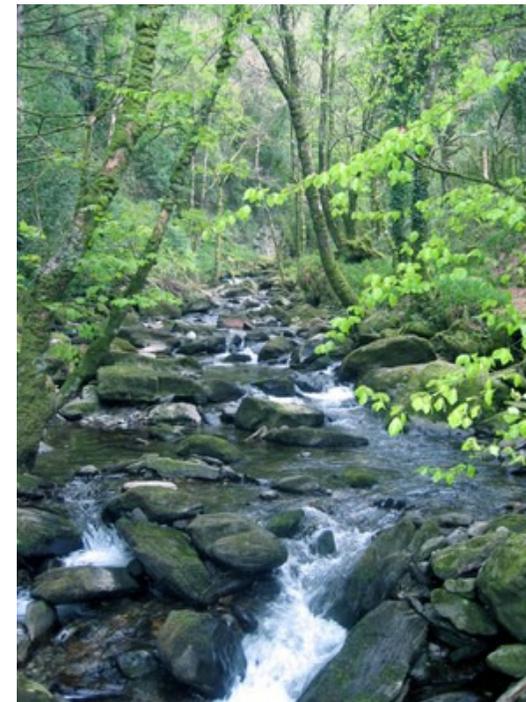
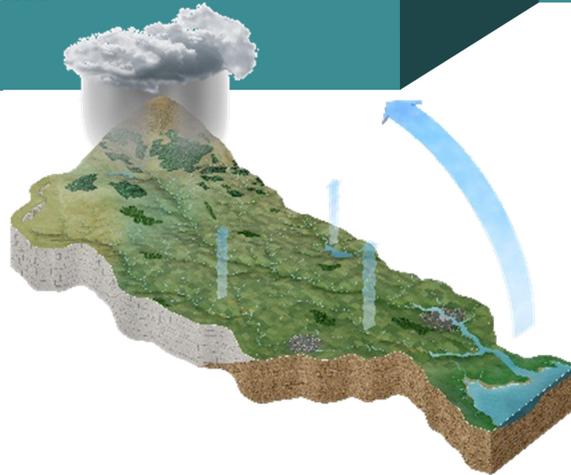


Noções básicas de hidrologia

✓ Escoamento

Maria Manuela Portela
(2020/2021)



✓ 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 quando tais caudais são medidos.

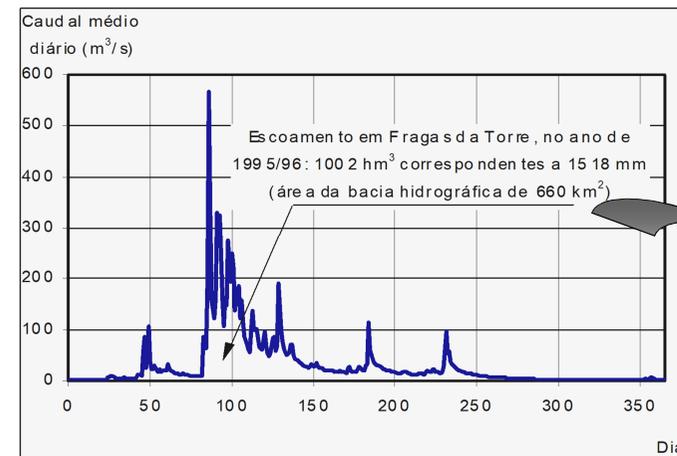


✓ Para um dado intervalo de tempo, pode ser expresso em volume, em altura de água uniformemente distribuída sobre a área em planta da bacia hidrográfica definida por aquela secção ou em termos da sequência de caudais.

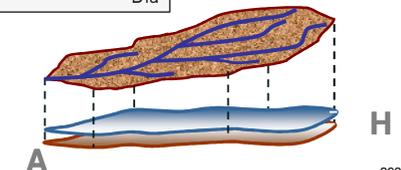
V, volume

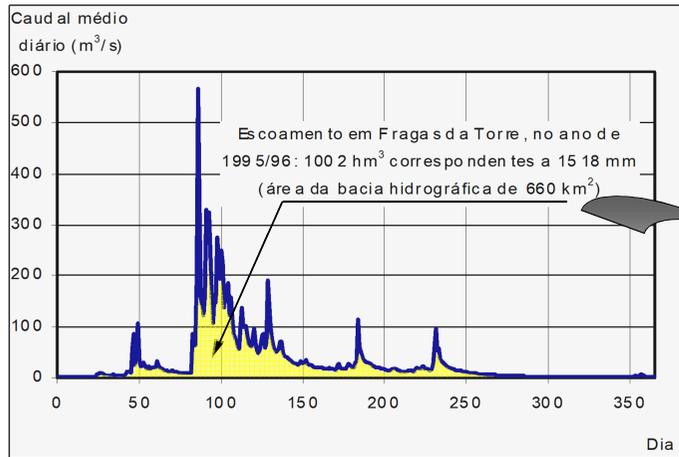
H, altura de água uniformemente distribuída sobre a área em planta da bacia hidrográfica

Q, sequência de caudais

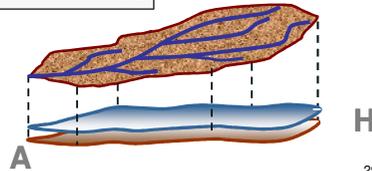


$$V = \int Q dt$$

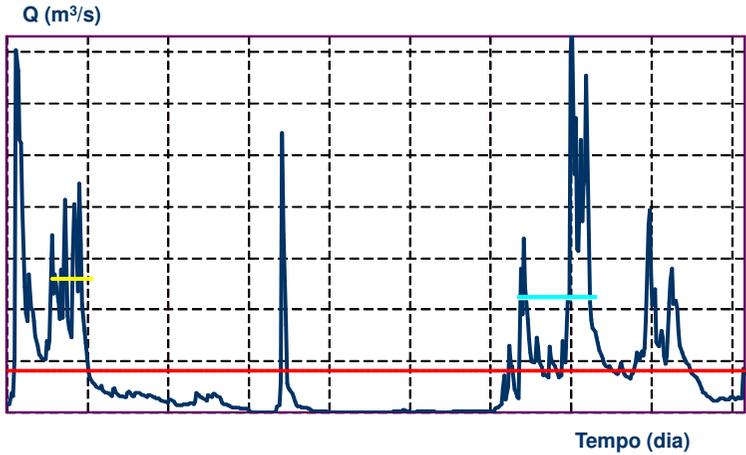




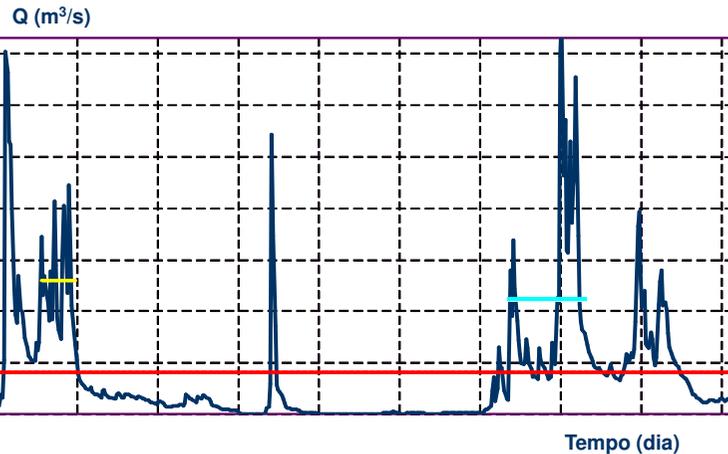
$$V = \int Q dt$$



Caudal (discharge) \Rightarrow grandeza intrinsecamente instantânea \Rightarrow noção de **caudal médio** (mean discharge) 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.).

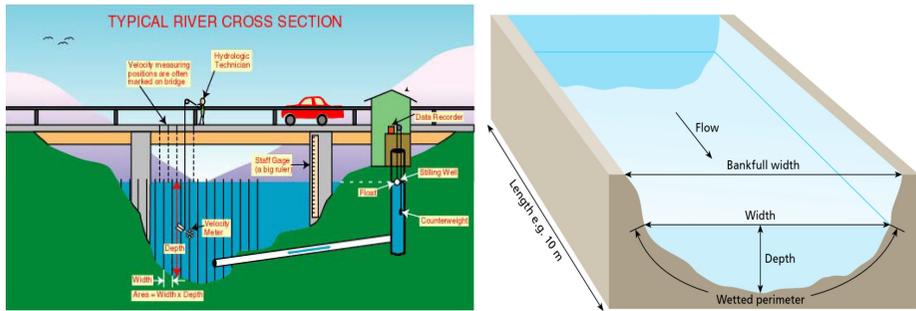


Caudal (discharge) \Rightarrow grandeza intrinsecamente instantânea \Rightarrow noção de **caudal médio** (mean discharge) num dado intervalo de tempo: **caudal fictício**, uniforme, que, no mesmo intervalo de tempo, transporta um volume de escoamento igual ao realmente resultante da sucessão de caudais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



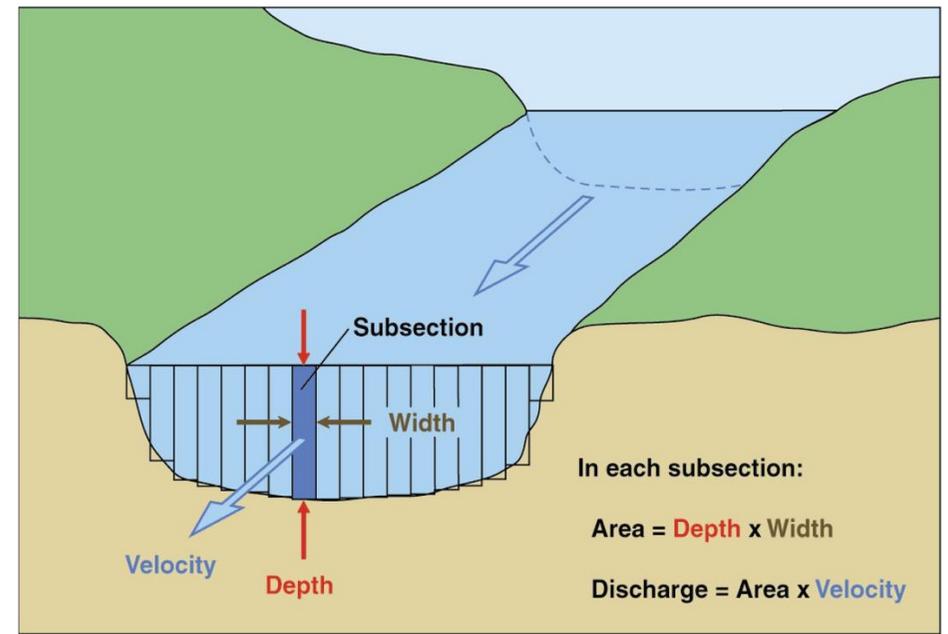
Medição
e
modelação (calibração)

$$V = h \times (w - 3) \times l$$



Em secções da rede fluvial - estações hidrométricas (river or stream gauge stations) - 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 :

$$Q = v S$$



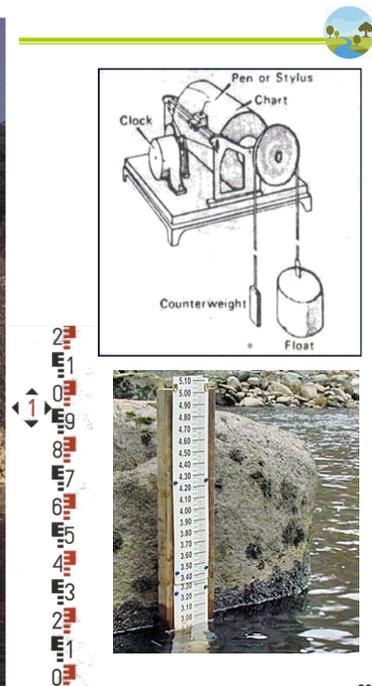
In each subsection:
 Area = Depth x Width
 Discharge = Area x Velocity

$$Q = v S$$

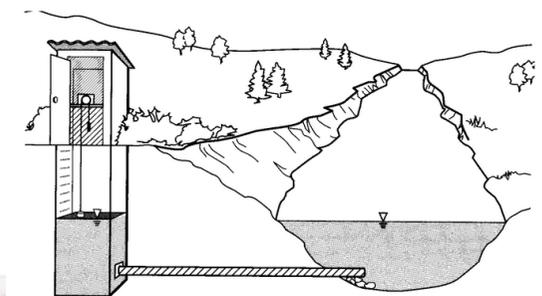
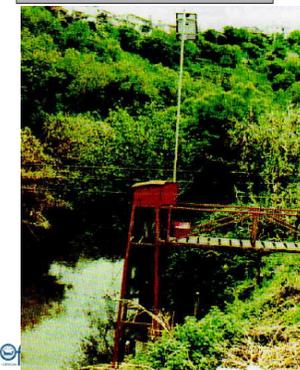
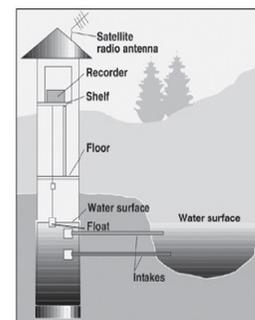
... mas como obter v e S ?

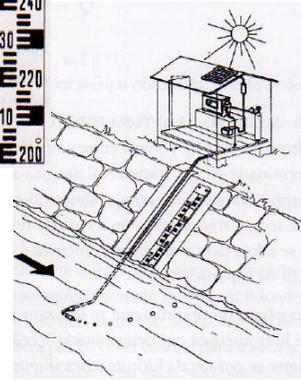


Medição dos níveis da superfície livre em estações hidrométricas equipadas com escalas limnométricas e/ou com aparelhos registadores (limnógrafos) (continuous and discrete measurements of the water depth or of the water surface elevation)

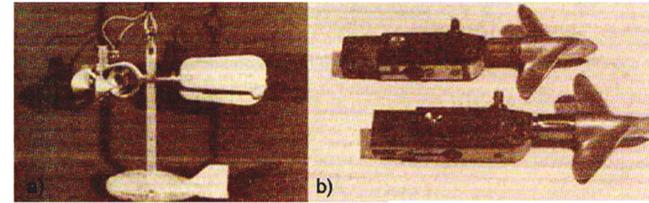


River gauge stations

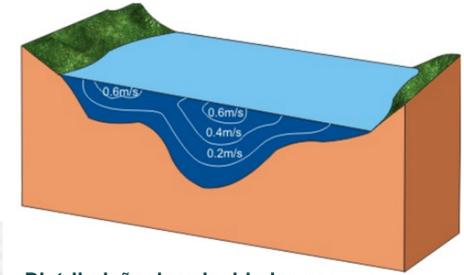




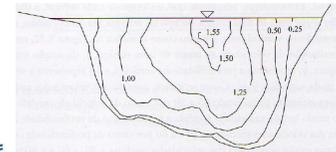
Mediação da velocidade do escoamento com molinetes (current meter for flow velocity measurement)



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



Distribuição de velocidades na secção transversal de um curso de água



Espólio na posse do IST Molinetes mecânicos

1870 (primeiro molinete hidráulico utilizado em Portugal)



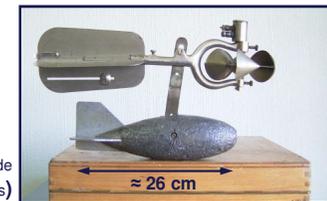
1875 (com flutuador, para medição à superfície em condições de cheia)

Espólio na posse do IST

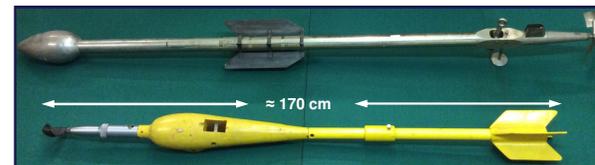


Molinetes eléctricos

1920 (para pequenos rios)

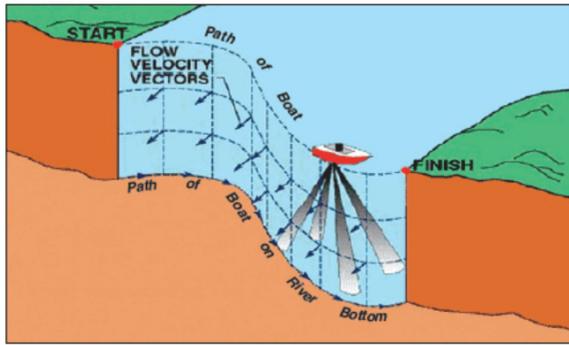


1928 (de roda de copos)



Com flutuador, para medição à superfície

Aplicáveis em condições de cheia

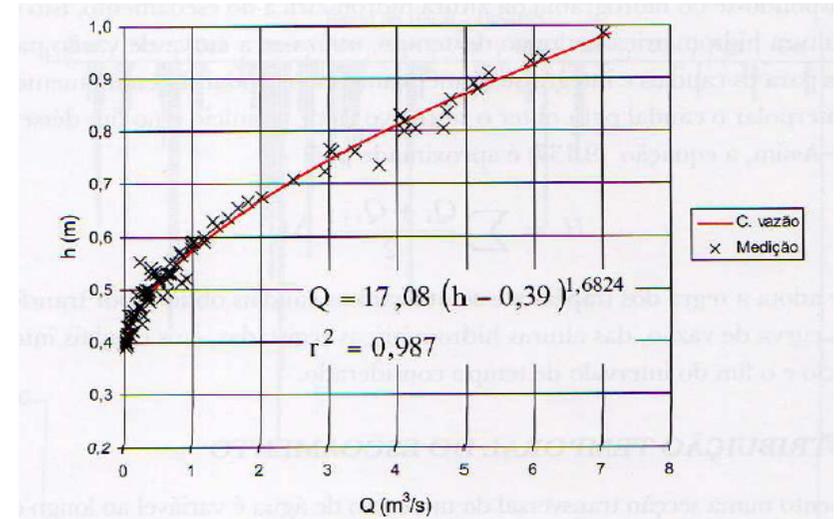


Perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler), ADCP.

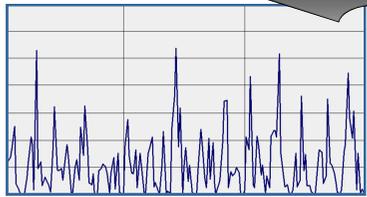
An ADCP uses the principles of the Doppler Effect to measure the velocity of water. The Doppler Effect is the phenomenon we experience when passed by a car or train that is sounding its horn. As the car or train passes, the sound of the horn seems to drop in frequency.

