

Basic concepts of hydrology

- ✓ Hydrological or water cycle
- ✓ Watersheds and the physiographic characterization

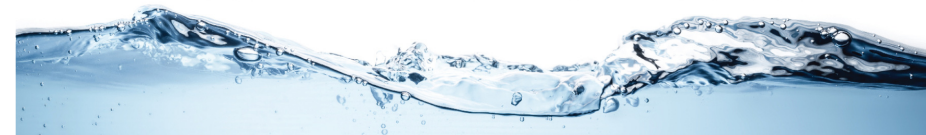
Energia Hídrica

Maria Manuela Portela

Set/2020

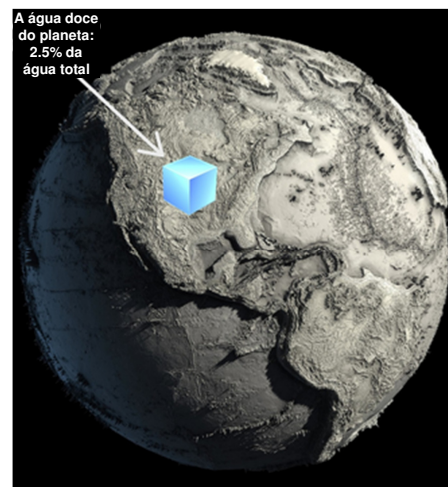
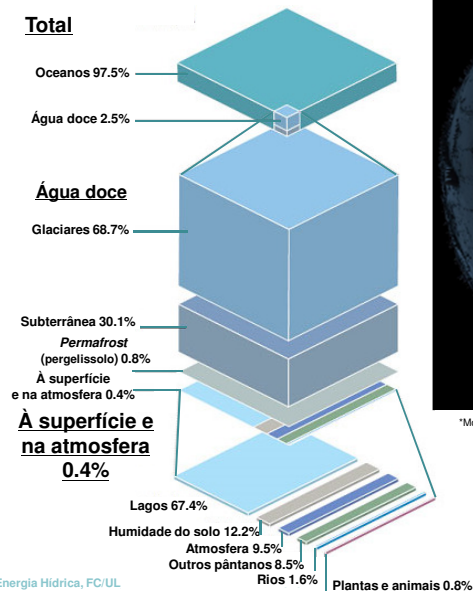
CONSEGUIMOS CALCULAR O CUSTO DE TUDO, EXCETO O DE UM FUTURO SEM ÁGUA.

QUANTO VALE A ÁGUA? VALE TUDO. VALE O FUTURO.



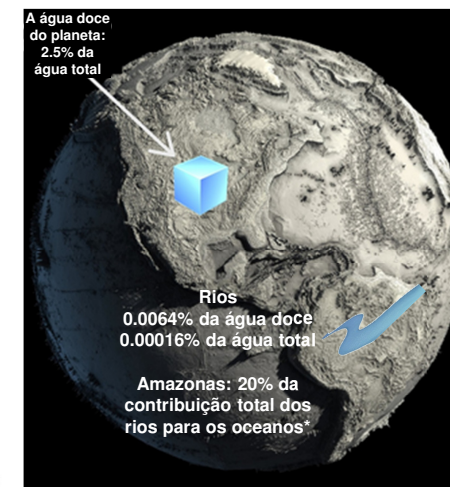
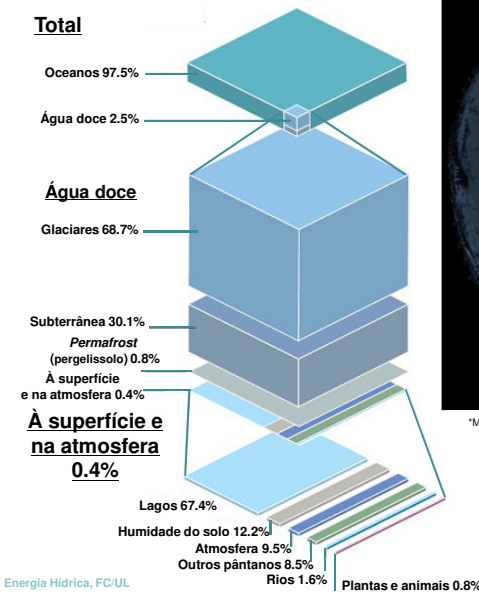
How much is the water worth? Everything. The future

Ciclo hidrológico



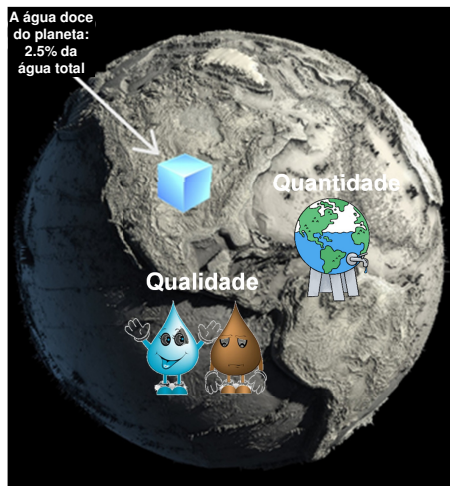
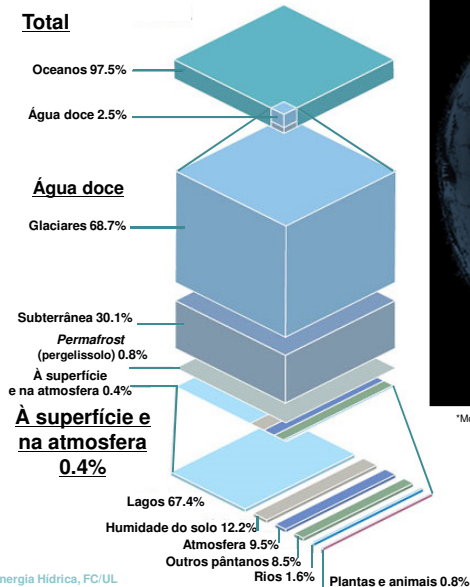
*Moura et al., 2016, An extensive reef system at the Amazon River mouth, Science Advances, (2):4, DOI: 10.1126/sciadv.1501252

Ciclo hidrológico



*Moura et al., 2016, An extensive reef system at the Amazon River mouth, Science Advances, (2):4, DOI: 10.1126/sciadv.1501252

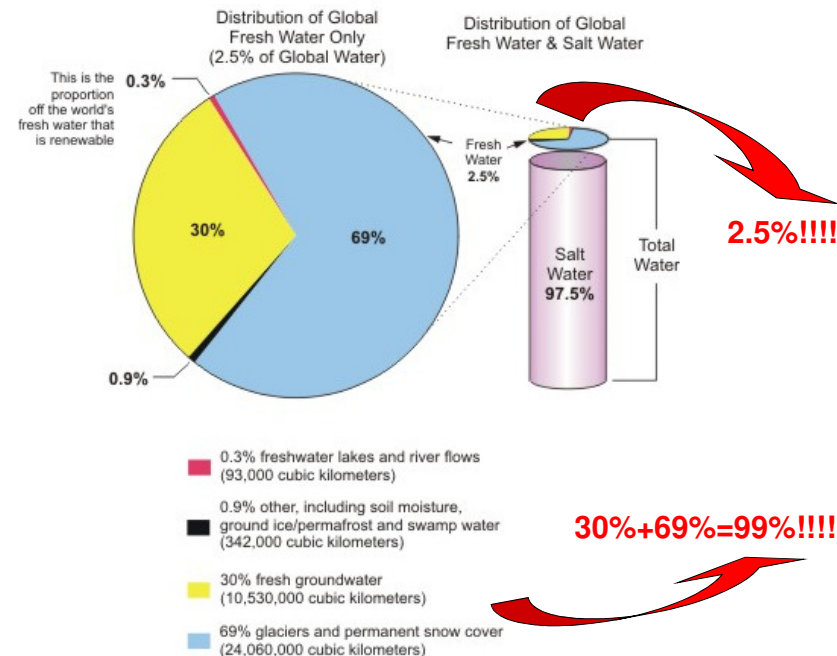
Ciclo hidrológico



*Moura et al., 2016, An extensive reef system at the Amazon River mouth, Science Advances, (2):4, DOI: 10.1126/sciadv.1501252

THE WORLD'S WATER

Encyclopedia of Desalination and Water Resources (DESWARE)



Distribuição. Balanço anual médio da água da Terra. Ciclo hidrológico

Estimativa da distribuição da água na Terra e tempo médio de residência ¹					
Reservatório	Área (10 ⁶ km ²)	Volume (10 ⁶ km ³)	Fracção do total (%)	Fracção da água doce (%)	Tempo médio de residência (a)
Oceanos	361.3	1338	96.5	-	2500
Solo	82.0	0.0165	0.0012	0.05	1
Sub-solo	134.8	23.4	1.7		1400
Calotes polares e glaciares	Doce	10.53	0.76	30.1	9700
		16.2	24.1	1.74	
Lagos, mares interiores e pântanos	Doce	0.1	0.008	0.29	= ~99%!!!!
		4.7	0.19	0.014	
Rios		0.0021	0.0002	0.006	0.044 (16 d)
Biosfera	510.0	0.0011	0.0001	0.003	(horas a dias)
Atmosfera	510.0	0.0129	0.001	0.04	0.022 (8 d)
Total		1386	100		Tempo médio de renovação
	Doce	35	2.53	100	

¹ Dingman, S. L. (1994). Physical Hydrology, MacMillan, NY.

² Cerca de 70.8% da superfície da Terra (510072000 km²).

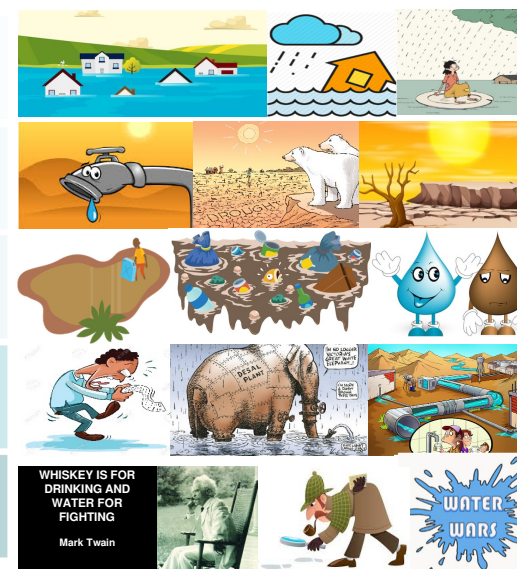
Tanta/so much

Tão pouca/so little

Tão suja/so dirty

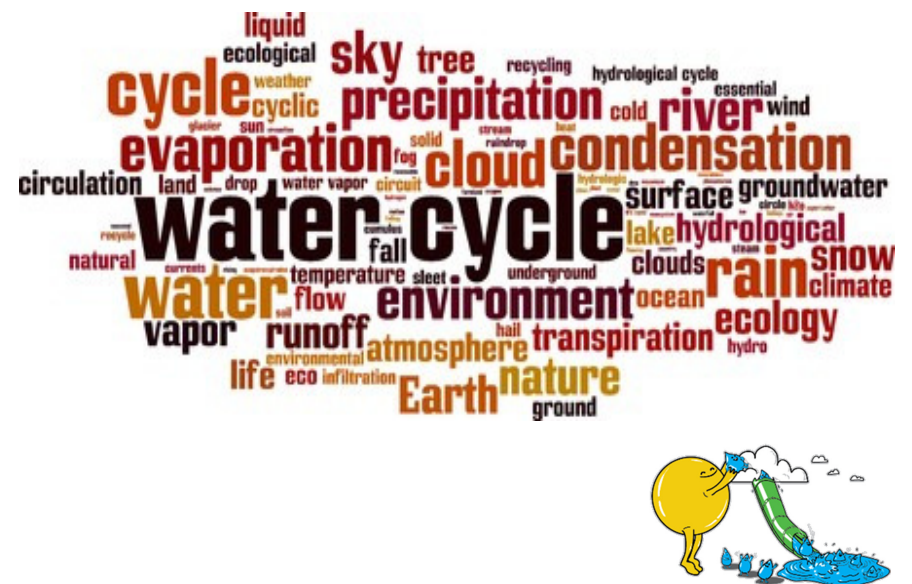
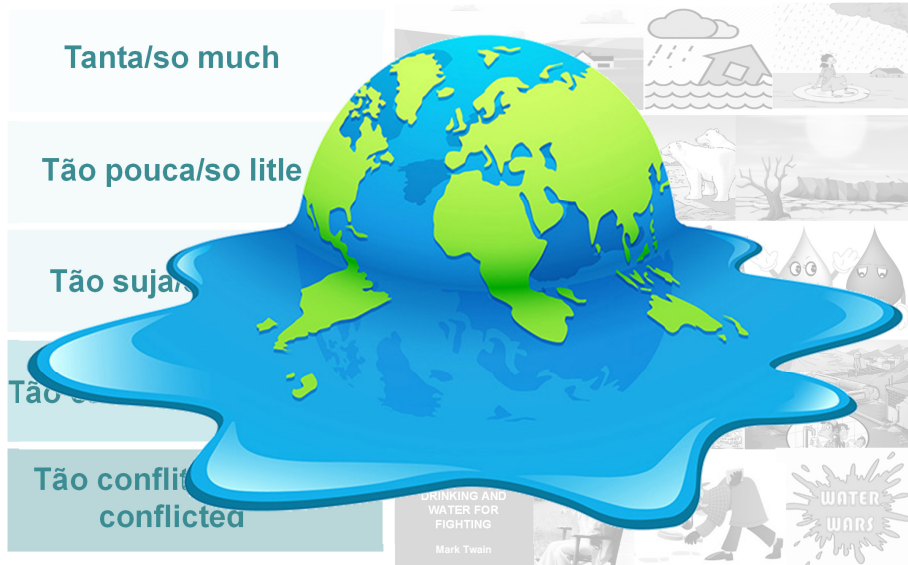
Tão cara/so expensive

Tão conflituosa/So conflicted



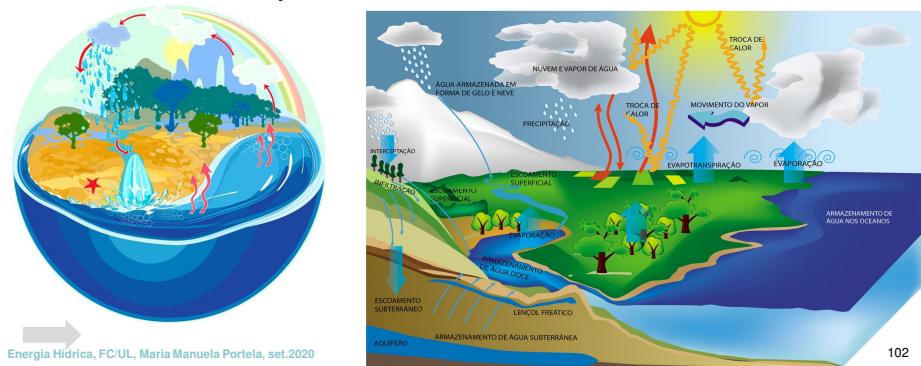
WHISKEY IS FOR DRINKING AND WATER FOR FIGHTING
Mark Twain

WATER WARS



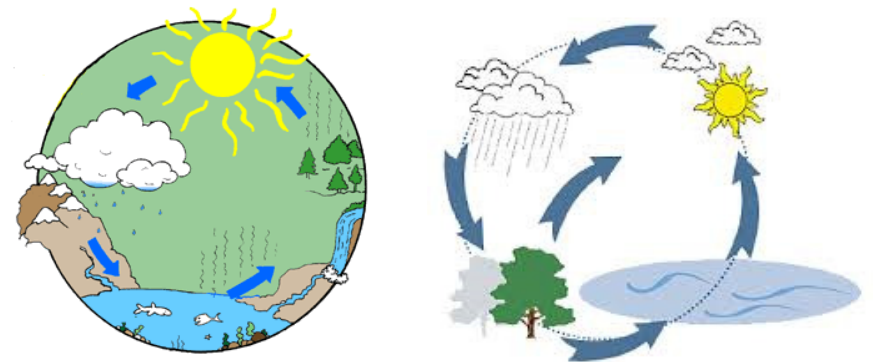
Distribuição. Balanço anual médio da água da Terra. Ciclo hidrológico

CICLO HIDROLÓGICO: sequência fechada dos processos envolvidos no movimento contínuo da água entre a Terra e a atmosfera. Ao longo deste ciclo, a água **EVAPORA-SE** a partir dos oceanos e da superfície da Terra, entra na circulação atmosférica sob a forma de vapor, retorna à superfície como **PRECIPITAÇÃO** líquida ou sólida, é interceptada por obstáculos que a impedem de atingir o solo, produz **ESCOAMENTO** sobre o terreno, **INFILTRA-SE** para o interior solo, possibilita a **RECARGA DOS AQUÍFEROS**, concentra-se sob a forma de escoamento canalizado na rede fluvial que a encaminha para os oceanos de onde se evapora novamente.

