês e  $N$  é o número total de termos (meses) intervenientes no somatório. A anterior medida tem de ser aplicada de modo separado aos períodos de calibração e de validação.

- Para os períodos de calibração e de validação, represente graficamente, ao longo dos sucessivos meses, os escoamentos mensais registados na estação hidrométrica e calculados pelo modelo. Assinala no gráfico o fim daquele primeiro período/início do segundo.
- Para o período de calibração, obtenha os valores médios mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial e do escoamento e represente-os num mesmo gráfico.

### 3 AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO ANUAL MÉDIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO PRIMEIRO TRABALHO PRÁTICO

- Aplique a fórmula de TURC para estimar o escoamento anual médio na bacia hidrográfica. Para o efeito atenda aos valores anuais médios que então estimou para a precipitação e temperatura do ar. Compare o resultado da anterior fórmula com a estimativa da altura em causa que também obteve no âmbito do 1º trabalho.

---

#### NOTA Descrição geral da técnica do balanço hídrico sequencial mensal

A técnica do balanço hídrico sequencial utiliza a equação de continuidade referida a um sistema genérico para o qual são contabilizadas as contribuições de água nele “entradas” (fluxos de entrada) e dele “saídas” (fluxos de saída), bem como a variação do armazenamento no próprio sistema.

Requer que se disponha de registos mensais da precipitação,  $P$ , e de valores estimados da evapotranspiração potencial mensal,  $ETP$ , fornecendo como resultados valores mensais da evapotranspiração real,  $ETR$ , do défice hídrico,  $D$ , do excesso hídrico,  $SH$ , e do volume de água armazenado no solo por unidade de área,  $S$ .

Embora com carácter aproximado – que decorre do facto de o balanço hídrico sequencial desprezar a infiltração profunda, as perdas de precipitação e as eventuais contribuições externas –, admite-se que o excesso hídrico,  $SH$ , possa ser localmente entendido como um limite superior do escoamento superficial.

Apresenta-se seguidamente a sistematização de alguns dos conceitos antes mencionados:

- Evapotranspiração potencial,  $ETP$ : conceito introduzido por Thornthwaite, referente à quantidade máxima de água (mm) que, num dado intervalo de tempo, um solo completamente abastecido de água e com uma cobertura vegetal completa, cede à atmosfera, quer por transpiração das plantas, quer por evaporação direta do solo (no âmbito do 3º Trabalho Prático a calcular pela fórmula de Thornthwaite).
- Evapotranspiração real,  $ETR$ : quantidade de água (mm) que, num dado intervalo de tempo, o solo realmente cede à atmosfera, quer por transpiração das plantas, quer por evaporação direta a partir do solo.

Na impossibilidade de se medir diretamente a evapotranspiração real, a técnica do balanço hídrico sequencial mensal conduz à sua avaliação indireta para o que considera que nos meses em que a precipitação é igual ou superior à evapotranspiração potencial ( $P \geq ETP$ ), a evapotranspiração real iguala a potencial ( $ETR = ETP$ ); sendo a precipitação mensal inferior àquela evapotranspiração, admite-se que a evapotranspiração real é a soma da precipitação com a quantidade de água cedida pelo solo ( $ETR = P+S$ ). Por definição,  $ETR$  não pode ser superior a  $ETP$ .

- Superavit ou excesso hídrico,  $SH$ : excesso de precipitação relativamente à soma da evapotranspiração potencial com a quantidade de água cedida ao solo,  $S$ , até ao seu completo abastecimento de água. Nos meses em que a precipitação é inferior ou igual à soma de  $ETP$  com  $S$  não há superavit. Nos meses em que a precipitação é

superior ao valor da soma de  $ETP$  com  $S$  há superavit que será responsável pelos escoamentos superficial e em profundidade.

- Déficit hídrico,  $D$ : valor da diferença entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real no intervalo de tempo em consideração. A existência de déficit significa que a água precipitada e retida no solo é insuficiente para o bom desenvolvimento da vegetação local.

