**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ/USP**

**LEB 1440 – HIDROLOGIA E DRENAGEM**

Prof. Fernando Campos Mendonça

**CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS**

1. **Introdução**

- Hidrologia: (Hydor = água; Logos = estudo)

 Ciência que estuda a água na Terra:

 - Ocorrência, distribuição e circulação

 - Propriedades físicas e químicas

 - Efeitos sobre o meio ambiente e os seres vivos

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Aplicação: **Projetos com recursos hídricos**

- Uso de água: Abastecimento humano - Controle: Erosão

 Dessedentação animal Drenagem subterrânea

 Captação para irrigação Drenagem superficial

 Piscicultura Diques

 Aproveitamento hidrelétrico Bueiros

 Retificação para navegação “Piscinões”

Hidrologia: quantificação → Hidráulica: dimensionamento

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. **Histórico:**

Grécia antiga (séc. IV a.C.) - Platão, Aristóteles e Tales de Mileto:

- Ideia predominante: surgência ou ressurgência

 Fontes e mananciais abastecidos por reservatórios subterrâneos inesgotáveis

- Aristóteles:

Evaporação e condensação atmosférica relacionados à precipitação

Chuva contribui (pouco) para vazão dos rios (enxurrada + infiltração)

Maior parte: Condensação da umidade atmosférica em cavernas subterrâneas

 Analogia com cavernas calcárias do litoral do Mediterrâneo

Roma (época de Cristo)

- [Marcus Vitruvius Pollio](http://pt.wikipedia.org/wiki/Marcus_Vitruvius_Pollio) (engenheiro e arquiteto romano da época de Cristo)

Chuva que cai nas montanhas infiltra, ressurge no sopé das elevações e forma rios

Itália (Séc. XVI)

Da Vinci (1542-1519) explicou a salinidade dos mares

 Infiltração de águas continentais

Dissolução e carreamento de sais para os oceanos

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

França (Séc. XVI)

Bernard Palissy - Teoria da Infiltração

 águas infiltradas formam fontes e nascentes

 origem das águas = precipitações

França e Inglaterra (Séc. XVII)

- Pierre Perrault (1608-1680) e Edmé [Mariotte](http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Mariotte&action=edit&redlink=1" \o "Mariotte (página não existe)) (1620-1684)

- Edmond Halley (1656-1742)

Confirmação da teoria da infiltração – demonstração quantitativa

Hidrologia conceitualmente científica

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

- Perrault: Medição (3 anos) de chuvas e estimativa de vazões na bacia do **R**[**io Sena**](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Sena) até a Borgonha

 Conclusão: chuvas → DEFLÚVIO = 6 x a vazão do rio (Q/ppt = 0,17)

Estudo da evaporação: imensos volumes de água perdidos para a atmosfera

- Mariotte: Medição das vazões do rio Sena ([Paris](http://pt.wikipedia.org/wiki/Paris)) com flutuadores

 Confirmou resultados de Perrault

 Vazões das nascentes aumentavam por ocasião das chuvas

- Halley: Medição da evaporação no [Mediterrâneo](http://pt.wikipedia.org/wiki/Mediterr%C3%A2neo)

 Volume evaporado = soma dos deflúvios dos rios que deságuam no mar

 Justifica a permanência do nível da água

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. **Ciclo hidrológico:**

DATASHOW – FIGURAS: ciclo\_hidrologico.pdf

 ciclo\_grande.jpg

 Aula1\_transp\_3



Figura 1 - Esquema do ciclo hidrológico

**3.1. Razão entre vazão e precipitação: (Q/ppt)**

 DATASHOW: FIGURAS Aula1\_transp4.jpg e Aula1\_transp5.jpg

Utilidade: Rendimento hidrológico de grandes BHs brasileiras



Aplicação prática: dimensionamento (Barragens, estruturas de segurança, irrigação etc.)

**3.2. Tempo de residência**: tempo que uma molécula de água leva para completar um ciclo em determinada fase do ciclo hidrológico

 Q = Vol / t ⇒ t = Vol/Q (tempo de residência)

Atmosfera:

 Água na Terra distribuída por toda a superfície: 25 mm ou 25 L/m2

 Precipitação média na Terra: 860 mm/ano ou 2,36 mm/dia

 $t =\frac{25 mm}{ 2,36 mm/dia }=10,6$ dias

Aquíferos: t = milhares de anos

- Maior tempo para acúmulo de sais

Ex.: Piracicaba - Aquífero Passa Dois c/ água salobra em alguns locais

Volumes de água movimentados no globo terrestre (km3/ano)

CONTINENTES

OCEANOS

CONTINENTES

ET

70.000

Ppt

110.000

E

430.000

V

40.000

Ppt

390.000

D

40.000

 Vazão dos rios: 40.000 km3/ano

 Precipitação: 110.000 km3/ano

 Rendimento hidrológico: Q/ppt = 0,36

 (36%)

 Outros nomes: Razão Q/ppt ou

 Módulo da BH

ET – evapotranspiração Ppt – precipitação pluvial V – vapor de água D – deflúvio E – evaporação

1. **Bacia hidrográfica**
2. Definição: BH é a área a montante de um dado ponto ou seção, que faz com que a água precipitada e não evaporada passe, obrigatoriamente, por uma seção de controle em um balanço anual.