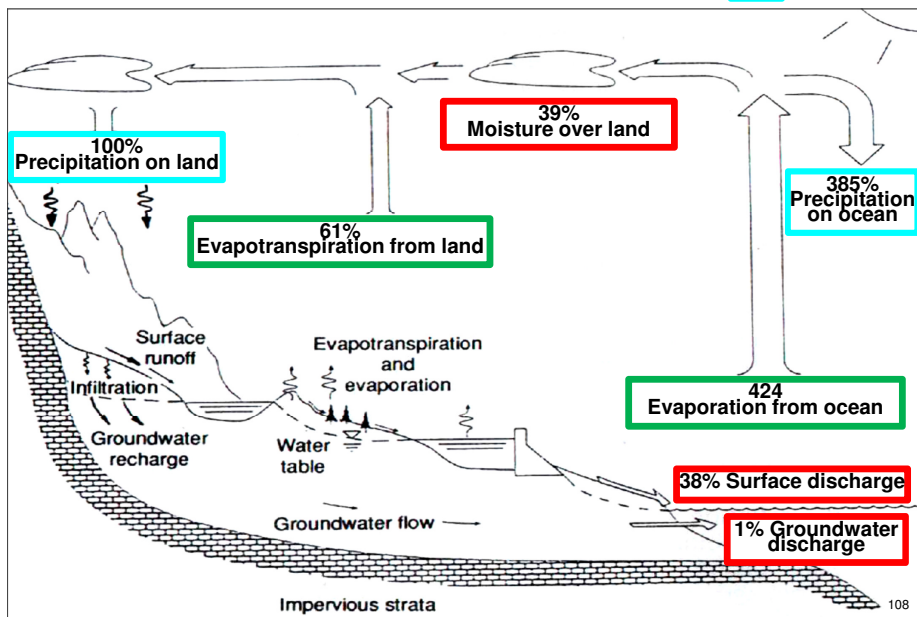


Distribuição. Balanço anual médio da água da Terra. Ciclo hidrológico

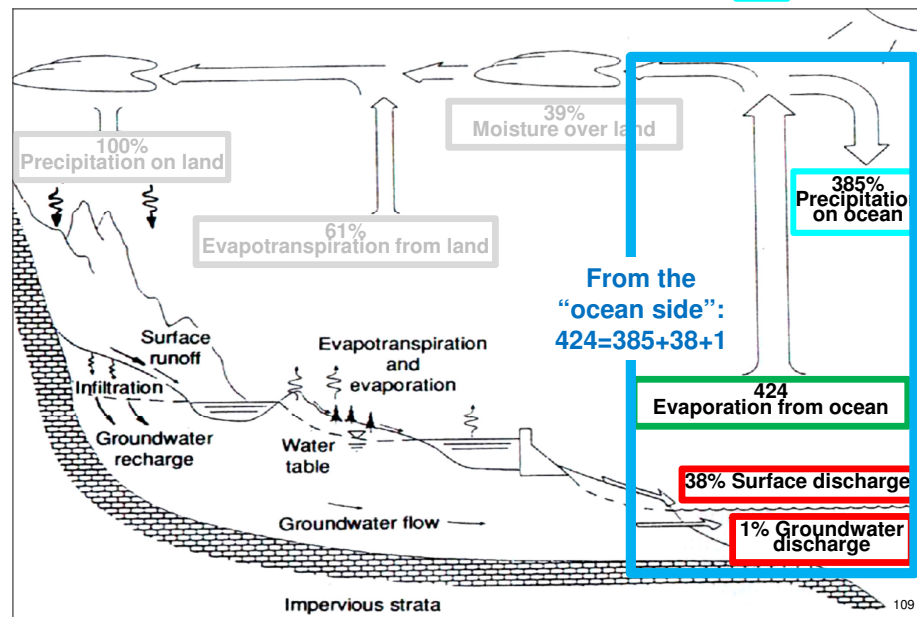
O **CICLO HIDROLÓGICO** constitui uma **IMENSA MÁQUINA** acionada fundamentalmente pela **ENERGIA SOLAR** e com movimentos determinados pela **GRAVIDADE**, que, mediante um sistema contínuo de **CIRCULAÇÃO**, leva a cabo a **RENOVAÇÃO DA ÁGUA DOCE**, imprescindível à vida na terra.



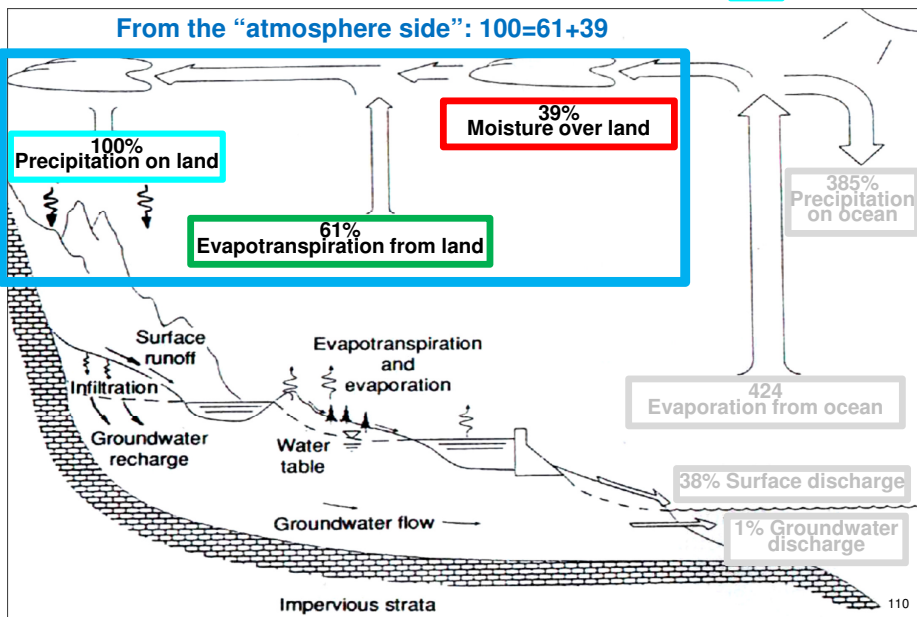
ANNUAL VOLUMES OF WATER EXPRESSED IN PERCENTAGE OF THE PRECIPITATION OVER THE CONTINENTS



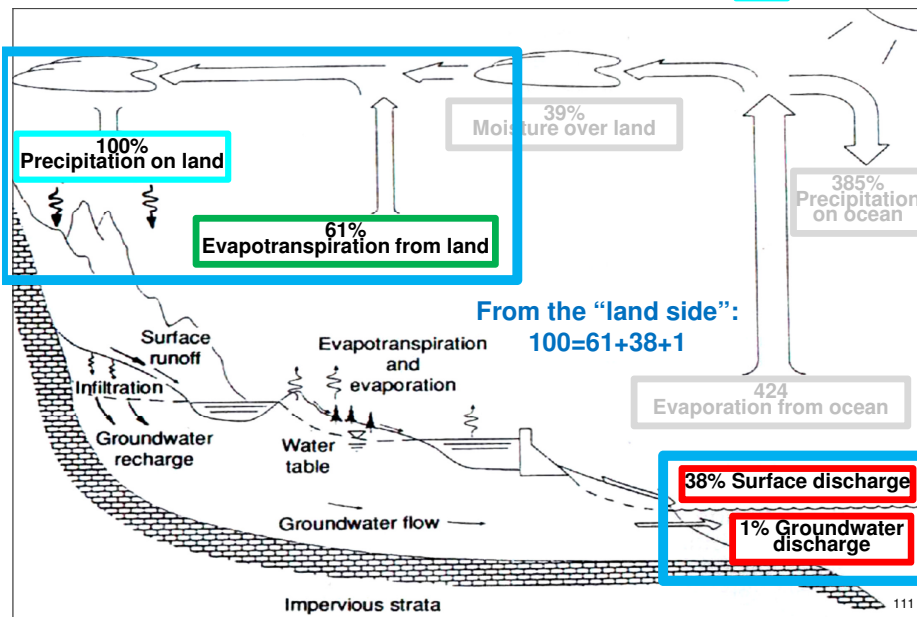
ANNUAL VOLUMES OF WATER EXPRESSED IN PERCENTAGE OF THE PRECIPITATION OVER THE CONTINENTS



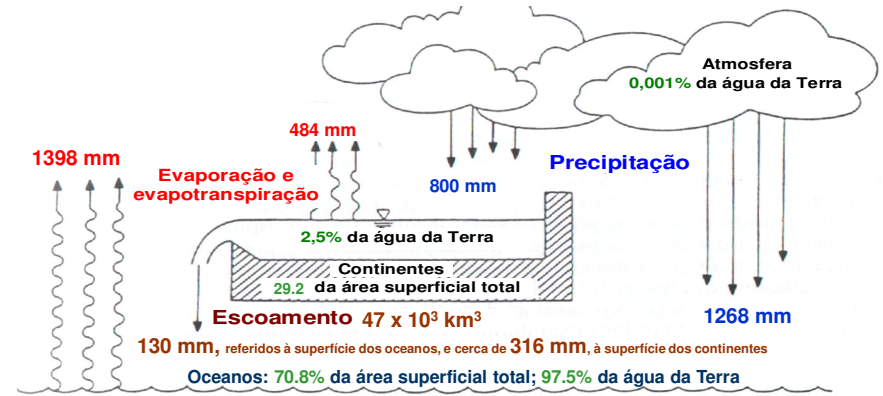
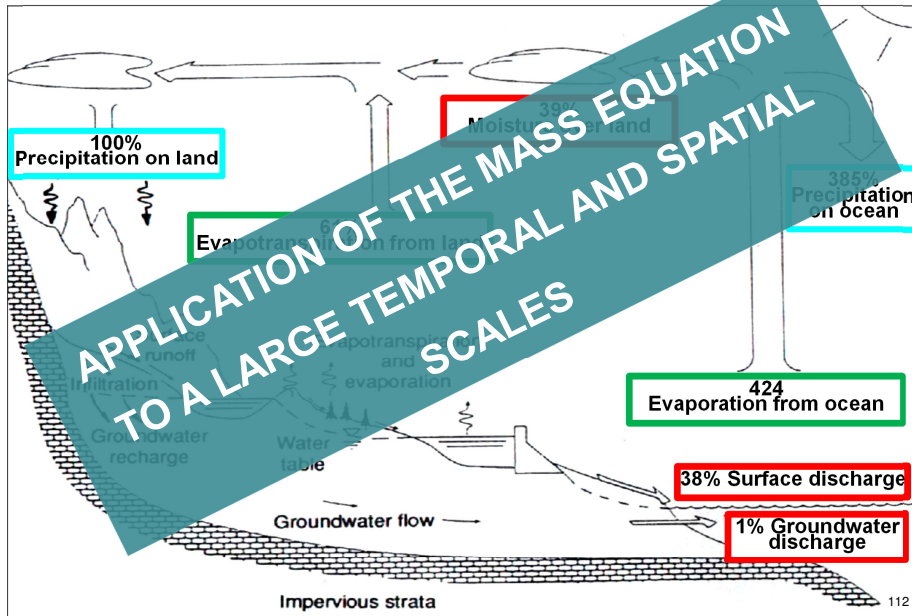
ANNUAL VOLUMES OF WATER EXPRESSED IN PERCENTAGE OF THE PRECIPITATION OVER THE CONTINENTS



ANNUAL VOLUMES OF WATER EXPRESSED IN PERCENTAGE OF THE PRECIPITATION OVER THE CONTINENTS

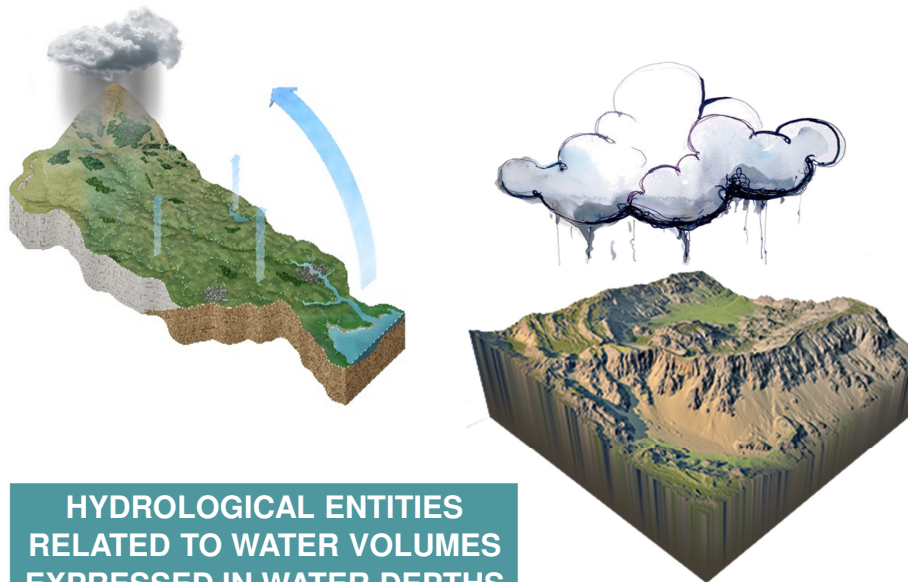
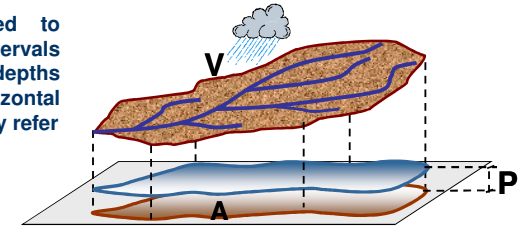


ANNUAL VOLUMES OF WATER EXPRESSED IN PERCENTAGE OF THE PRECIPITATION OVER THE CONTINENTS



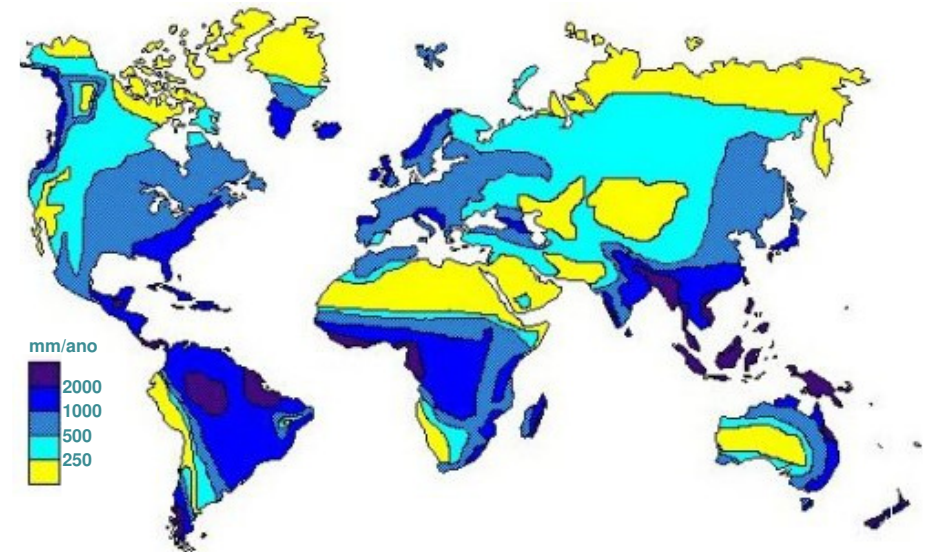
The hydrological entities related to quantities of water in given time intervals are, as a rule, expressed in water depths uniformly distributed over the horizontal projection of the areas to which they refer

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

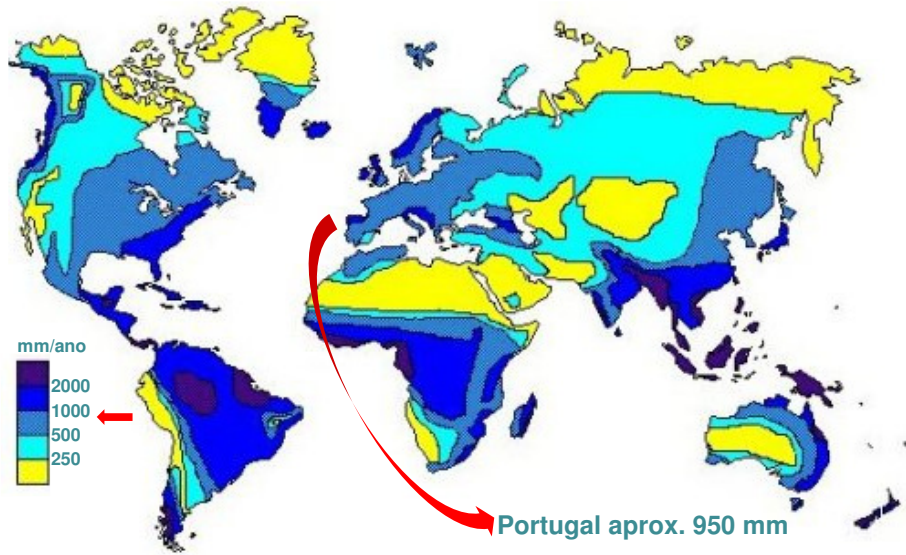


HYDROLOGICAL ENTITIES RELATED TO WATER VOLUMES EXPRESSED IN WATER DEPTHS IN MILLIMETERS

Mean annual rainfall, P (mm/ano)



Mean annual rainfall, P (mm/ano)



Mean annual rainfall, P (mm/ano)

Mawsynram, Índia	11871
Tutendo, Colômbia	11770
Cropp River, Nova Zelândia	11516
San Antonio de Ureca, Guiné Equatorial	10450
Debundscha, Camarões	10299
Big Bog, Havai	10272
Emei Shan, China	8169

