

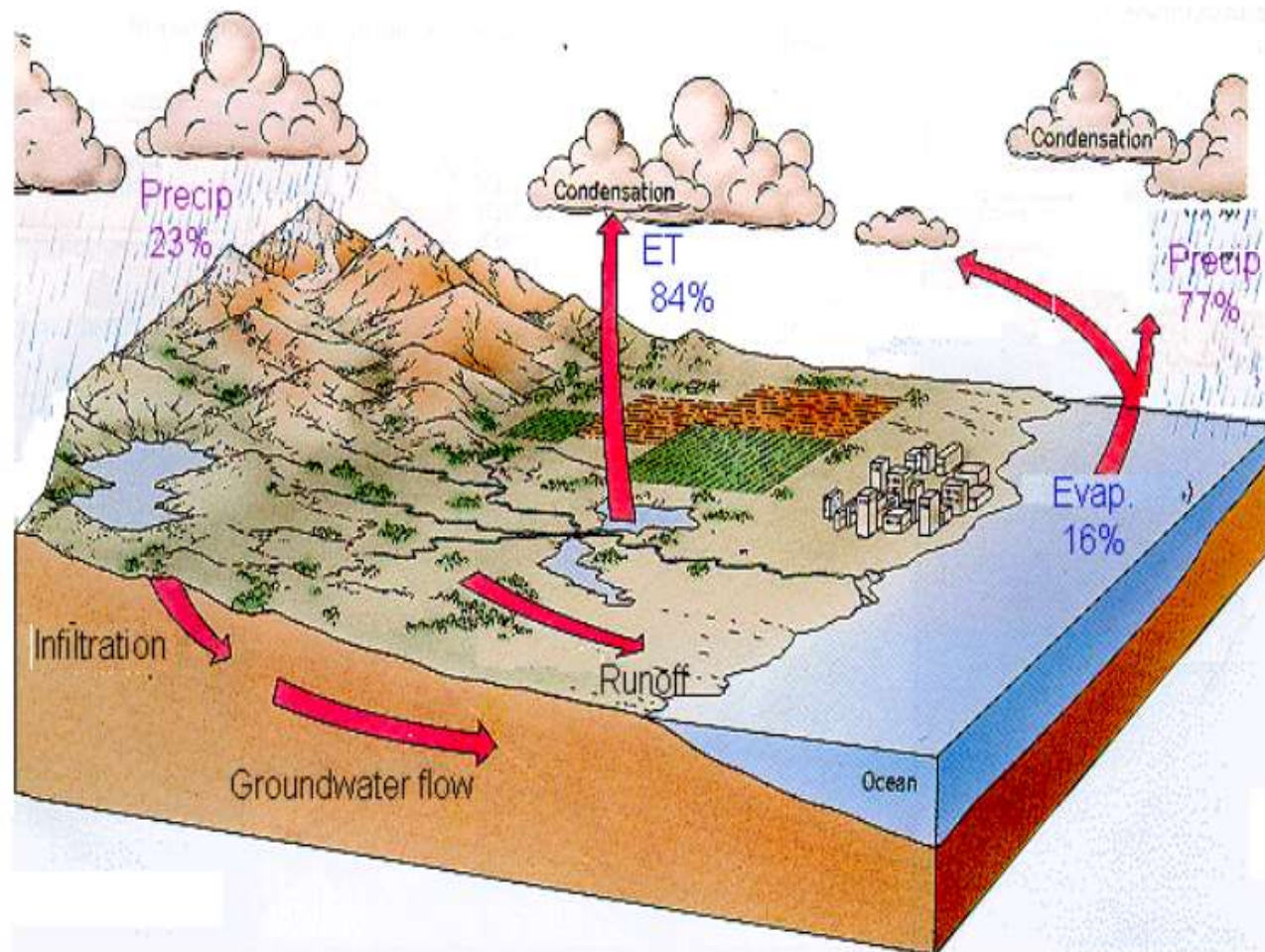


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE  
LEB 306 – Meteorologia Agrícola  
1º Semestre de 2017 – Prof. Fábio Marin



