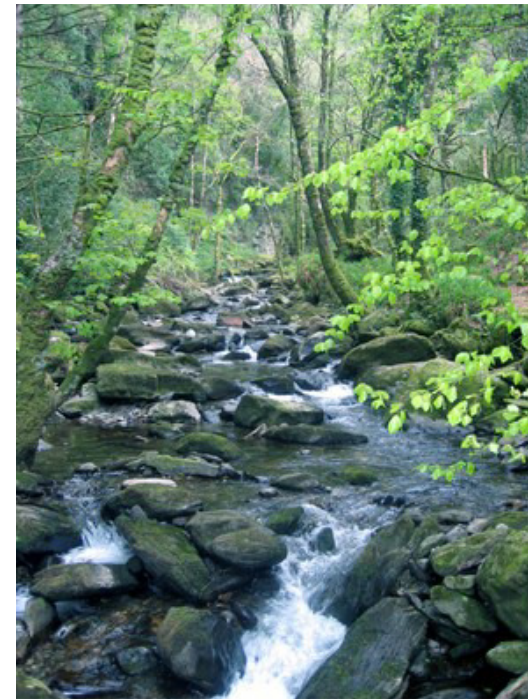


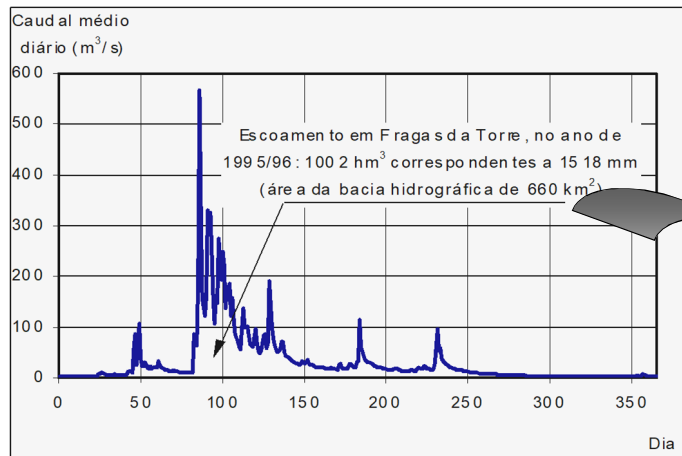
Noções básicas de hidrologia

✓ Escoamento

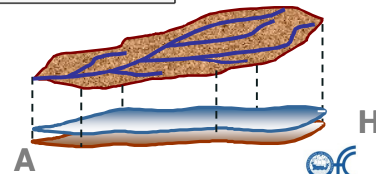
Maria Manuela Portela



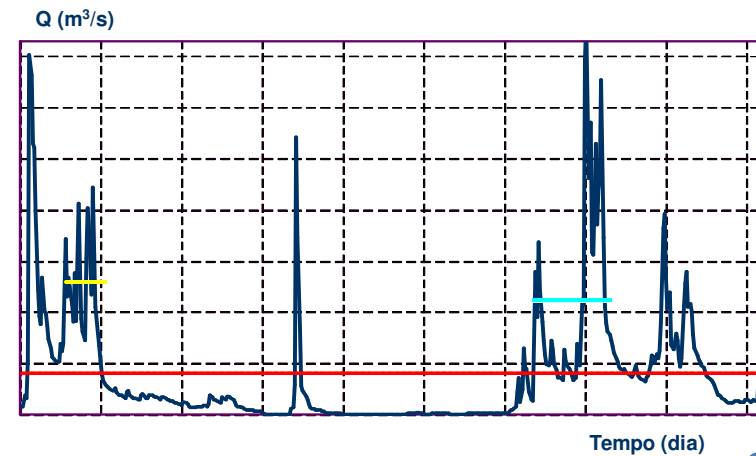
- ✓ O ESCOAMENTO numa dada secção de um rio, num dado intervalo de tempo, respeita à quantidade de água que, nesse intervalo de tempo atravessa aquela secção.
- ✓ Obtém-se por integração dos caudais que atravessam essa secção.
- ✓ Para um dado intervalo de tempo, pode ser expresso em volume, em altura de água uniformemente distribuída sobre a área em planta da bacia hidrográfica definida por aquela secção e por meio dos próprios caudais.



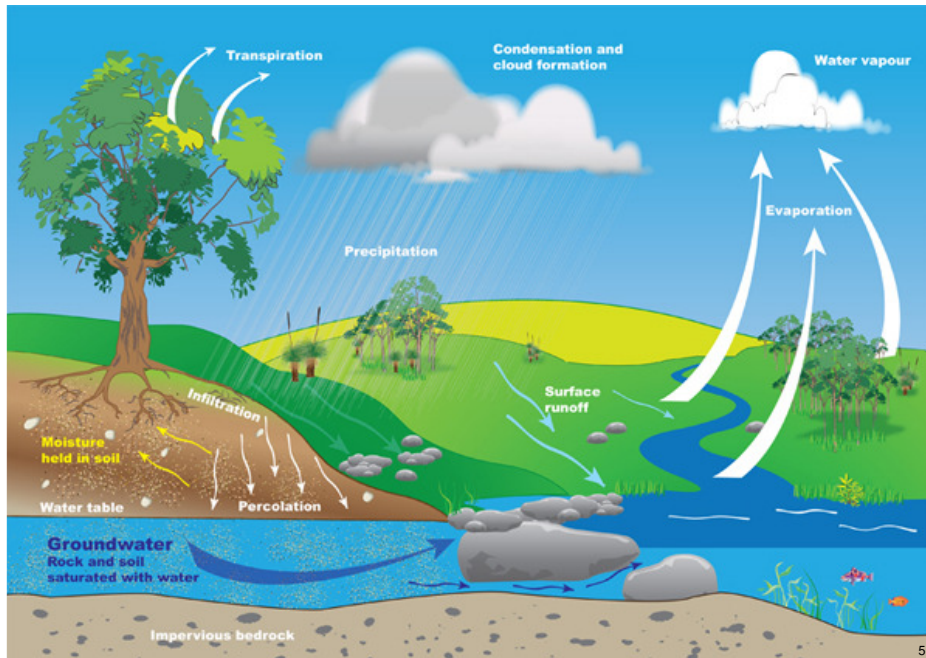
$$V = \int Q dt$$



Caudal → grandeza intrinsecamente instantânea → noção de **caudal médio** num dado intervalo de tempo: **caudal fictício**, uniforme, que, no mesmo intervalo de tempo, transporta um volume de escoamento igual ao realmente resultante da sucessão de caudais reais (caudal médio anual; caudal médio no dia 3 de Novembro, caudal médio diário, caudal médio no mês de Janeiro; etc.).



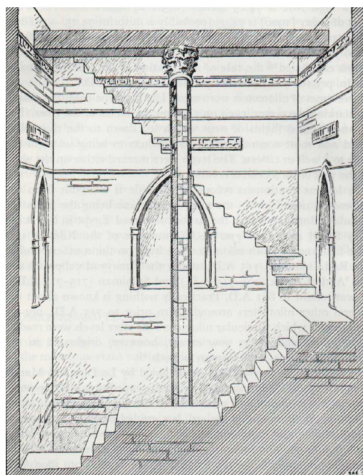
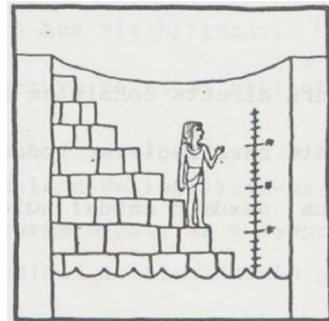
Representação esquemática do processo de formação do escoamento



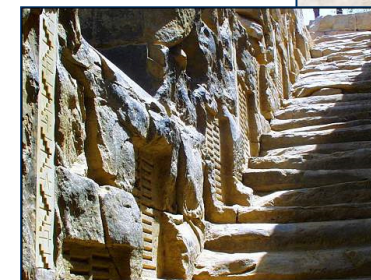
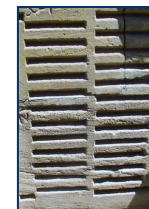
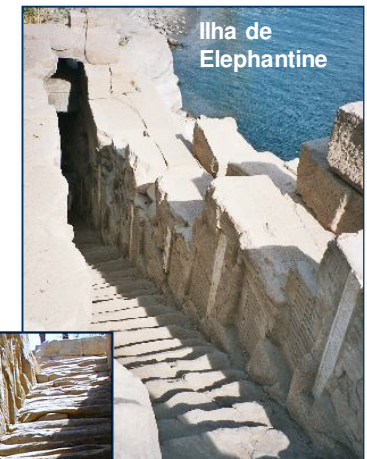
Os registos mais antigos de nível ... rio Nilo, datando de 3000 a 3500 a.C. e sendo visíveis nos fragmentos de um antigo monumento.