The ADCP sends a sound pulse into the water and measures the change in frequency of that sound pulse reflected back to the ADCP by sediment or other particulates being transported in the water. The change in frequency, or Doppler Shift, that is measured by the ADCP is translated into water velocity. The sound is transmitted into the water from a transducer to the bottom of the and receives return signals throughout the entire depth. The ADCP also uses acoustics to measure water depth by measuring the travel time of a pulse of sound to reach the river bottom at back to the ADCP.

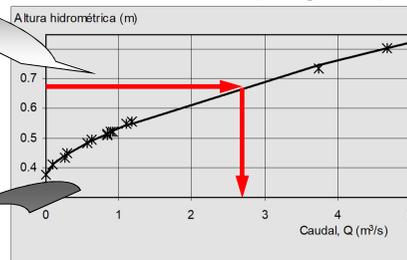
... várias e repetidas medições ... curva de vazão de um curso de água em determinada secção transversal – ... after several measurements ... rating curve at a given cross section of a river (relates water depth with discharge)



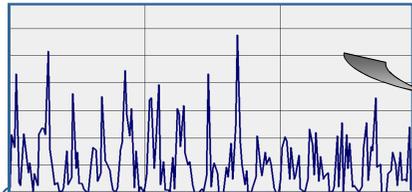
1) REGISTOS DAS ALTURAS HIDROMÉTRICAS (records of water depths)



2) CURVA DE VAZÃO (rating curve)



3) SÉRIE CRONOLÓGICA DE CAUDAIS (time series of mean discharges – daily, monthly, ..)



4) Escoamento no intervalo de tempo entre t1 e t2 (surface flow or runoff between t1 and t2)

$$V = \int_{t1}^{t2} Q(t) dt$$

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

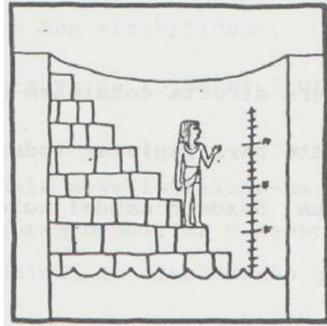
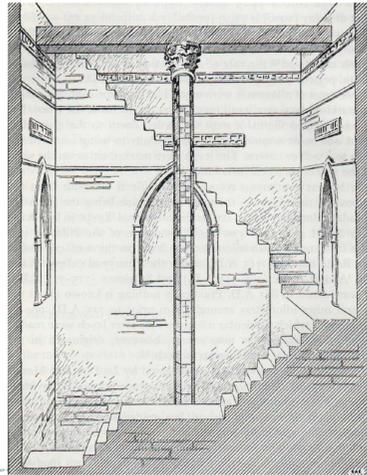


Breve nota histórica sobre a medição de níveis em rios

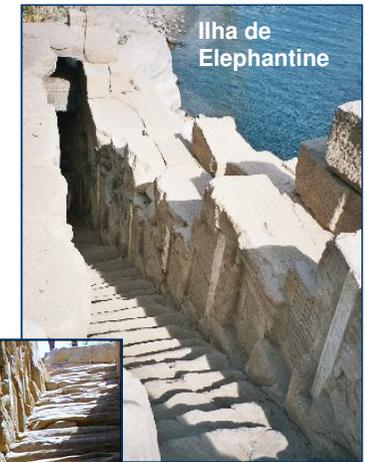
Os registos mais antigos de nível ... rio Nilo, datando de 3000 a 3500 a.C. e sendo visíveis nos fragmentos de um antigo monumento.

Medições históricas de níveis fluviais no rio Nilo, Egito

Os **nilómetros** (*nilometer*) mais simples consistiam em simples marcas executadas nas margens do rio ou em paredes de monumentos. Os mais aperfeiçoados utilizavam poços 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.



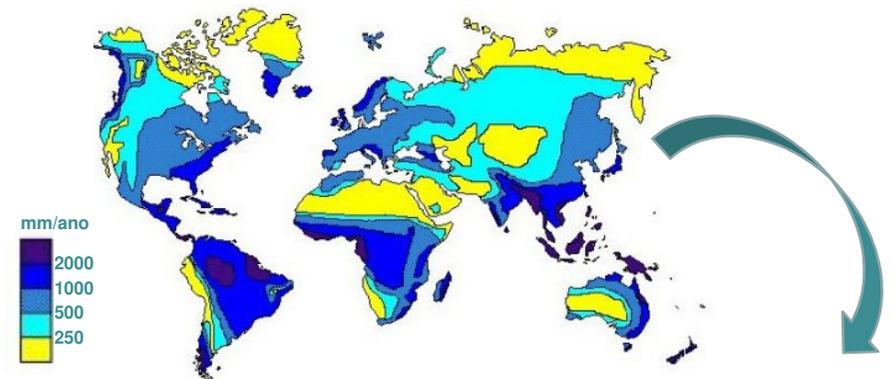
Nilometers at Elephantine Island (Egypt)



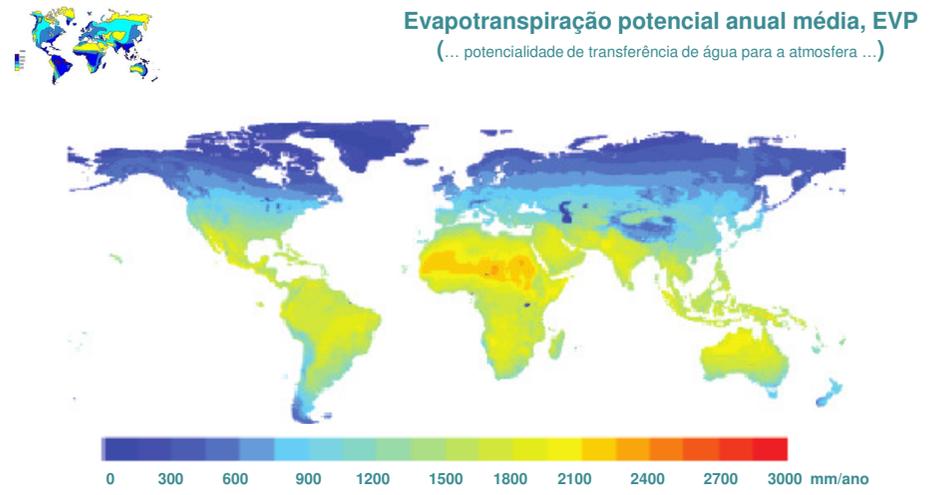
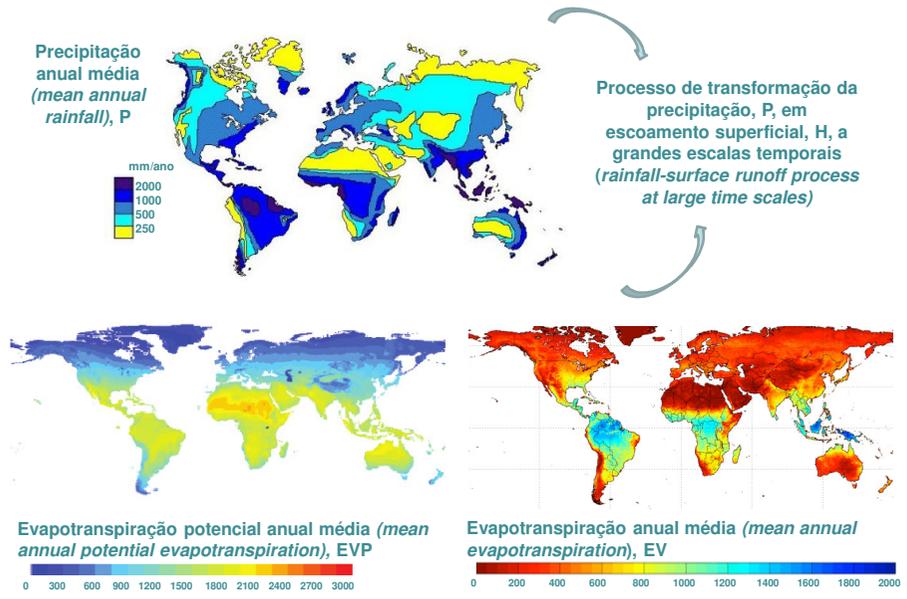
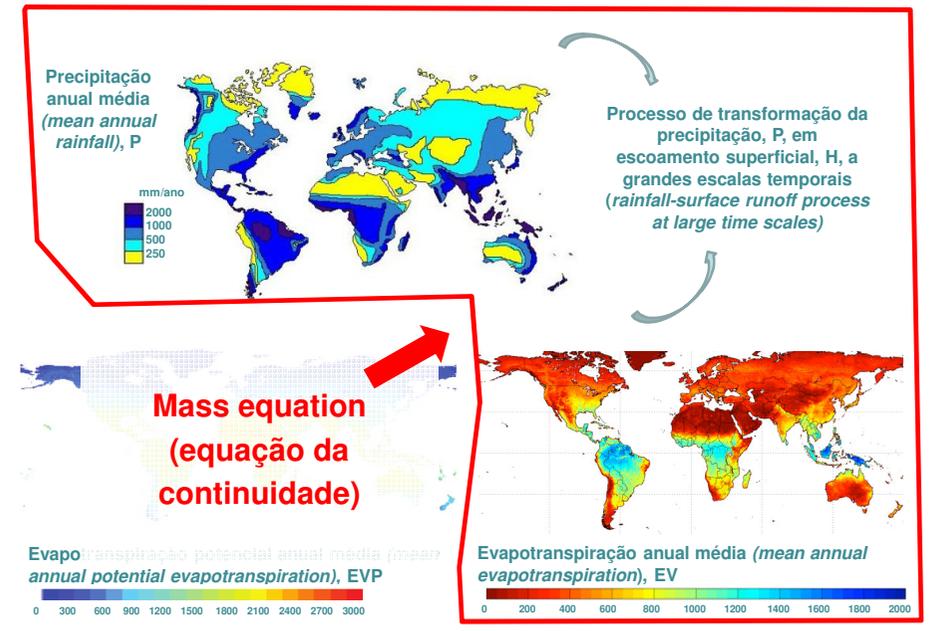
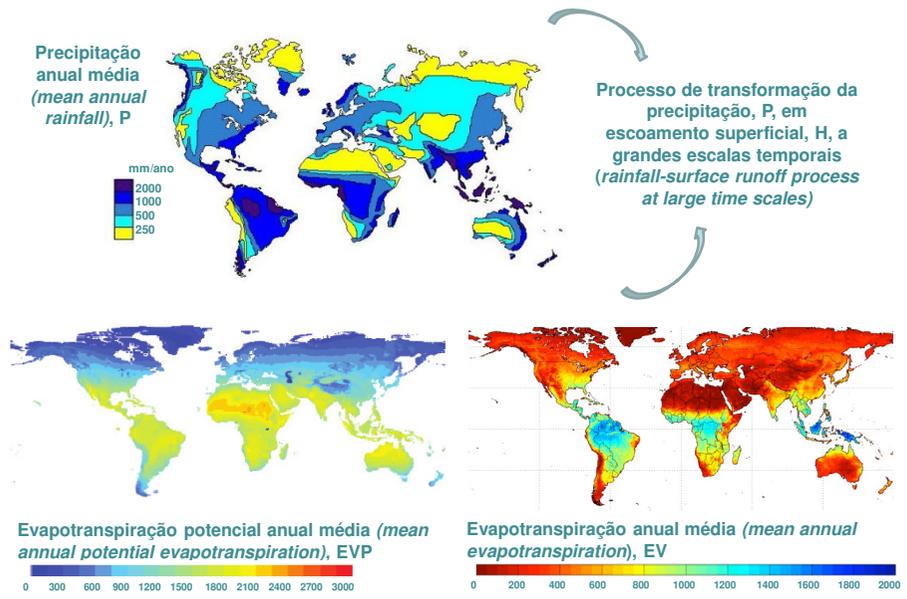
Medição e modelação (calibração)

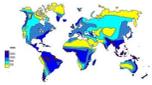
$$V = h \times (w - 3) \times l$$

Precipitação anual média, P (mean annual rainfall) (mm/ano)

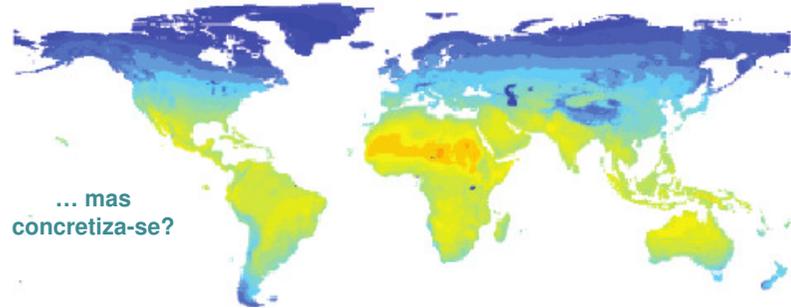


Processo de transformação da precipitação, P, em escoamento superficial, H, a grandes escalas temporais (rainfall-surface runoff process at large time scales)

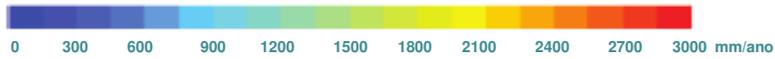




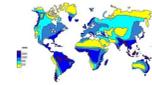
Evapotranspiração potencial anual média, EVP (... potencialidade de transferência de água para a atmosfera ...)



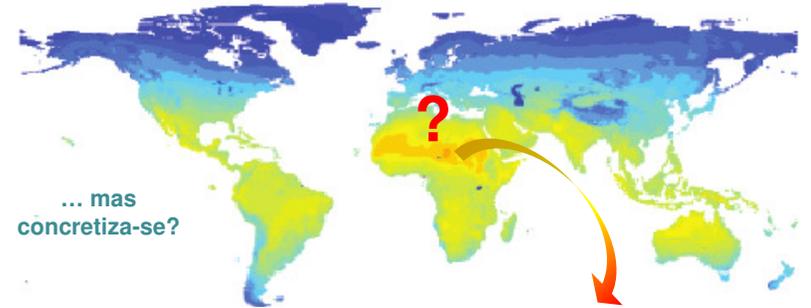
... mas
concretiza-se?



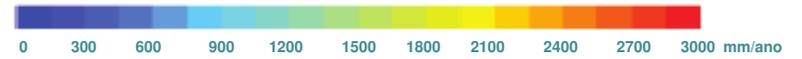
318



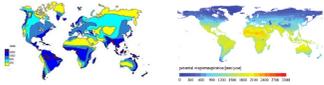
Evapotranspiração potencial anual média, EVP (... potencialidade de transferência de água para a atmosfera ...)



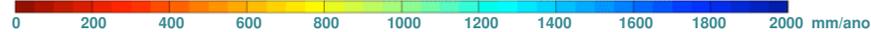
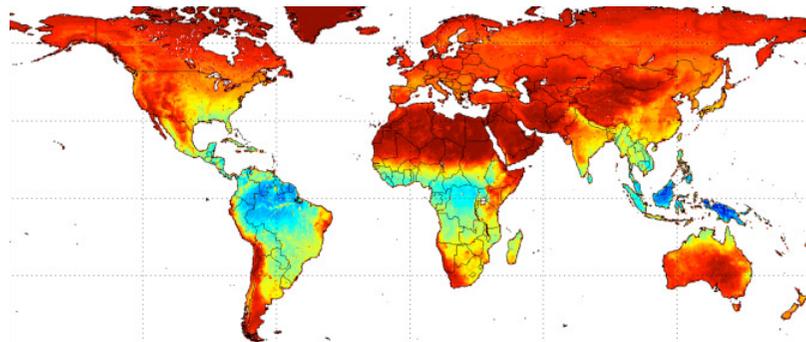
... mas
concretiza-se?



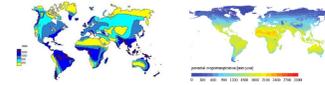
319



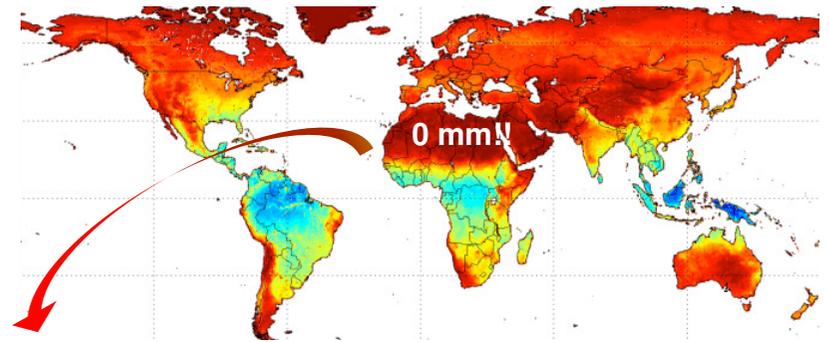
Evapotranspiração anual média, EV (... limitada pela disponibilidade real de água...)



320



Evapotranspiração anual média, EV (... limitada pela disponibilidade real de água...)