# Balanço Hídrico

# Balanço Hídrico - Conceito



# Balanço Hídrico - Introdução



Caatinga



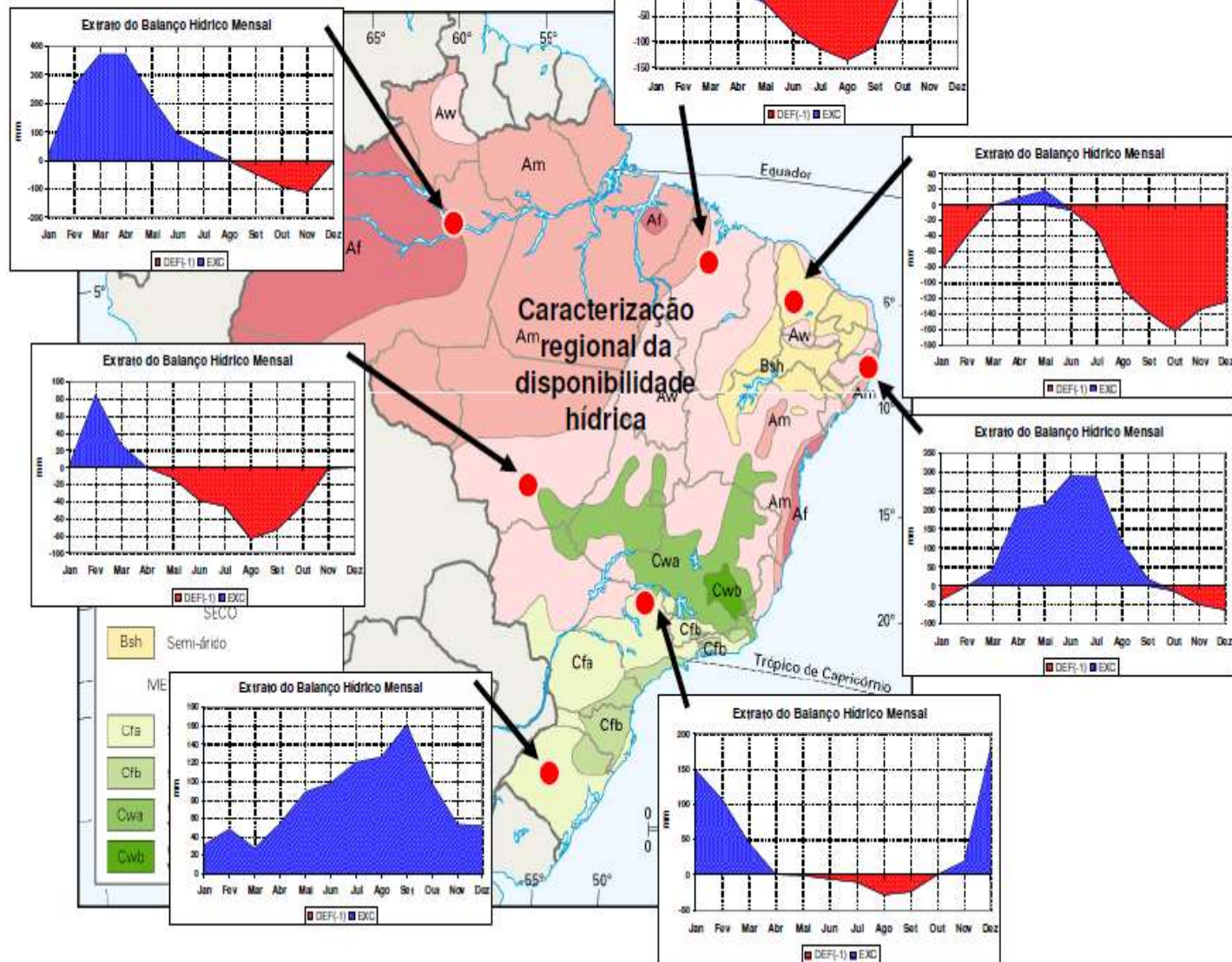
Floresta Tropical

Como quantificar as diferenças climáticas  
entre regiões?