Em linhas gerais, na sua aplicação, a técnica de balanço hídrico sequencial mensal considera que:

- Se, num dado mês, a precipitação,  $P$ , exceder a evapotranspiração potencial,  $ETP$ , haverá cedência de água pela atmosfera ao solo, admitindo-se que a evapotranspiração real,  $ETR$ , iguale a  $ETP$ . Se o solo não estiver plenamente abastecido de água, o excesso de  $P$  sobre  $ETP$  fica retido no mesmo até se atingir a sua capacidade limite de armazenamento de água no solo,  $S_{max}$ . Havendo ainda remanescente de precipitação, tal remanescente escoar-se à superfície e penetra no subsolo.
- Nos meses em que  $P$  é inferior a  $ETP$ , existe cedência de água do solo à atmosfera, sendo a  $ETR$  superiormente limitada pela soma da precipitação e da quantidade de água que o solo pode ceder enquanto nele existir água disponível.

O valor limite da quantidade de água que o solo pode ceder à atmosfera, que é também o valor limite da quantidade de água que o mesmo pode reter até ficar amplamente abastecido,  $S_{max}$ , depende da natureza do solo e do seu revestimento vegetal. Na aplicação a efetuar este parâmetro será objeto de calibração.

As equações que, de modo resumido, descrevem para um dado mês  $i$ , referenciado em índice, as estimativas dos valores mensais médios da evapotranspiração real ( $ETR$ ), do déficit hídrico ( $D$ ) e do excesso hídrico ( $S$ ), partindo dos valores mensais médios da precipitação ( $P$ ), da evapotranspiração potencial ( $ETP$ ) são dadas por:

$$ETR_i = \begin{cases} ETP_i & \text{se } P_i \geq ETP_i \\ P_i + (S_{i-1} - S_i) & \text{se } P_i < ETP_i \end{cases} \quad \wedge ETR_i \leq ETP_i$$

$$DH_i = ETP_i - ETR_i$$

$$SH_i = \max\{P_i - ETP_i + (S_{i-1} - S_i); 0\}$$

$$S_i = \begin{cases} \min[S_{i-1} + P_i - ETP_i; S_{max}] & \text{se } P_i \geq ETP_i \\ S_{i-1} e^{L_i / S_{max}} & \text{se } P_i < ETP_i \end{cases}$$

$$L_i = \begin{cases} L_{i-1} + (P_i - ETP_i) & \text{se } L_{i-1} + (P_i - ETP_i) < 0 \\ 0 & \text{se } L_{i-1} + (P_i - ETP_i) \geq 0 \end{cases} \quad \Leftrightarrow \quad L_i = \min\{L_{i-1} + (P_i - ETP_i); 0\}$$

Como antes exposto, os valores da água do solo,  $S$ , são obtidos da seguinte forma: nos meses em que  $P$  é superior ou igual a  $ETP$ , o valor da água do solo obtém-se pela adição do valor da diferença  $P-ETP$  do mês, à água do solo do mês anterior, até se atingir o valor da capacidade máxima,  $S_{max}$ , sendo o restante considerado como excesso de água,  $SH$ ; nos meses em que  $P$  é inferior a  $ETP$  surge um déficit de água e o valor de água do solo,  $S$ , é determinado pela equação antes apresentada e a seguir reproduzida, que admite que a intensidade da evapotranspiração real se atenua à medida que diminui o teor de água no solo:

$$S_i = S_{i-1} e^{L_i / S_{max}}$$

em que  $S_{max}$  representa o valor máximo da capacidade de água utilizável e  $L$ , o valor da perda potencial de água ( $P-ETP$ ) acumulada desde o início do período seco.

De modo a atender ao diferimento temporal entre a precipitação e o escoamento originado por essa precipitação, considera-se que o escoamento num dado mês  $i$ ,  $R_i$ , pode ser aproximado pela semi-soma dos excessos hídricos nesse mês e no mês precedente, ou seja:

$$R_i = \frac{1}{2}(SH_i + SH_{i-1})$$



Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Hidrologia e Recursos Hídricos  
2018/19 – 2º semestre

**3º TRABALHO PRÁTICO: CÁLCULO DE HIDROGRAMAS DE CHEIA**

No presente trabalho (i) caracterizam-se as precipitações intensas que estão na origem das cheias fluviais naturais na bacia hidrográfica objeto do 1º Trabalho Prático; (ii) determina-se o hidrograma da cheia centenária por mais de um método; e (iii) procede-se ao respetivo amortecimento na albufeira criada por uma hipotética barragem localizada na secção de referência da bacia.