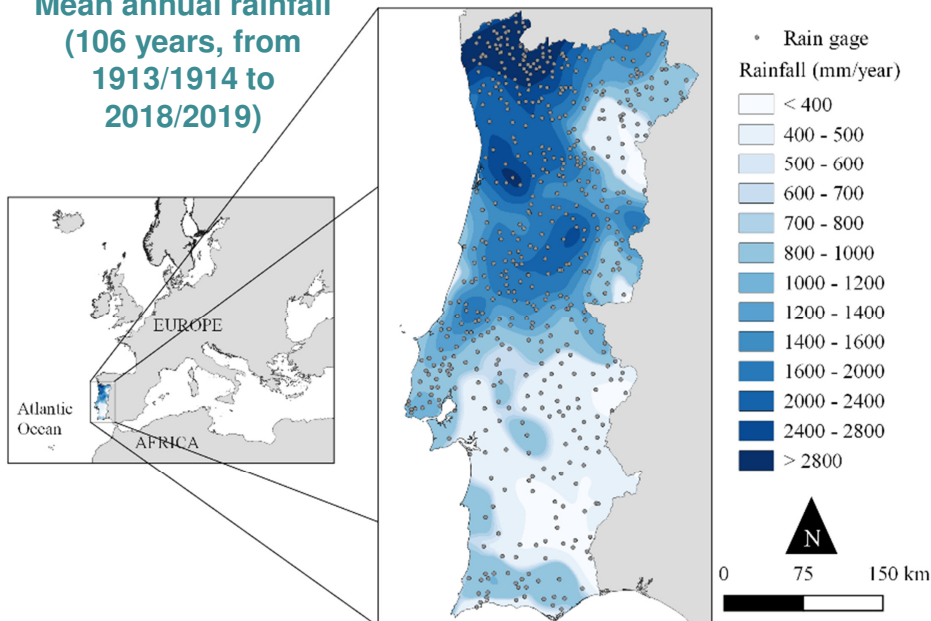


Aoulef, Argélia	12.19
Pelican Point, Namíbia	8.13
Wadi Alfa, Sudão	2.45
Luxor, Egito	0.86
Kufra, Líbia	0.86
Atacama, Chile	0.10
McMurdo Dry Valleys, Antártida	0.00

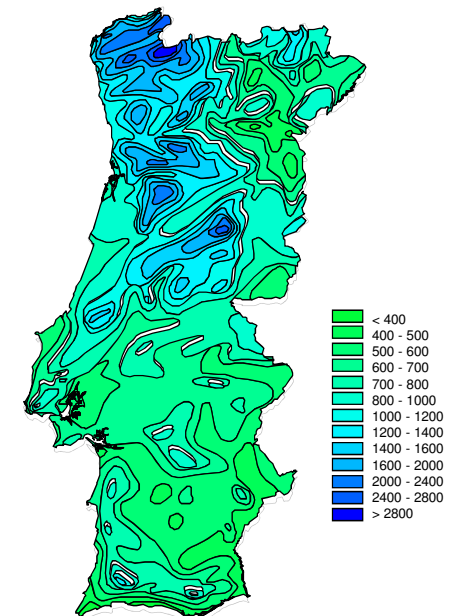


(*) A precipitação que atinge o vale sob a forma de neve é "varrida" pelos designados ventos catábolicos, densos e secos, sofrendo um processo de sublimação

Mean annual rainfall (106 years, from 1913/1914 to 2018/2019)

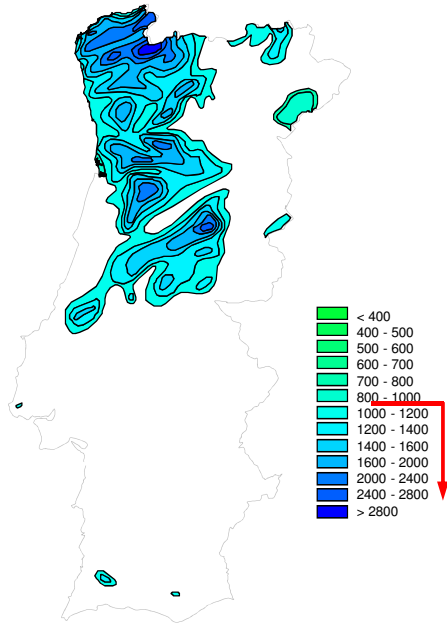


Mean annual rainfall Spatial variability



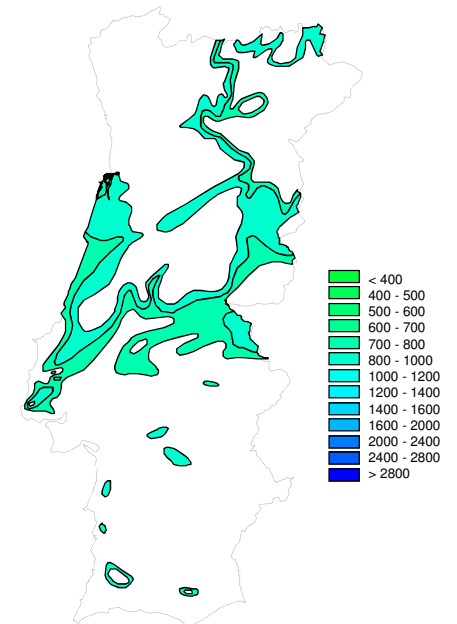
Mean annual rainfall
Spatial variability

More than 1000 mm



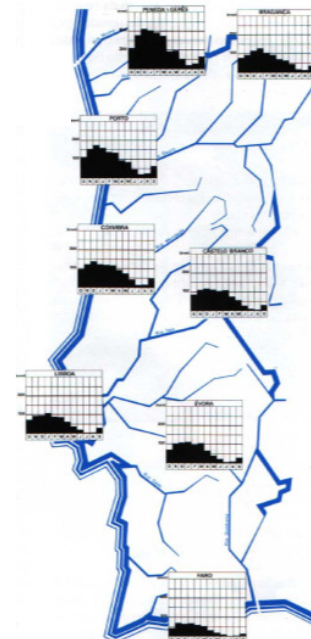
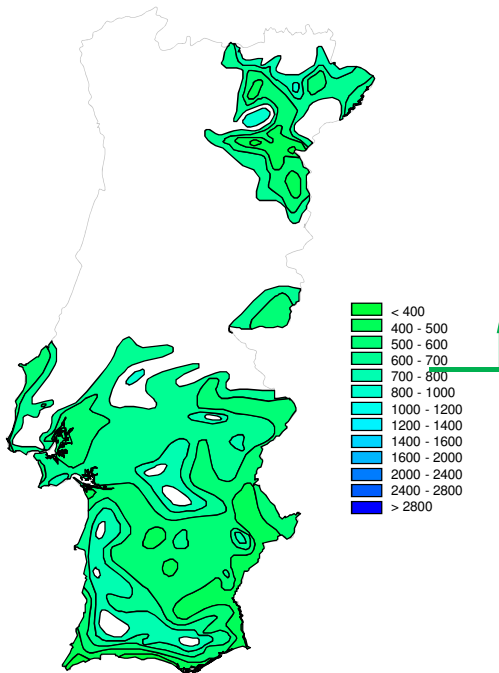
Mean annual rainfall
Spatial variability

Between 1000 and 700 mm



Mean annual rainfall
Spatial variability

Less than 700 mm
(very small surface runoff occurring almost in the wet semester)



Schematic distribution of the monthly rainfalls
(from October to September)

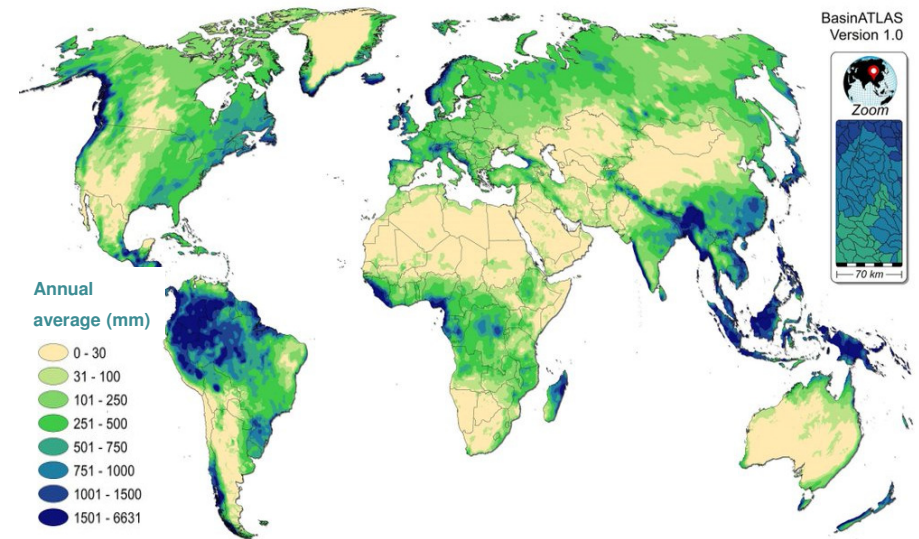


There is a noticeable seasonality as also visible differences in the annual amounts (the vertical axes have the same scale)



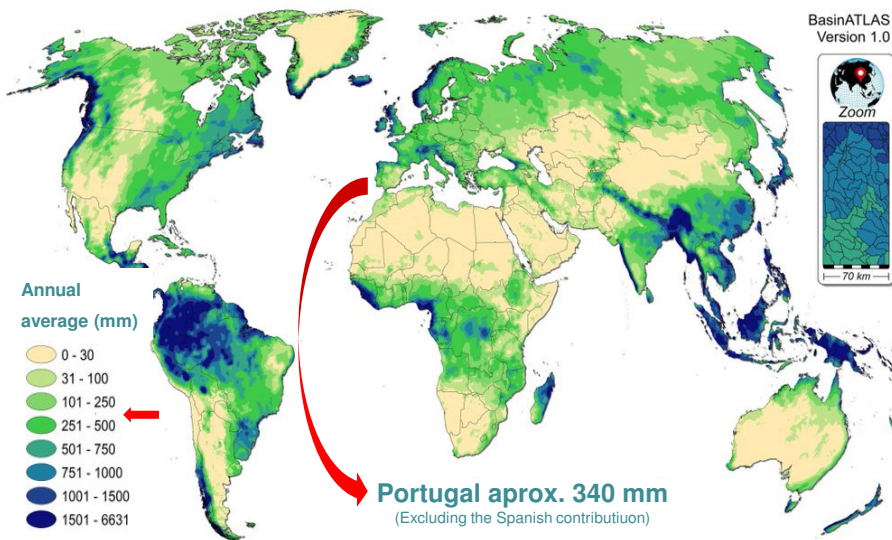
Surface runoff

Mean annual surface runoff, H (mm/ano)



Source: WaterGAP v2.2; Döll et al. 2003

Mean annual surface runoff, H (mm/ano)



Source: WaterGAP v2.2; Döll et al. 2003

Distribuição. Balanço anual médio da água da Terra. Ciclo hidrológico



* Excluding the surface runoff from Spain
64% of mainland Portugal belongs to transboundary watersheds

	PRECIPITATION (mm)	EVAPOTRANSPIRATION (mm)	RUNOFF (mm)
EUROPA	790	507	283
ASIA	740	416	324
AFRICA	740	587	153
NORTHERN A.	756	418	338
NOUTHERN A.	1600	915	685
AUSTRALIA E OCEANIA	791	511	280
ANTARCTICA	165	0	165
Spain	630	420	210
PORTUGAL	1000/900	640	370*

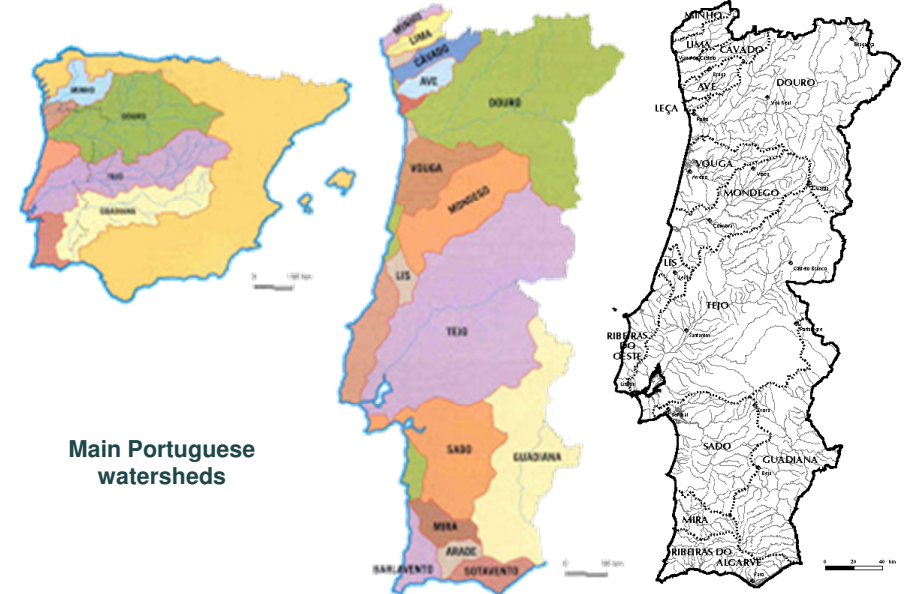
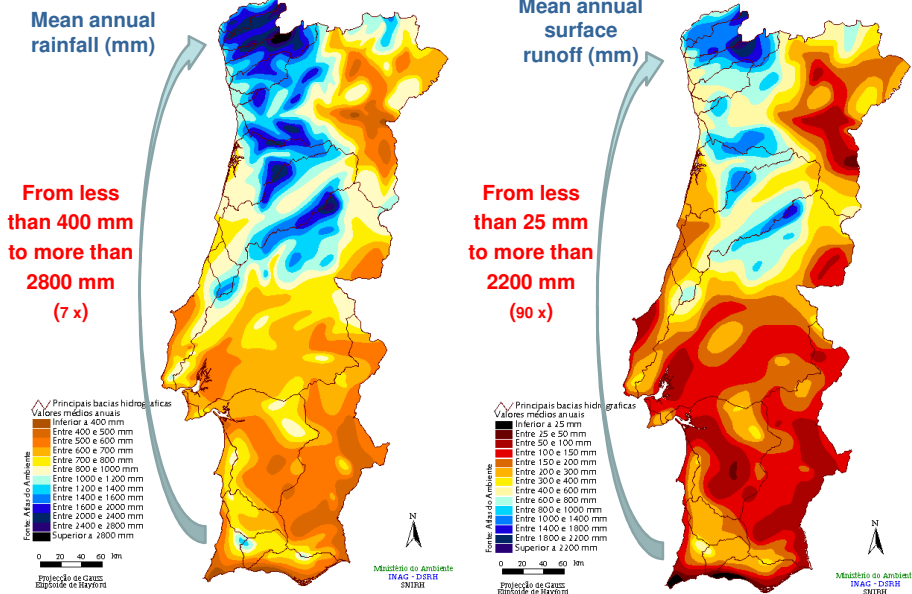
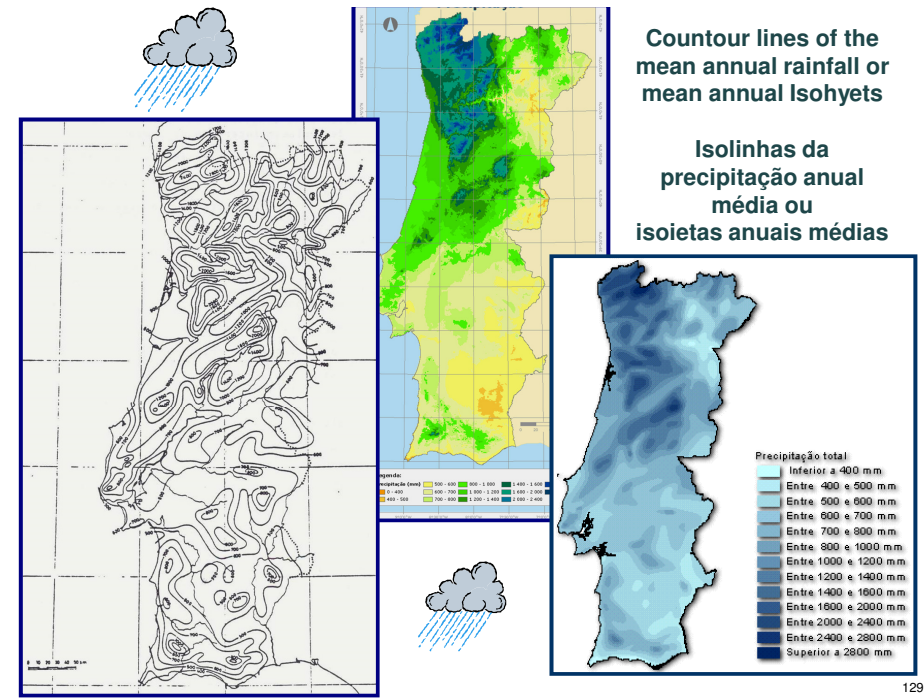
Transboundary watersheds (hidrográficas internacionais)

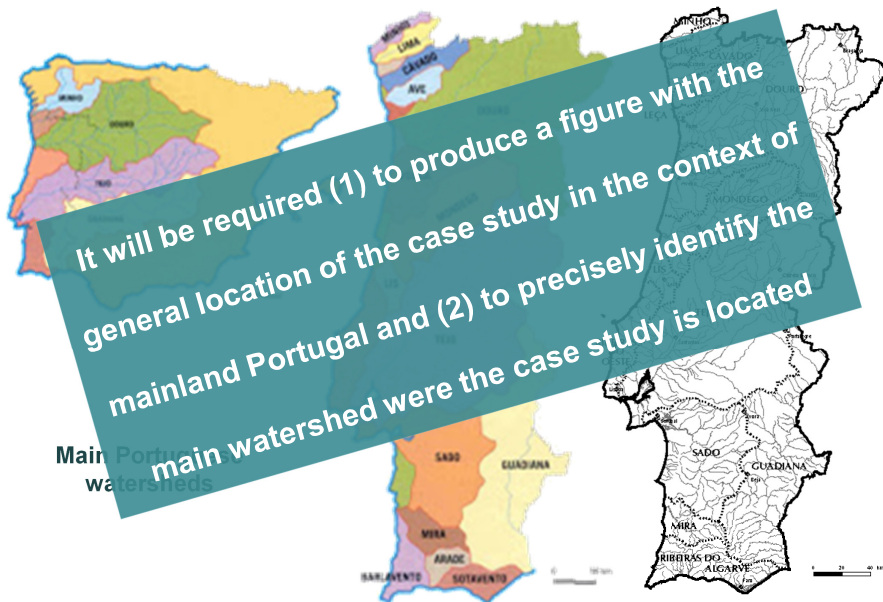
Rio	Área da bacia hidrográfica				
	Em km ²			Em percentagem	
	Espanha	Portugal	Total	Espanha	Portugal
Minho	16230	850	17080	95	5
Lima	1300	1180	2480	52	48
Douro	79000	18600	97600	81	19
Tejo	55800	24800	80600	69	31
Guadiana	55300	11500	66800	83	17
Total	207630	56930	264560	78	22



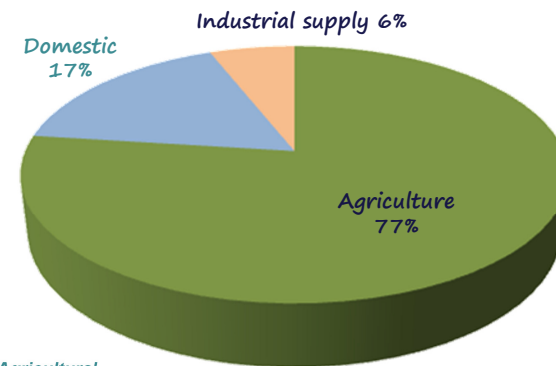
... from the area of mainland Portugal of 89015 km², approx.