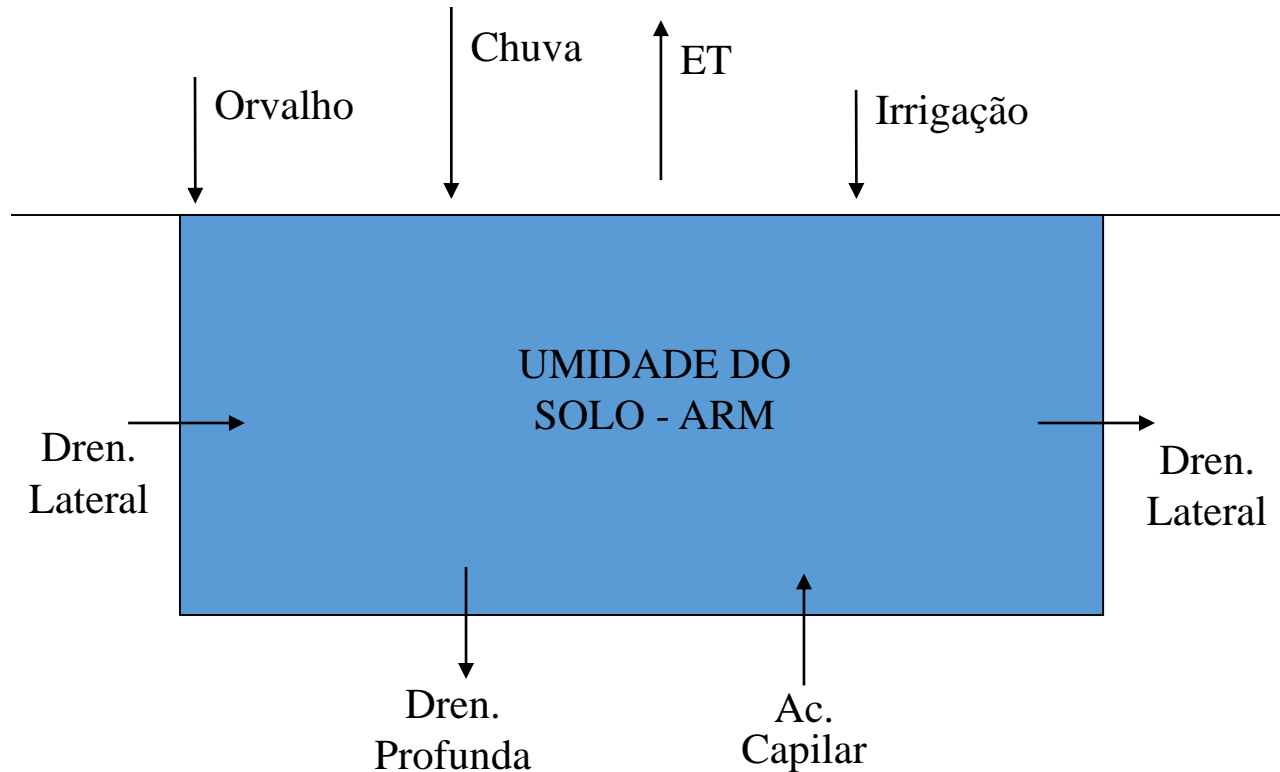


# Bal

## Aplicações do Balanço Hídrico Climatológico Normal



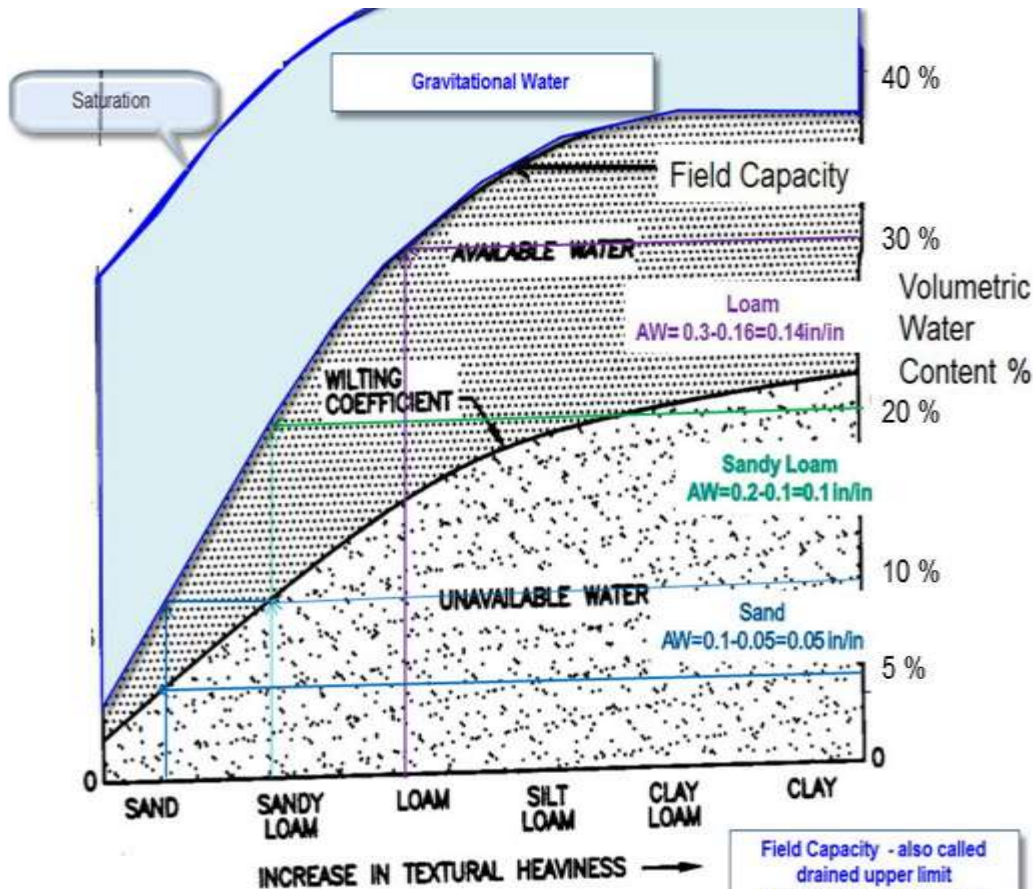
# Balanço Hídrico - Introdução



Em resumo:

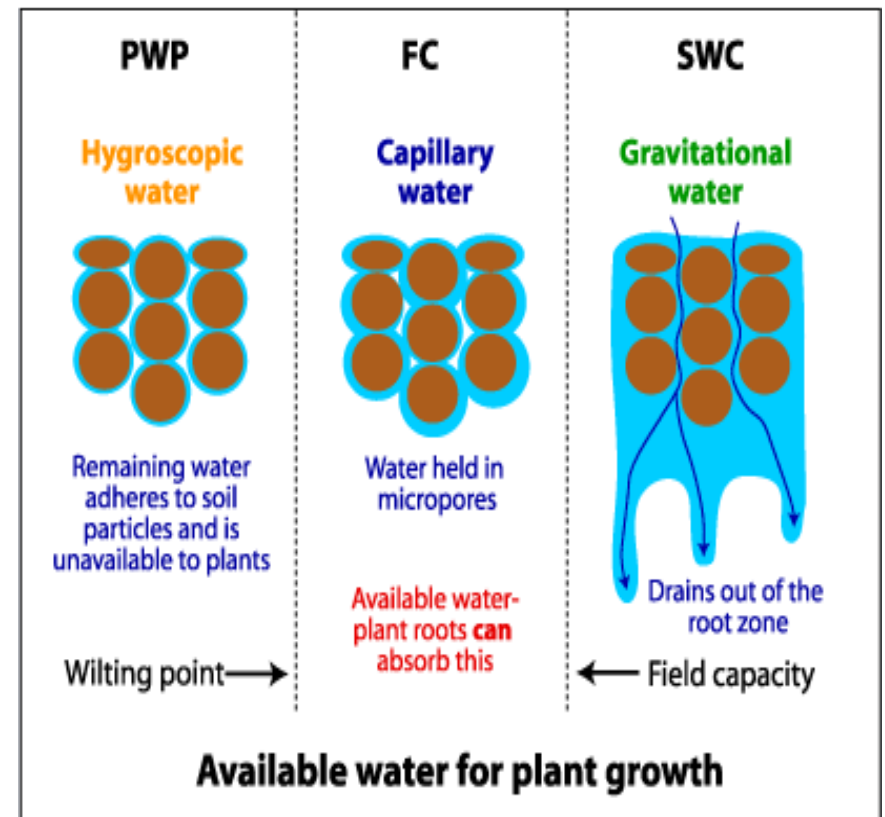
$$\text{Variação do ARM} = \text{Chuva} + \text{AC} - \text{ET} - \text{DP}$$

# Capacidade de água disponível: conceito



Ref: USDA, NRCS, *Engineering Field Manual*  
Additional graphics add by Steve A Miller, Michigan State University

Field Capacity - also called  
drained upper limit  
Gravitational Water - rapid  
drainage



# Calculando a Capacidade de Água Disponível

$$CAD = (CC\% - PMP\%) * Z * 1000$$

Sendo a CAD dada em mm e Z a profundidade efetiva do sistema radicular (m).