**1 PRECIPITAÇÕES INTENSAS. LINHA DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA/CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE 100 E 1000 ANOS**

**1.1 Precipitação diária máxima anual**

- Identifique, eventualmente de entre os postos adotados no 1º Trabalho, o localizado o mais próximo possível da bacia hidrográfica e que disponha de registos da precipitação diária máxima anual durante pelo menos 25 anos (não necessariamente temporalmente contínuos). Identifique esse posto pelo nome, código, coordenadas cartográficas no Sistema Hayford-Gauss Militar, datum Lisboa, e coordenadas WGS84.
- Proceda ao tratamento estatístico da amostra de precipitações diárias máximas anuais desse posto de modo a identificar a função de distribuição de probabilidades que melhor se ajusta à mesma. Para o efeito, considere as leis Normal, log-normal (ou de Galton), Gumbel, de Pearson III e log-Pearson III. Para verificar a qualidade do ajustamento das anteriores leis estatísticas represente-as, conjuntamente com os correspondentes pontos amostrais, num gráfico tendo em ordenadas o valor da variável aleatória analisada (precipitação diária máxima anual) e em abcissas a variável normal reduzida ( $z$ ) – papel de probabilidade da lei Normal. No cálculo das probabilidades empíricas de não-excedência dos pontos amostrais aplique a fórmula de Weibull, também, considerada adequada ao tratamento estatístico de variáveis hidrológicas relacionadas com acontecimentos hidrológicos extremos. Organize sob a forma de tabelas os dados, bem como todos os resultados das sucessivas etapas de cálculo.
- Identifique a lei com melhor ajuste e especifique, de acordo com essa lei, as precipitações diárias máximas anuais com os períodos de retorno de 20, 50, 100 e de 1 000 anos.

**1.2 Linhas de possibilidade udométrica e curvas de intensidade-duração-frequência**

- A partir das anteriores estimativas de precipitação, estabeleça as linhas de possibilidade udométrica para cada um dos anteriores períodos de retorno aplicáveis à bacia hidrográfica em estudo, bem como as correspondentes curvas intensidade-duração-frequência (curvas IDF). Para o efeito e de modo separado para os períodos de retorno de 100 e de 1000 anos, atenda à localização geográfica da bacia e retire de BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; COSTA, J. P., 2001, *Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, DSRH, Instituto da Água, INAG, Lisboa*, os quocientes entre as precipitações máximas anuais (relativas ao período de aquisição de informação das 9:00 às 9:00) com 1 e 6 h (em numerador) e 24 h (em denominador), bem como entre as precipitações máximas anuais com 5, 10, 15 e 30 min (em numerador) e 1 h (em denominador).
- A partir dos anteriores quocientes, estime, para cada período de retorno, as precipitações máximas anuais na bacia hidrográfica com cada uma das anteriores durações. Com base nessas precipitações, complementadas pela sua estimativa da precipitação diária máxima anual com o período de retorno em consideração, estabeleça a linha de possibilidade udométrica, recorrendo à análise de regressão linear simples no campo das transformadas logarítmicas das precipitações e das respetivas durações.
- Represente, num gráfico duplamente logarítmico, a linha de possibilidade udométrica, bem como os pontos que lhe serviram de base, organizando-os sob a forma de um quadro.

- Apresente a equação, quer da anterior linha, quer da correspondente curva IDF, necessariamente especificando as unidades das grandezas que nelas figuram.

## 2 ESTABELECIMENTO DOS HIDROGRAMAS DA CHEIA CENTENÁRIA EM CONDIÇÕES NATURAIS

Pretende-se caracterizar a cheia natural na secção de referência da bacia hidrográfica analisada no 1º Trabalho em consequência da precipitação intensa com duração igual ao tempo de concentração da bacia e com período de retorno de 100 anos (precipitação de projeto) que obteve na alínea precedente. Para tal, execute as etapas seguidamente indicadas.

### 2.1 Hietogramas de projeto

- Adote para o tempo de concentração da bacia hidrográfica,  $t_c$ , a média dos tempos fornecidos pelas seguintes fórmulas de Giandotti, Temez, Kirpich e NERC.
- Calcule a precipitação total de projeto, ou seja, a precipitação total com duração igual ao tempo de concentração,  $t_c$ , e com o período de retorno de 100 anos mediante utilização da linha de possibilidade udométrica que estabeleceu para aquele período de retorno.
- No pressuposto de perdas de precipitação no valor de 30% da precipitação total, caracterize a precipitação efetiva de projeto através de dois hietogramas, um uniforme e outro não uniforme, constituído por 6 blocos alternados, cada com a duração de  $1/6$  de  $t_c$ . Considere que as perdas de precipitação, no caso do hietograma uniforme, são também uniformes e que no caso do hietograma não uniforme, são iguais a 30% da precipitação de cada bloco. No estabelecimento do hietograma não uniforme atenda à forma do hidrograma unitário proposta por *HIPÓLITO, J.R.; SANTOS, E.G.; PORTELA, M.M., 2006, "Contribuição para o estabelecimento de um fator de majoração para a fórmula racional", Recursos Hídricos, 27(2):47-53, ISSN 0870-1741, Lisboa., disponível na página da cadeira.*