64% is located in transboundary watersheds, shared by Portugal and Spain)

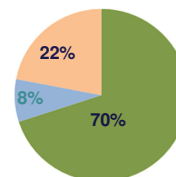




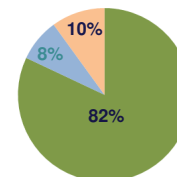
Portugal
Consumptive water
uses
(fonte: CNA)



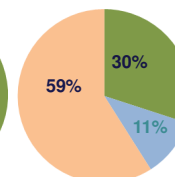
■ Domestic ■ Industrial ■ Agricultural



World



Low and mid
income countries



High income
countries

Fonte: UN World Water Development, <https://www.theglobealeducationproject.org/earth/fresh-water.php?format=print>

Distribuição. Balanço anual médio da água da Terra. Ciclo hidrológico

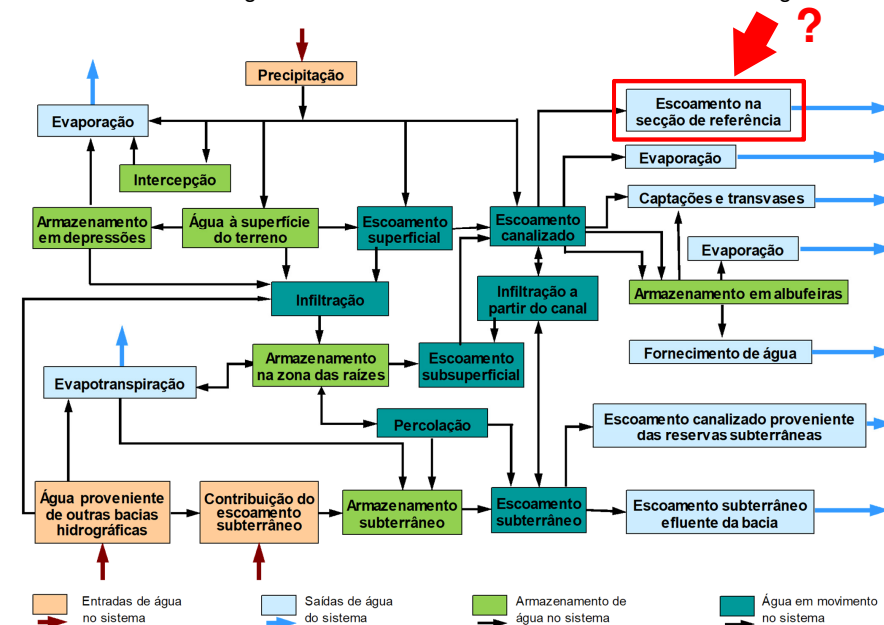
RECURSOS HÍDRICOS

POTENCIAIS - extracção máxima teoricamente possível da água do ciclo hidrológico.

UTILIZÁVEIS OU DISPONÍVEIS - podem ser aumentados à custa de intervenções no ciclo hidrológico - **OBJECTO DAS ACÇÕES DE PLANEAMENTO** e têm sempre associado uma **GARANTIA DE FORNECIMENTO** ou **RISCO DE INSUFICIÊNCIA**.

(... toda a água que passa numa dada secção de um curso de água constitui o recurso potencial do qual só parte pode ser utilizada).

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



Basic concepts of hydrology

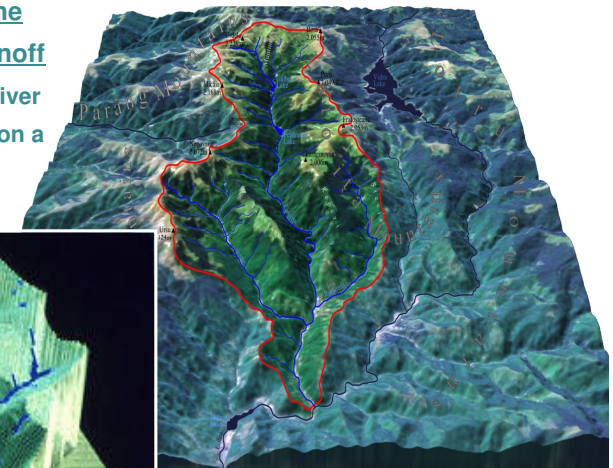
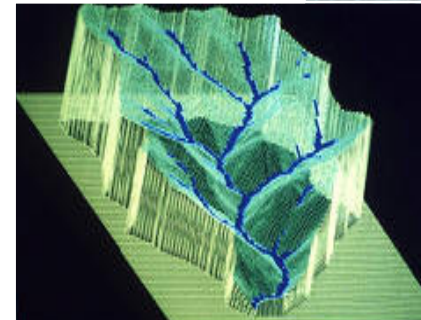
- ✓ Hydrological or water cycle
- ✓ Watersheds and the physiographic characterization

Energia Hídrica

Maria Manuela Portela

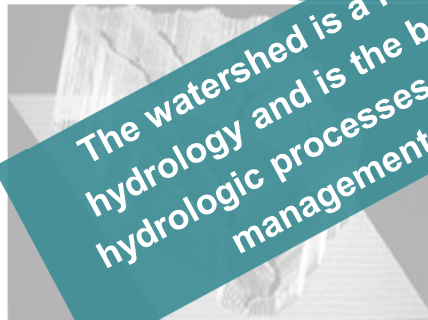
Set/2020

The evaluation of the available surface runoff resources at a given river section is made based on a geographic entity



Watershed (drainage basin ...)
Bacia hidrográfica

The evaluation of the available surface runoff resources at a given river section is made based on a geographic entity

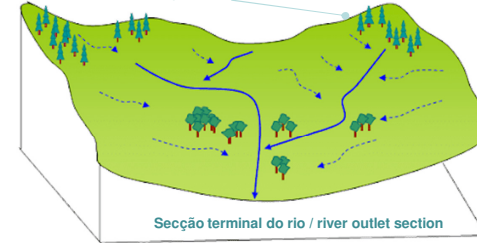


The watershed is a fundamental concept in hydrology and is the basis for understanding hydrologic processes and for the planning and management of water resources

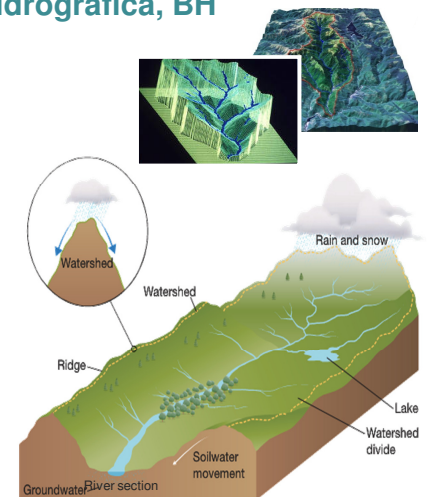
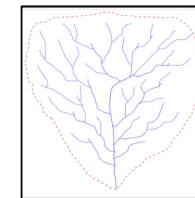
Watershed (drainage basin ...)
Bacia hidrográfica

Watershed / Bacia hidrográfica, BH

Linha de cumeada (ridge line)

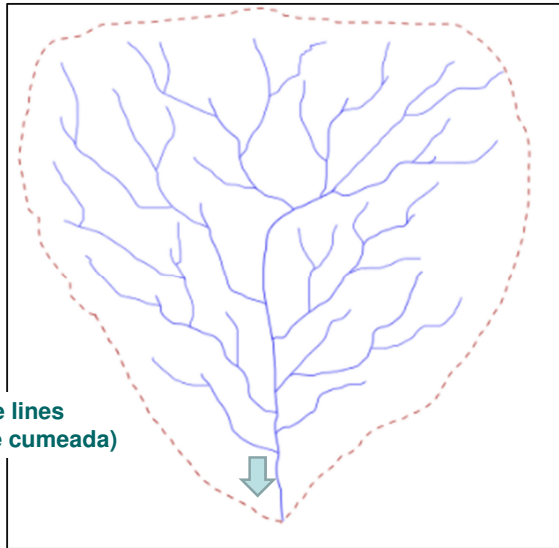


Secção terminal do rio / river outlet section



The watershed in a given river section – outlet – is the area that collects the rainfall and drains it into that river section. Is defined by a close line connecting ridge lines and including all the rivers and streams that run downslope towards the outlet

Upstream (montante)



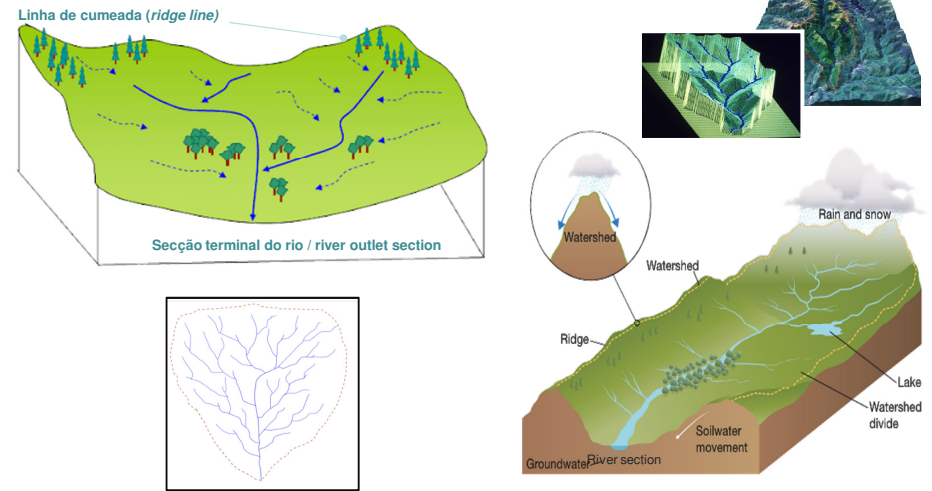
Ridge lines (linhas de cumeada)

Outlet section (secção de referência)

Downstream (jusante)

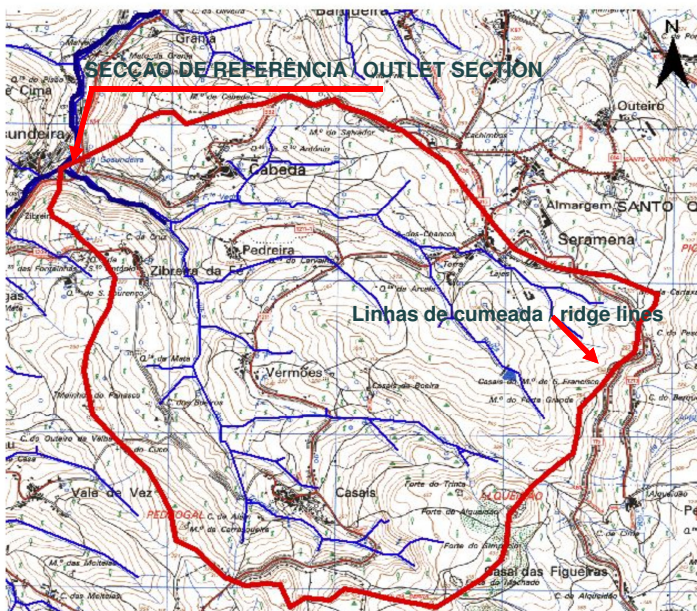


Watershed / Bacia hidrográfica, BH



The volume of water that crosses the outlet section in a given time interval is also expressed in water depth uniformly distributed over the horizontal projection of the watershed – FLOW DEPTH (ALTURA DO ESCOAMENTO)