Valores de Referência:

Solos muito argilosos: 200 mm/m

Solos com textura média: 100 mm/m

Solos arenosos: 60 mm/m

**Nota:** Caso CC% e PMP% tenham sido medidas dadas em umidade gravimétrica do solo, é necessário multiplicar pela densidade aparente do solo, (kg/m<sup>3</sup>) para se calcular a CAD.

# Tipos de Balanço Hídrico

- BH Normal (mensal) – análise climatológica
- BH sequencial (diário, semanal, decendial, mensal) – acompanhamento das condições
- BH de culturas – monitoramento da irrigação, zoneamentos, estimativa de produtividade



# Elaboração do BH Climatológico

## Normal: Roteiro de cálculo

- 1) Estimativa da ETo com o método mais adequado para a região, dependendo dos dados meteorológicos disponíveis (*Penman-Monteith ou Camargo com Temperatura Efetiva*).
- 2) Obtenção de dados de chuva (P)
- 3) Calcular (P-ETo), preservando os sinais positivos (+) e negativos (-)
- 4) **A partir deste ponto deve-se completar as colunas (NAC e ARM) simultaneamente.**
- 5) Critério de inicialização: Inicia-se no primeiro mês com valor de (P-ETo) < 0 (negativo) (veja nota do slide seguinte).

## \*Nota: Critério para Inicialização do BH

- Nos locais muito secos, onde a deficiência hídrica dura por praticamente todo o ano, a inicialização do BH precisa ocorrer de outra forma. Observe a tabela abaixo: as condições A e B são comuns no sudeste e centro-oeste do Brasil. A condição C é normalmente necessário no Semiárido nordestino. Nesta condição, o NAC deve ser calculado com a equação apresentada em C.

A – se  $\Sigma(P-ETP)$  anual  $\geq 0 \Rightarrow ARM = CAD$  no último período da estação úmida

B – se  $\Sigma(P-ETP)$  anual  $< 0$ , mas  $\Sigma(P-ETP)^+ \geq CAD \Rightarrow$  Idem a A

C – se  $\Sigma(P-ETP)$  anual  $< 0$  e  $\Sigma(P-ETP)^+ < CAD$

$\Rightarrow NAC = CAD \cdot \ln [(\Sigma(P-ETP)^+/CAD)/(1 - e^{\Sigma(P-ETP)^+/CAD})]$  no último período da estação úmida

# Elaboração do BHC: Roteiro

- **6) Determinação do NAc e do ARM**

⇒ Se  $(P-ETo) < 0$  ⇒ Calcula-se o NAc, ou seja, os valores de  $(P-ETo)$  negativos, e posteriormente se calcula o valor do ARM

$$NAC = NAC \text{ anterior} + (P-ETo);$$

$$ARM = CAD * \exp(-|NAC/CAD|)$$

⇒ Se  $(P-ETo) \geq 0$  ⇒ Calcula-se primeiro o ARM e, posteriormente, calcula-se o Nac\*\*,

$$ARM = ARM \text{ anterior} + (P-ETo);$$

$$Nac = CAD * \ln (ARM/CAD);$$

\*\*Nesse caso o NAC deve ser determinado no caso de haver um próximo período com  $(P-ETo) < 0$ .

- **7) Cálculo da Alteração ( $ALT = \Delta ARM$ )**

- $ALT = ARM - ARM \text{ anterior}$  ( $ALT > 0$  ⇒ reposição;  $ALT < 0$  ⇒ retirada de água do solo)

# Elaboração do BHC: Roteiro

- **8) Determinação da ETR (Evapotranspiração Real)**
  - Se  $(P - ETo) < 0 \Rightarrow ETR = P + |ALT|$
  - Se  $(P - ETo) \geq 0 \Rightarrow ETR = ETo$
- **9) Determinação da DEF (Deficiência hídrica = o quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar)**
  - $DEF = ETo - ETR$
- **10) Determinação do EXC (Excedente hídrico, que corresponde à água que não pode ser retida e drena em profundidade = água gravitacional)**
  - Se  $ARM < CAD \Rightarrow EXC = 0$
  - Se  $ARM = CAD \Rightarrow EXC = (P - ETo) - ALT$