### 2.2 Hidrograma unitário e hidrogramas de cheia

- Obtenha o hidrograma de cheia para cada um dos anteriores hietogramas. Para o efeito considere a aplicação de um hidrograma unitário sintético, HUS, triangular para a precipitação efetiva de 1 mm, e duração de  $1/6$  de  $t_c$ , sendo que o hidrograma unitário tem um pico a ocorrer a  $2/6$  do tempo de concentração e o tempo de base de  $7/6$   $t_c$ . Para calcular o caudal de ponta de cheia do HUS atenda à igualdade entre o volume da precipitação efetiva que origina tal hidrograma e o correspondente volume do escoamento direto. No cálculo subsequente não se esqueça que o anterior hidrograma unitário tem de ser discretizado para o intervalo de tempo considerado na discretização temporal da precipitação efetiva de projeto
- Obtenha os volumes ( $\text{hm}^3$ ) das precipitações total e efetiva, bem como o volume da onda de cheia afluyente (em  $\text{hm}^3$  e em mm). Confirme que este volume é igual para ambos os hietogramas.

### 2.3 Fórmula racional

- Calcule o caudal de ponta de cheia natural centenária fornecido pela fórmula racional sem e com fator de majoração aplicada à precipitação de projeto. Considere o valor de 0.7 para o coeficiente C daquela fórmula.
- Compare os caudais de ponta da cheia centenária resultantes da aplicação do hidrograma unitário à precipitação efetiva com e sem intensidade uniforme e da fórmula racional sem e com fator de majoração.

## 3 AMORTECIMENTO DE ONDAS DE CHEIA EM ALBUFEIRAS

Admita que na secção que define a bacia hidrográfica analisada no 1º Trabalho vai ser construída uma barragem que criará uma albufeira destinada ao amortecimento de ondas de cheia. Pretende-se determinar o hidrograma da onda de cheia amortecida pela albufeira correspondente ao hidrograma da onda de cheia afluyente à mesma para o período de retorno de 100 anos, obtido na alínea precedente para hietograma da precipitação não uniforme.

Para o efeito, admita que a albufeira tem a forma prismática com a área da base de 1% da área bacia hidrográfica. Considere ainda que a albufeira é munida de um descarregador de cheias sem comportas, ou seja, com descarga livre não controlada.

Previamente ao estudo do amortecimento dimensione a largura  $b$  do descarregador no pressuposto de que, se não houvesse qualquer amortecimento de cheia, a carga máxima sobre a crista da soleira do descarregador seria de 3.0 m. A lei de vazão do descarregador é dada por:

$$Q_p = c b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

em que  $Q_p$  é o caudal de ponta da cheia afluyente,  $H$  a carga sobre a crista da soleira descarregadora e  $c$  o coeficiente de vazão considerado constante e igual a 0.45.

Considere que no início da onda de cheia, superfície da água na albufeira se encontra à cota do nível de pleno armazenamento da albufeira, NPA, que coincide com a crista da soleira descarregadora.

No cálculo da onda de cheia amortecida utilize a equação da continuidade descrita por diferenças finitas para um passo de cálculo igual a um trigésimo do tempo de concentração da bacia hidrográfica ( $t_c/30$ ). Entre cada dois passos de cálculo sucessivos a anterior equação é resolvida a menos de um erro, necessariamente com um valor muito pequeno.

Na apresentação de resultados e para além da indicação dos dados de base, inclua uma tabela com os valores, ao longo dos sucessivos instantes de cálculo, dos caudais afluentes e efluentes, dos volumes armazenados na albufeira acima do NPA e das correspondentes cotas da superfície livre e, num mesmo gráfico, os hidrogramas afluyente e efluyente pelo menos até ao instante  $6 t_c$ .