Bacias hidrográficas. Sua caracterização visando estudos hidrológicos

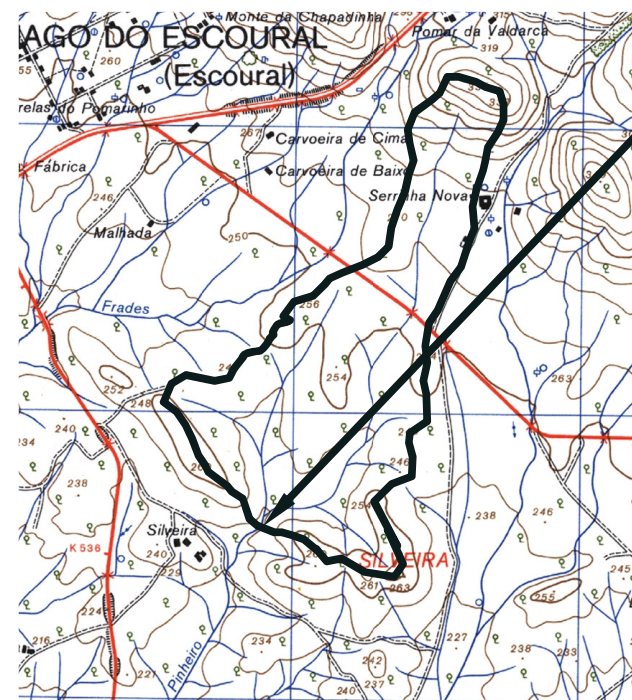


DOIS ATRIBUTOS

Bacia hidrográfica da ribeira de Cima em Zibreira

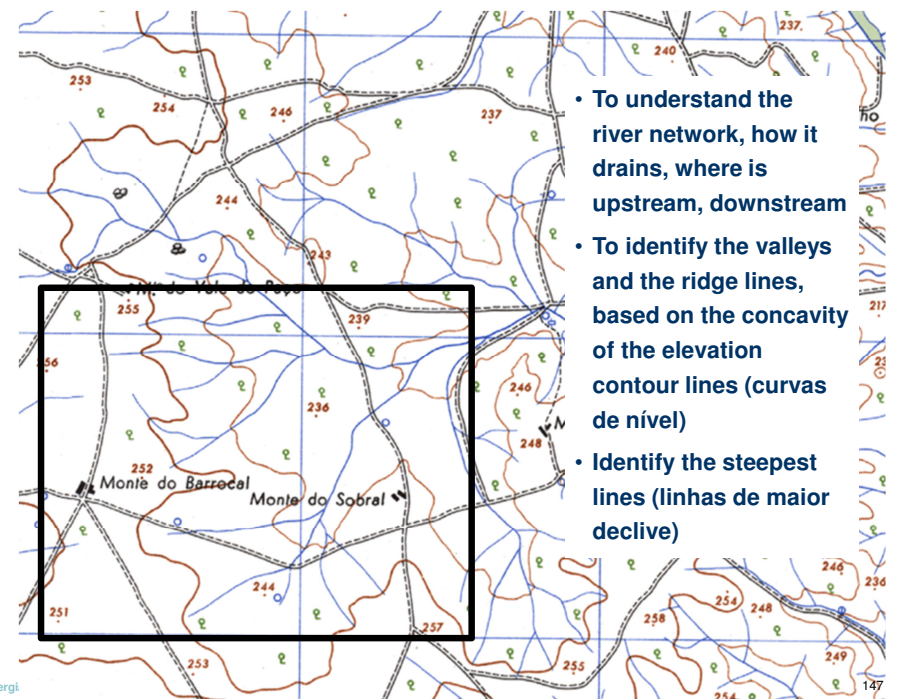
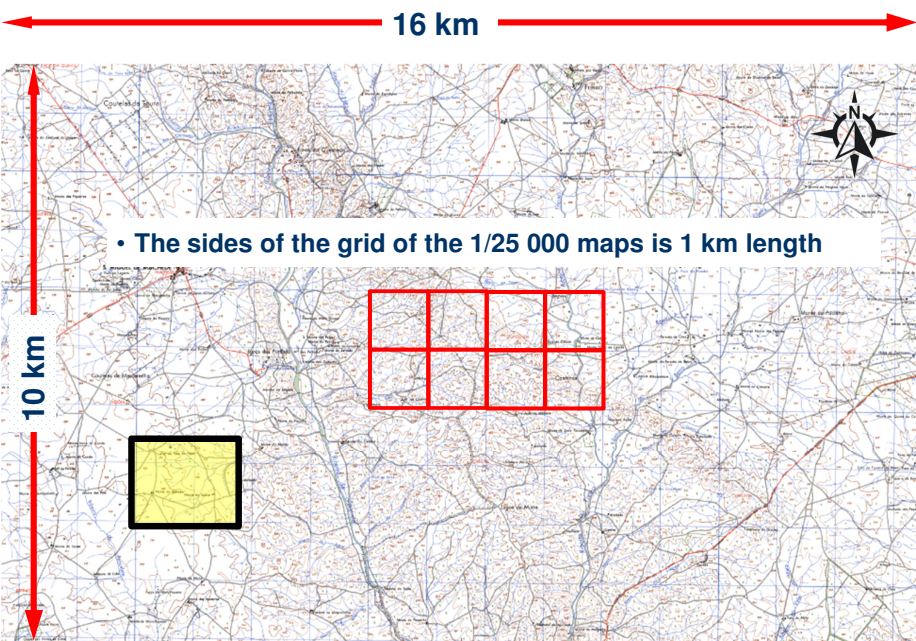
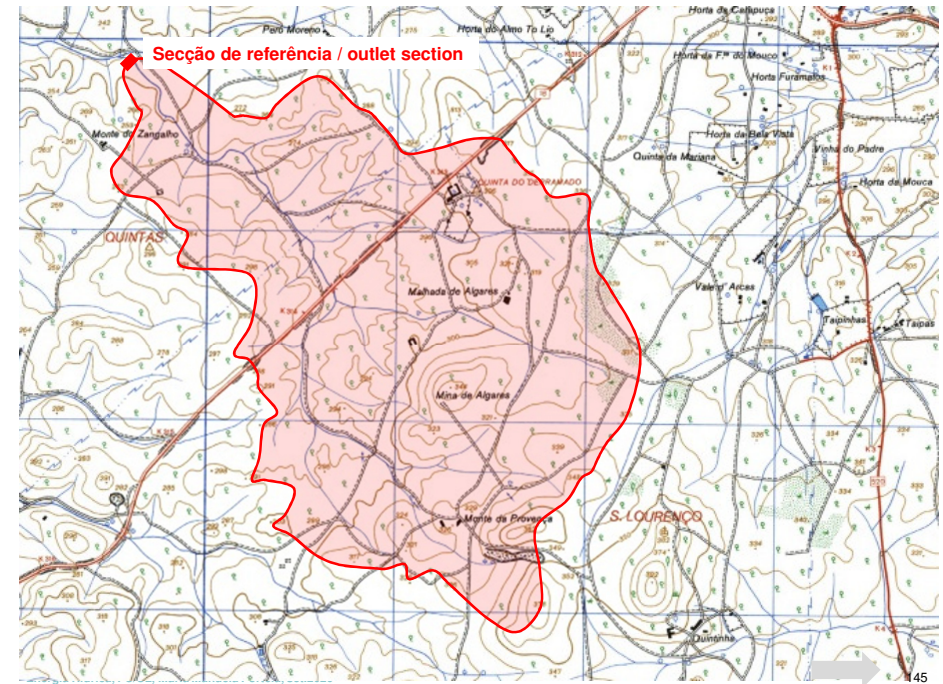
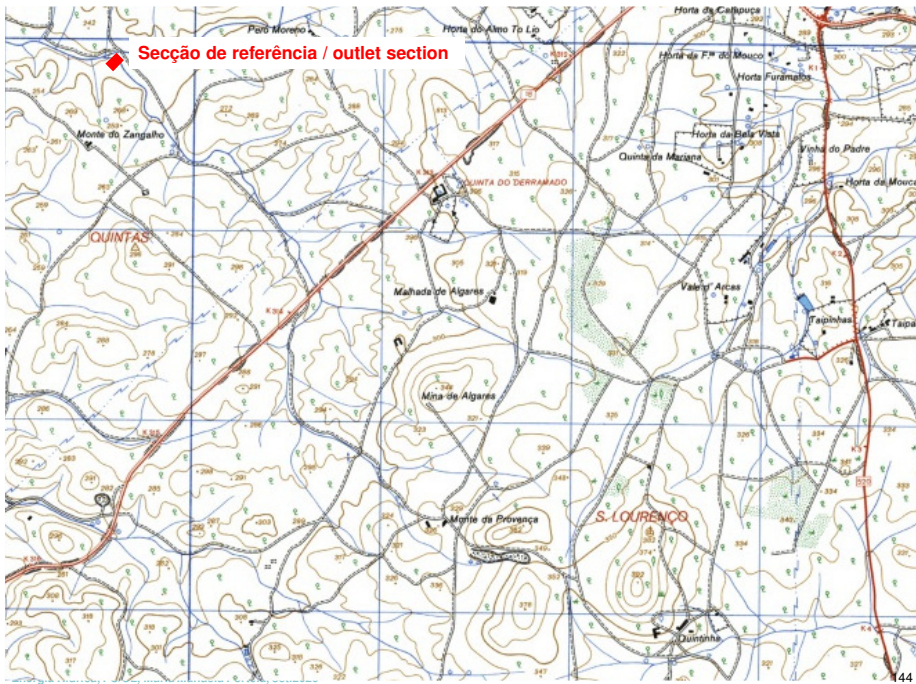
TWO ATTRIBUTES

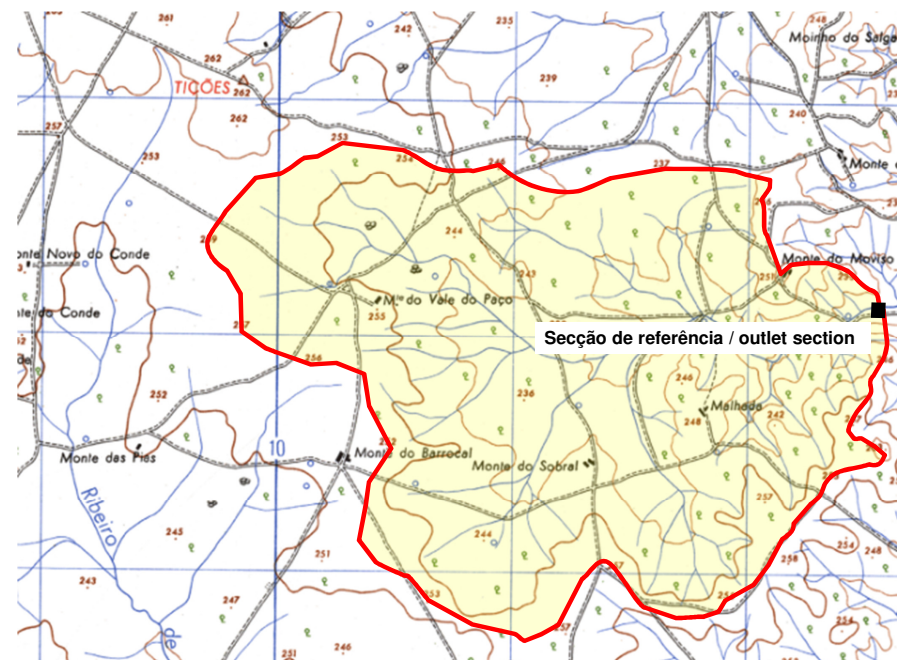
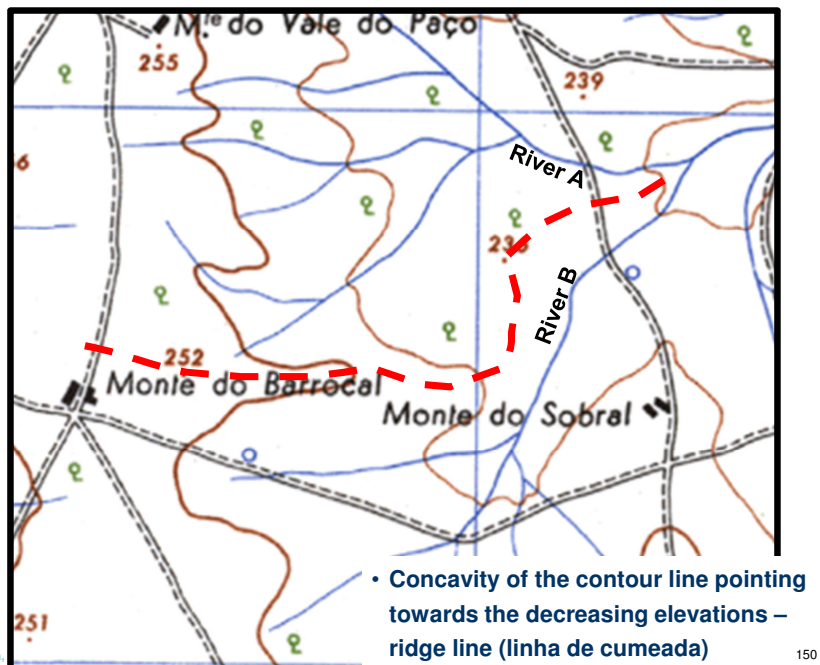
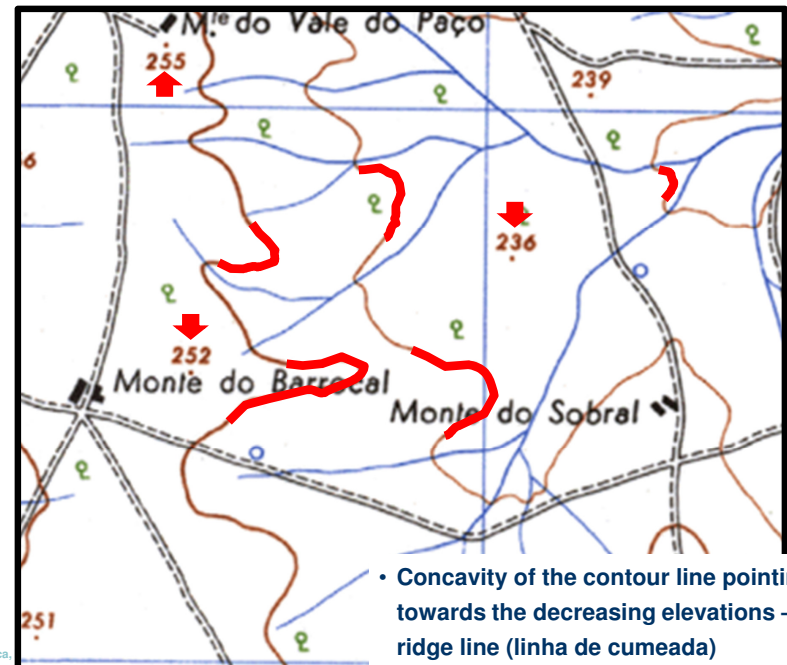
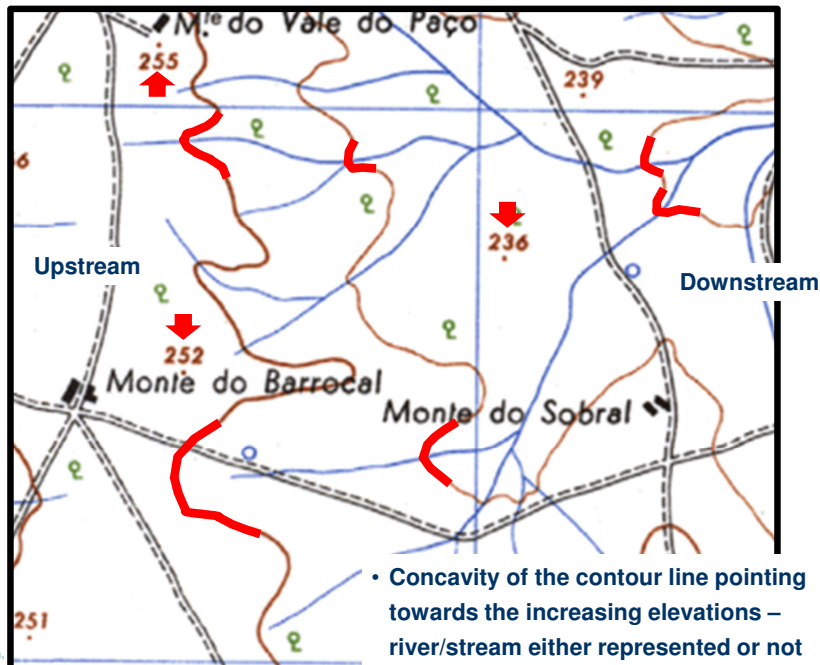
Watershed of Cima Stream at Zibreira



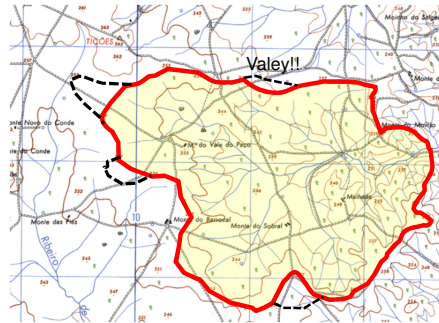
Bacia hidrográfica da ribeira do Pinheiro em Silveira

- To understand the river network, how it drains, where is upstream, downstream
- To identify the valleys and the ridge lines, based on the concavity of the elevation contour lines (curvas de nível)
- Identify the steepest lines (linhas de maior declive)

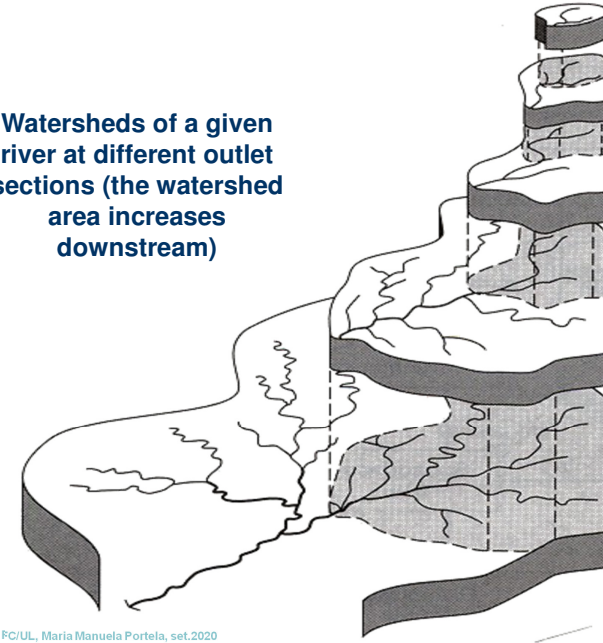




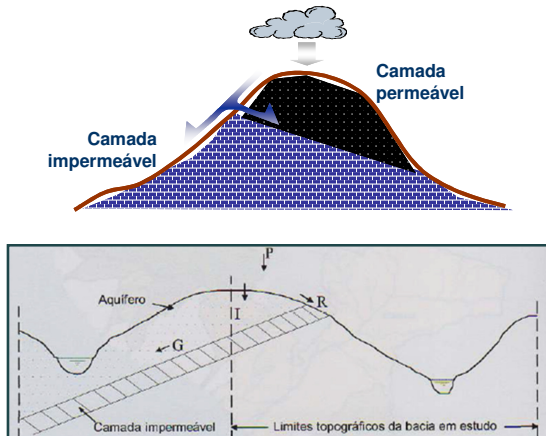
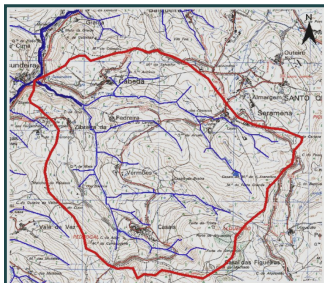
- ✓ Connect the ridge lines that encompass all the rivers/streams that drain to the outlet section (close limit)
- ✓ The limit of the watershed can't cross any river – except for the outlet section
- ✓ When crossing a contour line the limit of the watershed must be as perpendicular as possible to that contour line
- ✓ THERE IS NOT SUCH THING AS AN UNIQUE WATERHSED LIMIT because it depends on the detail of the map an often there is not enough information regarding the pattern of the relief, that is, not enough contour lines
- ✓ HOWEVER IT IS QUITE EASY TO VERIFY IF A LIMIT IS POSSIBLE OR IF IT HAS ERRORS



Watersheds of a given river at different outlet sections (the watershed area increases downstream)

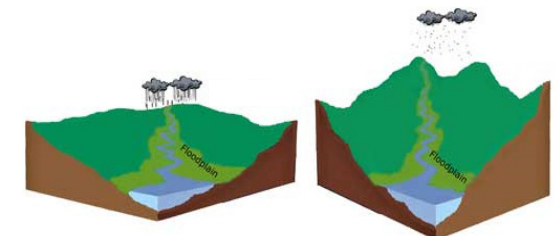
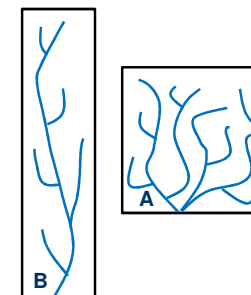
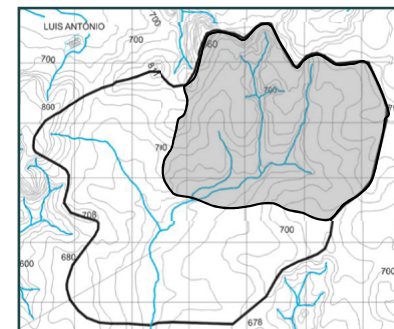


De modo geral, assume-se que, para um dada secção da rede hidrográfica, **SÃO COINCIDENTES AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DEFINIDA TOPOGRAFICAMENTE**, que condiciona o escoamento superficial, e a referente ao **ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO**. Podem, no entanto, ser significativas as transferências de água entre bacias hidrográficas promovidas pelo escoamento subterrâneo. A consideração dos movimentos subterrâneos da água introduz necessariamente dificuldades acrescidas na análise dos processos hidrológicos.