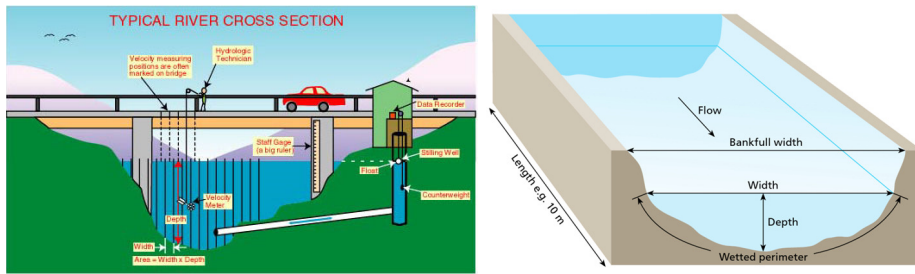
Medições históricas de níveis fluviais no rio Nilo, Egito

Os **nilómetros** mais simples consistiam em simples marcas executadas nas margens do rio ou em paredes de monumentos; os mais aperfeiçoados utilizavam poços ou ou cisternas alimentadas pelas águas do rio Nilo por meio de condutas. Os níveis eram registados nas paredes da estrutura ou, por vezes, em colunas centrais.



O **nilómetro** mais famoso localiza-se na Ilha de Roda e fornece registos contínuos de níveis máximos e mínimos desde 641 d.C. até 1889 d.C., data de início da construção da primeira barragem de Assuão. A construção ou reconstrução do nilómetro de Roda é atribuída aos árabes, após a sua conquista do Egito - figura ao lado reconstrução de 1798.

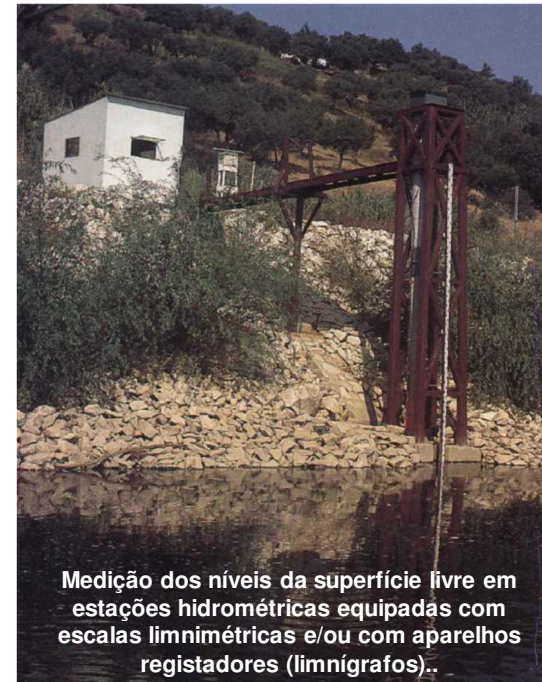




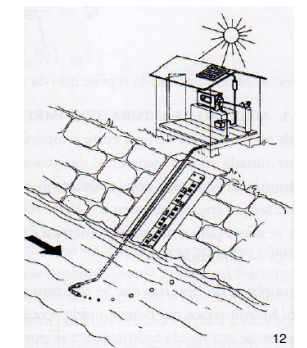
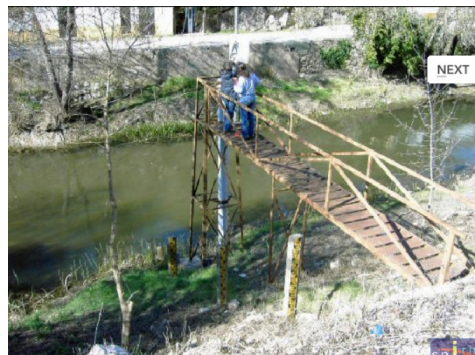
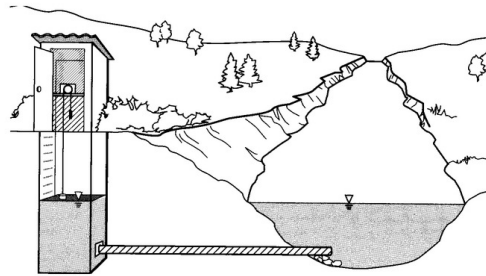
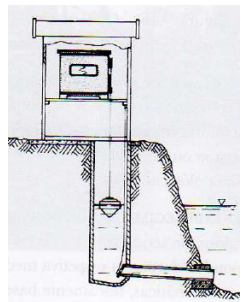
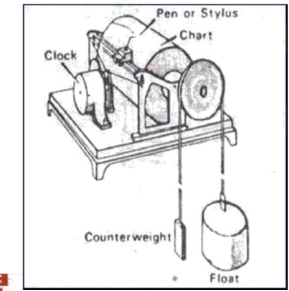
Em secções da rede fluvial - estações hidrométricas - são adquiridos valores do caudal, Q , calculados a partir da medição da velocidade do escoamento através da secção transversal, V , e da área desta secção, S :

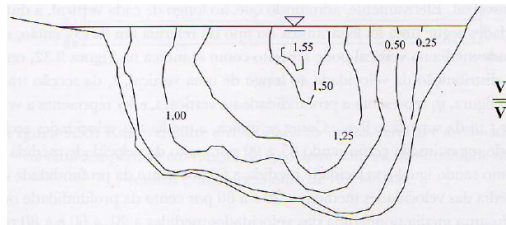
$$Q = V S$$

... mas como obter V e S ?



Medição dos níveis da superfície livre em estações hidrométricas equipadas com escalas limnimétricas e/ou com aparelhos registadores (limnigrafos)..

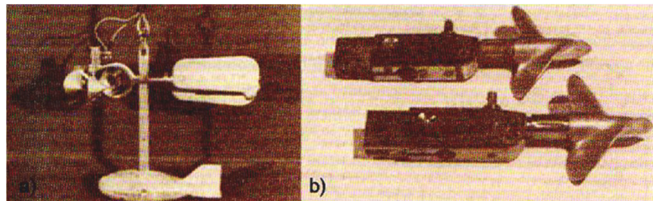




Distribuição de velocidades na secção transversal de um curso de água



Medição a vau com molinete eletromagnético (ott)

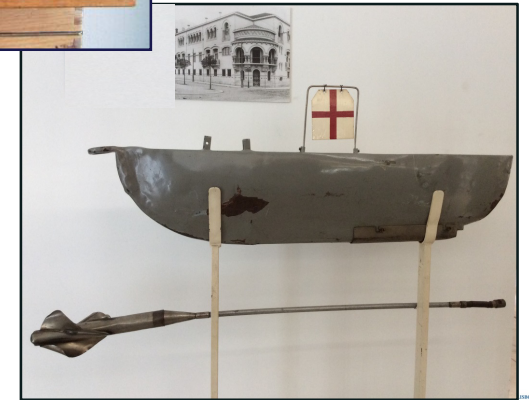


Molinetes hidráulicos: a) molinete de eixo vertical do tipo Price, com cabo de suspensão, leme direccional e contrapeso; b) molinetes de eixo horizontal do tipo Ott