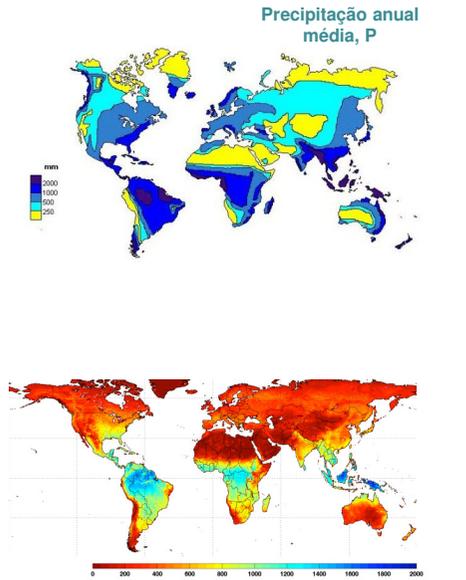
321

Escoamento superficial anual médio em condições naturais, H, a escalas temporais superiores ou iguais ao ano

$$P = H + EV$$



$$H = P - EV$$



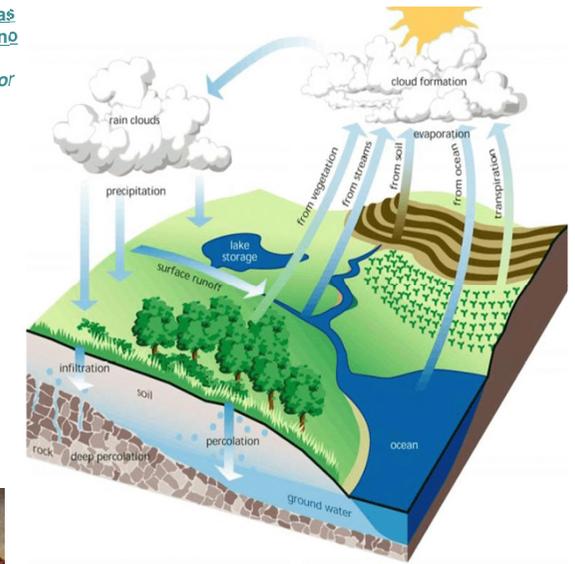
Evapotranspiração anual média, EV

Equação da continuidade aplicada em condições naturais e a escalas temporais superiores ou iguais ao ano (mass equation under natural conditions and at timescales equal or greater than the year)

$$P = H + EV$$

“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”
 (“in Nature nothing is lost, nothing is created, everything is transformed”)

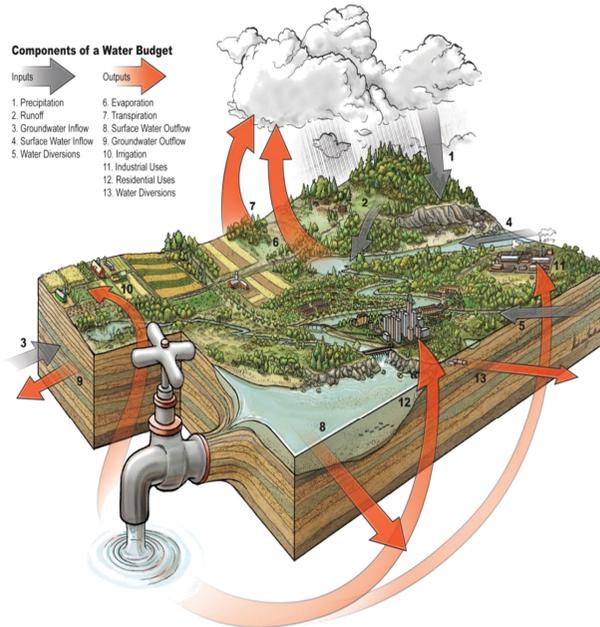
(Antoine-Laurent de Lavoisier, Paris, 1743-1794)



Equação da continuidade aplicada em condições não naturais e a escalas temporais superiores ou iguais ao ano (mass equation under non natural conditions and at timescales equal or greater than the year)

$$P = H + EV$$

+/-



Escoamento superficial anual médio em condições naturais, H, a escalas temporais superiores ou iguais ao ano

P =

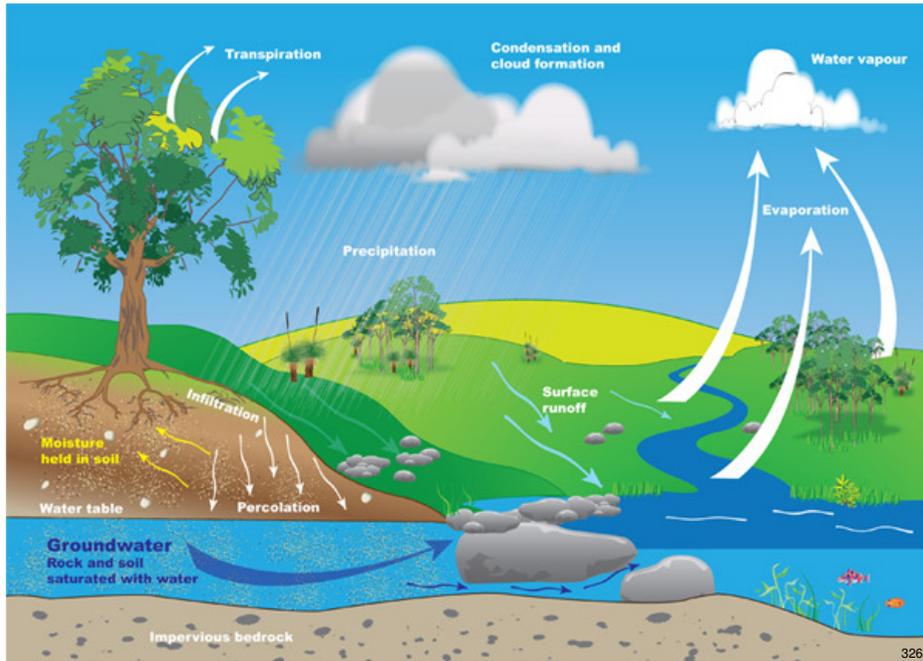
H =

A MENORES ESCALAS TEMPORAIS A MODELAÇÃO DO ESCOAMENTO É BASTANTE COMPLEXA

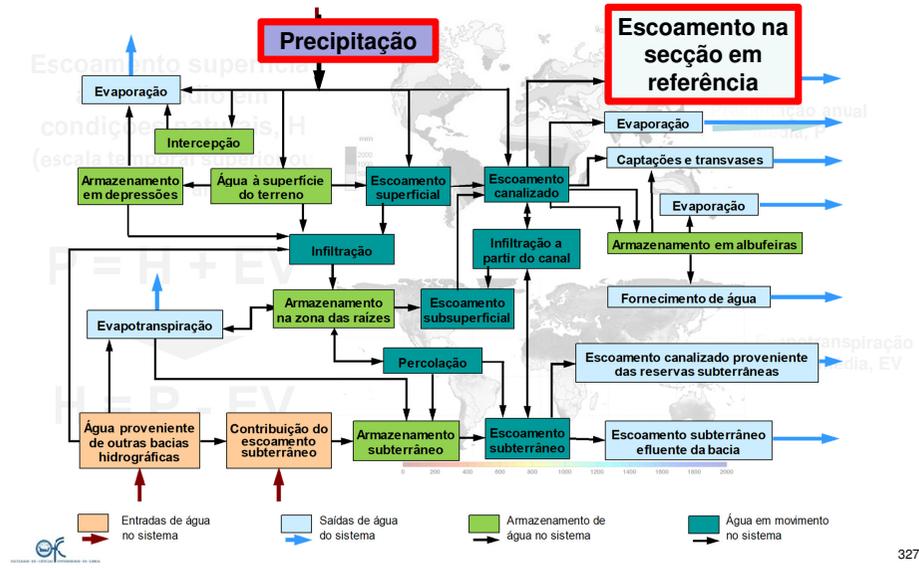


Evapotranspiração anual média, EV

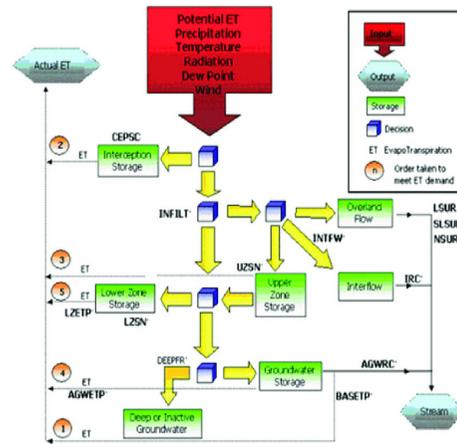
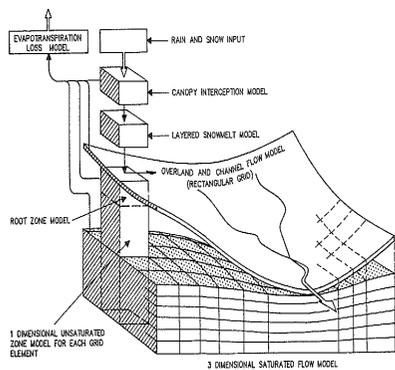
Representação esquemática do processo de formação do escoamento



Processo de transformação da precipitação em escoamento a pequenas escalas temporais (rainfall-runoff process at small timescales)



Esquema do modelo SHE – Système Hydrologique Européen



Fluxograma do modelo Stanford Watershed Model IV

Esquema do modelo SHE – Système Hydrologique Européen

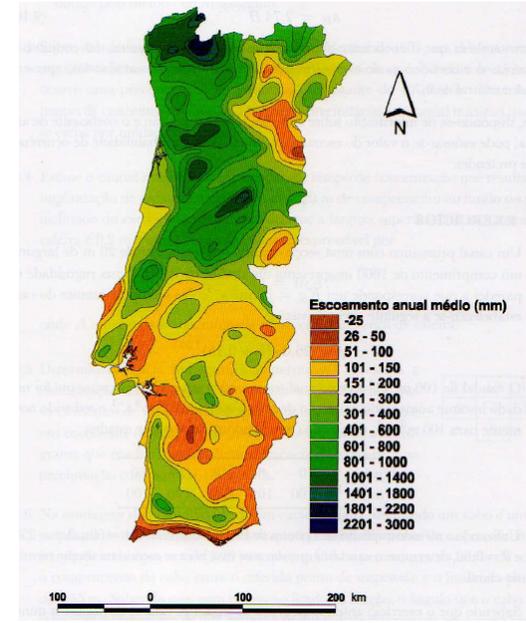


MODELO SIMPLES DE TRANSPOSIÇÃO/REGIONALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO HIDROMÉTRICA, i.e., RELACIONADA COM ESCOAMENTOS (... aplicação à escala diária)

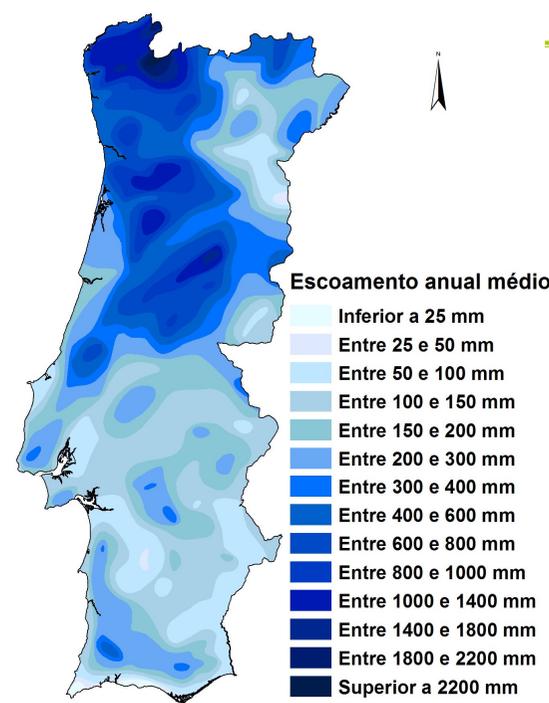
Fluxograma do modelo Stanford Watershed Model IV



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



Distribuição do escoamento anual médio em Portugal continental

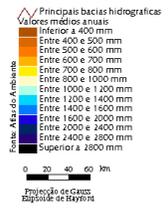


Escoamento anual médio

- Inferior a 25 mm
- Entre 25 e 50 mm
- Entre 50 e 100 mm
- Entre 100 e 150 mm
- Entre 150 e 200 mm
- Entre 200 e 300 mm
- Entre 300 e 400 mm
- Entre 400 e 600 mm
- Entre 600 e 800 mm
- Entre 800 e 1000 mm
- Entre 1000 e 1400 mm
- Entre 1400 e 1800 mm
- Entre 1800 e 2200 mm
- Superior a 2200 mm

Precipitação anual média (mm)

Precipitação: de 400 mm a mais de 2800 mm



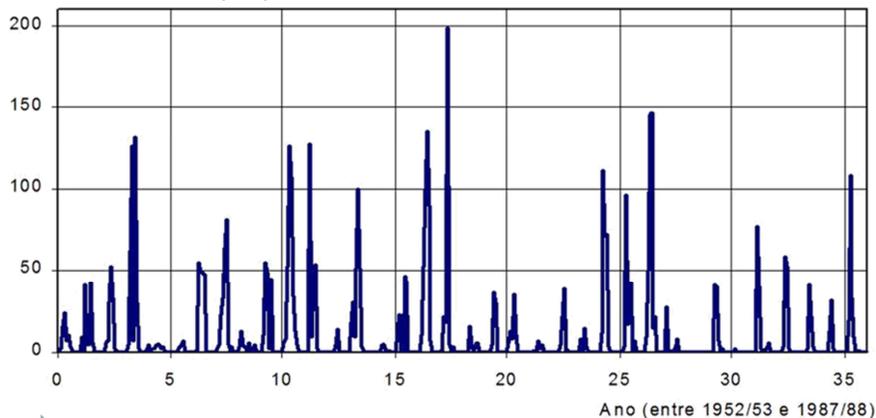
Escoamento anual médio (mm)

Escoamento: de 25 mm a mais de 2200 mm



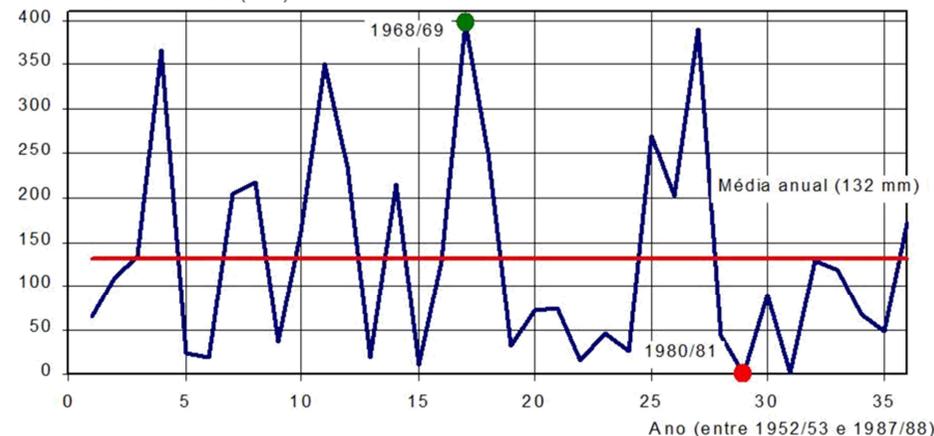
Diagramas cronológicos dos escoamentos mensais e anuais, na estação hidrométrica de Monte da Ponte, no rio Cobres (bacia hidrográfica do rio Guadiana), período de 36 anos compreendido entre 1952/53 e 1987/88

Escoamento mensal (mm)

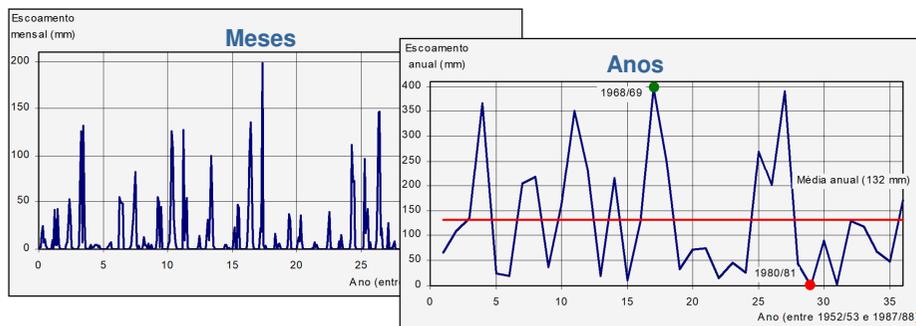


Diagramas cronológicos dos escoamentos mensais e anuais, na estação hidrométrica de Monte da Ponte, no rio Cobres (bacia hidrográfica do rio Guadiana), período de 36 anos compreendido entre 1952/53 e 1987/88

Escoamento anual (mm)



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



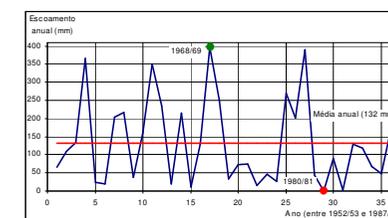
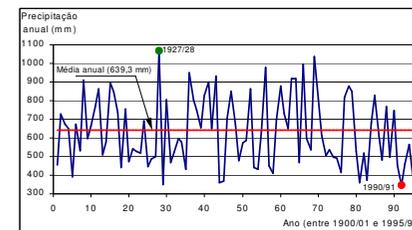
ACENTUADA VARIABILIDADE TEMPORAL do escoamento característica do clima de Portugal Continental em média, cerca de **95%** do escoamento registado na estação hidrométrica de Monte da Ponte ocorreu no semestre de **húmido**, de Outubro a Março, e somente o remanescente, de **5%**, no semestre **seco**,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

Estimativa do escoamento anual médio
(escoamento na média dos anos) – 3 modelos

*Evaluation of the mean annual flow (average of
the annual flows) – 3 models*

Modelo 1 – Fórmula de Turc

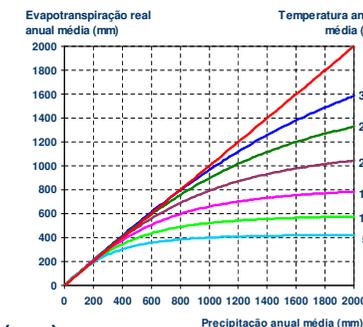
Na ausência de qualquer informação relativa a escoamentos pode recorrer-se a fórmulas, necessariamente aproximadas, mas também insuscetíveis de serem verificadas, como seja a fórmula de Turc (1954).