Atributos fisiográficos relevantes no âmbito da formação do escoamento e da gênese de cheias

- Área
- Forma (índice de compacidade de Gravelius)
- Relevo (curva hipsométrica)
- Rede de drenagem (declives)

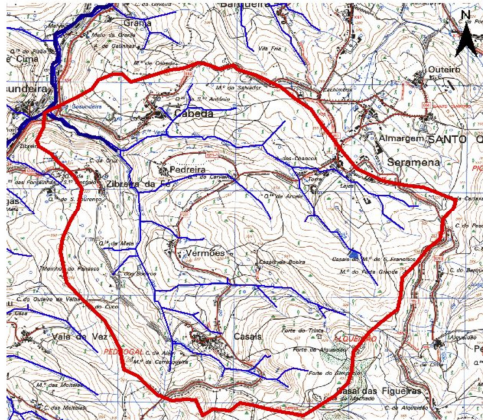


CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA COM INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE ESCOAMENTO

↳ **FORMA**: com influência sobretudo na gênese ou formação de cheias

Índice de compacidade de Gravelius (*Gravelius compactness coefficient*)

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

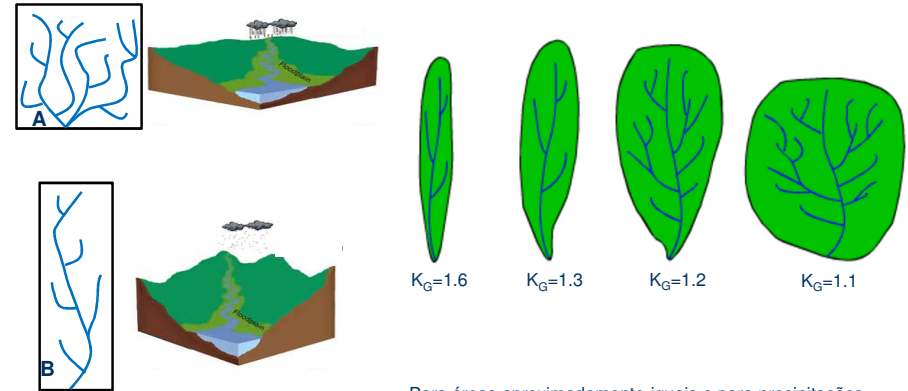


Relação entre o **perímetro adoçado** da bacia hidrográfica e o perímetro de uma hipotética bacia com igual área, mas com forma circular

(Ratio between the smoothed perimeter of the watershed and the perimeter of a circular watershed with the same area)

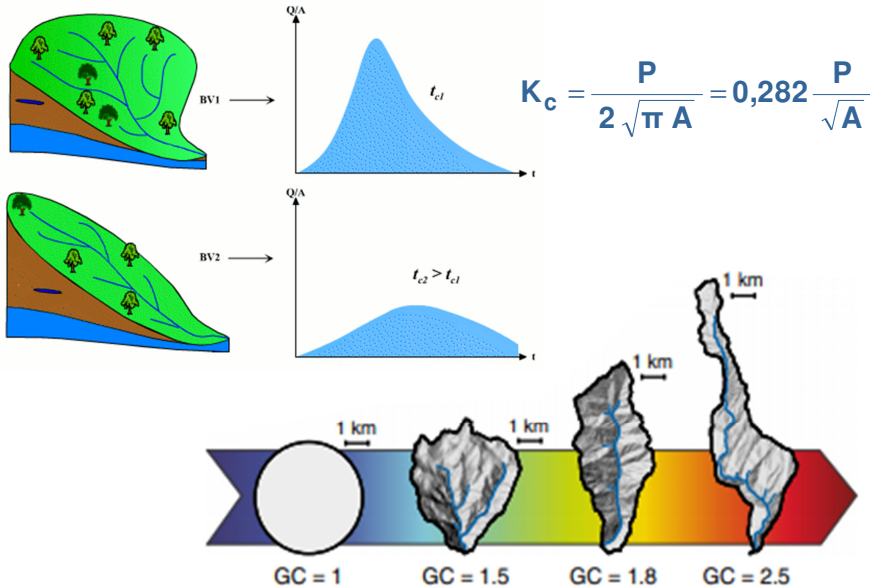
↳ **FORMA** (com influência sobretudo na gênese ou formação de cheias): Índice de compacidade de Gravelius (*Gravelius compactness coefficient*)

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$



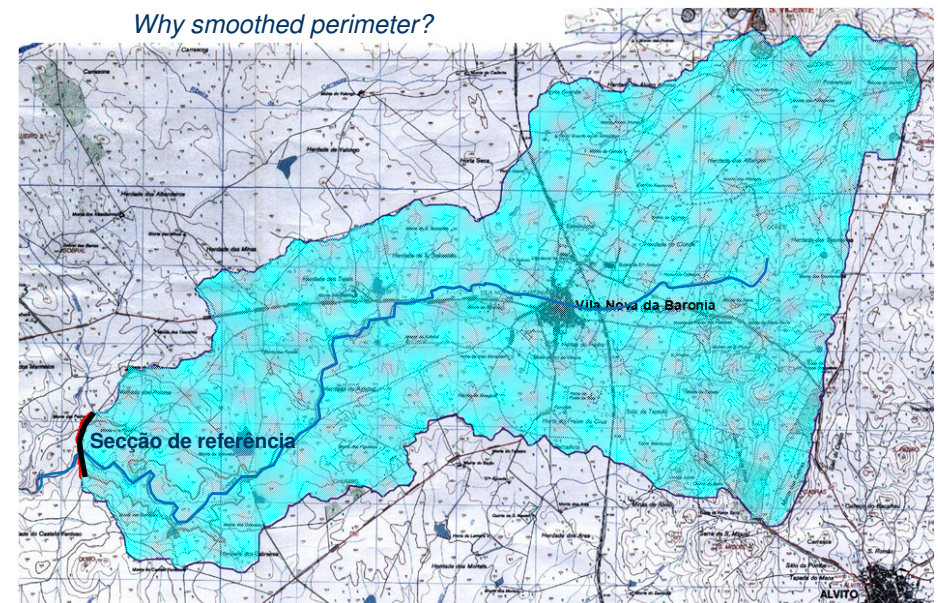
Para áreas aproximadamente iguais e para precipitações geradores de cheias com características afins, onde se esperam maiores cheias: A ou B?

Índice de compacidade de Gravelius (*Gravelius compactness coefficient*)



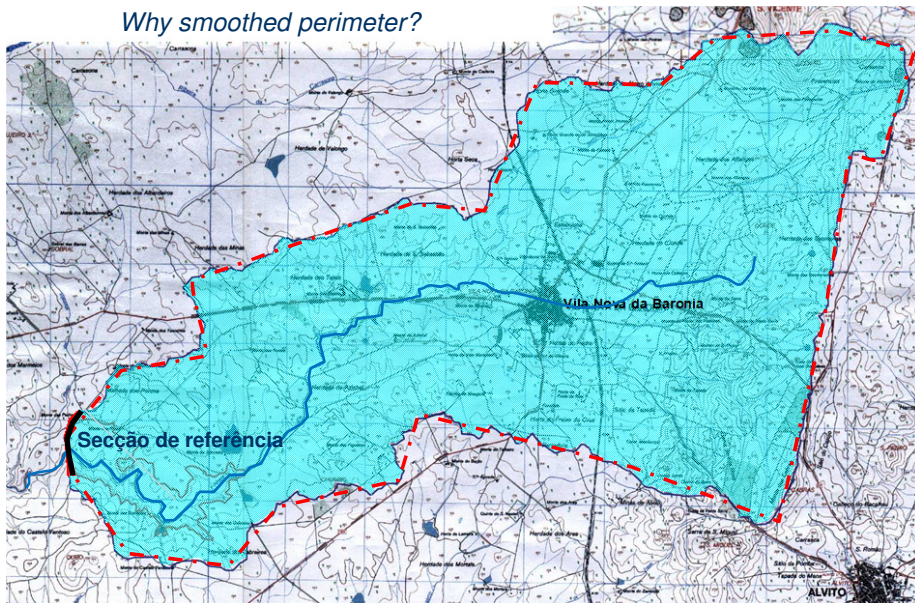
Perímetro adoçado porquê?

Why smoothed perimeter?



Perímetro adoçado porquê?

Why smoothed perimeter?

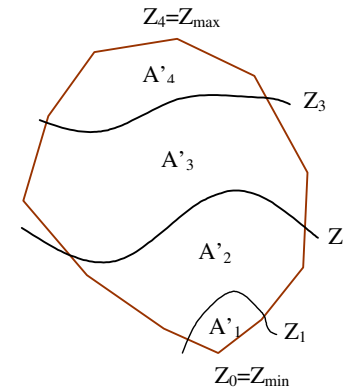


Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA COM INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE ESCOAMENTO

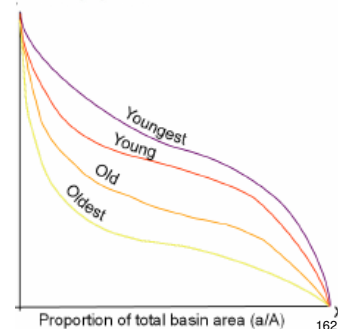
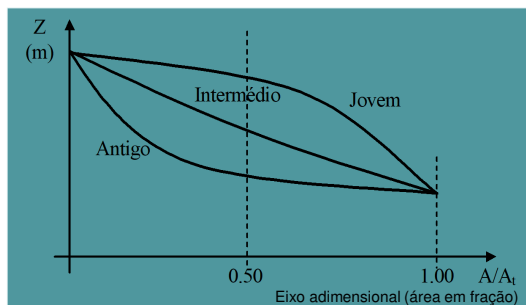
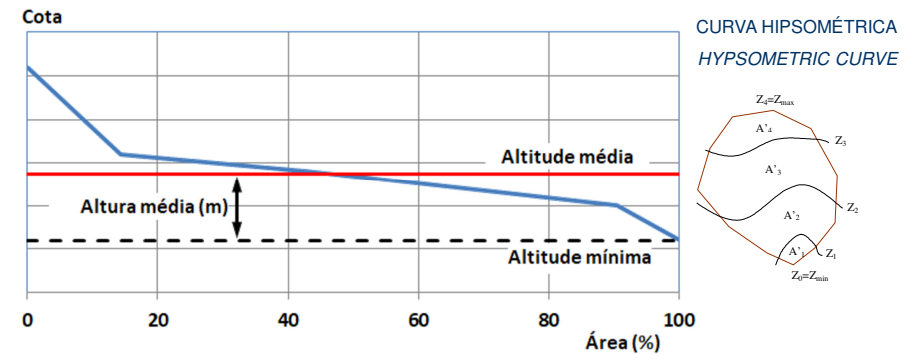
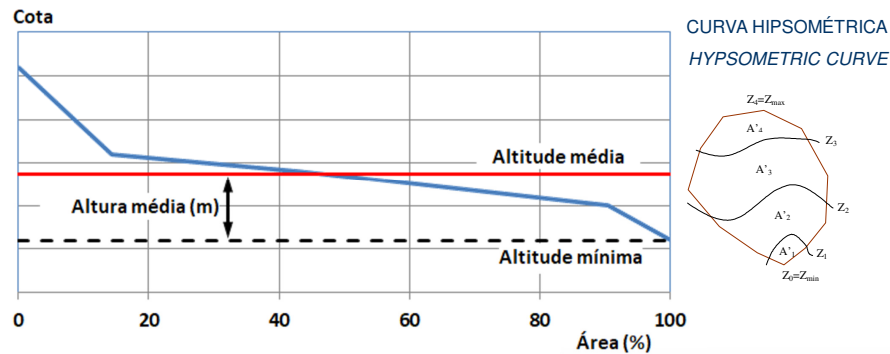
↪ **RELEVO:** com influência acentuada no movimento da água

Curva hipsométrica (... para cada cota a área da bacia hidrográfica – em valor absoluto ou em percentagem da área total – localizada acima dessa cota)



Cota (m)	Área acima da cota (km ²)
Z ₄	A ₄ =0
Z ₃	A ₃ =A ₄ +A' ₄
Z ₂	A ₂ =A ₃ +A' ₃
Z ₁	A ₁ =A ₂ +A' ₂
Z ₀	A ₀ =A ₁ +A' ₁

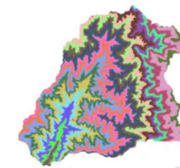
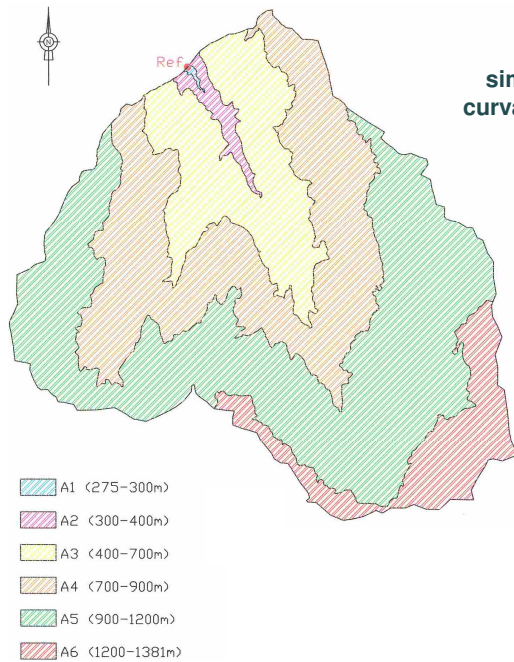
Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

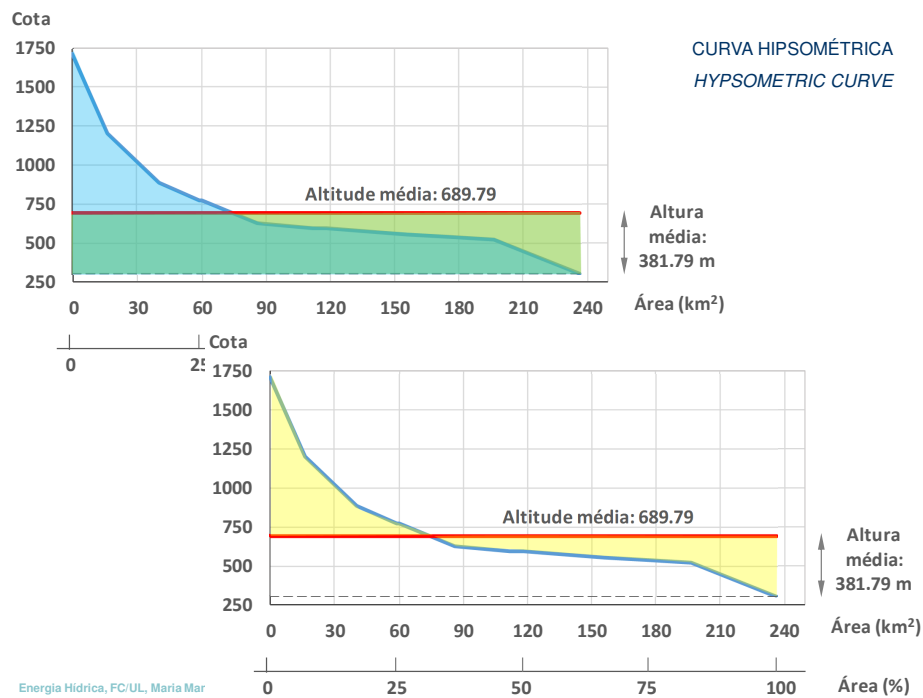
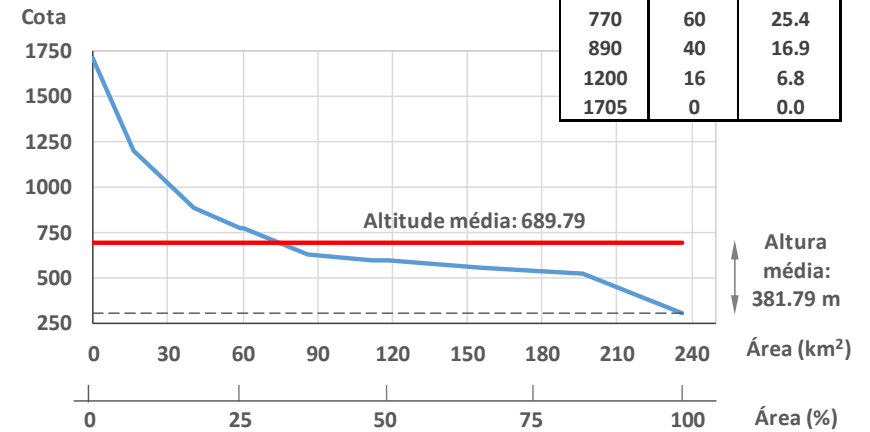
POR SIMPLIFICAÇÃO, APENAS ALGUMAS CURVAS DE NÍVEL
 Como muito frequentemente a curva hipsométrica apresenta os trechos inicial (cotas mais altas) e final (cotas mais baixas) mais inclinados e um trecho intermédio mais suave (cotas intermédias), adensar mais as curvas de nível nos extremos de modo a melhor descrever a progressão de área com a cota ↔ curvas de nível não equidistantes!