Fonte: "Hidrologia e Recursos Hídricos", IST Press (2011)



1870 (primeiro molinete hidráulico utilizado em Portugal)

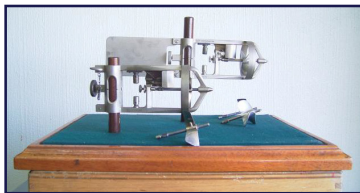


1875 (com flutuador, para medição à superfície em condições de cheia)

Espólio na posse do IST

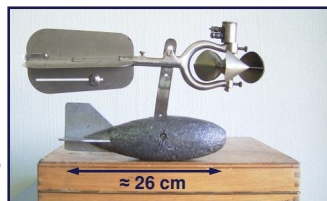
Molinetes mecânicos

Espólio na posse do IST



Molinetes eléctricos

1920 (para pequenos rios)

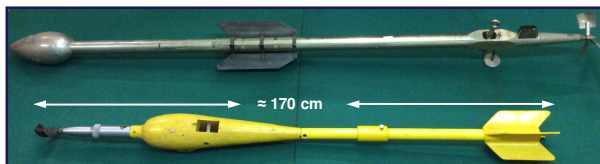


1928 (de roda de copos)

≈ 26 cm



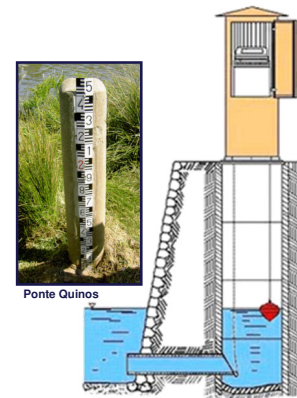
Com flutuador, para medição à superfície



Aplicáveis em condições de cheia

≈ 170 cm

Espólio na posse do IST



Ponte Quinos



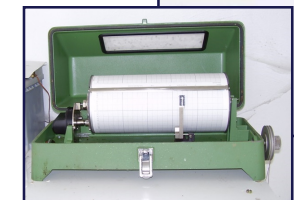
Limnógrafo de flutuador de tambor vertical e registo diário ou semanal para colocação em poço



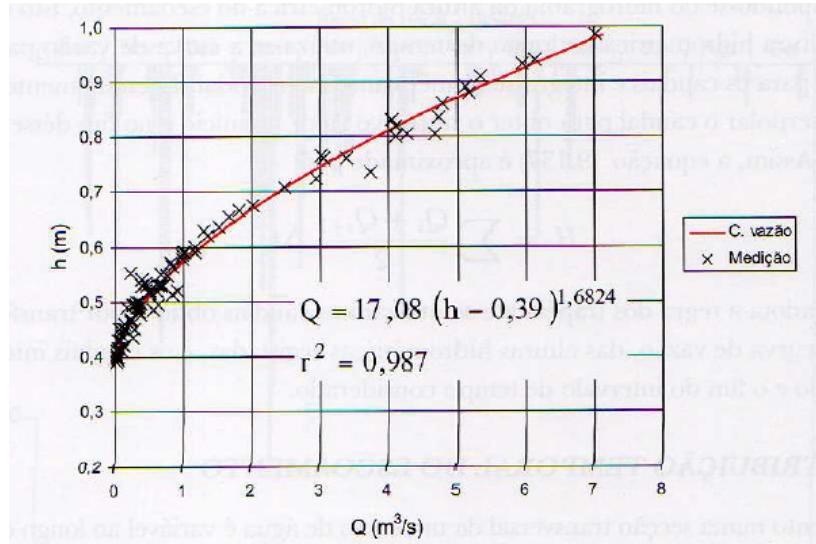
Limnógrafo de flutuador de tambor horizontal



Escala limnimétrica

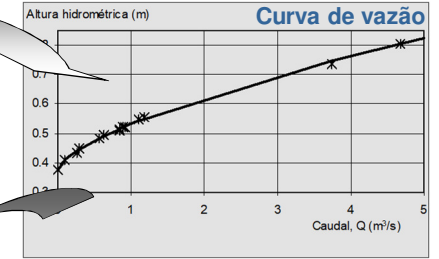
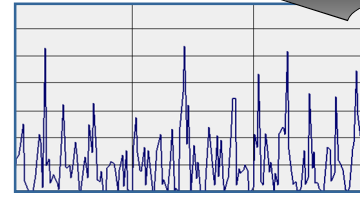


Curva de vazão de um curso de água em determinada secção transversal



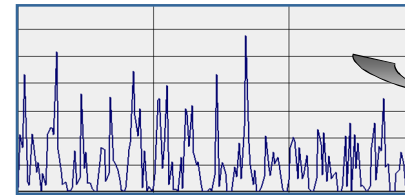
Fonte: "Hidrologia e Recursos Hídricos", IST Press (2011)

REGISTOS DAS ALTURAS HIDROMÉTRICAS



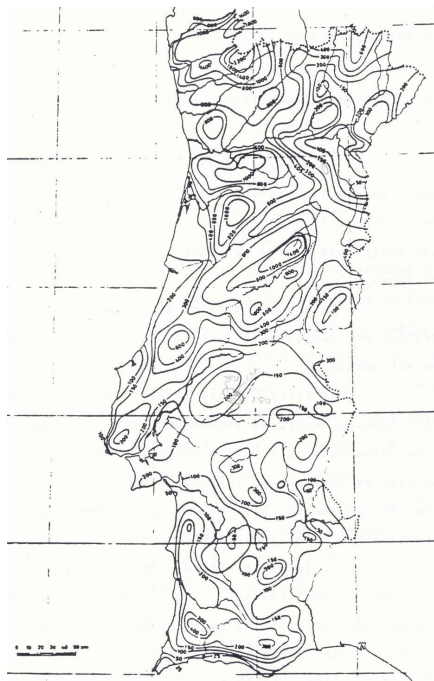
Escoamento no intervalo de tempo entre t_1 e t_2

SÉRIE CRONOLÓGICA DE CAUDAIS



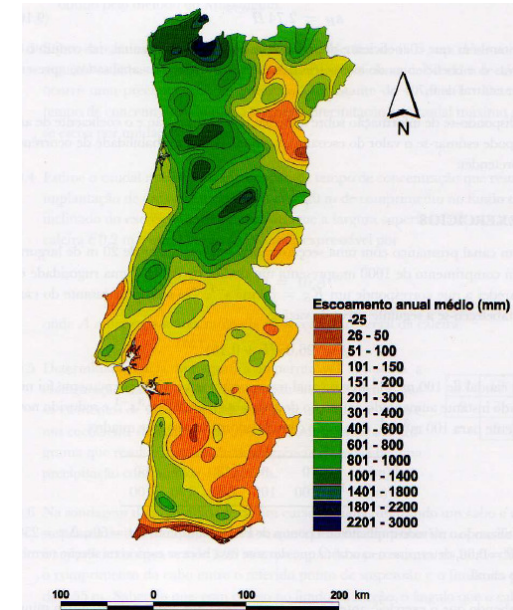
$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt$$