(DESENHO – BH E SEÇÕES DE CONTROLE – CADERNO, PÁG. 3)



Figura 2 - Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

 

Figura 3 - Bacias do rio Corumbataí e do ribeirão Piracicamirim (sub-bacias do rio Piracicaba)

1. Balanço volumétrico

(DESENHO – CADERNO, PÁG. 4)

Vol E = Vol S + Arm

 Vol E - Vol S = Arm

 - Calha dos rios

Ppt – (ETP + Q) = Arm - Abaixo do lençol freático (LF)

 - Acima do LF

 Balanço anual: Arm = 0 ⇒ Ppt – ETP = Q (Funciona bem em ciclos longos)

 Obs.: Vazamentos de bacia: Recarga de aquíferos

 Formação cárstica ou (cársica)

 Transposição

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Balanço volumétrico

Corte transversal da BH – Mostrar divisores de águas, talvegue (caminho do fundo do vale)



Figura 4 - Corte transversal de bacia hidrográfica e bacia hidrogeológica

 : diferença entre divisor superficial e divisor subterrâneo (freático)

 Na prática assume-se  = 0, ou seja: Bacia hidrogeológica = BH

1. Características físicas da BH

d.1) Área da BH: área da projeção da BH no plano horizontal, geralmente em ha ou em km2.

 1 km2 = 100 ha

 (DESENHO – CADERNO, PÁG. 6)

Área pequenas = área de contribuição

Ex.: área de contribuição de açudes ou terraços

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Técnicas de medição de área:

 - Quadrículas (papel milimetrado)

 - Pesagem (planta em papel e comparação c/ papel de área conhecida)

 - Planímetro

 - AutoCAD

 - Softwares de SIG (ArcGIS, Idrisi, Spring etc.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Separação da área: 2 técnicas

 - Escalas grandes (1:10.000 1 cm = 100 m)

 - Marcar os espigões a montante do ponto

 - Traçar as linhas de maior declive do ponto considerado até o espigão

Exemplo: TRANSPARÊNCIA 7 (ou DATASHOW - Aula1\_transp7a e Aula1\_transp7b)

 - Escalas pequenas (1:250.000 1 cm = 2,5 km)

 - Marcar a rede hidrográfica

 - Separar pelas nascentes

 - Refinar o traçado perpendicularmente às curvas de nível

Exemplo: DESENHO (Caderno, PÁG. 7) e TRANSPARÊNCIAS 8 a 10 (ou no DATASHOW)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

TRABALHO PARA CASA (ENTREGAR NA PRÓX. AULA):

Determinação da área de contribuição – Mostrar nas transparências

 TRANSPARÊNCIAS 8 e 9 (ou DATASHOW – Aula1\_Exerc1 e Aula1\_Exerc2)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

d.2) Forma da BH:

 DESENHO (Caderno, PÁG. 8 – Bacias A e B)

- Considerando que as BHs A e B sejam iguais em todas as características, exceto a forma, a BH (B) está sujeita a maiores picos de enchente (menor tempo de concentração).

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Caracterização da forma da BH:

**d.2.1) Coeficiente de compacidade (Kc)**

- Razão entre perímetro da BH e o perímetro de um círculo com área igual à da BH.

 DESENHO (Caderno, pág. 8)

Círculo: Perímetro $P’ =2 π ∙ r$

 Área $A = π ∙r^{2}$ ⇒ $r=\sqrt{\frac{A}{π} }$

BH: Área = A

 Perímetro = P (obtido com curvímetro, ou software AutoCAD, SIG etc.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

$Kc = \frac{P}{P´} = \frac{P}{ 2 π \sqrt{\frac{A}{π} } } = \frac{\sqrt{π }}{ 2 π } \frac{P}{ \sqrt{A }}$ ∴ $Kc = 0,28 \frac{P}{ \sqrt{A }}$

Aplicação de Kc: quanto mais estreita, maior o Kc e menores os picos de cheia

BH (A): ↓ Largura ↑ Kc ↓ Enchente

BH (B) ↑ Largura ↓ Kc ↑ Enchente

Exemplo: Sub-bacias do rio Piracicaba

 Tipo A: Córrego do Itapeva (Av. 31 de março – Av. Armando de Salles Oliveira - Ponte do Mirante)

 Tipo B: Ribeirão Piracicamirim (Av. Alberto Vollet Sachs – ESALQ)

BHs naturais: Kc > 1

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**d.2.2) Coeficiente de forma de I-Pai-Wu (F)**

- Razão entre comprimentos axiais de uma BH (L) e de um círculo com mesma área (L’).

 DESENHO (Caderno, PÁG. 9)

 TRANSPARÊNCIA 12 (ou DATASHOW – Aula1\_transp12)

$F = \frac{L}{L´}$

Círculo: $A = π ∙r^{2}$ ⇒ $r=\sqrt{\frac{A}{π} }$

 $L’ =2 r = 2 \sqrt{\frac{A}{π} }$ $F=0,886 \frac{L}{\sqrt{A}}$

BH: Área = A

 L → obtido com curvímetro ou software (AutoCAD, SIG etc.)

BHs naturais: geralmente F > 1

Aplicação de F: quanto mais estreita, maior o F e menores os picos de cheia

BH (A): ↓ Largura ↑ F ↓ Enchente

BH (B) ↑ Largura ↓ F ↑ Enchente

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. **Sistema de drenagem**

1 - Perenes

Tipos de cursos d’água 2 – Efêmeros

 3 - Intermitentes

DESENHOS (Caderno, PÁG. 10)

1. PERENES: calha abaixo do LF ao longo de todo o ano (mín. 90% do ano).

Qt = Qsup + Qsub

Qt – vazão total

Qsup – vazão de superfície (escoamento superficial)

Qsub – vazão subterrânea (LF)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. EFÊMEROS: calha sempre acima do LF (ano todo)

Qt = Qsup

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. INTERMITENTES: calha oscilante, abaixo e acima do LF ao longo do ano

Período de seca: calha acima do LF → Qt = Qsup

 Período úmido: calha abaixo do LF → Qt = Qsup + Qsub

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

EXERCÍCIO EM SALA DE AULA: Cálculo de área e perímetro por 2 métodos