# Exemplo de Cálculo do BH Climatológico

Posse - GO









Início

P	P-ETo
271	155
215	118
230	126
119	31
20	-58























$$DEF = ETo - ETR$$



R	DEF
---	-----

$$DEF = ETo - ETR$$












Calcula-se o TOTAL e a MÉDIA



MÊS	ETo	P	P-ETo	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	116	271	155	0	100	0	116	0	155
Fev	97	215	118	0	100	0	97	0	118
Mar	104	230	126	0	100	0	104	0	126
Abr	88	119	31	0	100	0	88	0	31
Mai	78	20	-58	-58	56	-44	64	-14	0
Jun	63	9	-54	-112	33	-23	32	-31	0
Jul	62	5	-57	-169	18	-15	20	-42	0
Ago	90	12	-78	-247	8	-10	22	-68	0
Set	94	30	-64	-311	4	-4	34	-60	0
Out	109	123	14	-171	18	14	109	0	0
Nov	106	223	117	0	100	82	106	0	35
Dez	106	280	174	0	100	0	106	0	174
Total	1113	1537	424	-1068	737	0	898	-215	639
Média	93	128	35	-89	61	0	75	-18	53

# Aferição do Balanço Hídrico

$$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P-ETP)$$

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF$$

$$\Sigma ALT = 0$$

# Aferição BHC Normal

$$\Sigma P = \Sigma ETo + \Sigma(P-ETo) \Rightarrow 1537 = 1113 + 424$$

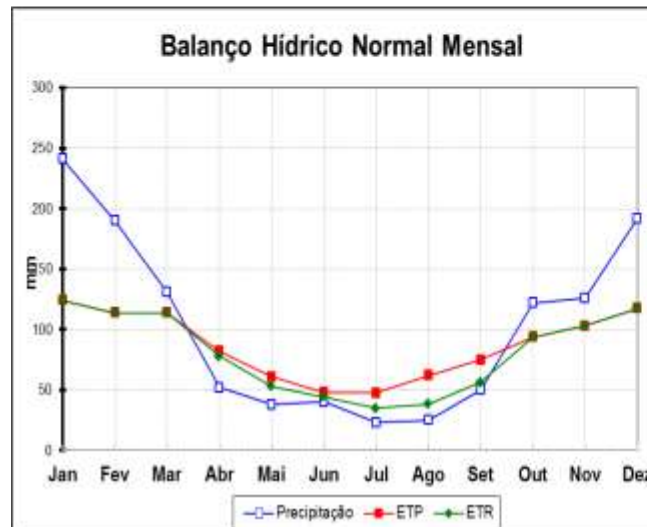
$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC \Rightarrow 1537 = 898 + 639$$