$$H'' = \frac{V}{A}$$

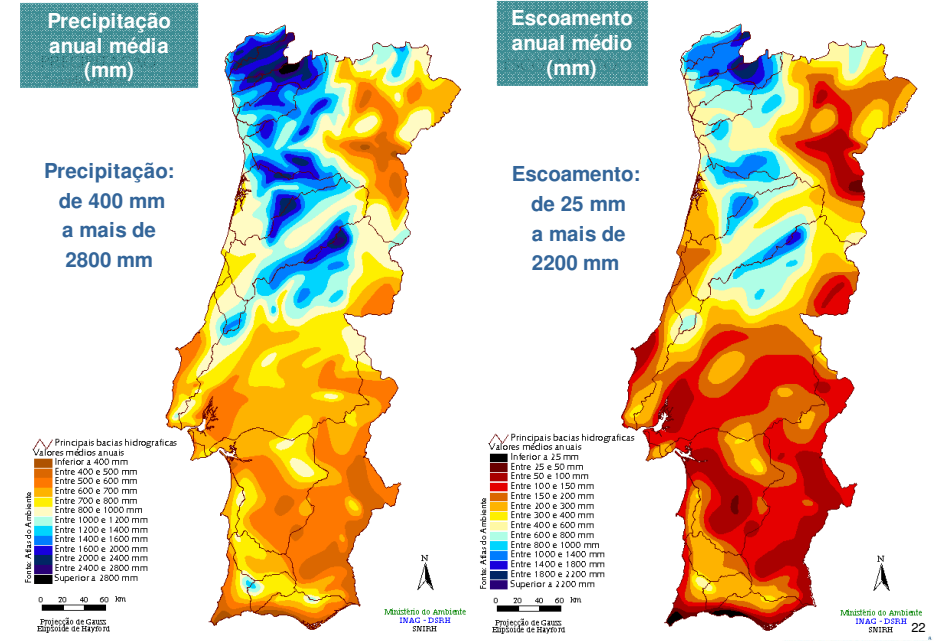
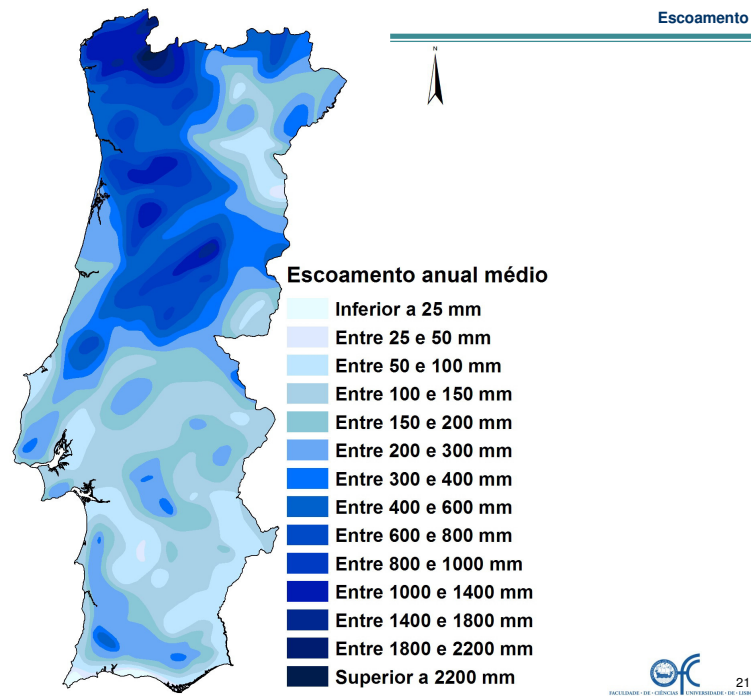


Mapas de isolinhas do escoamento anual médio expresso em altura de água (altura do escoamento anual médio) (mm)

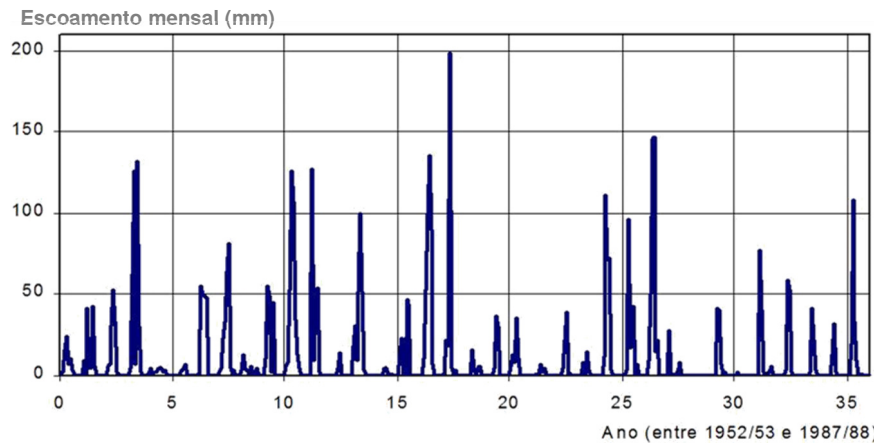
Distribuição do escoamento anual médio em Portugal continental



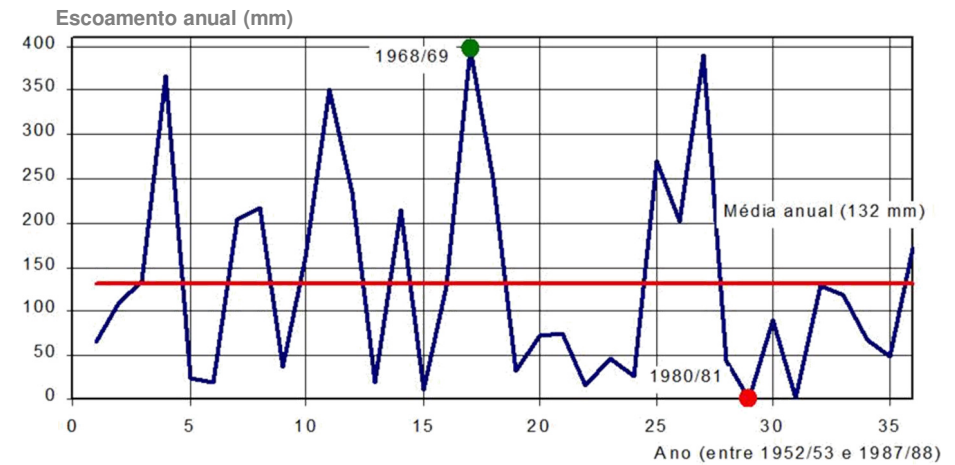
Fonte: "Hidrologia e Recursos Hídricos", IST Press (2011)



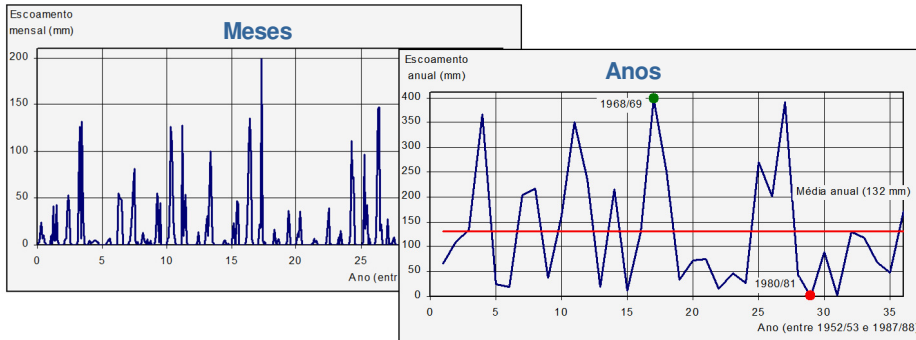
Diagramas cronológicos dos escoamentos mensais e anuais, na estação hidrométrica de Monte da Ponte, no rio Cobres (bacia hidrográfica do rio Guadiana), período de 36 anos compreendido entre 1952/53 e 1987/88



Diagramas cronológicos dos escoamentos mensais e anuais, na estação hidrométrica de Monte da Ponte, no rio Cobres (bacia hidrográfica do rio Guadiana), período de 36 anos compreendido entre 1952/53 e 1987/88



Diagramas cronológicos dos escoamentos mensais e anuais, na estação hidrométrica de Monte da Ponte, no rio Cobres (bacia hidrográfica do rio Guadiana), período de 36 anos compreendido entre 1952/53 e 1987/88

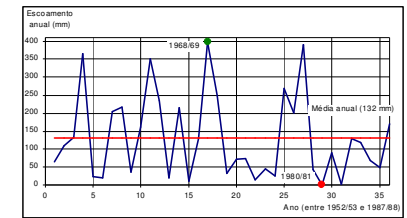
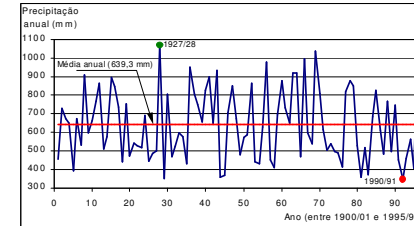


ACENTUADA VARIABILIDADE TEMPORAL do escoamento característica do clima de Portugal Continental em média, cerca de **95%** do escoamento registado na estação hidrométrica de Monte da Ponte ocorreu no semestre de **húmido**, de Outubro a Março, e somente o remanescente, de **5%**, no semestre **seco**, de abril a setembro.