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

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

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

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



\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)

Dados de entrada: precipitação, \bar{P} , e temperatura, \bar{T} ,
anuais médias na bacia hidrográfica

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P} \\ \bar{T} \end{array} \right. \Rightarrow L = 300 + 25 \bar{T} + 0.05 \bar{T}^3 \Rightarrow \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 \geq 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2}} \\ \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 < 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \bar{P} \end{array} \right.$$

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

$$\boxed{\bar{H} = \bar{P} - \bar{E}}$$

Dados de entrada: precipitação, \bar{P} , e temperatura, \bar{T} ,
anuais médias na bacia hidrográfica

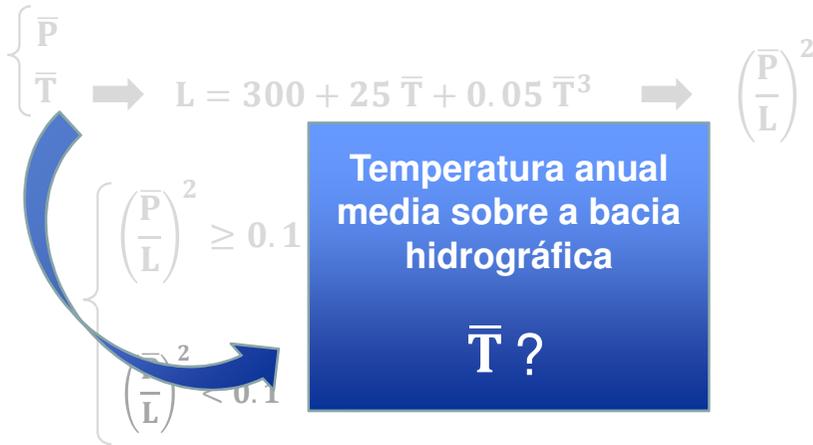
$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P} \\ \bar{T} \end{array} \right. \Rightarrow L = 300 + 25 \bar{T} + 0.05 \bar{T}^3 \Rightarrow \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 \geq 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2}} \\ \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2 < 0.1 \Rightarrow \bar{E} = \bar{P} \end{array} \right.$$

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

$$\boxed{\bar{H} = \bar{P} - \bar{E}}$$

Dados de entrada: precipitação, \bar{P} , e temperatura, \bar{T} , anuais médias na bacia hidrográfica



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

Temperatura anual média do ar

SNIAmb Sistema Nacional de Informação de Ambiente

Visualizador SNIAmb

Rua da Murgueira, Buraca, Ama

Atlas do Ambiente

Temas no Mapa

Legenda

Adicionar Ver Tema Remover Tema

- Ambiente e Saúde
- Proteção ambiental e saúde humana
- Avaliação Ambiental
- Estudo de avaliação de impacto ambiental
- Previsão e controlo de acidentes graves e substâncias perigosas
- Comunicação e Cidadania Ambiental
- Mobilidade Sustentável
- Promção e cidadania
- Sistema Ambiental
- Qualidade do ar ambiente
- Organizações registadas no EMAS
- Juizamento Ambiental
- Planos de avaliação e gestão de recursos (PAGT)

INSPIRE Anexo I: Hidrografia

- Rios GeoCodificação
- Bacias GeoCodificação
- Principais Bacias DOA
- Bacias das massas de água DOA

INSPIRE Anexo III: Uso do solo

- Avaliação de impacto ambiental
- Albufeiras de águas públicas
- Lagos e lagoas de águas públicas
- Planos de Ordenamento da Orla Costeira
- Planos de Ordenamento de Albufeiras
- Áreas de Intervenção dos POC
- Áreas Estratégicas para Gestão Sedimentar (POC)

Temas

Temas no Mapa

Legenda

- Estudos de avaliação de impacto ambiental
- Atlas do Ambiente
- Atlas do Ambiente
 - Ambiente Físico
 - 1. Insolação
 - 2. Temperatura
 - 3. Radiação Solar
 - 4.1. Precipitação (Quant. Total)
 - 4.2. Precipitação (Dias no Ano)
 - 5.1. Geada (Ano Agrícola)
 - 5.2. Geada (Dias no Ano)
 - 6. Humidade do Ar
 - 8. Escoamento
 - 9. Evapotranspiração Real
 - 10a. Sismicidade (Intensidade Sismica)
 - 10b. Sismicidade Histórica
 - 11. Recursos Aquíferos Subterrâneos
 - 13. Litológica
 - 15a. Hipocentros (Classe)

SNIAmb Sistema Nacional de Informação de Ambiente

Visualizador SNIAmb

Temperatura anual média do ar

2. Temperatura

idc_atlas_16154442032

perimetro: 295634.75

codtemp: 15

simbolo: 4

Temperatura: Entre 12.5 e 15.0 C

st_area(shape): 16154324706.999994

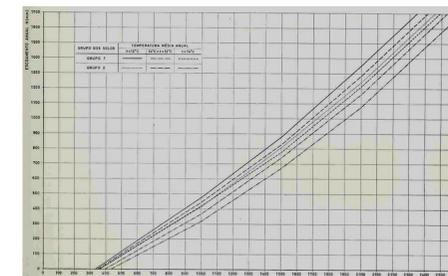
st_length(shape): 2956636.003651

Aprovar (1 de 2)

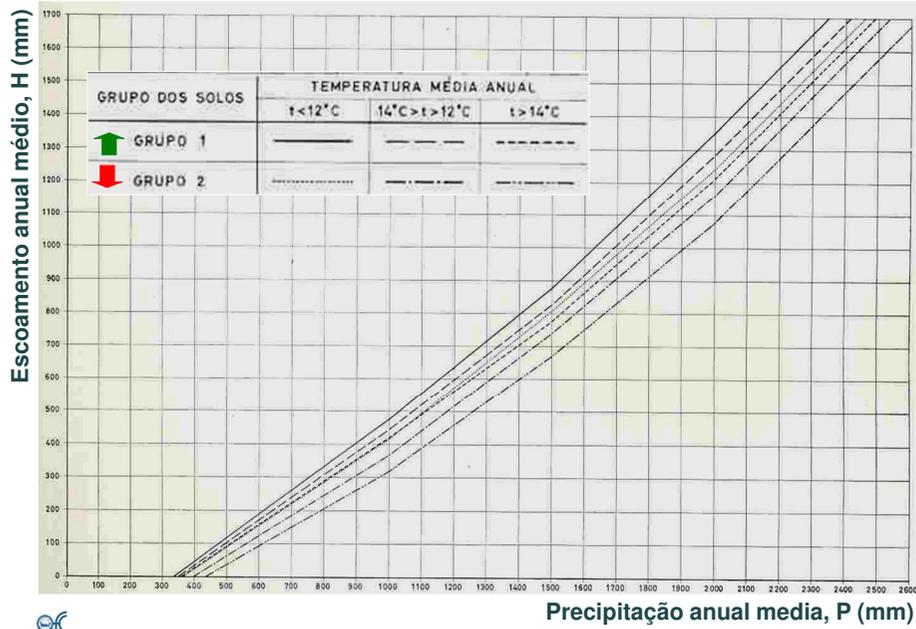
Modelo 2 – Relações Regionais de Quintela (1967) aplicáveis a Portugal Continental

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

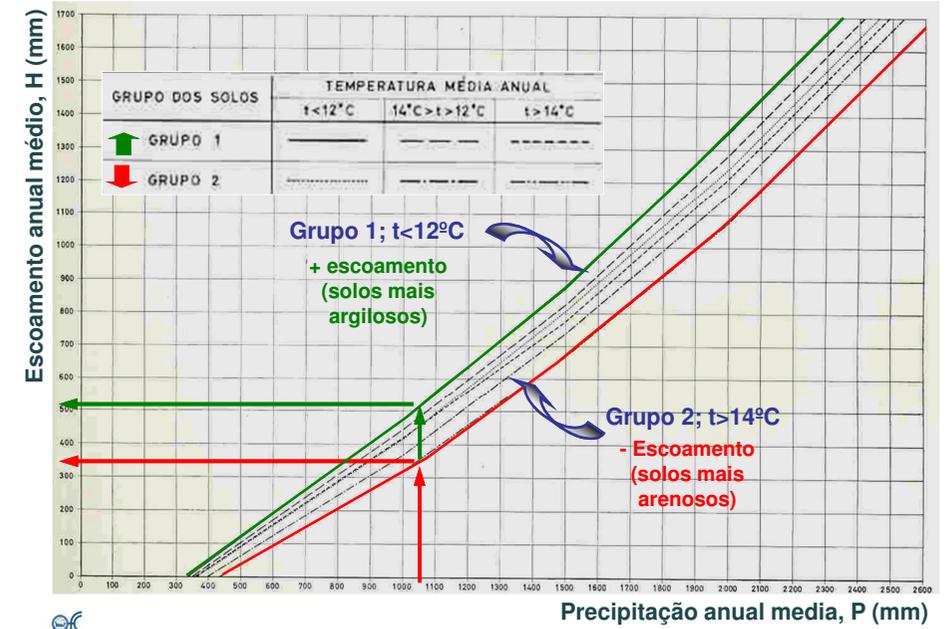
- ❖ a precipitação anual média;
- ❖ a temperatura anual média (três classes: $t > 14^{\circ}\text{C}$; $14^{\circ}\text{C} > t > 12^{\circ}\text{C}$; $t < 12^{\circ}\text{C}$);
- ❖ o grupo de solos (dois grupos de solos, correspondendo a solos dando origem a escoamento anual médio a elevado – grupo 1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



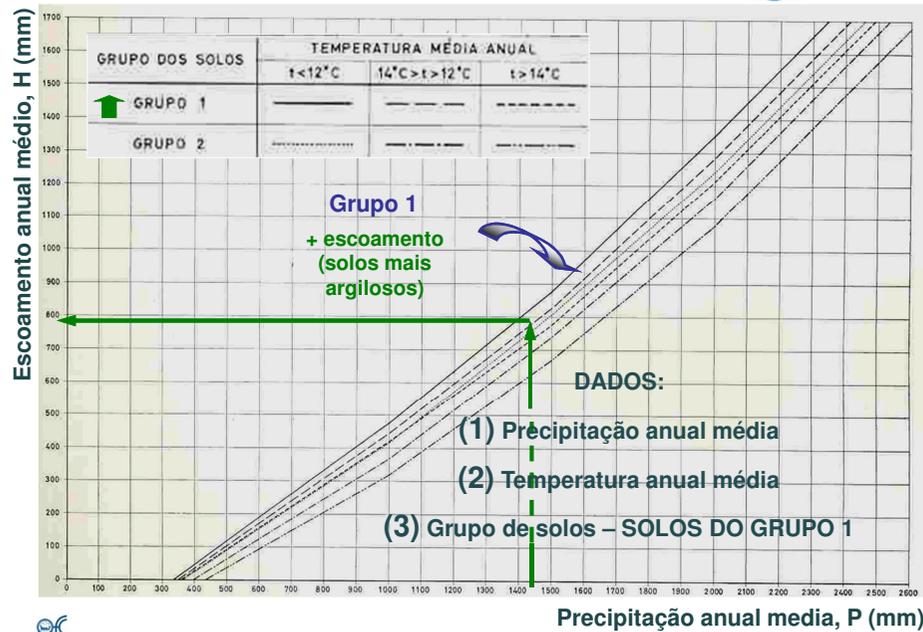
Relações regionais de Quintela (1967)



Relações regionais de Quintela (1967)

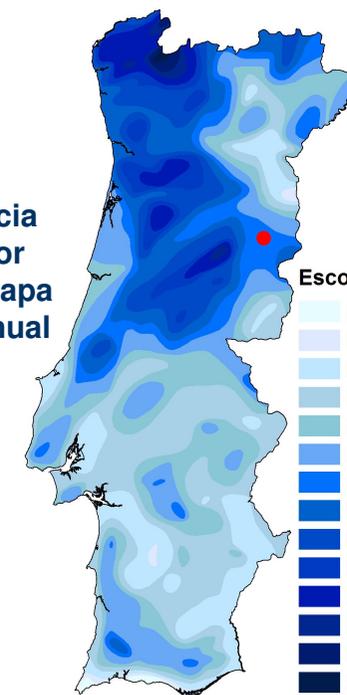


Relações regionais de Quintela (1967)



Modelo 3

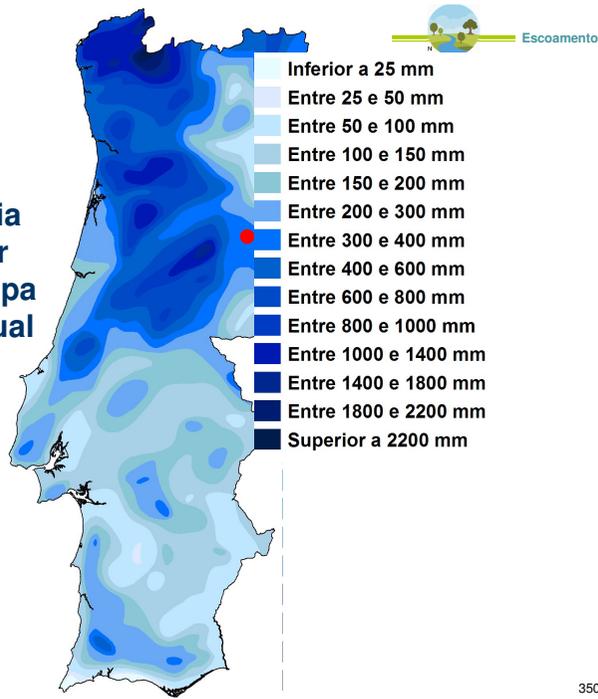
Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



- Escoamento anual médio
- Inferior a 25 mm
 - Entre 25 e 50 mm
 - Entre 50 e 100 mm
 - Entre 100 e 150 mm
 - Entre 150 e 200 mm
 - Entre 200 e 300 mm
 - Entre 300 e 400 mm
 - Entre 400 e 600 mm
 - Entre 600 e 800 mm
 - Entre 800 e 1000 mm
 - Entre 1000 e 1400 mm
 - Entre 1400 e 1800 mm
 - Entre 1800 e 2200 mm
 - Superior a 2200 mm

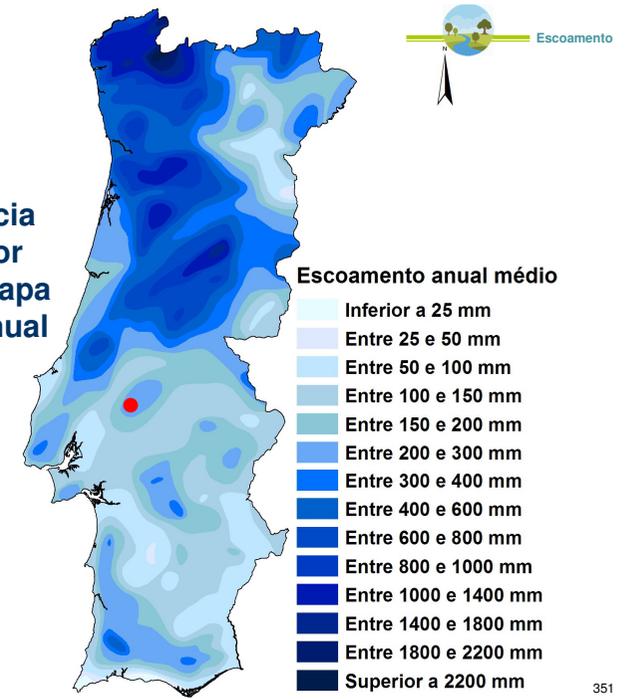
Modelo 3

Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



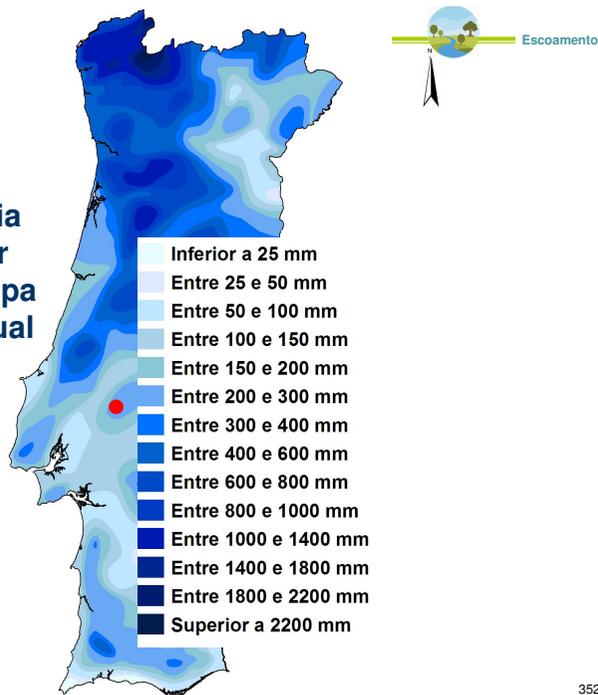
Modelo 3

Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



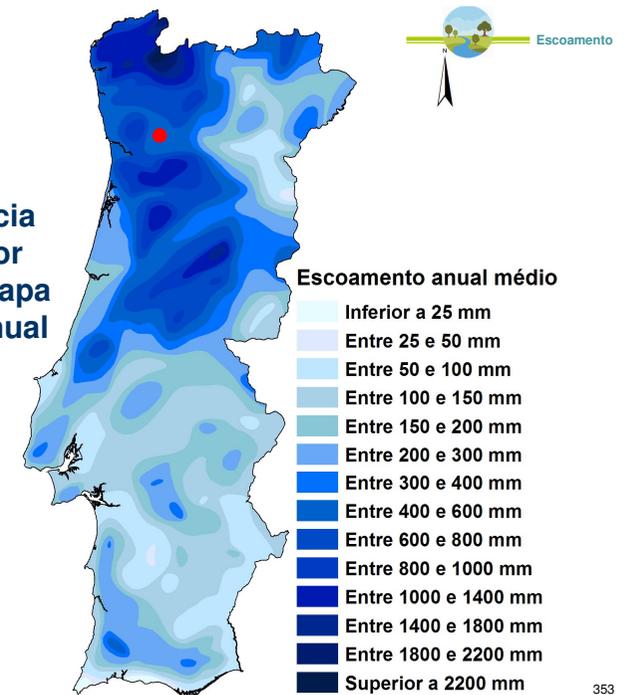
Modelo 3

Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



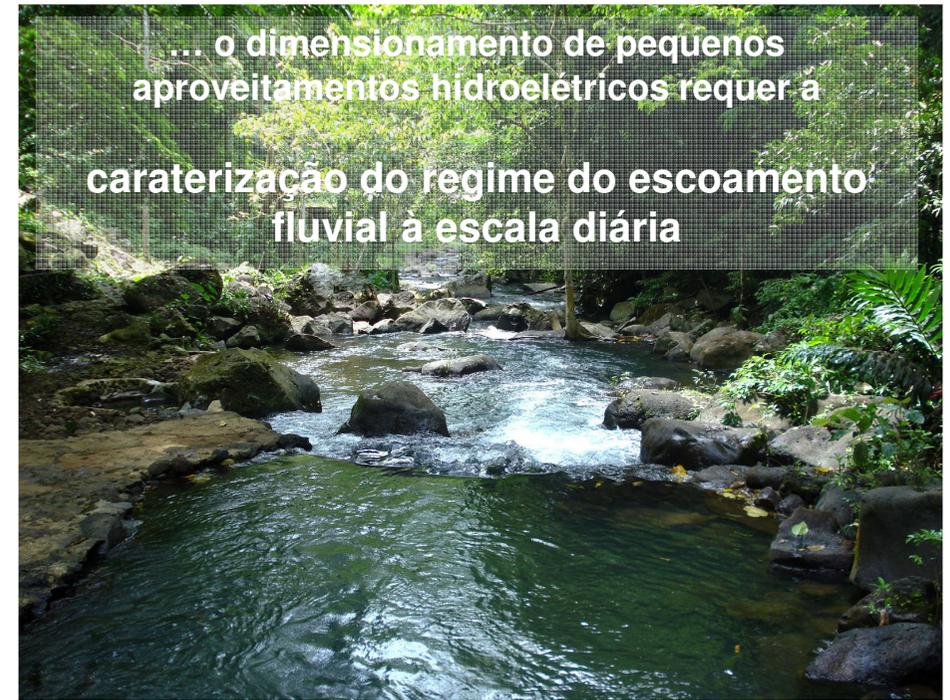
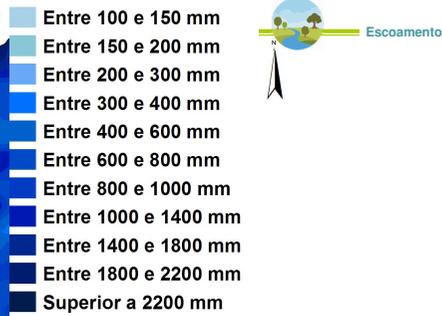
Modelo 3

Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



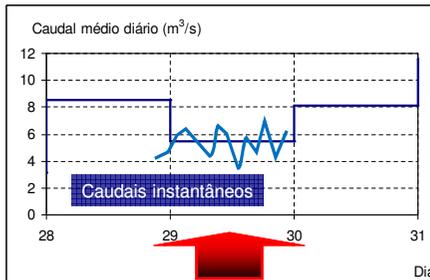
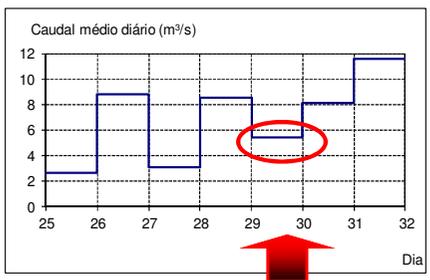
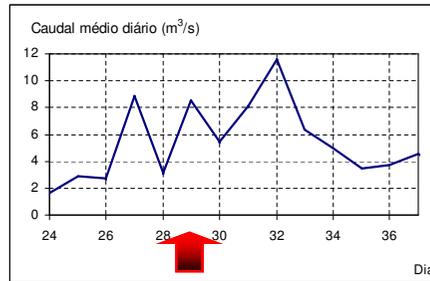
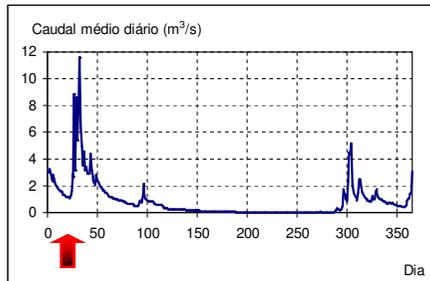
Modelo 3

Localizada a bacia hidrográfica, por leitura sobre o mapa o escoamento anual médio



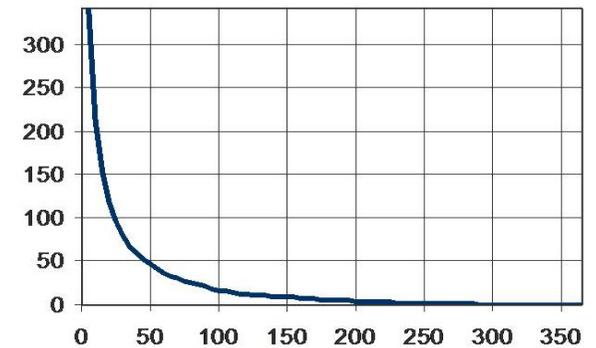
... o dimensionamento de pequenos aproveitamentos hidroelétricos requer a caracterização do regime do escoamento fluvial à escala diária

Diagrama cronológico do caudal médio diário (caudal fictício que) / Chronological diagram of the mean daily discharge (fictitious discharge such as)

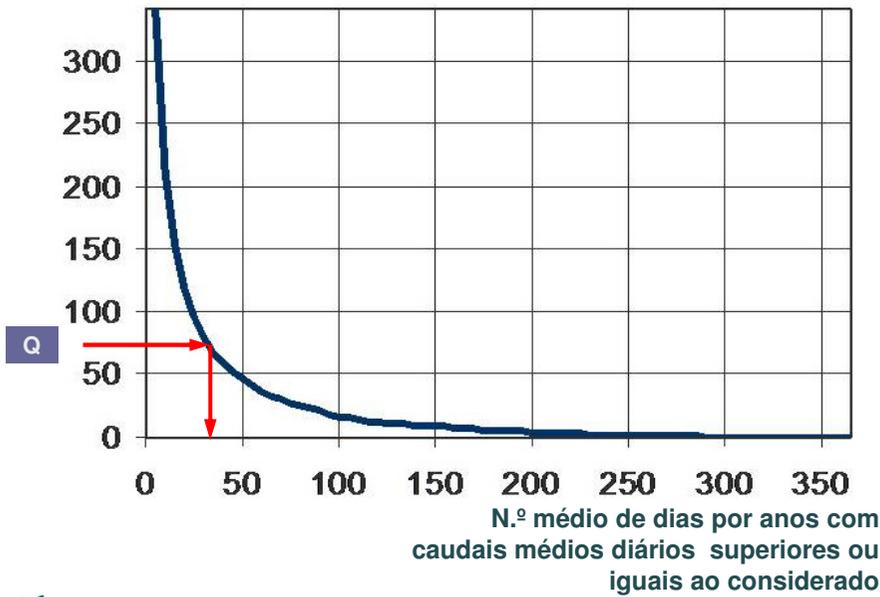


Caraterização do regime diário dos escoamentos fluviais: curva de duração média anual do caudal médio diário - fornece o número médio de dias por ano em que esse caudal é igualado ou excedido (mean annual duration curve of the mean daily discharge - it gives for each discharge the average number of days per year with higher discharges)

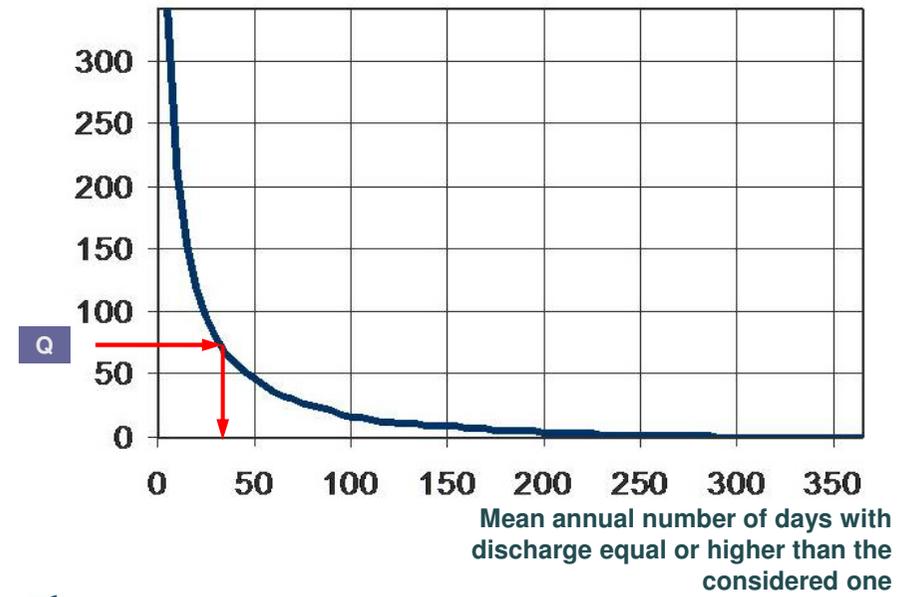
Caudal médio diário (m^3/s)



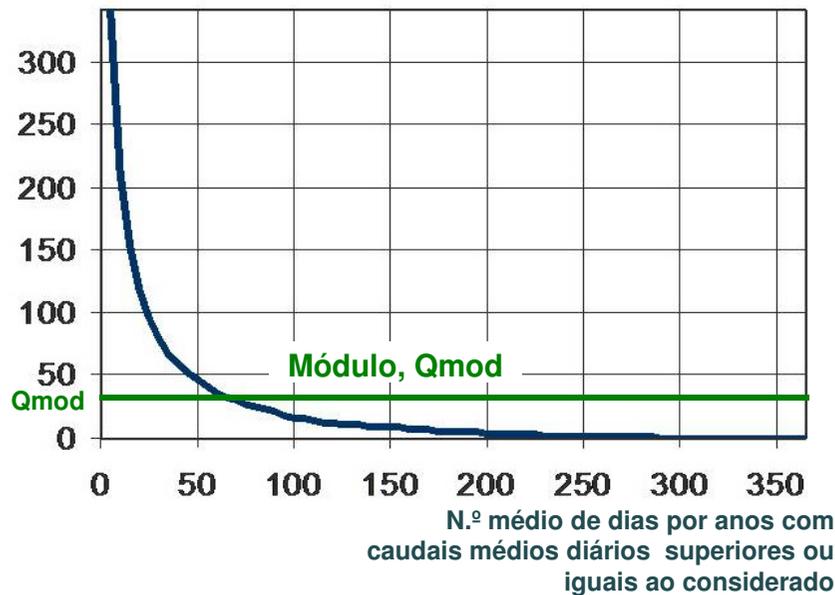
Caudal médio diário (m^3/s)



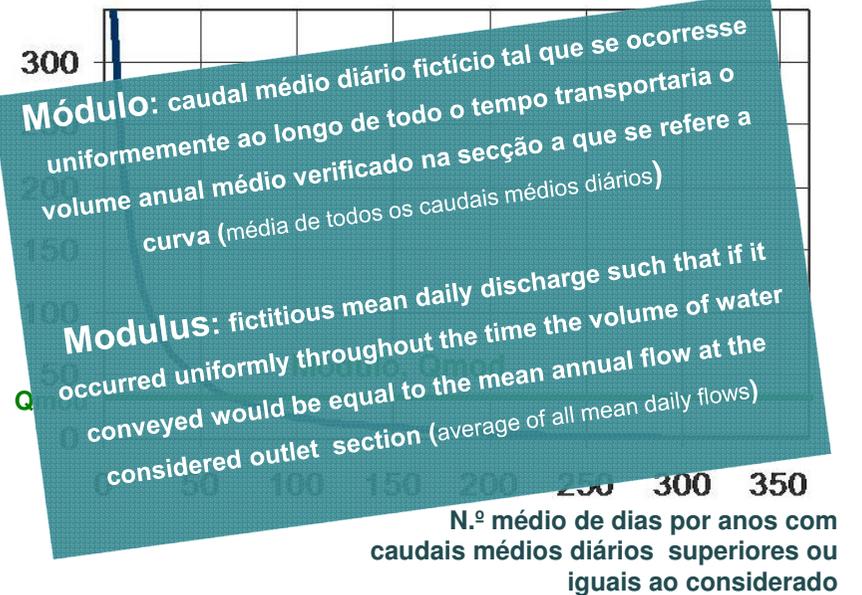
Mean daily discharge (m^3/s)



Caudal médio diário (m^3/s)

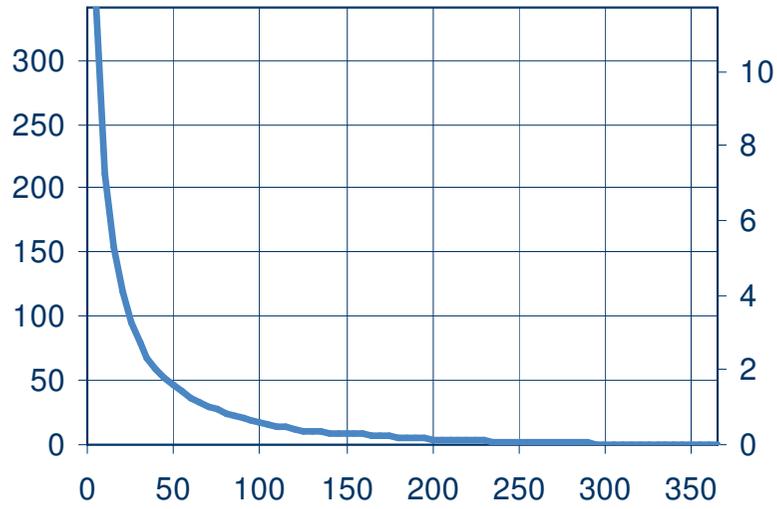


Caudal médio diário (m^3/s)



Caudal médio diário (m³/s)

Q/Q_{mod}

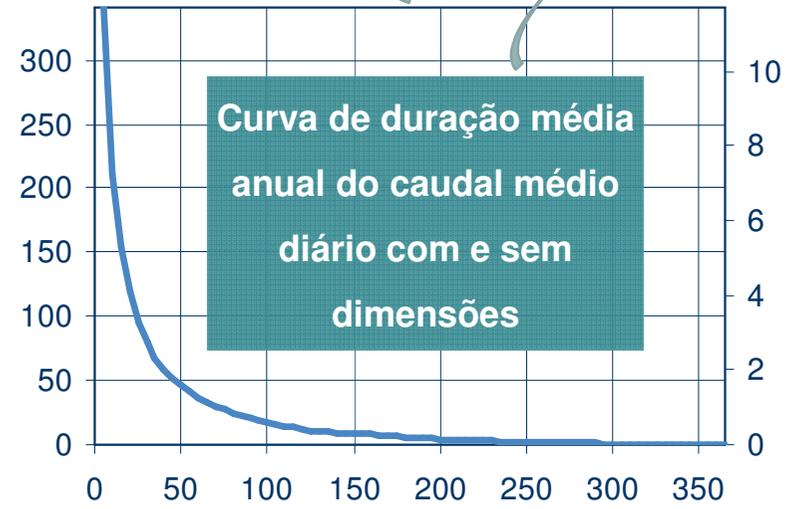


Duração (dia)

362

Caudal médio diário (m³/s)

Q/Q_{mod}

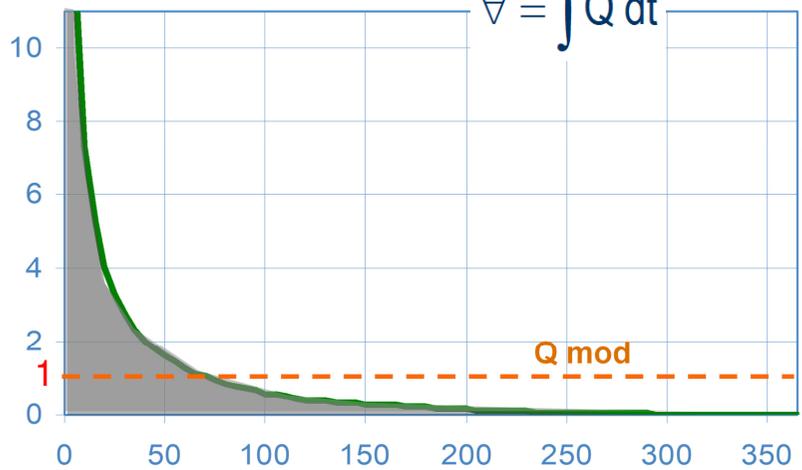


Duração (dia)

363

Q/Q_{mod}

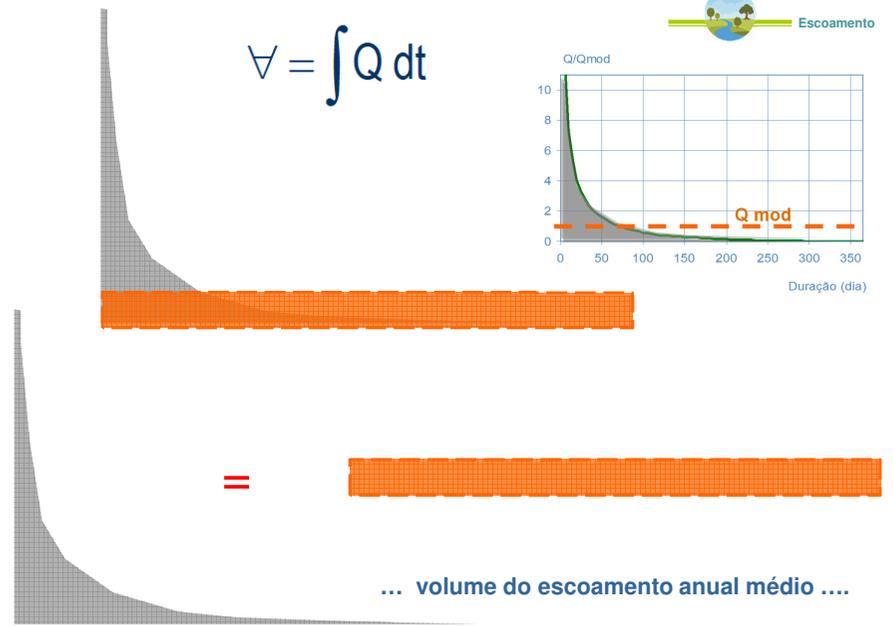
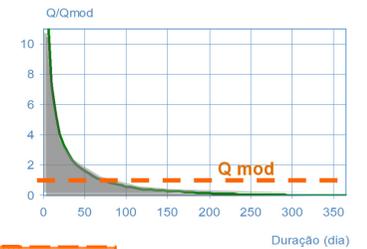
$$\nabla = \int Q dt$$



Duração (dia)

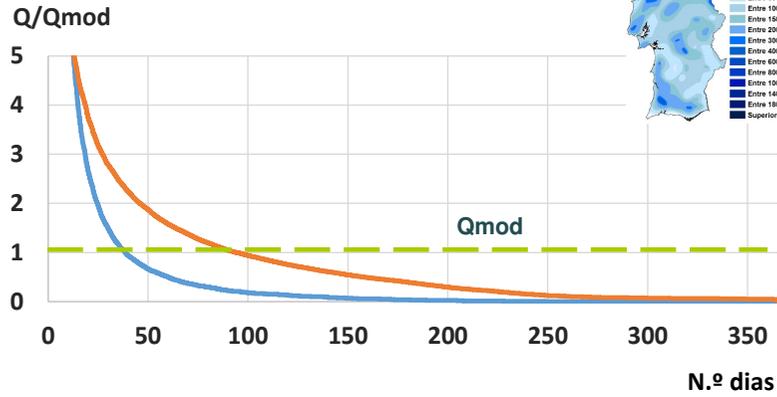
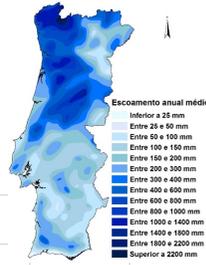
364

$$\nabla = \int Q dt$$

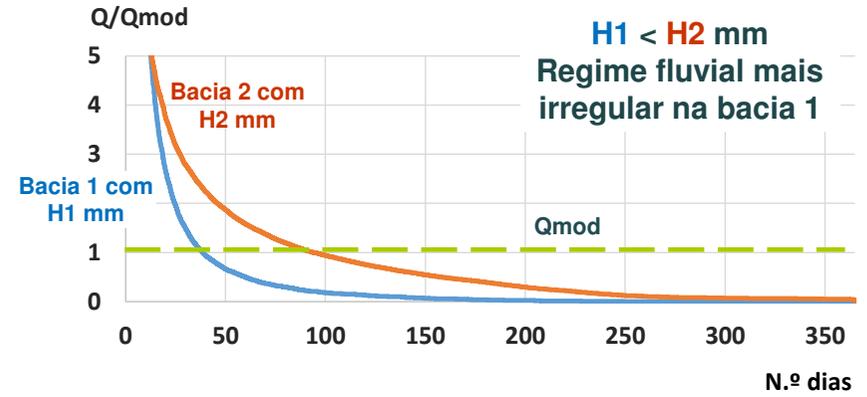


365

Com base em curvas de duração adimensionais: quanto mais irregular é o regime fluvial no curso de água, mais próxima do eixo vertical está a respetiva curva de duração