$$\Sigma ETo = \Sigma ETR + \Sigma DEF \Rightarrow 1113 = 898 + 215$$

$$\Sigma ALT = 0 \Rightarrow 0 = 0$$

# Representação Esquemática do BH Normal

Piracicaba - SP



# Balanco Hídrico Sequencial

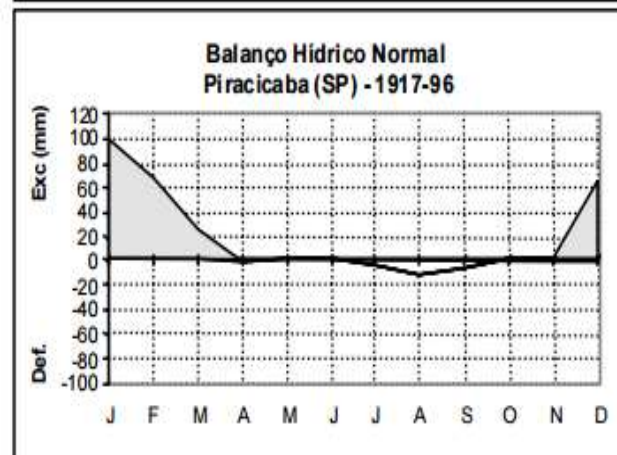
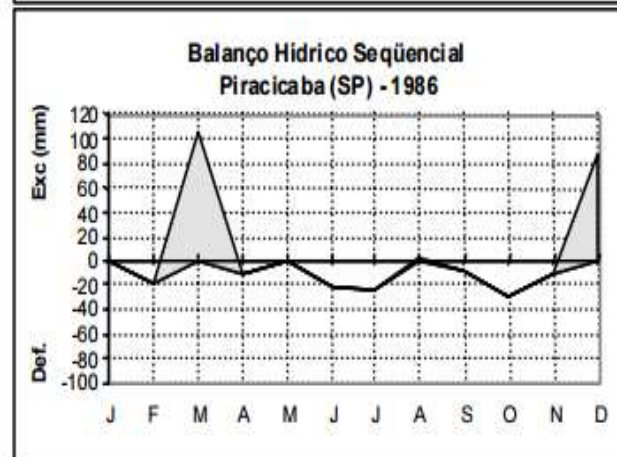
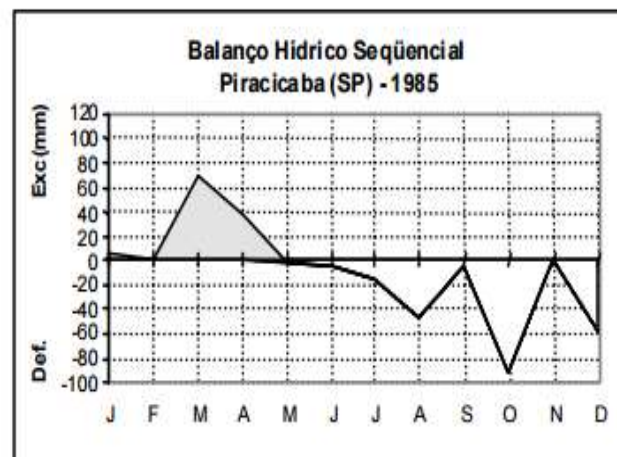
- Possibilita o acompanhamento em tempo real da disponibilidade de água no solo.
- Pode ser realizado em escala diária, quinquidial, semanal, decendial ou mensal.
- A inicialização deve ser feito, preferencialmente num período chuvoso, em que se possa assumir  $ARM=CAD$ .

Exemplo:

[illegible]



# Balanço Hídrico Sequencial Representação



# Balanço Hídrico de Cultivos

- Objetiva calcular o armazenamento hídrico do solo levando-se em conta o tipo de cultura e sua fase de desenvolvimento.
- Neste BH, usa-se a evapotranspiração máxima de cultura (ET<sub>c</sub>) e o BH é calculado do mesmo modo.
- Para estimativa de ET<sub>c</sub>, um dos métodos mais simples é pelo uso do coeficiente de cultivo:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

# Balanço Hídrico de Cultivos - Kc

Tabela 14.1. Coeficientes de cultura (Kc) para alguns cultivos. Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

Cultura	Fases de Desenvolvimento da Cultura				
	Estabelecimento	Desenv. Veget.	Florescimento	Frutificação	Maduração
Alfafa	0,3 - 0,4	- -	- -	- -	1,05 - 1,2
Algodão	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	1,05 - 1,25	0,8 - 0,9	0,65 - 0,7
Amendoim	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,75 - 0,85	0,55 - 0,6
Arroz	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,9 - 1,2	0,8 - 0,9	0,5 - 0,6
Banana Tropical	0,4 - 0,5	0,7 - 0,85	1,0 - 1,1	0,9 - 1,0	0,75 - 0,85
Banana Subtropical	0,5 - 0,65	0,8 - 0,9	1,0 - 1,2	1,0 - 1,15	1,0 - 1,15
Batata	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,85 - 0,95	0,7 - 0,75
Beterraba açucareira	0,4 - 0,5	0,75 - 0,85	1,05 - 1,2	0,9 - 1,0	0,6 - 0,7
Cana - de - açúcar	0,4 - 0,5	0,7 - 1,0	1,0 - 1,3	0,75 - 0,8	0,5 - 0,6
Cebola seca	0,4 - 0,6	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,85 - 0,9	0,75 - 0,85
Cebola verde	0,4 - 0,6	0,6 - 0,75	0,95 - 1,05	0,95 - 1,05	0,95 - 1,05
Café c/ trato			0,65 - 0,8		
Café s/ trato			0,85 - 0,9		
Citros c/ trato			0,65 - 0,75		
Citros s/ trato			0,85 - 0,9		
Ervilha	0,4 - 0,5	0,7 - 0,85	1,05 - 1,2	1,0 - 1,15	0,95 - 1,1
Feijão verde	0,3 - 0,4	0,65 - 0,75	0,95 - 1,05	0,9 - 0,95	0,85 - 0,95
Feijão seco	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,65 - 0,75	0,25 - 0,3
Girassol	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,7 - 0,8	0,35 - 0,45
Melancia	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,05	0,8 - 0,9	0,65 - 0,75
Milho doce	0,3 - 0,5	0,7 - 0,9	1,05 - 1,2	1,0 - 1,15	0,9 - 1,1
Milho grão	0,3 - 0,5	0,7 - 0,85	1,05 - 1,2	0,8 - 0,95	0,55 - 0,6
Oliveira			0,4 - 0,6		
Pimentão verde	0,3 - 0,4	0,6 - 0,75	0,95 - 1,1	0,85 - 1,0	0,8 - 0,9
Repolho	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,9 - 1,0	0,8 - 0,95
Seringueira			0,7 - 1,2		
Soja	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,0 - 1,15	0,7 - 0,8	0,4 - 0,5
Sorgo	0,3 - 0,4	0,7 - 0,75	1,0 - 1,15	0,75 - 0,8	0,5 - 0,55
Tabaco	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,0 - 1,2	0,9 - 1,0	0,75 - 0,85
Tomate	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	1,05 - 1,25	0,8 - 0,95	0,6 - 0,65
Trigo	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,65 - 0,75	0,2 - 0,25
Uva	0,35 - 0,55	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9	0,6 - 0,8	0,55 - 0,7