Em Portugal Continental, o **ESCOAMENTO** tem **MAIOR VARIABILIDADE** temporal do que a precipitação em média, mais de **95%** do escoamento anual registado na estação hidrométrica de Monte da Ponte ocorreu no semestre de húmido, de outubro a março, e somente o remanescente, de **5%**, no semestre seco, de abril a setembro

Precipitação registada no posto de Évora: 75% no **semestre de húmido**, de outubro a março, e o remanescente, de 25%, no **semestre seco**, de abril a setembro

Escoamento registado na estação de Monte da Ponte: 95% no **semestre de húmido**, de outubro a março, e o remanescente, de 5%, no **semestre seco**, de abril a setembro

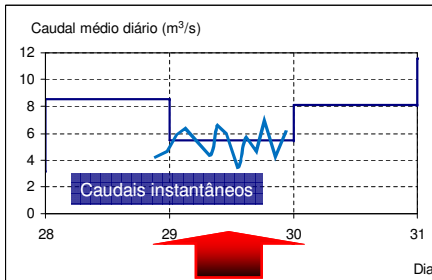
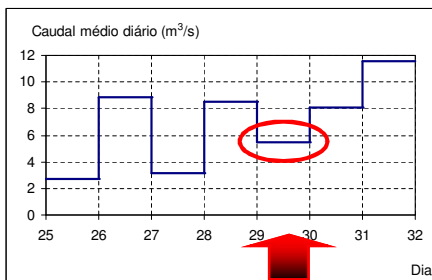
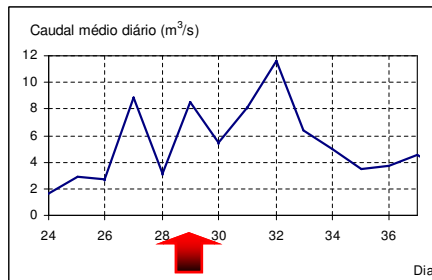
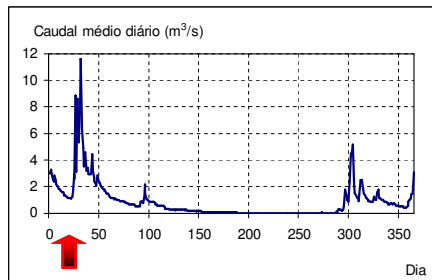


... em média

Precipitação: 70 e 30%

Escoamento: 80% e 20%

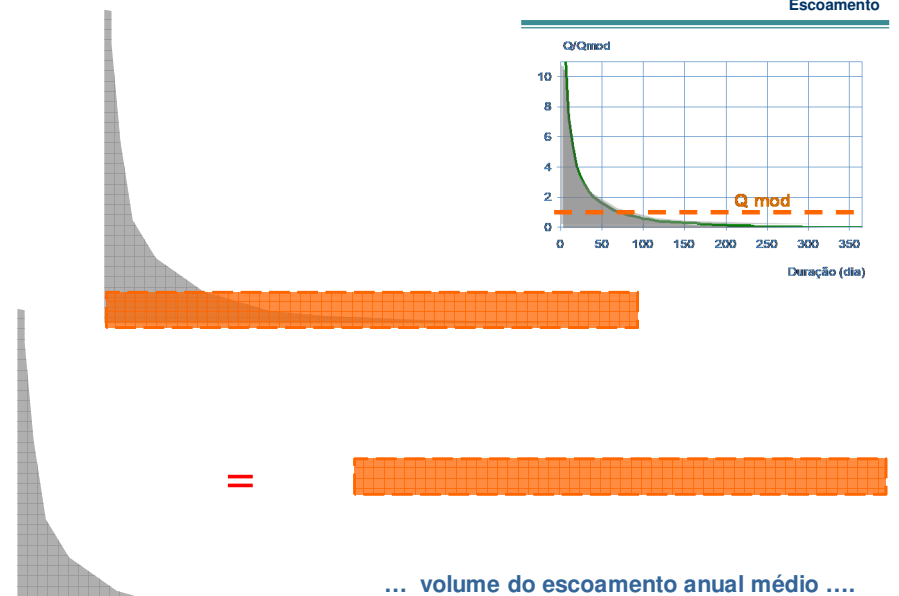
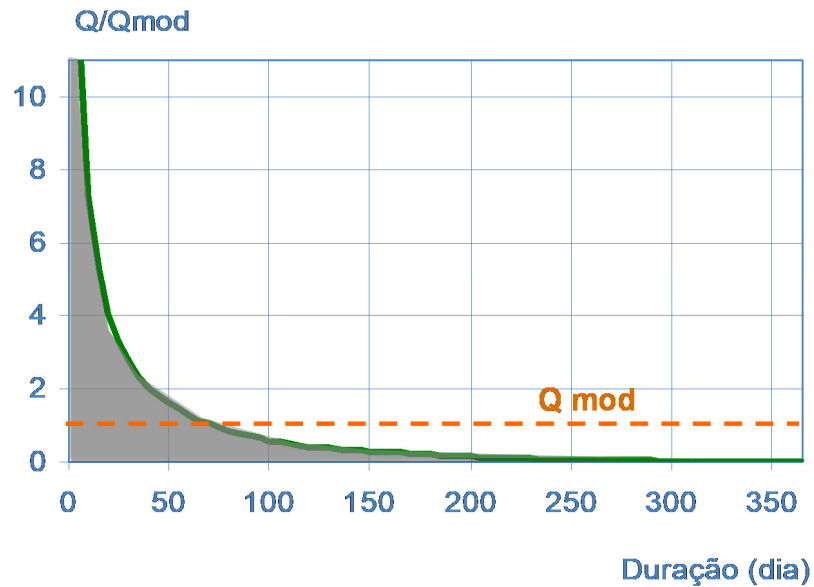
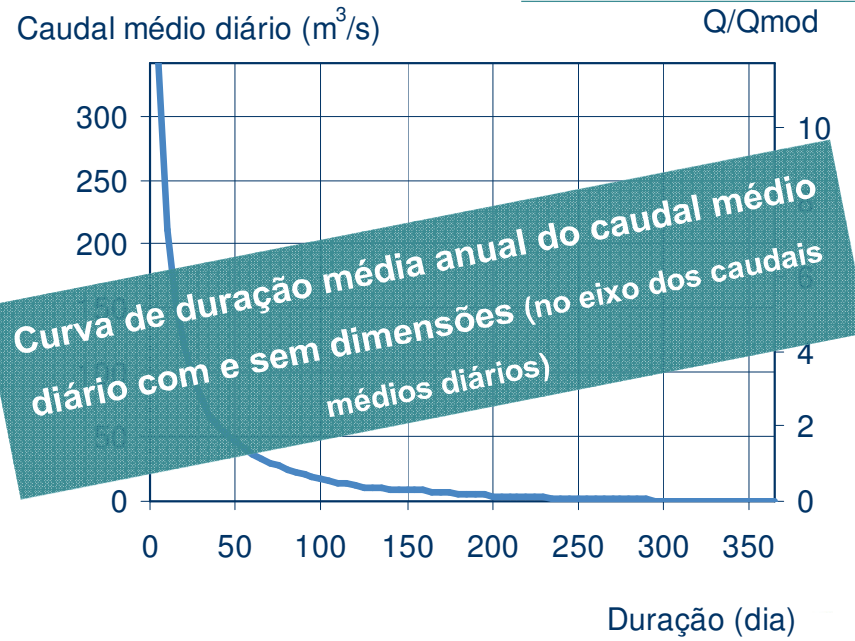
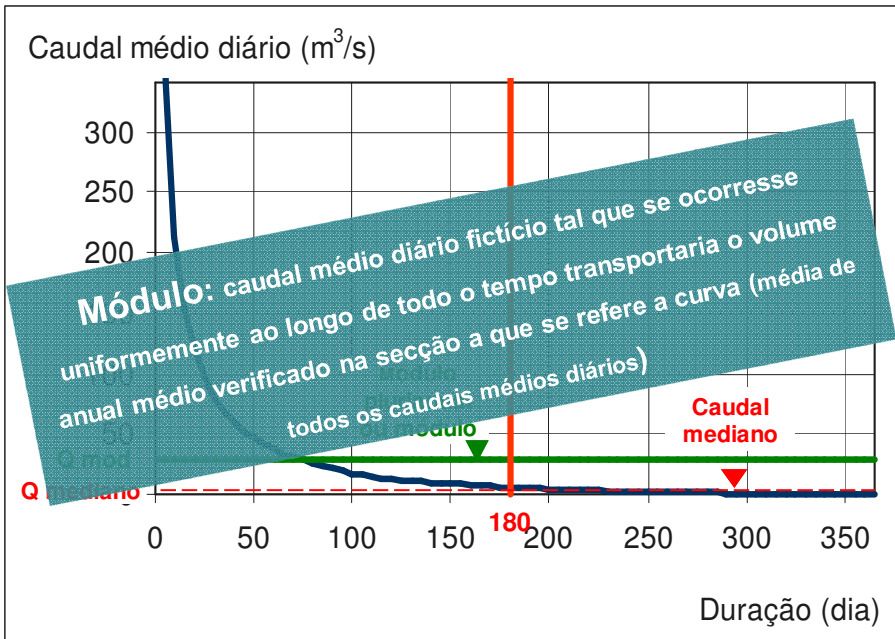
Diagrama cronológico do caudal médio diário (caudal fictício que).