Com base em curvas de duração adimensionais → quanto mais irregular é o regime fluvial no curso de água, mais próxima do eixo vertical está a respetiva curva de duração



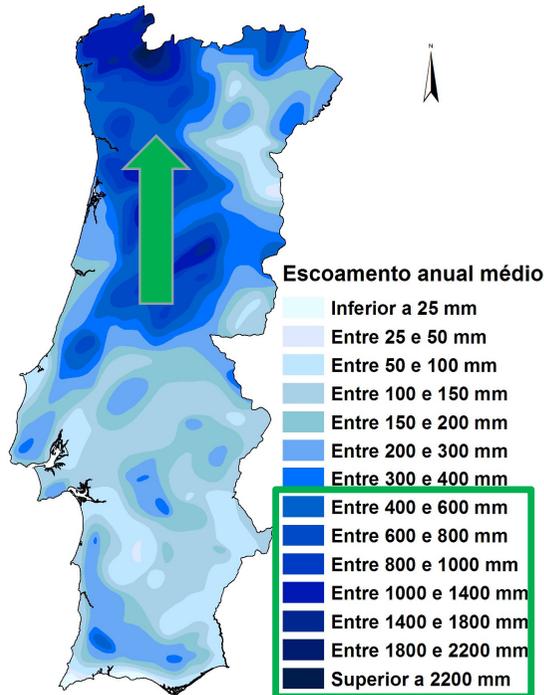
Quanto mais árida é a região, ou seja, quanto menor for H, mais irregular é o regime fluvial

Regime fluvial mais regular

H maior

More regular river regime

H higher

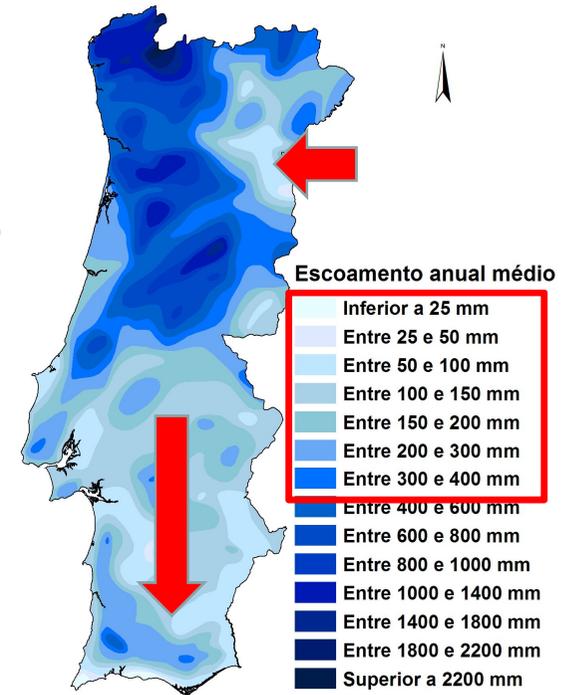


Regime fluvial mais irregular

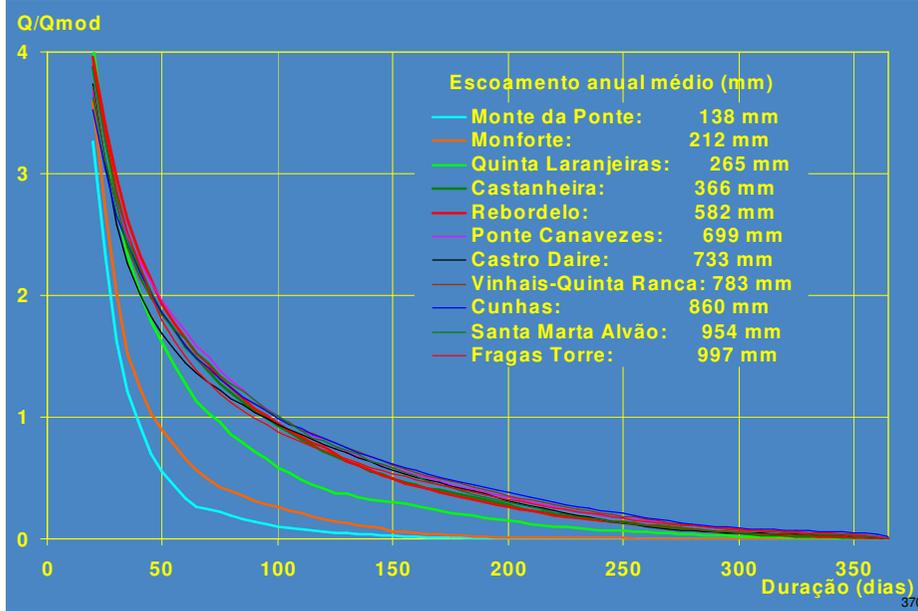
H menor

More irregular river regime

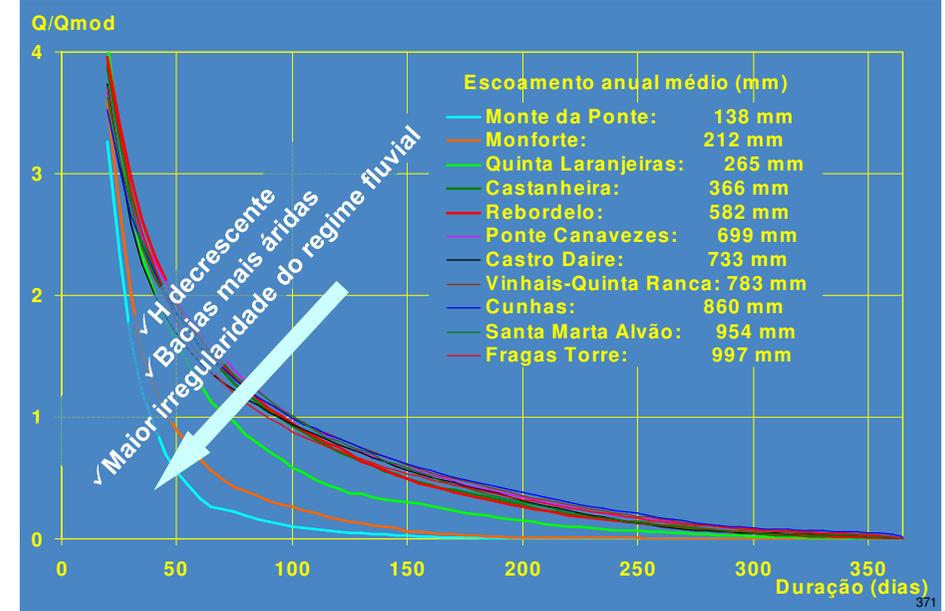
H smaller



Curvas de duração adimensionais para diferentes alturas do escoamento anual médio



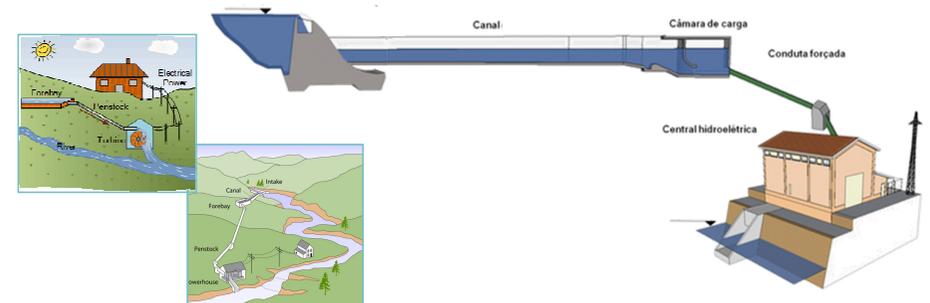
Curvas de duração adimensionais para diferentes alturas do escoamento anual médio

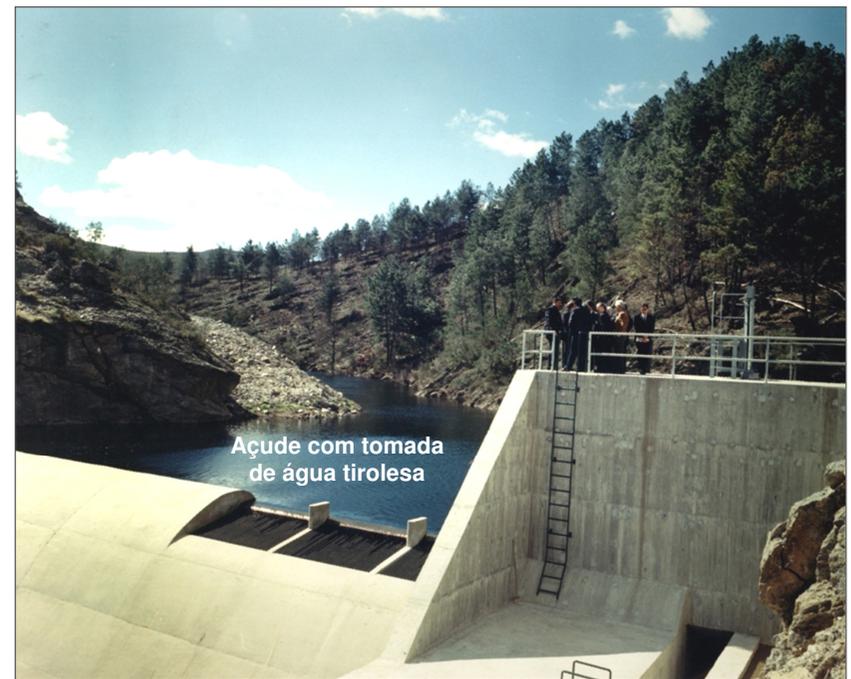


- Apesar de as curvas de duração não fornecerem qualquer indicação sobre a sucessão cronológica dos caudais médios diários, possibilitam uma caracterização sintética do regime hidrológico diário.
- Podem ser diretamente utilizadas como critério de dimensionamento de aproveitamentos hidroelétricos sem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

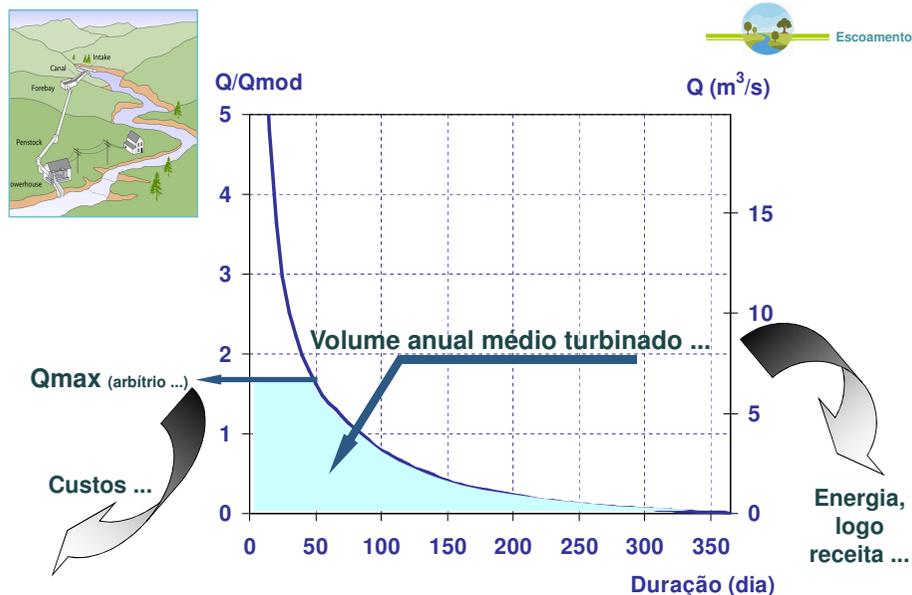


- Apesar de as curvas de duração não fornecerem qualquer indicação sobre a sucessão cronológica dos caudais médios diários, possibilitam uma caracterização sintética do regime hidrológico diário.
- Podem ser diretamente utilizadas como critério de dimensionamento de aproveitamentos hidroelétricos sem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





375



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

Exercício sobre curvas de duração média anual do caudal médio diário

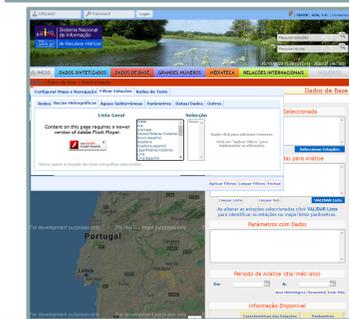
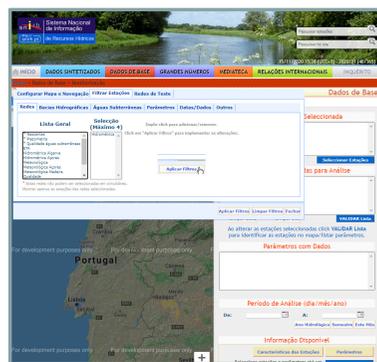
Considere os dados de caudal médio diário no período de 12 anos, entre 1983/1984 e 1994/1995, na estação hidrométrica de Castro Daire (R.E.) (08J/01H), localizada na bacia hidrográfica do rio Douro. A área da correspondente bacia hidrográfica é de 288.17 km².

- Calcule o caudal modular (m³/s) o escoamento anual médio expresso em hm³ e em mm
- Obtenha a curva de duração média anual do caudal médio diário com e sem unidades
- Obtenha o diagrama cronológico do caudal médio diário com e sem unidades, neste caso mediante divisão de cada caudal médio diário pelo módulo
- De modo a caracterizar o regime do escoamento mensal, obtenha, a partir dos caudais médios diários, o volume afluente (hm³) em média em cada mês, bem como a fração que tal volume representa em relação ao volume anual médio. Represente graficamente os anteriores resultados

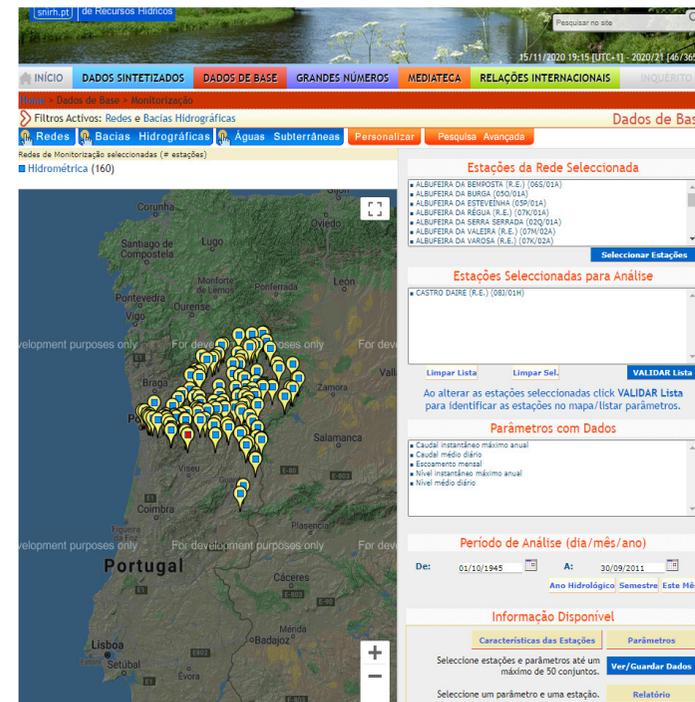


1) Dados de base
2) Monitorização

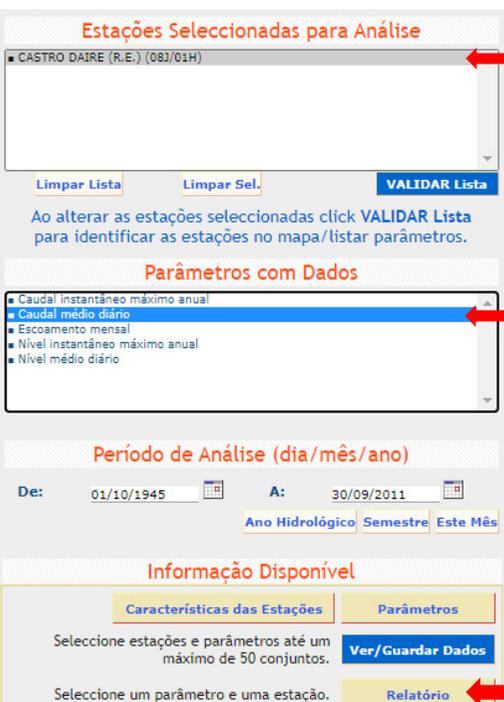
3) Redes
Rede hidrométrica (caudais)
Aplicar filtros



4) Bacia hidrográfica
(no caso do exemplo de aplicação Douro)
Aplicar filtros



Estação hidrométrica (river gauge station) de Castro Daire (R.E.) (08J/01H)



Selecionar a estação hidrométrica e os dados pretendidos (caudal médio diário) e pedir para mostrar a informação na forma de **RELATÓRIO**, de modo a permitir verificar se existem ou não falhas

A caracterização do escoamento diário requer geralmente (... caso do trabalho prático) que se identifique um período de tempo contínuo, com um dado número mínimo de anos (... por simplificação 10 anos, mas cada grupo pode decidir trabalhar com mais) e o mais recente possível **sem falhas de dados**

Dia	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1	0.00	0.64	0.16	1.02	0.66	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	3.50	0.18	0.89	0.62	0.23	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	18.53	4.33	0.74	0.56	0.23	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	8.09	4.21	0.88	0.50	0.23	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	3.52	1.57	0.80	0.47	0.21	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	1.95	1.01	0.52	0.43	0.20	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	1.18	1.01	0.47	0.40	0.19	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	51.51	1.13	0.43	0.37	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	4.41	11.72	0.40	0.38	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	2.12	11.16	0.37	13.16	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	1.07	4.53	0.33	27.88	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.72	2.79	0.32	20.33	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.55	1.90	42.78	10.32	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.49	1.53	15.30	0.89	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.47	1.18	10.15	0.78	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.45	0.89	12.02	1.60	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.37	0.74	107.44	2.12	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	-	0.32	0.68	50.79	1.53	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	3.13	0.30	0.80	9.82	0.89	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	24.08	0.28	0.51	8.17	0.69	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	4.15	0.28	0.45	5.02	0.60	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	1.95	0.32	0.40	4.57	0.52	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	1.08	0.35	0.37	4.24	0.47	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.72	0.35	0.38	2.99	0.40	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.85	0.30	0.37	2.12	0.31	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.80	0.27	0.32	1.70	0.30	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	5.41	0.24	0.38	1.37	0.29	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	5.48	0.21	4.19	0.89	0.28	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	1.95	0.19	3.93	0.78	-	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.08	0.18	3.70	0.74	-	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.72	-	1.84	0.70	-	0.05	-	0.00	-	0.00	0.00	-
N. Valores	30	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30
Min.	-	0.18	0.16	0.32	0.26	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máx.	-	51.51	11.72	107.44	27.88	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Média	-	3.48	2.20	9.23	3.13	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
#dias com dados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	364
Escoamento Mensal (dam ³)	-	8965	5889	24722	7578	379	38	6	0	0	0	0