Primeiro valor: com umidade elevada (UR min > 70%) e vento fraco (U < 5 m/s)

Segundo valor: com umidade baixa (UR min < 70%) e vento forte (U > 5m/s)

# Balanço Hídrico de Cultivos - Kc

Tabela 14.2. Valores de Kc por decêndio após a emergência, para alguns cultivos anuais. (Fonte: Alfonsi et al., 1990).

Dec.*	Soja			Trigo	Feijão	Arroz	Algo dão	Batata	Amen- doim	Milho		
	precoce	média	tardia							precoce	normal	inv.
1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4
3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,5	0,5
4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6
5	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7
6	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7
7	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8
8	1,1	1,2	1,1	1,2	0,8	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9
9	1,0	1,1	1,2	1,1	0,4	1,1	1,2	0,9	1,1	1,2	1,2	1,0
10	0,8	1,0	1,1	0,8		1,0	1,1	0,7	1,0	1,0	1,2	1,1
11	0,7	0,8	1,0	0,7		0,6	1,1		0,8	0,9	1,1	1,2
12	0,5	0,7	0,9	0,6			1,0		0,6	0,8	1,0	1,0
13		0,5	0,8	0,3			0,9			0,5	0,8	1,0
14			0,7				0,7				0,5	
15			0,5				0,5					

\* Dec. = decêndios após a semeadura.

# BH para controle da irrigação

- É uma adaptação/simplificação do BH climatológico sequencial para facilitar sua aplicação em condições operacionais.
- Aplica-se principalmente para irrigação não localizada.
- Além do conhecimento prévio da fenologia da cultura, da demanda hídrica e das características físicas do perfil de solo, é necessário também conhecer a lâmina de irrigação ou dotação de rega. Esta pode ser fixa ou variável, dependendo do sistema de irrigação.
- É necessário também definir o valor da Água Facilmente Disponível (AFD) para o cultivo, dependente do fator p:

$$AFD = CAD * p$$

# BH para controle da irrigação

Tabela 14.3. Fração  $p$  para grupos de cultura e  $ET_c$ . Fonte: Doorenbos & Kassam (1994).

Culturas	Grupo	ETc (mm d <sup>-1</sup> )								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cebola, Pimentão, Batata	1	0,50	0,43	0,35	0,30	0,25	0,23	0,20	0,20	0,18
Banana, Repolho, Uva, Ervilha, Tomate	2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,23
Alfafa, Feijão, Citros, Amendoim, Girassol, Trigo	3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,43	0,38	0,35	0,30
Algodão, Milho, Sorgo, Soja, Cana-de-açúcar	4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,43	0,40

# BH para controle da irrigação

- Cálculo da AFDi

Para DR variável:

$AFDi = AFDf$  do período anterior

$$AFDf = AFDi + (I + P - ETc)$$