Caraterização do regime diário dos escoamentos fluviais → **CURVA de duração média anual do caudal médio diário**: curva que, para cada caudal médio diário, fornece o número médio de dias por ano em que esse caudal é igualado ou excedido, ou seja, a duração desse caudal.

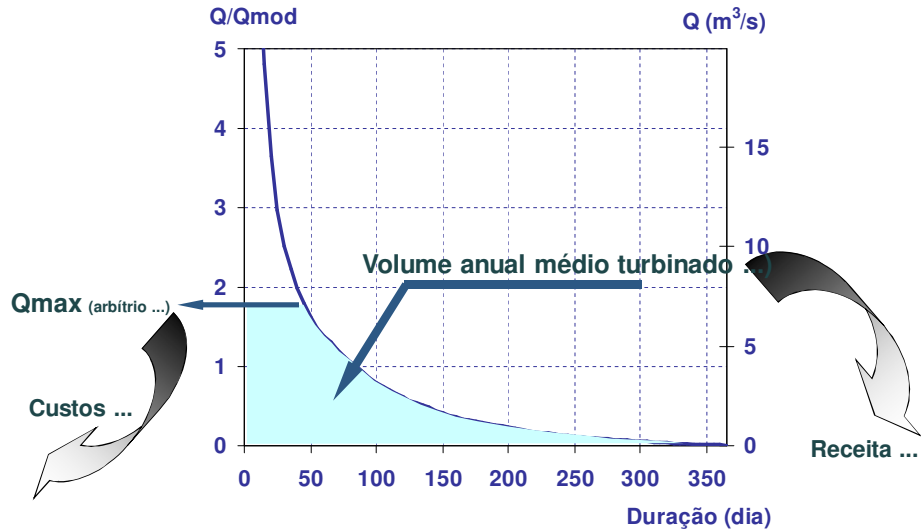
Caudal médio diário (m^3/s)



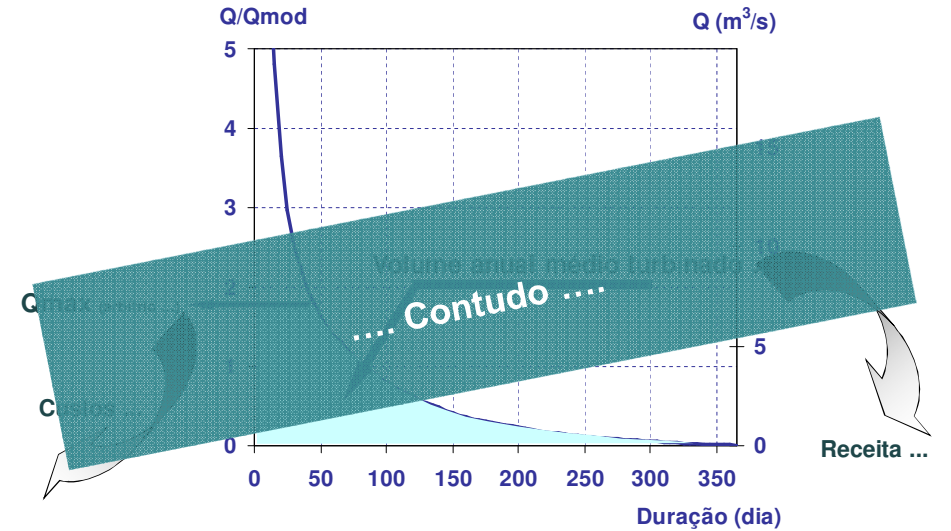


- Apesar de as curvas de duração não fornecerem qualquer indicação sobre a sucessão cronológica dos caudais médios diários, possibilitam uma caracterização sintética do regime hidrológico diário.
- Podem ser diretamente utilizadas como critério de dimensionamento de aproveitamentos hidroelétricos sem capacidade de regularização, ou seja, de aproveitamentos a fio-de-água (*run-of-river hydropower schemes*).





Comparação de soluções definidas por diferentes valores de Q_{max} por recurso a critérios de análise económica ...



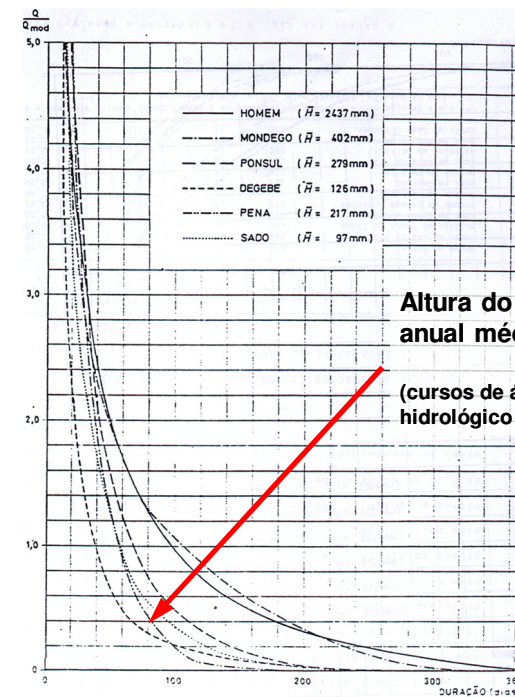
Comparação de soluções definidas por diferentes valores de Q_{max} por recurso a critérios de análise económica ...