Em cada ano hidrológico (com início dia 1 de outubro de um ano e fim a 30 de setembro do ano seguinte)

Tabela com os caudais médios diários organizados por meses (na vertical) e por dias (na horizontal)

Na parte inferior da tabela algumas indicações adicionais

Dia	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1	0.00	0.84	0.16	1.02	0.98	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	3.50	0.18	0.89	0.82	0.23	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	18.53	4.33	0.74	0.58	0.23	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	8.89	4.21	0.88	0.50	0.23	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
5	0.00	3.52	1.57	0.80	0.47	0.21	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
6	0.00	1.95	1.01	0.52	0.43	0.20	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
7	0.00	1.18	1.01	0.47	0.40	0.19	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	51.51	1.13	0.43	0.37	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	4.41	11.72	0.40	0.38	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	2.12	11.16	0.37	0.37	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	1.07	4.53	0.33	27.88	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.72	2.79	0.32	20.33	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.55	1.90	42.78	10.32	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.49	1.53	16.30	0.89	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.47	1.18	10.15	0.78	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.45	0.89	12.02	1.80	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.37	0.74	107.44	2.12	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.32	0.68	50.79	1.53	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	3.13	0.30	0.80	9.82	0.89	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	24.08	0.28	0.51	8.17	0.89	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	4.15	0.28	0.45	5.02	0.80	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	1.95	0.32	0.40	4.57	0.52	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	1.08	0.35	0.37	4.24	0.47	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.72	0.35	0.38	2.99	0.40	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.85	0.30	0.37	2.12	0.31	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.80	0.27	0.32	1.70	0.30	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	5.41	0.24	0.38	1.37	0.29	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	5.48	0.21	4.19	0.89	0.28	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	1.95	0.19	3.93	0.78	-	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.08	0.18	3.70	0.74	-	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.72	-	1.84	0.70	-	0.05	-	0.00	-	0.00	0.00	-
N. Valores	30	30	31	31	28	31	30	31	31	31	30	30
Min.	-	0.18	0.16	0.32	0.26	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máx.	-	51.51	11.72	107.44	27.88	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Média	-	3.49	2.20	9.23	3.13	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
#dias com dados	364											
Escoamento Mensal (dam ³)	-	8985	5889	24722	7578	379	38	8	0	0	0	0

Deteção de falhas (gaps)

30	31	31	30
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
364			

Estações Seleccionadas para Análise

CASTRO DAIRE (R.E.) (083/01H)

[Limpar Lista](#) [Limpar Sel.](#) [VALIDAR Lista](#)

Ao alterar as estações seleccionadas click **VALIDAR Lista** para identificar as estações no mapa/listar parâmetros.

Parâmetros com Dados

- Caudal instantâneo máximo anual
- Caudal médio diário
- Escoamento mensal
- Nível instantâneo máximo anual
- Nível médio diário

Período de Análise (dia/mês/ano)

De: 01/10/1983 A: 30/09/1995

[Ano Hidrológico](#) [Semestre](#) [Este Mês](#)

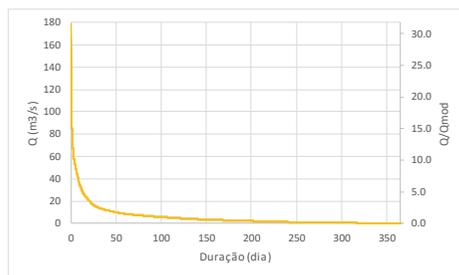
Informação Disponível

[Características das Estações](#) [Parâmetros](#)

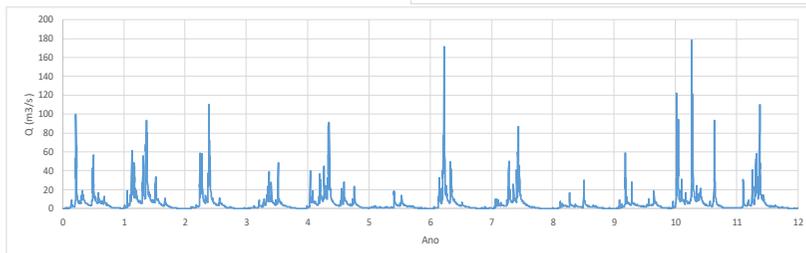
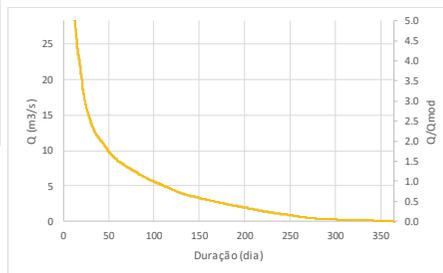
Seleccione estações e parâmetros até um máximo de 50 conjuntos. [Ver/Guardar Dados](#)

Seleccione um parâmetro e uma estação. [Relatório](#)

Escolhido o período de tempo a considerar no estudo, identificar esse período e pedir os dados na opção **VER/GUARDAR DADOS** (podem ser transferidos para o Excel por copy/paste)

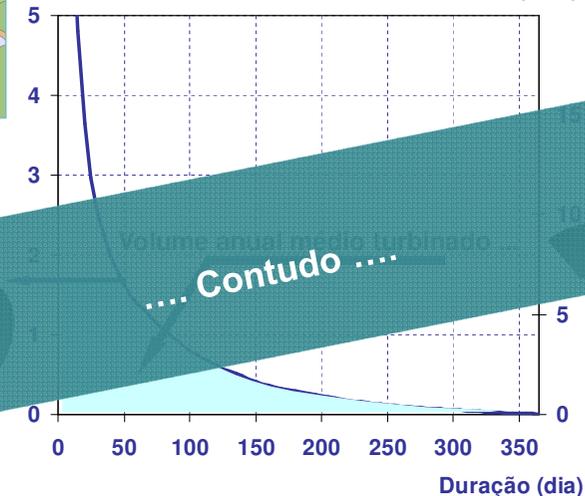


Exercício sobre curvas de duração média anual do caudal médio diário



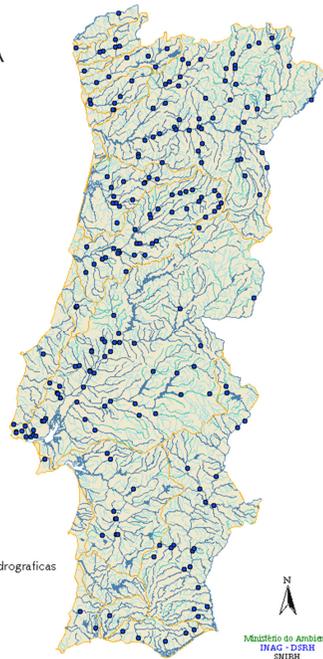
Q/Qmod

Q (m³/s)



Comparação de soluções definidas por diferentes valores de Qmax por recurso a critérios de análise económica ...

REDE
HIDROMÉTRICA



● Estação
 〰 Rios Principais
 〰 Rios secundários
 □ Principais bacias hidrográficas

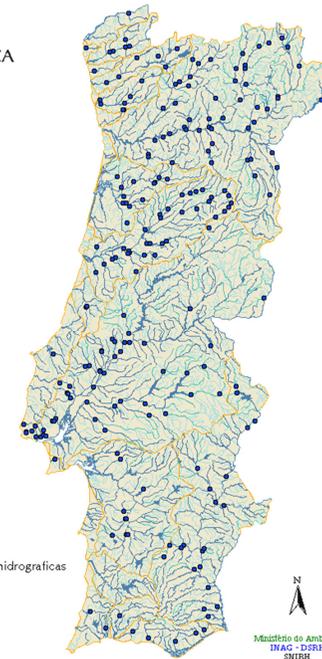
0 20 40 60 km
 Projeção de Gauss
 latitude de Bayona

Ministério do Ambiente
 INAG - DSRH
 SWISS

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.

The river discharge monitoring network is very sparse compared to the one of the rainfall. Additionally, most of the historical series have insufficient length and several gaps

REDE
HIDROMÉTRICA



● Estação
 〰 Rios Principais
 〰 Rios secundários
 □ Principais bacias hidrográficas

0 20 40 60 km
 Projeção de Gauss
 latitude de Bayona

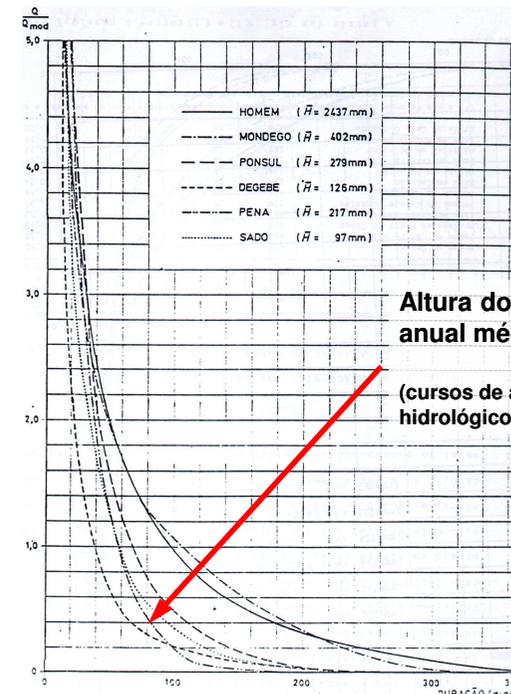
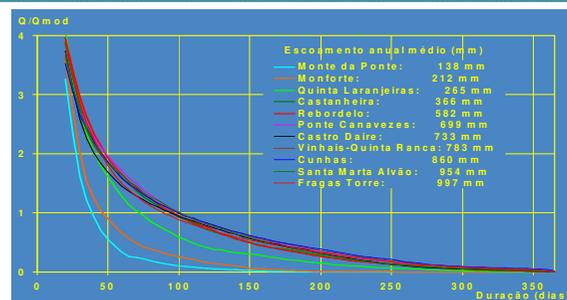
Ministério do Ambiente
 INAG - DSRH
 SWISS

.... 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)

... additional studies for mainland Portugal aiming at transposing the river discharges acquired at the river gauges to sections without discharge records

Bacias hidrográficas naturais com alturas do escoamento anual médio próximas apresentam curvas de duração média anual adimensionais com configurações próximas desde que as condições geológicas ocorrentes nas bacias não difiram muito

The dimensionless mean annual duration curves in watersheds under natural conditions with similar mean annual flow, H, have similar shapes provided the geological characteristics of the watersheds are close

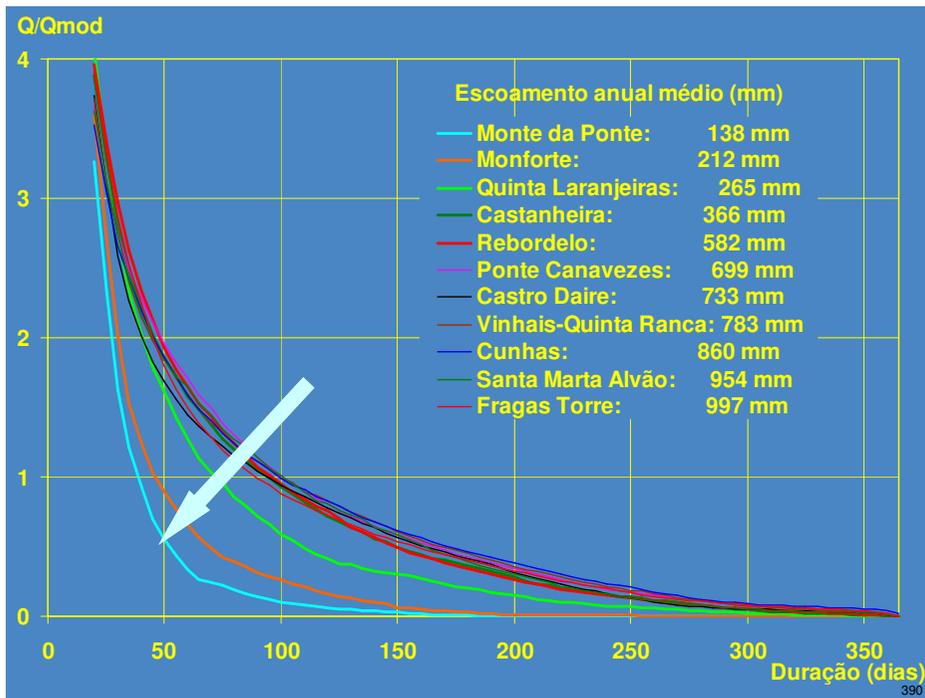


Curvas (adimensionais) de duração média anual do caudal médio diário em cursos de água de Portugal Continental.

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 similitude entre curvas de duração adimensionais em bacias hidrográficas com alturas do escoamento anual médio próximas **INDICA QUE OS REGIMES FLUVIAIS SÃO PRÓXIMOS, UMA VEZ QUE SEJAM DEVIDAMENTE ADIMENSIONALIZADOS**
- ✓ **PADRÕES TEMPORAIS DOS ESCOAMENTOS FLUVIAIS ADIMENSIONAIS PRÓXIMOS**
- ✓ The similarity between dimensionless flow duration curves in watersheds with close annual flow depths **INDICATES THAT THE RIVER REGIMES ARE SIMILAR PROVIDED THEY ARE PROPERLY MADE DIMENSIONLESS**
- ✓ **SIMILAR TEMPORAL PATTERNS OF THE DIMENSIONLESS RIVER FLOWS**



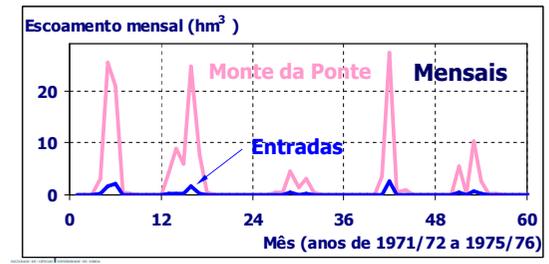
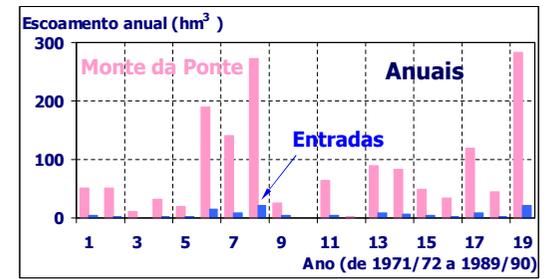
Modelo de regionalização visando a transposição de informação hidrométrica de uma secção da rede hidrográfica onde essa informação está disponível (secção monitorizada) para outra secção sem qualquer informação hidrométrica (secção não monitorizada), à exceção da estimativa da altura do escoamento anual médio

Regionalization model, based on the similarity of the mean annual flow depths, aiming at transposing river flows from one river section where such information is available to another river section without records

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



Duas bacias hidrográficas em condições naturais, com alturas do escoamento anual médio próximas (em ambas as bacias $H \sim 120$ mm) e com características geológicas afins (... proximidade geográfica ...) mas com escoamentos muito distintos por terem áreas de bacia hidrográfica totalmente distintas



Estação hidrométrica de Entradas (52 km²)

Estação hidrométrica de Monte da Ponte (707 km²)

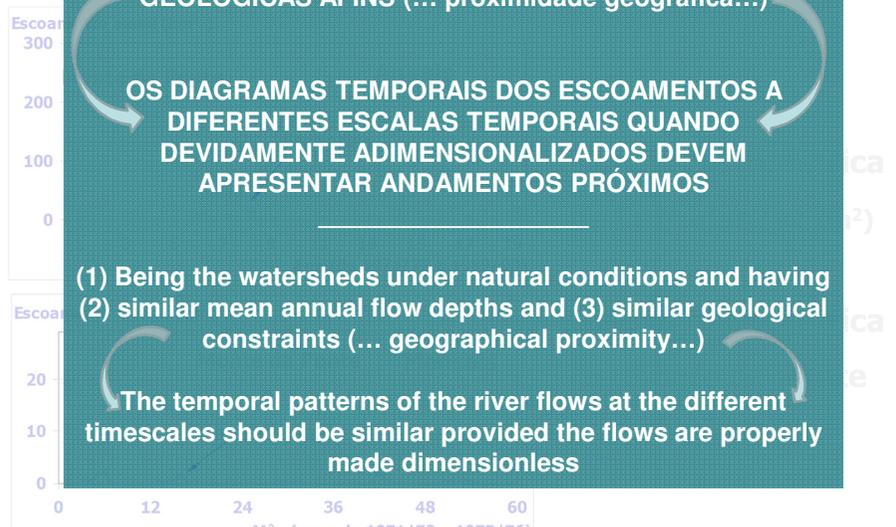
Duas bacias hidrográficas em condições naturais, com alturas do escoamento anual

SENDO (1) AS BACIAS HIDROGRÁFICAS NATURAIS, (2) OS VALORES DE H PRÓXIMOS E (3) AS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS AFINS (... proximidade geográfica...)

OS DIAGRAMAS TEMPORAIS DOS ESCOAMENTOS A DIFERENTES ESCALAS TEMPORAIS QUANDO DEVIDAMENTE ADIMENSIONALIZADOS DEVEM APRESENTAR ANDAMENTOS PRÓXIMOS

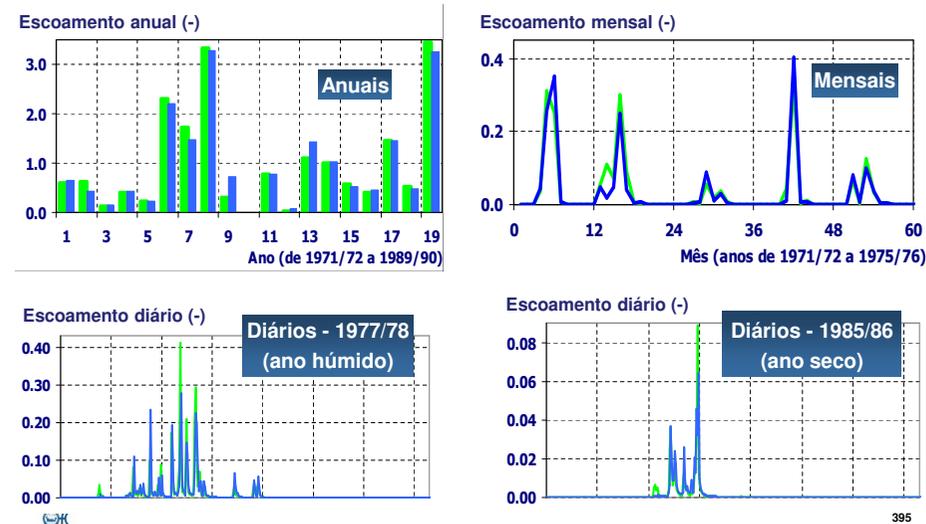
(1) Being the watersheds under natural conditions and having
(2) similar mean annual flow depths and (3) similar geological constraints (... geographical proximity...)