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020



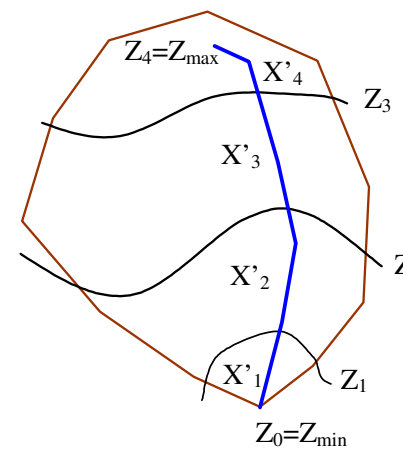
CURVA HIPSOMÉTRICA
HYPSONOMETRIC CURVE

Cota	Área acima	
	(km ²)	(%)
308	236	100.0
520	196	83.1
560	156	66.1
600	112	47.5
630	86	36.4
770	60	25.4
890	40	16.9
1200	16	6.8
1705	0	0.0

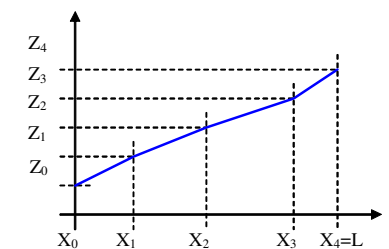


CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM COM INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE ESCOAMENTO

↳ Rio principal: perfil longitudinal



Cota (m)	Distância (km)
Z_0	$X_0=0$
Z_1	$X_1=X_0+X'_1$
Z_2	$X_2=X_1+X'_2$
Z_3	$X_3=X_2+X'_3$
Z_4	$X_4=X_3+X'_4$



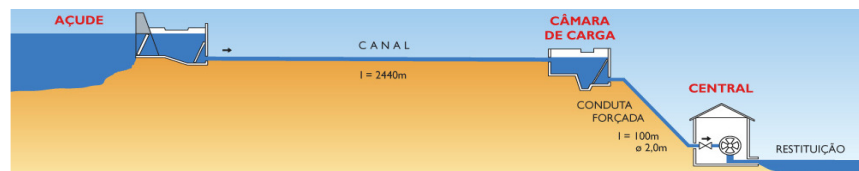
First part of the practical assignment

Physiographic characterization of the watershed and of the main river

Energia Hídrica
 Maria Manuela Portela
 Set/2019

Aula		Ano letivo 2020/2021 - ENERGIA HÍDRICA Previsão das aulas teórico-práticas		
Data	N.º ordem			
21/set	1	Apresentação. Objetivo. Meios computacionais - AULA PRESENCIAL	1ª PARTE	
22/set	2	Conceitos fundamentais relacionados com pequenos aproveitamentos hidroelétricos. Identificação e caracterização geral do caso de estudo (localização do açude e da central, configuração do circuito hidráulico e respetivo comprimento. Queda topográfica)		
28/set	3			
29/set	4			
05/out	5	FERIADO		
06/out	6	Delimitação de bacias hidrográficas. Caracterização fisiográfica da bacia e da rede de drenagem. Determinação do tempo de concentração, tc	2ª PARTE	
12/out	7			
13/out	8			
19/out	9	Precipitação anual média na bacia hidrográfica - recolha de dados e estimativa. Cálculo da precipitação intensa com duração igual ao tempo de concentração (DIA 26/OUT - ENTREGA DA 1ª PARTE)	3ª PARTE	
20/out	10			
26/out	11			
27/out	12			
02/nov	13	Estimação do escoamento anual médio afluente (modelo de regionalização). Cálculo da cheia de projeto. Definição do regime de caudais ecológicos mensais	4ª PARTE	
03/nov	14			
09/nov	15			
10/nov	16	Cálculo da produção anual média de energia. Recolha de caudais médios diários. Simulação da exploração diária da central hidroelétrica (DIA 16/NOV - ENTREGA DA 2ª PARTE)	4ª PARTE	
16/nov	17			
17/nov	18			
23/nov	19	Conceção geral e pré-dimensionamento do circuito hidráulico. Estimativa de custos. Análise económica	4ª PARTE	
24/nov	20			
30/nov	21			
01/dez	22	FERIADO		
07/dez	23	Conceção geral e pré-dimensionamento do circuito hidráulico. Estimativa de custos. Análise económica. (DIA 7/DEZ - ENTREGA DA 3ª PARTE)	4ª PARTE	
08/dez	24	FERIADO		
14/dez	25	Estimativa de custos. Análise económica		
15/dez	26			

**Calendário
provisional
das aulas e
das entregas
parcelares do
Trabalho
Prático
(na página da UC
na secção
"Informações
úteis")**



1. Identificação precisa do caso de estudo (curso de água, bacia hidrográfica principal, concelho e distrito)
2. Inserção do açude e conceção geral, mas cuidada, do circuito hidráulico (localização do açude, do canal, da câmara de carga e da central)
3. Definição de comprimentos (canal e conduta), da queda bruta topográfica, tendo em conta a posição do nível da água na albufeira e as demais indicações que lhe forem facultadas.
4. Especificação das coordenadas cartográficas (M,P) e no sistema WGS84 do açude e da central
5. Esquematisação, sobre base cartográfica, da PCH
6. Delimitação da bacia hidrográfica relativa à secção do açude
7. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica relativa à secção do açude
 - área total e entre curvas de nível
 - perímetro adoçado
 - índice de compacidade de Gravelius
 - curva hipsométrica e altura e altitude médias
8. Caracterização do curso de água através da obtenção do perfil longitudinal e dos declives caraterísticos (médio, equivalente e 10:85)
9. Cálculo do tempo de concentração

Assignment of the first Practical Task


 Departamento de Engenharia Geográfica, Geológica e Energia
 Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente
 Hídrica. Ano letivo 2020/2021 - 1º Semestre
**TRABALHO PRÁTICO: ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICA DE UMA PEQUENA CENTRAL
HIDROELÉTRICA, PCH**

Objetivo geral e constituição do grupo
 Pretende-se com o Trabalho Prático aplicar os conhecimentos apresentados nas aulas da disciplina de Energia Hídrica com o objetivo de proceder ao dimensionamento preliminar e à análise da viabilidade económica de uma pequena central hidroelétrica com exploração a fio-de-água.
 O Trabalho Prático, que será realizado em grupos de três elementos, deverá compreender quatro partes com entregas individualizadas.

Caso de estudo
 O Trabalho Prático tem em vista o pré-dimensionamento e a análise preliminar da viabilidade técnico-económica de uma pequena central hidroelétrica (PCH) com exploração a fio-de-água, entendendo-se por tal que a potência da central é inferior a 20 MW e que a albufeira criada pelo açude onde está instalada a tomada de água do circuito hidráulico não tem qualquer capacidade de regularização dos caudais afluentes.
 Do estudo deverá resultar: (i) a indicação das principais características hidroclimáticas e energéticas da PCH; (ii) a descrição geral da composição do respetivo circuito hidráulico e o pré-dimensionamento das suas principais componentes; e (iii) a análise da viabilidade económica do projeto, baseada numa análise de custos/benefícios, mediante o recurso a indicadores de viabilidade económica.

A cada grupo é atribuído uma PCH como caso de estudo. Para o efeito, é dado um pequeno excerto da carta militar à escala 1:25000 com o trecho de rio onde se insere o circuito hidráulico da PCH. Tal circuito inicia-se na tomada de água do açude, a que se segue um canal com escoamento em superfície livre, a câmara de carga promovendo a transição entre o escoamento em superfície livre no canal para o escoamento em pressão na conduta forçada, esta conduta que alimenta a central hidroelétrica onde está instalado o grupo turbina-gerador e, por fim, a restituição dos caudais turbinados ao curso de água, conforme a figura que se segue. Fixado os caudais de dimensionamento da PCH, Q_{max} , e ecológico no trecho de rio entre as secções do açude e da restituição da central, Q_{eco} , são derivados para o circuito hidráulico todos os caudais fluxuais até ao limite de Q_{max} , tendo previamente sido assegurado Q_{eco} . Havendo caudais fluxuais remanescentes da soma de Q_{max} com Q_{eco} , os mesmos são lançados para junto sobre a soleira descarregadora do açude. Caso contrário, o caudal derivado para o circuito hidráulico é inferior ao de dimensionamento.



Parte 1 – CONCEÇÃO GERAL DO CASO DE ESTUDO. BACIA HIDROGRÁFICA DA PCH E RESPECTIVA
CARACTERIZAÇÃO

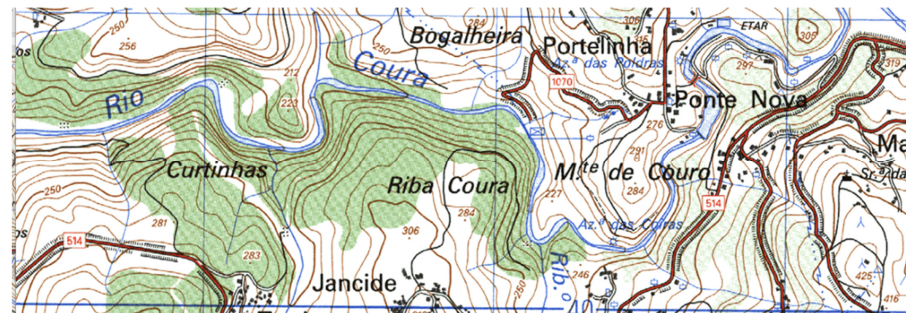
Antecedendo a realização do trabalho é necessário importar para o AUTOCAD as cartas topográficas onde se inserem a PCH e o respetivo circuito hidráulico e bacia hidrográfica. Nesta importação é fundamental assegurar que as cartas estão corretamente georreferenciadas e à escala correta. Se tal não acontecer, não será possível executar o trabalho. Segue-se a descrição das principais tarefas a desenvolver.

1) Conceção geral do circuito hidráulico

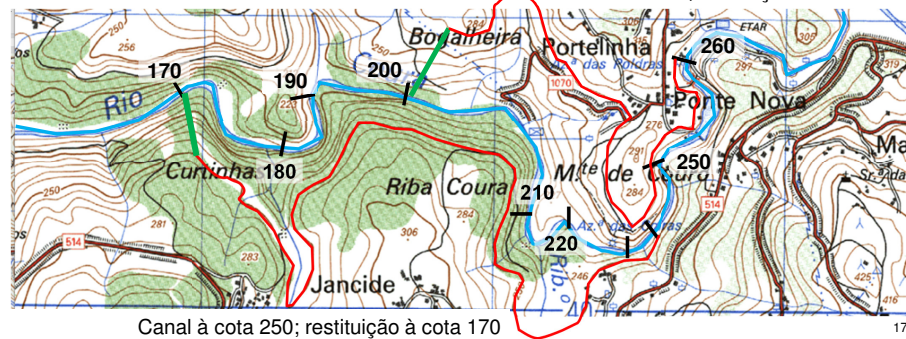
Esta tarefa refere-se à conceção de uma solução possível para o circuito hidráulico da PCH tendo por base o excerto da carta militar à escala 1/25 000 com o trecho de rio onde se insere o circuito hidráulico da PCH fornecido ao grupo, bem como a constituição geral prevista para tal circuito, antes descrita.

Para o efeito, será necessário propor a secção de inserção do açude, onde se inicia o circuito hidráulico, e a secção de inserção da central. A diferença entre as cotas destas duas secções define a queda bruta topográfica sob a qual ocorrerá a produção de energia. A localização da central hidroelétrica deve ser tal que, relativamente à cota do açude, conduza a uma queda topográfica apreciável.

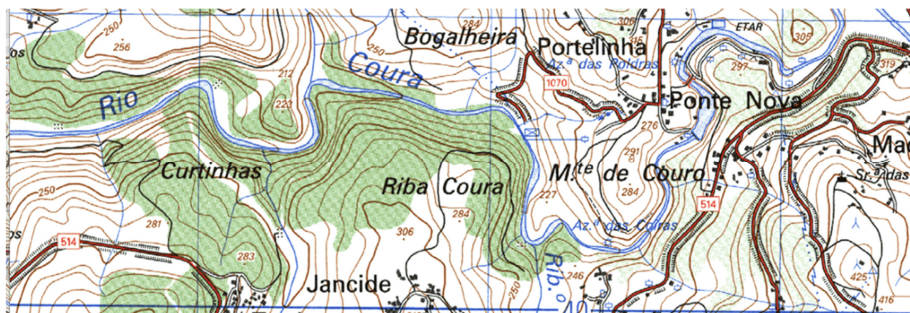
Contudo, é necessário atender a que a localização relativa do açude e da central hidroelétrica resulta de um compromisso entre a queda topográfica, o comprimento do circuito hidráulico e a área da bacia hidrográfica na secção do açude. Com efeito, fixada a localização da central, quanto mais para montante se inserir o açude, maior será o desnível topográfico e, logo, a queda suscetível de ser aproveitada na produção de energia. Contudo, ao deslocar-se o açude para montante, por um lado, diminui-se a respetiva bacia hidrográfica e, logo, as aflúncias ao açude e, por outro lado, aumenta-se o comprimento do circuito hidráulico, ou seja, o custo da PCH. Como a energia produzida é proporcional à queda e ao volume de água utilizado, o objetivo é identificar a maior queda topográfica compatível com uma dada localização do açude, sem que isso determine uma bacia hidrográfica na secção do açude muito reduzida ou um circuito hidráulico muito longo.



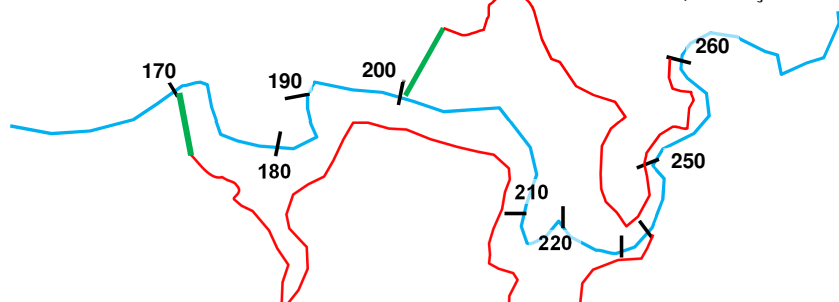
Canal à cota 270; restituição à cota 200



Canal à cota 250; restituição à cota 170

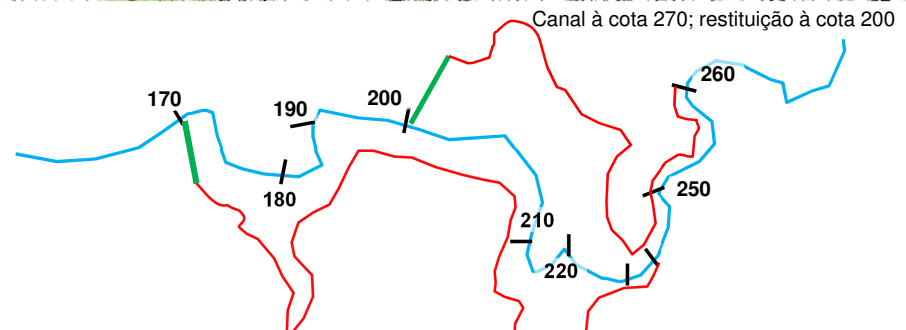


Canal à cota 270; restituição à cota 200



Canal à cota 250; restituição à cota 170

The length of the penstock is calculated according to the Pythagoras's theorem (the square of the hypotenuse - the side opposite the right angle - is equal to the sum of the squares of the other two sides), based on the length of the horizontal projection of the penstock and on the difference between elevations at the beginning and end of the penstock.

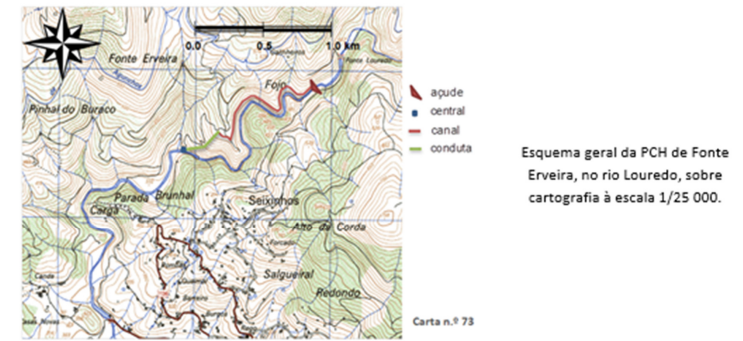


Canal à cota 250; restituição à cota 170

À escala de trabalho (1/25 000) considere que o canal segue a curva de nível sensivelmente localizada 10 m acima de cota do leito do rio onde se insere o açude.

Dispondo de uma solução para a PCH e tendo-a já implementado no AUTOCAD, o Grupo deverá:

- Atribuir uma designação à PCH.
- Identificar o curso de água em que se insere o açude, bem como a respetiva bacia hidrográfica principal, de entre as grandes bacias hidrográficas nacionais.
- Definir com o maior rigor possível as características gerais do circuito hidráulico, em termos de cotas de inserção do açude e da central da PCH, respetiva queda bruta e comprimentos das suas componentes principais (canal e conduta). Preliminarmente, considere que a cota do plano de água que será criado pelo açude (nível de retenção normal, N_{rn}) estará 10 m acima da cota do talvegue na secção de inserção da obra, correspondendo, também e sensivelmente, à cota de implantação do canal.
- Localizar com rigor as secções do rio de implantação do açude e de restituição da central hidroelétrica mediante indicação das respetivas coordenadas cartográficas (M.P.) (em m) no sistema Hayford Gauss que informa a cartografia à escala 1/25000 e correspondentes coordenadas geográficas (graus, minutos e segundos) no sistema WGS84. Para transformação das primeiras coordenadas nas segundas recorra a <http://www.igeo.pt/coordenadas/>.
- Apresentar um mapa da totalidade ou de parte de Portugal Continental, por exemplo, obtido a partir do *Google Earth*, de modo a possibilitar a localização geral da PCH no contexto do País.
- Identificar a freguesia, concelho e distrito em que se localiza o açude (e.g., <https://www.pordata.pt/Municipios/> e <https://www.pordata.pt/Municipios/Freguesias-54>).
- Produzir uma figura, perfeitamente perceptível, com o esquema geral da PCH. Tal figura terá necessariamente de conter o norte e a escala gráfica e indicar claramente as componentes relevantes nela esquematizadas e as cartas topográficas a que se refere, conforme seguidamente se exemplifica.



Esquema geral da PCH de Fonte Erveira, no rio Louredo, sobre cartografia à escala 1/25 000.

2) Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica e da respetiva rede de drenagem

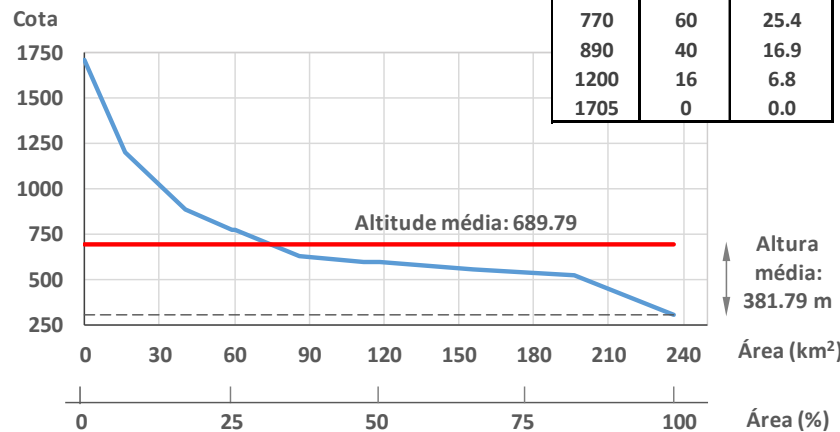
A segunda etapa refere-se à caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica, compreendendo as seguintes tarefas:

- Delimitação, à escala 1/25 000, da bacia hidrográfica na secção de inserção do açude da PCH e cálculo da correspondente área e perímetro adotado.
- Apresentação de duas figuras com a representação (planta) da bacia hidrográfica, uma delas permitindo a comparação entre perímetros real e adotado (figuras perfeitamente legíveis e atendendo às recomendações anteriores).
- Cálculo do índice de compacidade de Gravelius.
- Obtenção da curva hipsométrica, com e sem unidades. Para o efeito, considere, no máximo, 10 curvas de nível, não equidistantes e definindo áreas parcelares equilibradas entre si (ou seja, sem que umas sejam muito grandes e outras muito pequenas). Incluir no relatório um quadro com os valores de base da curva hipsométrica e a correspondente curva, com dois eixos horizontais. Apresentar ainda uma figura/planta com a representação das áreas consideradas na obtenção da curva hipsométrica.



CURVA HIPSOMÉTRICA
HYPSONOMETRIC CURVE

Cota	Área acima	
	(km ²)	(%)
308	236	100.0
520	196	83.1
560	156	66.1
600	112	47.5
630	86	36.4
770	60	25.4
890	40	16.9
1200	16	6.8
1705	0	0.0

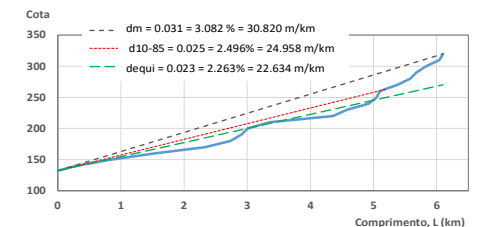


- Com base na anterior curva, cálculo da altura e da altitude médias (incluir na curva hipsométrica a representação da altitude média).
- Identificação do traçado do rio principal e seu destaque nas figuras relativas à bacia hidrográfica.
- Obtenção do perfil longitudinal do rio principal, considerando, para o efeito, as intersecções com todas as curvas de nível.
- Com base no anterior perfil, cálculo dos declives médio, equivalente e 10-85% (necessariamente sob a forma de um quadro de valores e de uma figura com os segmentos de reta que definem os diferentes declives esquematizados).
- Calcule o tempo de concentração da bacia hidrográfica da PCH, adotando para o efeito a média dos resultados fornecidos pelas fórmulas de Giandotti (à esquerda) e de Temez (à direita):

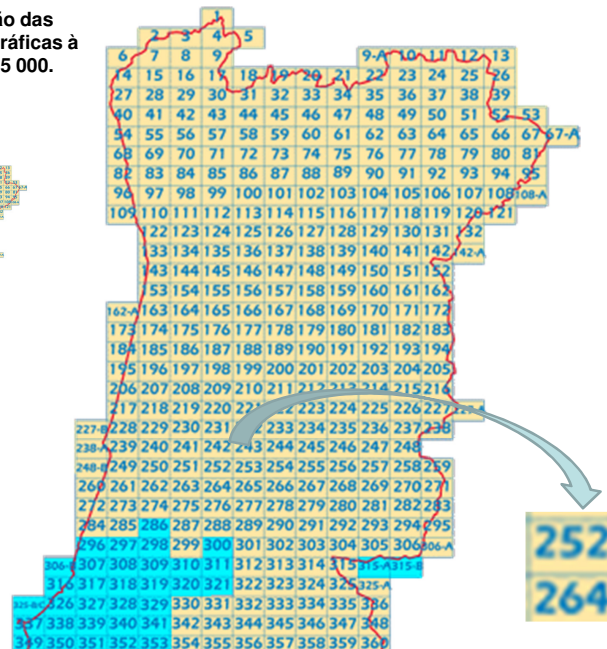
$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{hm}} \quad tc = 0.3 \left(\frac{L}{dm} \right)^{0.76}$$

em que são:

- tc tempo de concentração (h);
- A área da bacia hidrográfica (km²);
- L desenvolvimento do curso de água principal (km);
- hm altura média da bacia hidrográfica (m);
- dm declive médio do curso de água principal (-).



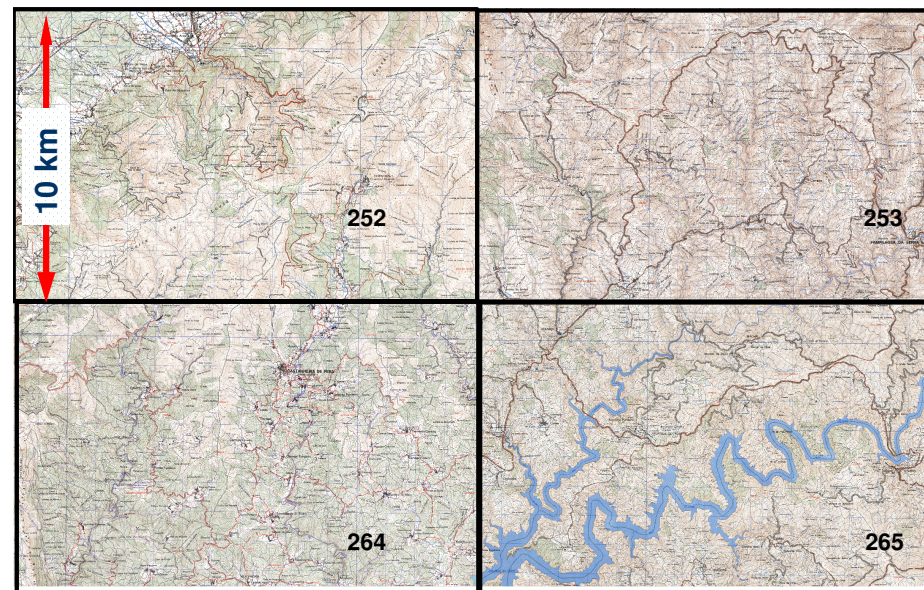
Numeração das cartas topográficas à escala 1/25 000.



252 253
264 265

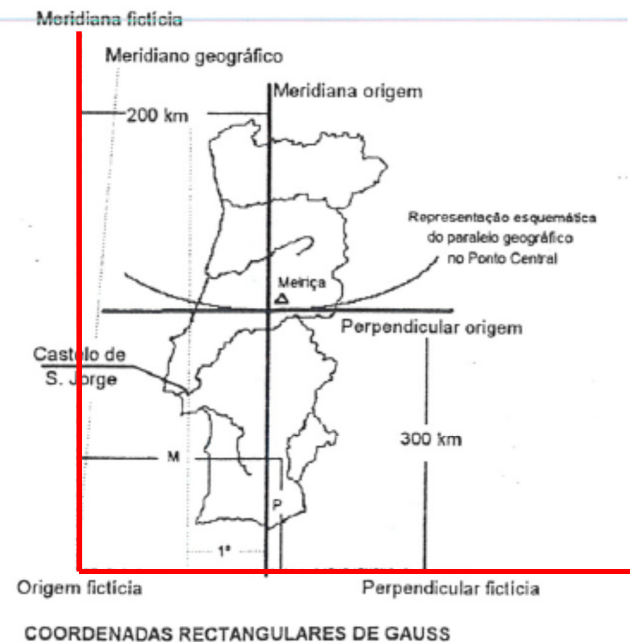
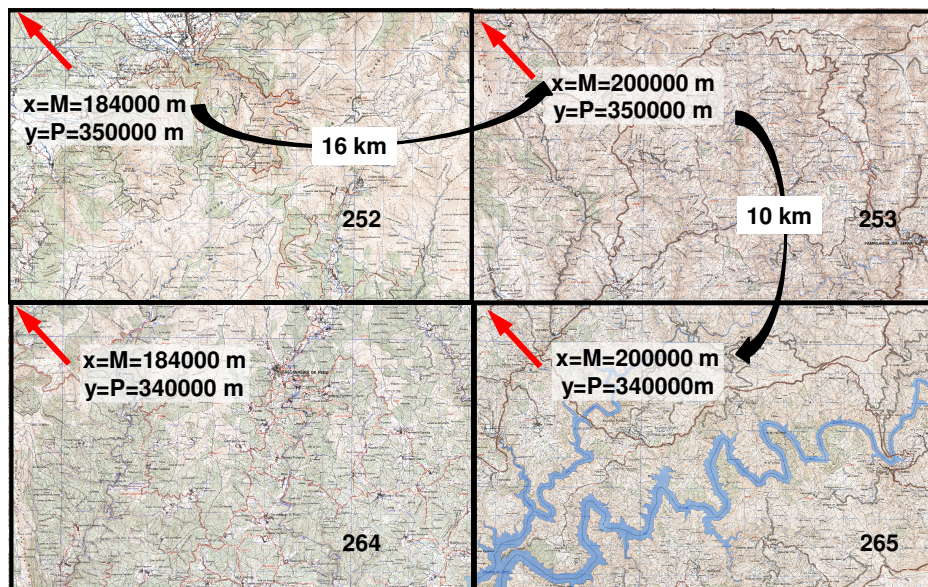
16 km

Ficheiros TIF

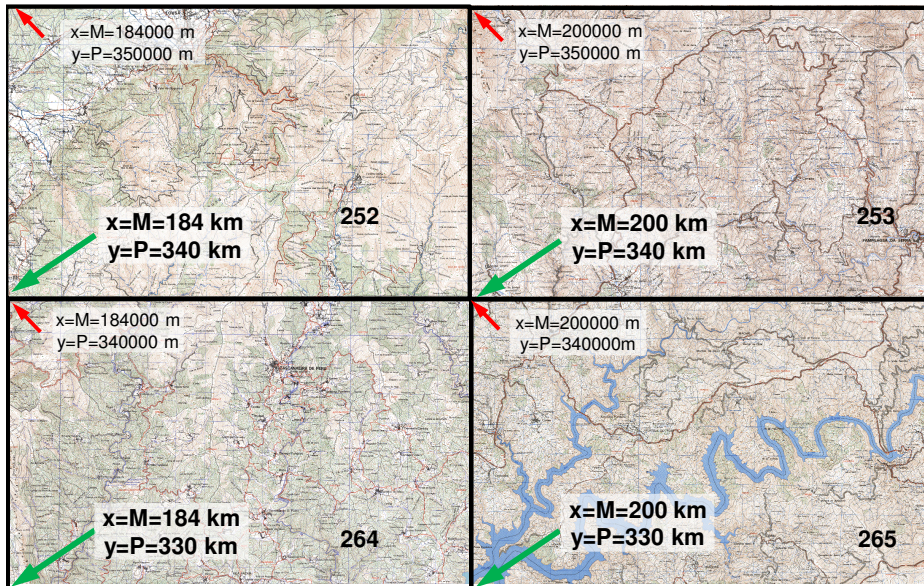


Quadrícula quilométrica

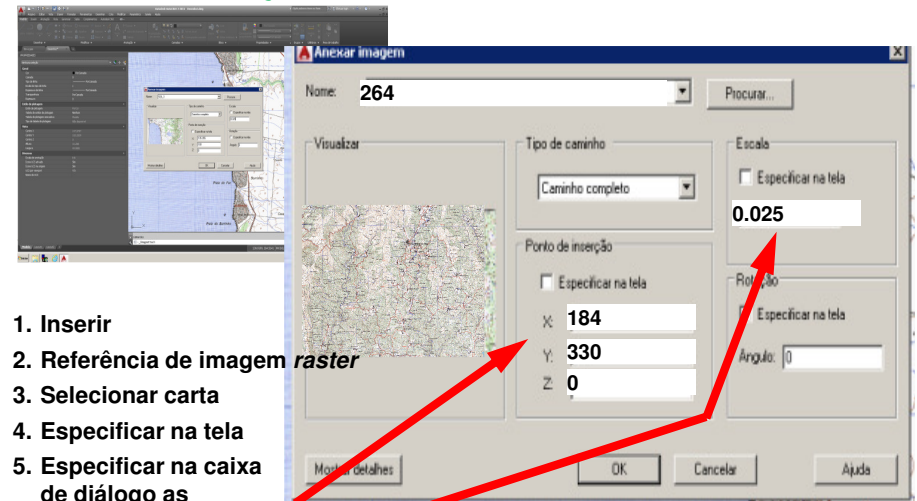
Coordenadas dos cantos superiores esquerdos da cada carta expressas em metros nos ficheiros TWF



O AUTOCAD USA AS COORDENADAS DOS CANTOS INFERIORES ESQUERDOS (em km) !!!



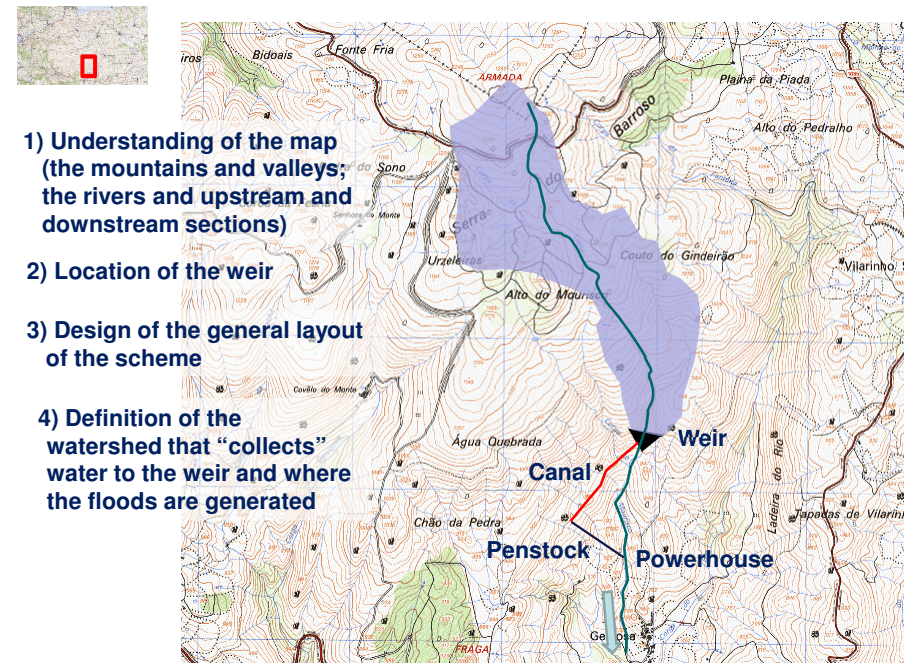
IMPORTAÇÃO DAS CARTAS PARA O AUTOCAD!!!



1. Inserir
2. Referência de imagem *raster*
3. Selecionar carta
4. Especificar na tela
5. Especificar na caixa de diálogo as coordenadas em km
6. Especificar na caixa de diálogo o fator de escala de 0.025

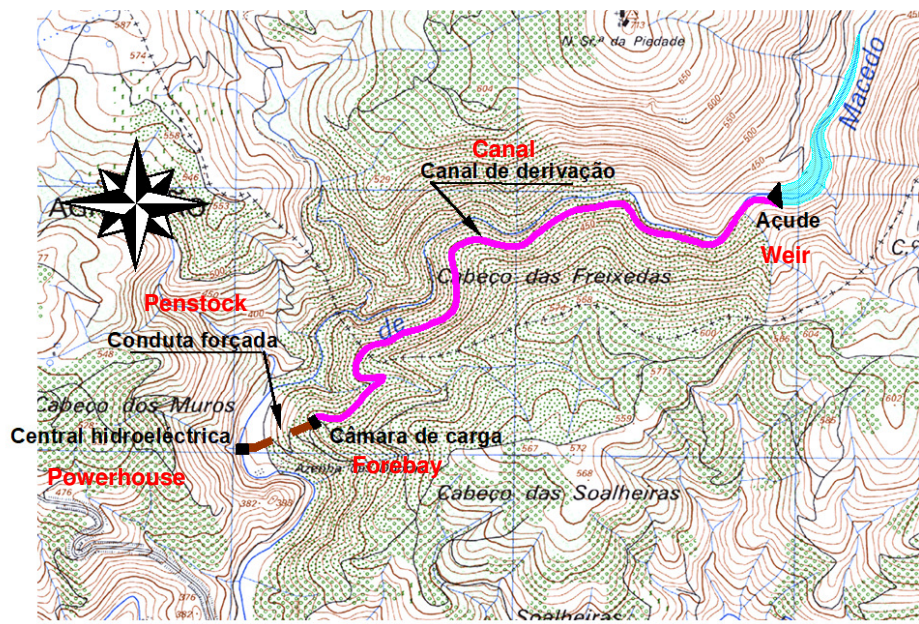
Importadas as cartas para o AUTOCAD é fundamental ter a certeza que estão bem pois vão condicionar todo o trabalho

- 1) Confirmar as coordenadas dos diferentes vértices
- 2) Tendo por base a quadricula das cartas, desenhar *polylines* verticais e horizontais com comprimento conhecido e desenhar grupos de quadrados ou rectângulos e confirmar os comprimentos (em km) e as áreas (em km²) estão corretos



- 1) Understanding of the map (the mountains and valleys; the rivers and upstream and downstream sections)
- 2) Location of the weir
- 3) Design of the general layout of the scheme
- 4) Definition of the watershed that "collects" water to the weir and where the floods are generated

To locate the case study and to draw a possible hydraulic circuit (1/25000 scale)



To locate the case study and to draw a possible hydraulic circuit (1/25000 scale)