REDE HIDROMÉTRICA



A rede de monitorização de alturas hidrométricas é muito mais esparsa do que a rede de medição de precipitações, sendo que as amostras de escoamentos aí recolhidas têm muito frequentemente dimensões insuficientes e apresentam numerosas falhas.

.... estudos adicionais para Portugal Continental visando a regionalização de informação hidrométrica a partir de secções da rede fluvial nas quais essa informação está disponível (secções monitorizadas).

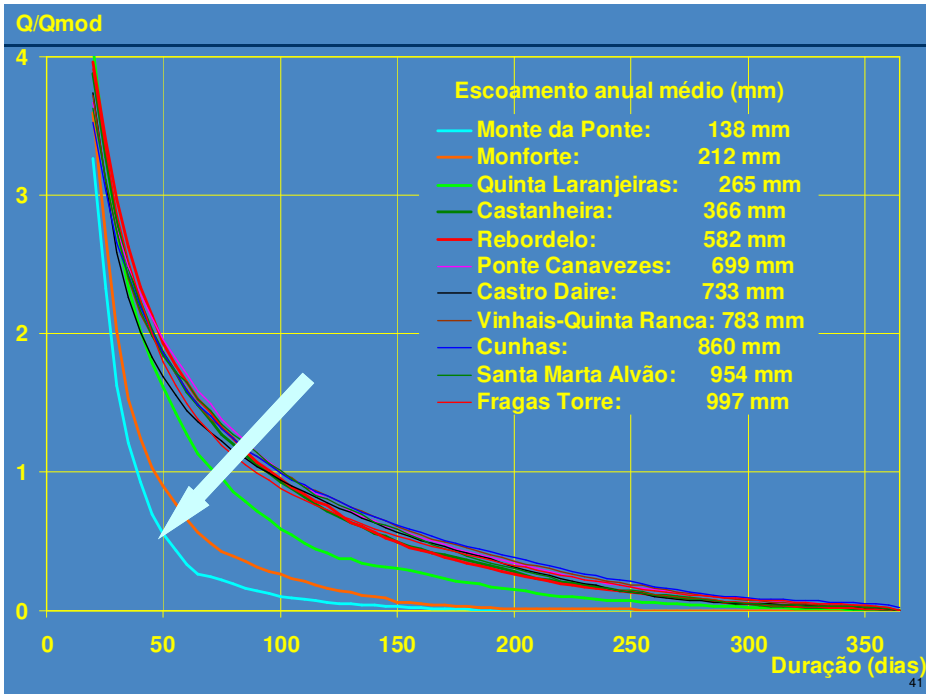


Curvas (adimensionais) de duração média anual do caudal médio diário em cursos de água de Portugal Continental.

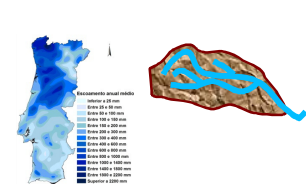
Altura do escoamento anual médio decrescente

(cursos de água com regime hidrológico mais irregular)

O factor predominante na forma das curvas de duração média anual é a altura do escoamento anual médio.

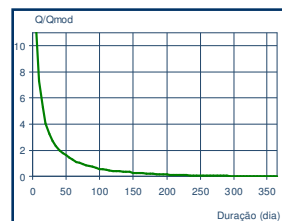
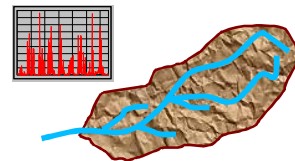


- ↪ A comparação das curvas de duração média anual do caudal médio diário em secções de diferentes cursos de água portugueses e a consideração simultânea das características das respectivas bacias hidrográficas permitem o traçado aproximado daquelas curvas para secções de cursos de água não dispoendo de observações hidrométricas.
- ↪ A **influência** predominante na forma das curvas de duração média anual do caudal médio diário é a que decorre da **altura do escoamento anual médio** e, logo a seguir, das características geológicas das bacias hidrográficas.
- ↪ As curvas de duração traduzem uma **regularidade hidrológica tanto maior** quanto **maior** é a **altura do escoamento anual médio**.
- ↪ Mediante a consideração da **similitude das alturas do escoamento anual** médio é possível adoptar a **curva adimensional** de duração de média anual do caudal médio estabelecida para uma secção que disponha de registos hidrométricos para outra secção em que tais registos não estejam disponíveis.

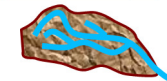
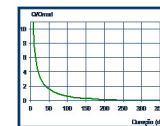


Pretende-se determinar a **curva de duração média anual do caudal médio diário** na bacia hidrográfica, **B1**, com **área A1** e onde, apesar de não existirem registos, se estima que a altura do escoamento anual médio seja de cerca de **H1**?

1) Identificação de uma bacia hidrográfica, **B2**, dispoendo de registos hidrométricos e com a **altura do escoamento anual médio** próxima de **H1**.

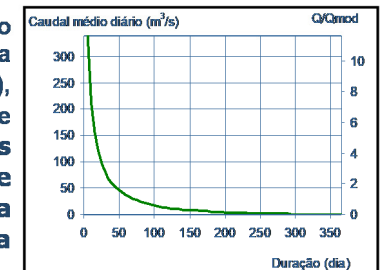


2) Com base nos anteriores registos, obtenção da **curva adimensional de duração média anual do caudal médio diário** relativa à bacia hidrográfica, **B2**.



3) Atendendo à **proximidade esperada** entre curvas de duração média anual do caudal médio diário relativas a bacias hidrográficas com alturas do escoamento anual médio próximas, adopção na bacia hidrográfica **B1** da **curva adimensional** obtida com base nos registos referentes à bacia hidrográfica **B2**.

4) Atendendo ao valores de **H1** (altura, do escoamento anual média na bacia hidrográfica **B1**) e de **A1** (área da mesma bacia hidrográfica), cálculo do valor correspondente de **Qmod1** e atribuição de valores ao eixo das ordenadas das curva adimensional de modo a transformar essa curva numa curva com dimensões e específica da bacia hidrográfica **B1**.



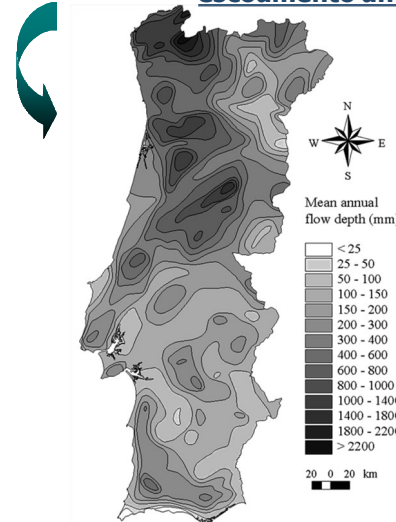
$$\bar{V1} = A1 \times H1$$

$$Qmod1 = \bar{V1} / (365 \times 24 \times 3600)$$

Documento de apoio: Portela Ramos da Silva, M.M., 2014, *Da regionalização de informação hidrométrica ao dimensionamento de albufeiras e à análise de incertezas*. Lição correspondente ao Sumário a que se refere a alínea c) do Artigo 5º do Decreto-Lei n.º 239/2007, de 19 de Junho, IST, Lisboa