The temporal patterns of the river flows at the different timescales should be similar provided the flows are properly made dimensionless



394

ESCOAMENTOS ADIMENSIONAIS EM ENTRADAS (A=52 km²) e MONTE DA PONTE (A=707 km²)



1. Adimensionalização dos dados de caudal por aplicação de uma das seguintes equações:

$$[1] \quad H_{i,j}^2 = H_{i,j}^1 \frac{H_2}{H_1}$$

$$[2] \quad Q_{i,j}^2 = Q_{i,j}^1 \frac{V_2}{V_1}$$

$$[3] \quad Q_{i,j}^2 = Q_{i,j}^1 \frac{Q \text{ mod } 2}{Q \text{ mod } 1}$$

$$[4] \quad V_{i,j}^2 = V_{i,j}^1 \frac{V_2}{V_1}$$

$$[5] \quad V_{i,j}^2 = V_{i,j}^1 \frac{Q \text{ mod } 2}{Q \text{ mod } 1}$$

Bacia hidrográfica:

Índice 1 – monitorizada

(estação hidrométrica)

Índice 2 – não monitorizada

(aproveitamento hidroelétrico)

1. Adimensionalização dos dados de caudal por aplicação de uma das seguintes equações:

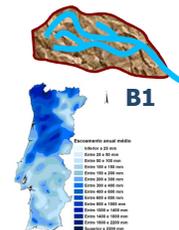
$$Q_{i,j}^2 = Q_{i,j}^1 \frac{Q \text{ mod } 2}{Q \text{ mod } 1}$$

Bacia hidrográfica:

Índice 1 – monitorizada (estação hidrométrica)

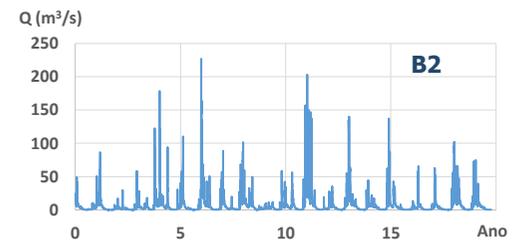
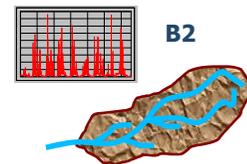
Índice 2 – não monitorizada (aproveitamento hidroelétrico)

OBJETIVO: OBTER UMA SÉRIE SUFICIENTEMENTE LONGA DE CAUDAIS MÉDIOS DIÁRIOS AFLUENTES À TOMADA DE ÁGUA DO PEQUENO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE MODO A ESTIMAR A PRODUÇÃO DE ENERGIA MEDIANTE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DIÁRIA DA CENTRAL DO APROVEITAMENTO



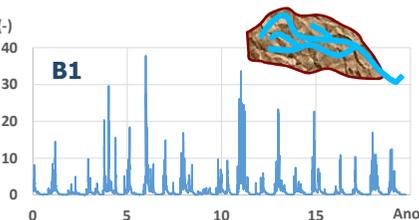
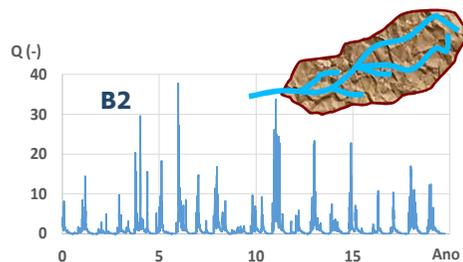
No caso geral, obtenção de uma **série de caudais a uma dada escala temporal** (ex. caudais médios diários) para a bacia hidrográfica, **B1**, com **área A1** sem dados de caudal e para a qual se estimou, por um modelo adequado, a altura do escoamento anual médio de **H1**

1) Identificação de uma bacia hidrográfica, B2, dispondo de dados de caudais e com a altura do escoamento anual médio, H2, próxima de H1 $\leftrightarrow H2 \sim H1$



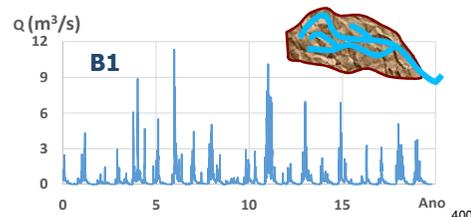
2) Recolha dos dados de caudal disponíveis na bacia hidrográfica, B2

3) Adimensionalização dos dados de caudal disponíveis na bacia hidrográfica, B2



4) Atendendo à proximidade das alturas do escoamento anual médios nas bacias B1 e B2, $H1 \sim H2$, adoção dos caudais adimensionais na bacia B1

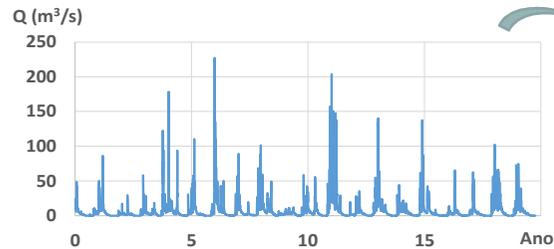
5) Transformação dos caudais médios diários adimensionais em caudais representativos da bacia hidrográfica em que não existem registos, B1



3) Adimensionalização dos dados de caudal disponíveis na bacia hidrográfica

No essencial o procedimento admite que os diagramas cronológicos adimensionais dos caudais médios diários na bacia hidrográfica B2 com registos e na bacia hidrográfica B1 sem registos, para a qual se querem estimar caudais, são muito razoavelmente iguais desde que sejam bacias hidrográficas em regime natural, com afinidade geológica e com as alturas do escoamento anual médio nas duas bacias próximas $\rightarrow H1 \sim H2$

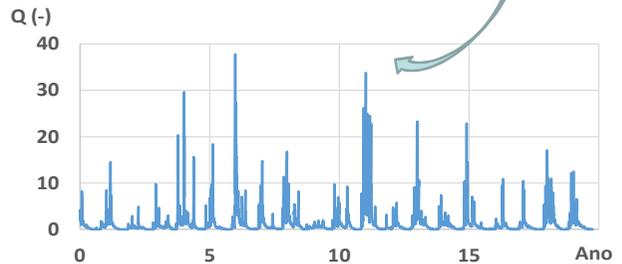
Em **B2** (bacia com registos) como se **adimensionalizam** os caudais médios diários disponíveis de modo a ter caudais adimensionais?



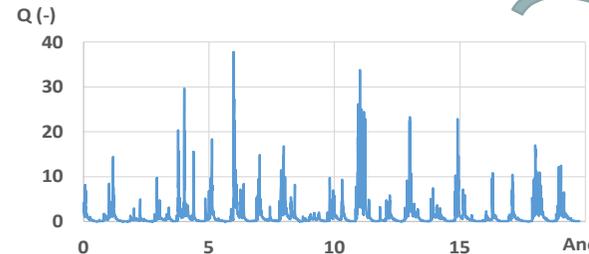
Divisão pelo módulo da bacia hidrográfica B2, Q_{mod_2}

Havendo registos de caudais médios diários
módulo = média de todos esses caudais

$$Q_{mod} = \frac{\sum Q_i}{N}$$

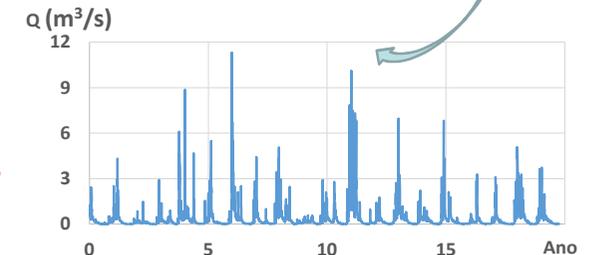


Em **B1** (bacia sem registos, mas com valor de **H1** conhecido) como se atribuem unidades aos caudais adimensionais transpostos de **B2** de modo a torná-los representativos das condições de escoamento em **B1**?



Multiplicação pelo módulo da bacia hidrográfica B1, Q_{mod_1}

Como calcular o módulo da bacia hidrográfica 1, Q_{mod_1} , se não se dispõe aí de registos?

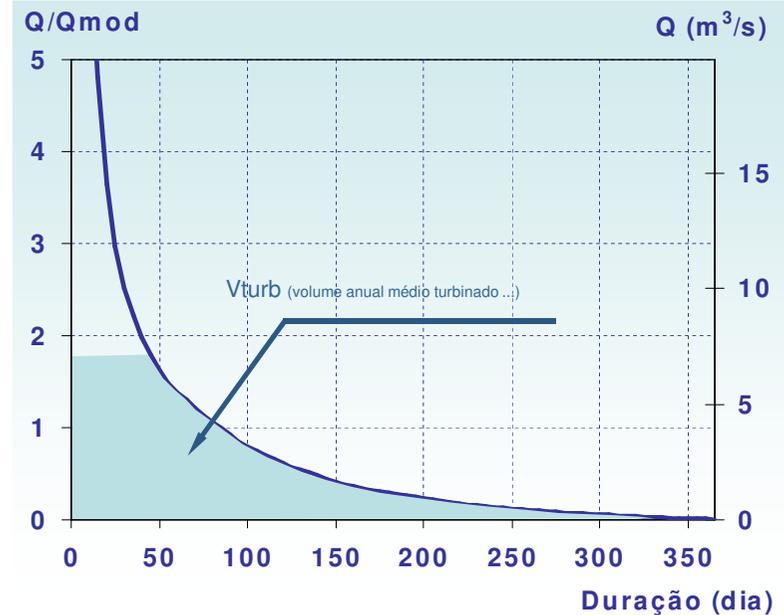


Módulo: caudal médio diário fictício tal que se ocorresse uniformemente ao longo de todo o tempo transportaria o volume anual médio verificado na secção do curso de água em **consideração** (modulus: fictitious mean daily discharge such that if it occurred uniformly throughout the time the volume of water conveyed would be equal to the mean annual flow at the considered outlet section)

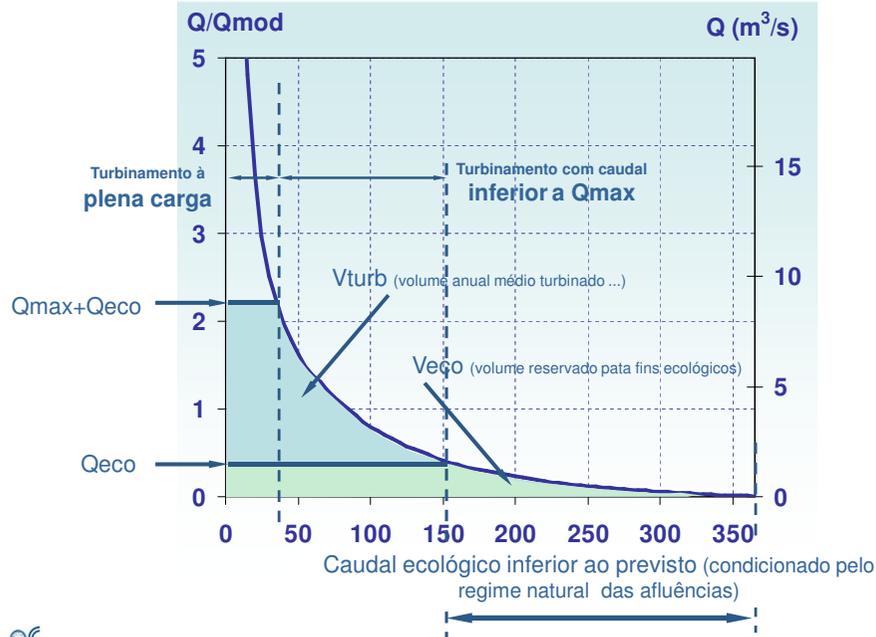
$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{H} \\ A \end{array} \right\} \rightarrow V = \bar{H} \times A \rightarrow Q_{mod} = \frac{V}{24 \times 365 \times 3600}$$

Volume do escoamento anual médio

Apontamento sobre o caudal ecológico (no pressuposto de Qeco constante)



Apontamento sobre o caudal ecológico (no pressuposto de Qeco constante)



1. Simulação da exploração diária de central ... em cada dia, prioridade ao lançamento para jusante do caudal ecológico, Qeco
2. Havendo caudal remanescente, desvio, para o circuito hidráulico, da totalidade ou de parte desse caudal remanescente, até ao limite do caudal de dimensionamento da central hidroelétrica, Qmax
3. Havendo ainda caudal remanescente, lançamento para jusante, por descarga sobre o açude
4. Dia a dia, estimativa do volume utilizado na produção de energia
5. Estimativa do volume anual médio utilizado na produção de energia → cálculo da energia anual média

ALGORÍTMO DA SIMULAÇÃO PARA UM DIA GENÉRICO i

- Q** Caudal médio diário afluyente ao pequeno aproveitamento hidroelétrico
- Qmax** Caudal máximo derivável
- Qeco** Caudal ecológico pretendido no mês a que pertence o dia i, Qeco
- Q*eco, V*eco** Caudal ecológico efetivamente lançado para jusante e correspondente volume
- Qturb, Vturb** Caudal turbinado e correspondente volume
- Qdesc, Vdesc** Caudal descarregado para jusante sobre o açude e correspondente volume
- Qinterf, Vinterf** Caudal no trecho interferido do rio, entre o açude e a restituição da central hidroelétrica e correspondente volume

1) $Q \Rightarrow Q_{aux1} = Q - Qeco \Rightarrow Q_{aux1} \leq 0 \Rightarrow Q^*eco = Q$ (o caudal afluyente não chega sequer para cumprir o caudal ecológico)
 $Qturb = 0$
 $Qdesc = 0$

(o caudal afluyente deduzido do caudal ecológico é inferior ao caudal máximo derivável)

2) $Q_{aux1} \geq 0 \Rightarrow Q^*eco = Qeco$
 $Q_{aux2} = Q - Qeco$
 $Q_{aux2} \leq Qmax \Rightarrow Qturb = Q - Qeco$
 $Qdesc = 0$

(o caudal afluyente deduzido do caudal ecológico e superior ao caudal máximo derivável e havendo descargas sobre o açude)

3) $Q_{aux2} \geq Qmax \Rightarrow Qturb = Qmax$
 $Qdesc = Q - Qeco - Qmax$

ALGORÍTMO DA SIMULAÇÃO PARA UM DIA GENÉRICO i

- Q** Caudal médio diário afluyente ao pequeno aproveitamento hidroelétrico
- Qmax** Caudal máximo derivável
- Qeco** Caudal ecológico pretendido no mês a que pertence o dia i, Qeco
- Q*eco, V*eco** Caudal ecológico efetivamente lançado para jusante e correspondente volume
- Qturb, Vturb** Caudal turbinado e correspondente volume
- Qdesc, Vdesc** Caudal descarregado para jusante sobre o açude e correspondente volume
- Qinterf, Vinterf** Caudal no trecho interferido do rio, entre o açude e a restituição da central hidroelétrica e correspondente volume

1) $Q \Rightarrow Q_{aux1} = Q - Qeco \Rightarrow Q_{aux1} \leq 0 \Rightarrow Q^*eco = Q$ (o caudal afluyente não chega sequer para cumprir o caudal ecológico)
 $Qturb = 0$
 $Qdesc = 0$

(o caudal afluyente deduzido do caudal ecológico é inferior ao caudal máximo derivável)

2) $Q_{aux1} \geq 0 \Rightarrow Q^*eco = Qeco$
 $Q_{aux2} = Q - Qeco$
 $Q_{aux2} \leq Qmax \Rightarrow Qturb = Q - Qeco$
 $Qdesc = 0$

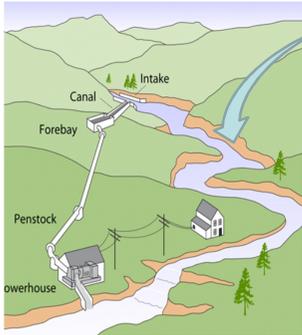
(o caudal afluyente deduzido do caudal ecológico e superior ao caudal máximo derivável e havendo descargas sobre o açude)

3) $Q_{aux2} \geq Qmax \Rightarrow Qturb = Qmax$
 $Qdesc = Q - Qeco - Qmax$

... aplicação simples da equação da continuidade

ALGORÍTMO DA SIMULAÇÃO PARA UM DIA GENÉRICO i

- Q** Caudal médio diário afluente ao pequeno aproveitamento hidroelétrico
- Qmax** Caudal máximo derivável
- Qeco** Caudal ecológico pretendido no mês a que pertence o dia i, Qeco
- Q*eco, V*eco** Caudal ecológico efetivamente lançado para jusante e correspondente volume
- Q turb, Vturb** Caudal turbinado e correspondente volume
- Qdesc, Vdesc** Caudal descarregado para jusante sobre o açude e correspondente volume
- Qinterf, Vinterf** Caudal no trecho interferido do rio, entre o açude e a restituição da central hidroelétrica e correspondente volume



Trecho do rio interferido
 $Q_{interf} = Q^*eco + Q_{desc}$

Volume correspondente a um dado caudal médio diário

$$V' (m^3) = Q' (m^3/s) \times 24 \text{ h} \times 3600 \text{ s}$$

Simulação da exploração diária da central hidroelétrica

		Estação hidrométrica	PCH											
Ano	Dia	Caudal afluente (m³/s)	Caudal afluente		Caudal ecológico		Caudal turbinado			Caudal sobre o descarregador		Caudal no trecho interferido		
			Caudal (m³/s)	Volume (dam³)	Caudal (m³/s)	Volume (dam³)	Caudal (m³/s)	Volume (dam³)	Energia produzida (GWh)	Caudal (m³/s)	Volume (dam³)	Caudal (m³/s)	Volume (dam³)	
Valores anuais	1	1												
		2												
		365												
		Total anual												
	2	1												
		2												
		365												
		Total anual												
	3	1												
		2												
		365												
		Total anual												
.....													
N	1													
	2													
	365													
	Total anual													
Valores anuais médios (hm³)														