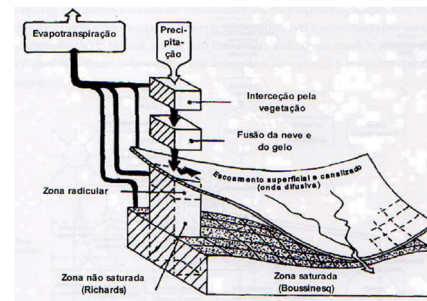
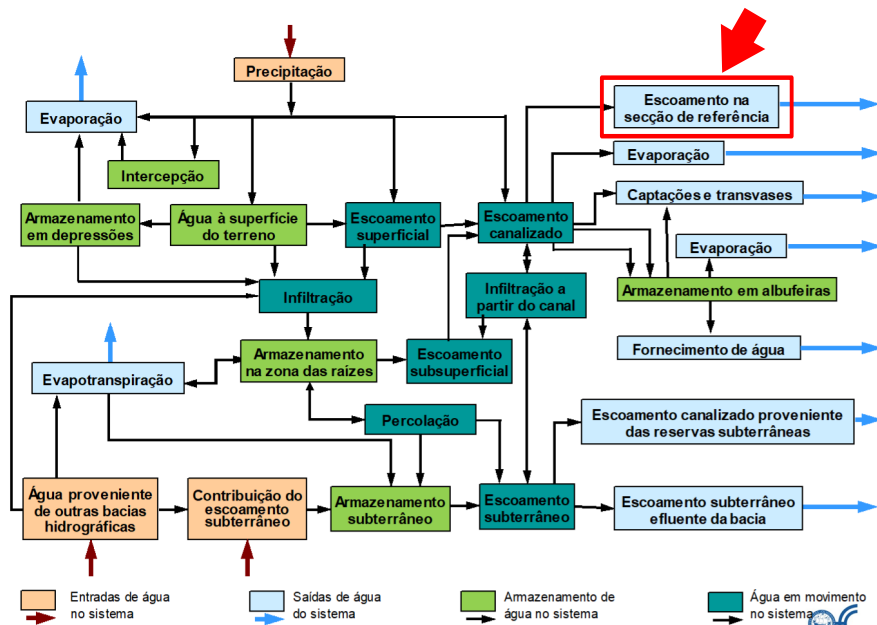
Pretende-se determinar a curva de duração média anual do caudal médio diário na bacia hidrográfica, B1, com área A1 e onde, apesar de não existirem registos, se estima que a altura do escoamento anual médio seja de cerca de H1?



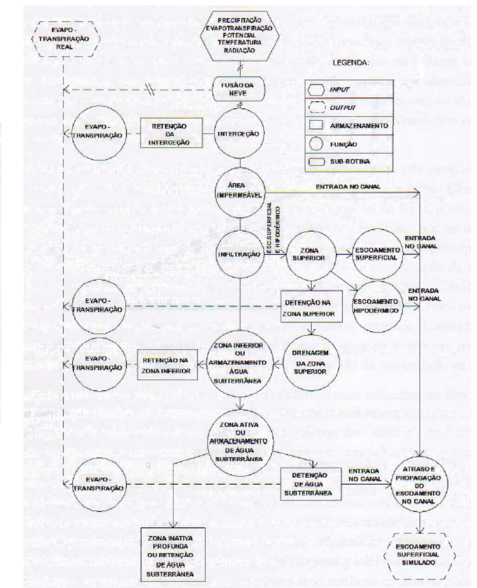
MAS, SEM REGISTOS, COMO DETERMINAR H1?

Por recurso a mapas de isolinhas do escoamento anual médio e a fórmulas e relações que permitem avaliar o escoamento a partir de elementos climáticos ...

Ciclo hidrológico – um sistema a modelar ao nível da bacia hidrográfica



Esquema do modelo SHE
SHE – Sistema Hidrológico Europeu



Fluxograma do modelo Stanford Watershed Model IV

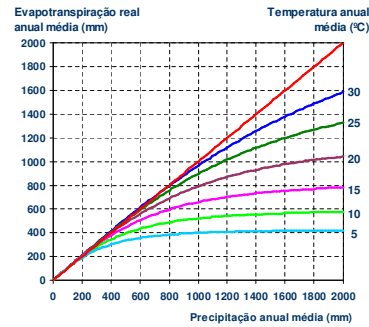
Na ausência de qualquer informação relativa a escoamentos pode recorrer-se a fórmulas, necessariamente aproximadas, mas também insuscetíveis de serem verificadas, como seja a fórmula de Turc (1954).

$$\bar{P} = \bar{H} + \bar{E}$$

$$\text{Se } \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 \geq 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2}}$$

$$\text{Se } \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 < 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \bar{P}$$

$$L = 300 + 25 \bar{T} + 0.05 \bar{T}^3$$

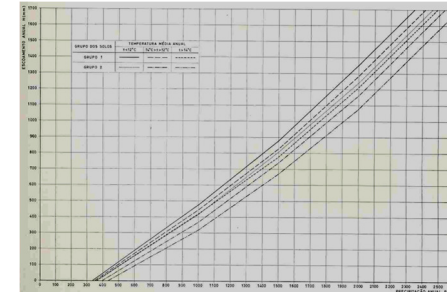


- \bar{P} - Precipitação anual média (mm)
- \bar{H} - Escoamento anual médio (mm)
- \bar{E} - Evapotranspiração real anual média (mm)
- \bar{T} - Temperatura anual média do ar (°C)
- L - Poder evaporante da atmosfera (mm)

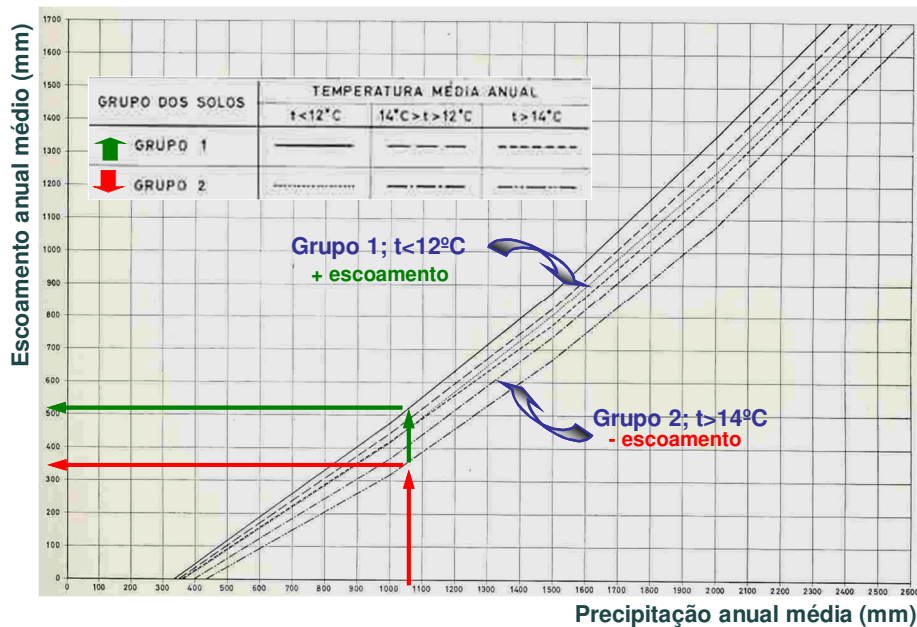
Relações regionais de Quintela (1967) aplicáveis a Portugal Continental

... equações lineares válidas em média em Portugal Continental entre o escoamento anual e a precipitação anual e que têm como parâmetros:

- ❖ a precipitação anual;
- ❖ a temperatura anual média (três classes: $t < 14^\circ\text{C}$; $14^\circ\text{C} > t > 12^\circ\text{C}$; $t < 12^\circ\text{C}$);
- ❖ o grupo de solos (dois grupos de solos, correspondendo a solos dando origem a escoamento anual médio a elevado – grupo 1 – ou a escoamento anual médio a baixo - grupo 2).



Relações regionais de Quintela (1967)



Sequência de procedimentos tendo em vista estimar o volume anual médio susceptível de ser turbinado (uma vez fixado o caudal de dimensionamento ou seja, o caudal máximo derivável)

