



LCE 306 – Meteorologia Agrícola

Prof. Paulo Cesar Sentelhas

Prof. Luiz Roberto Angelocci

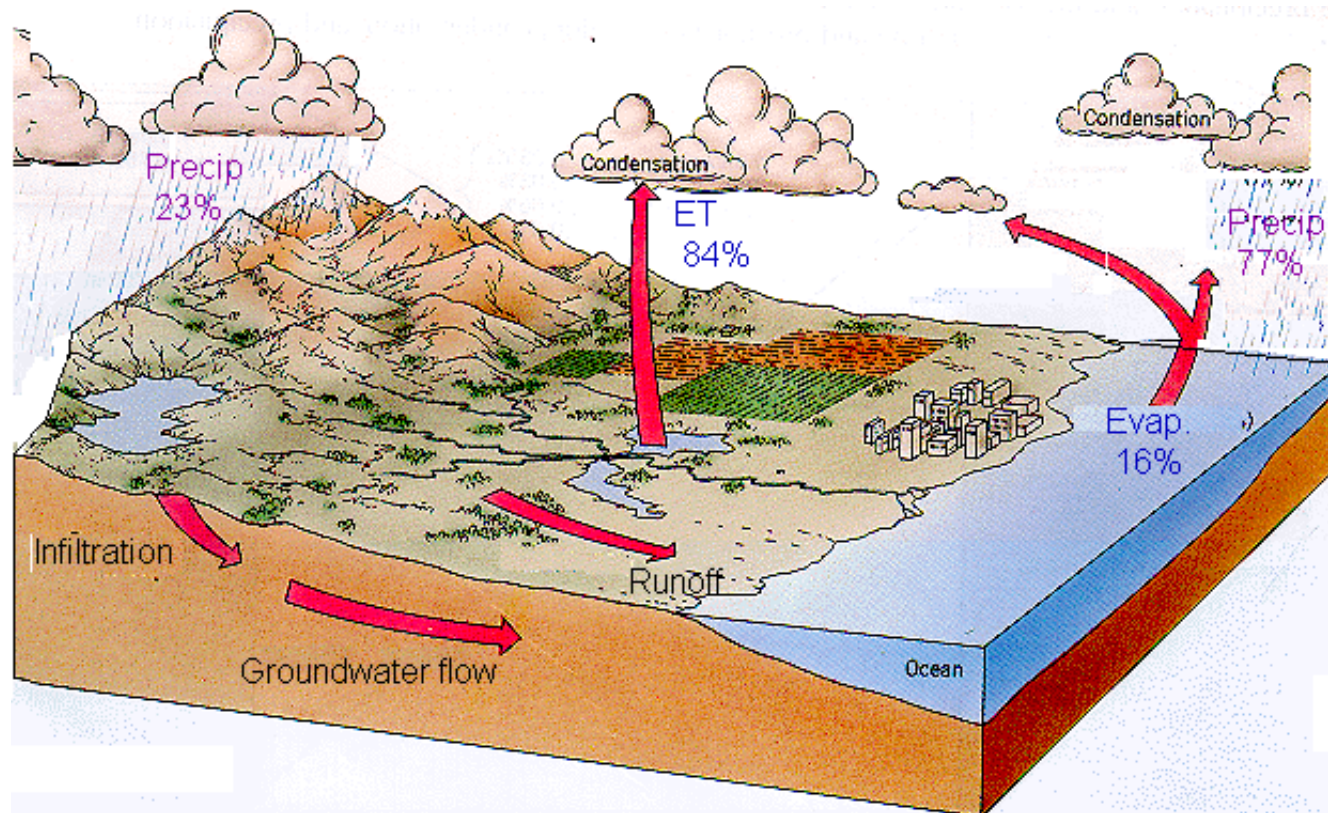
Aula # 9

Balanço Hídrico

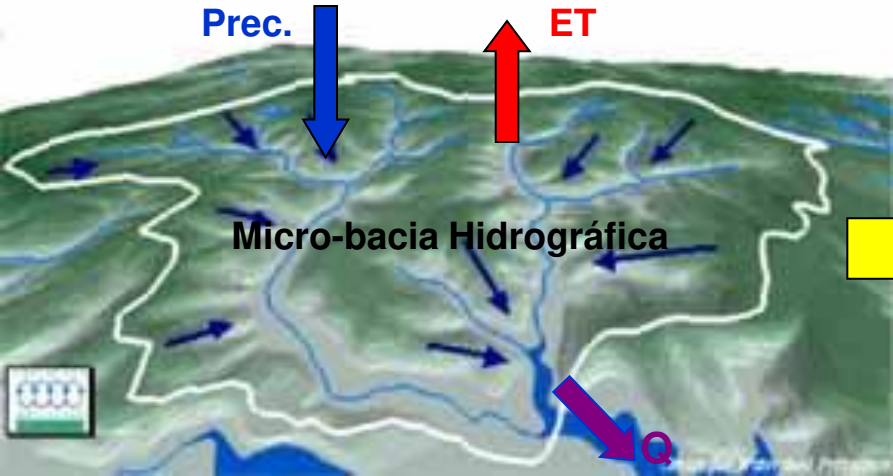
Climatológico Normal e Seqüencial,
de Cultura e para Manejo da
Irrigação

ESALQ/USP – 2012

Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico

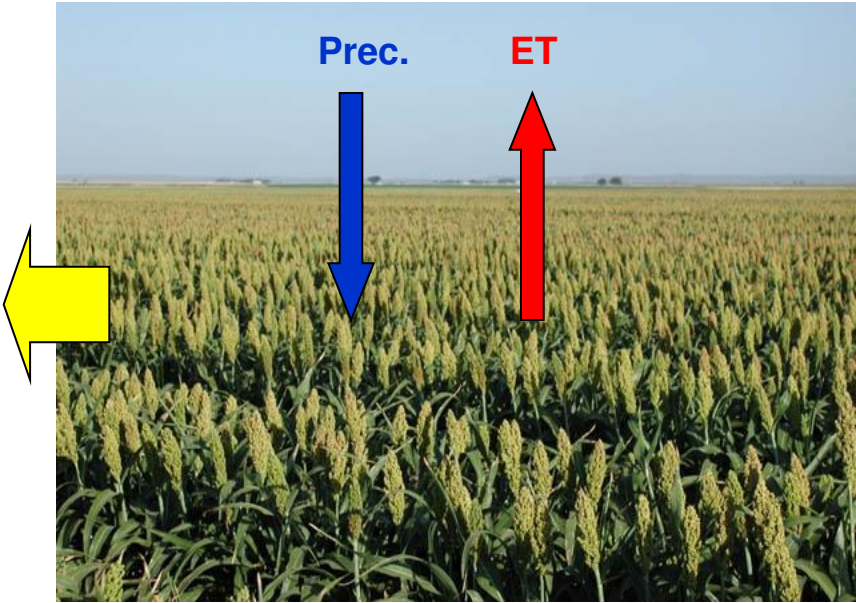


O balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Várias escalas espaciais podem ser consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. Na escala macro, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico”, cuja resultado nos fornecerá a água disponível no sistema (no solo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja na biosfera.

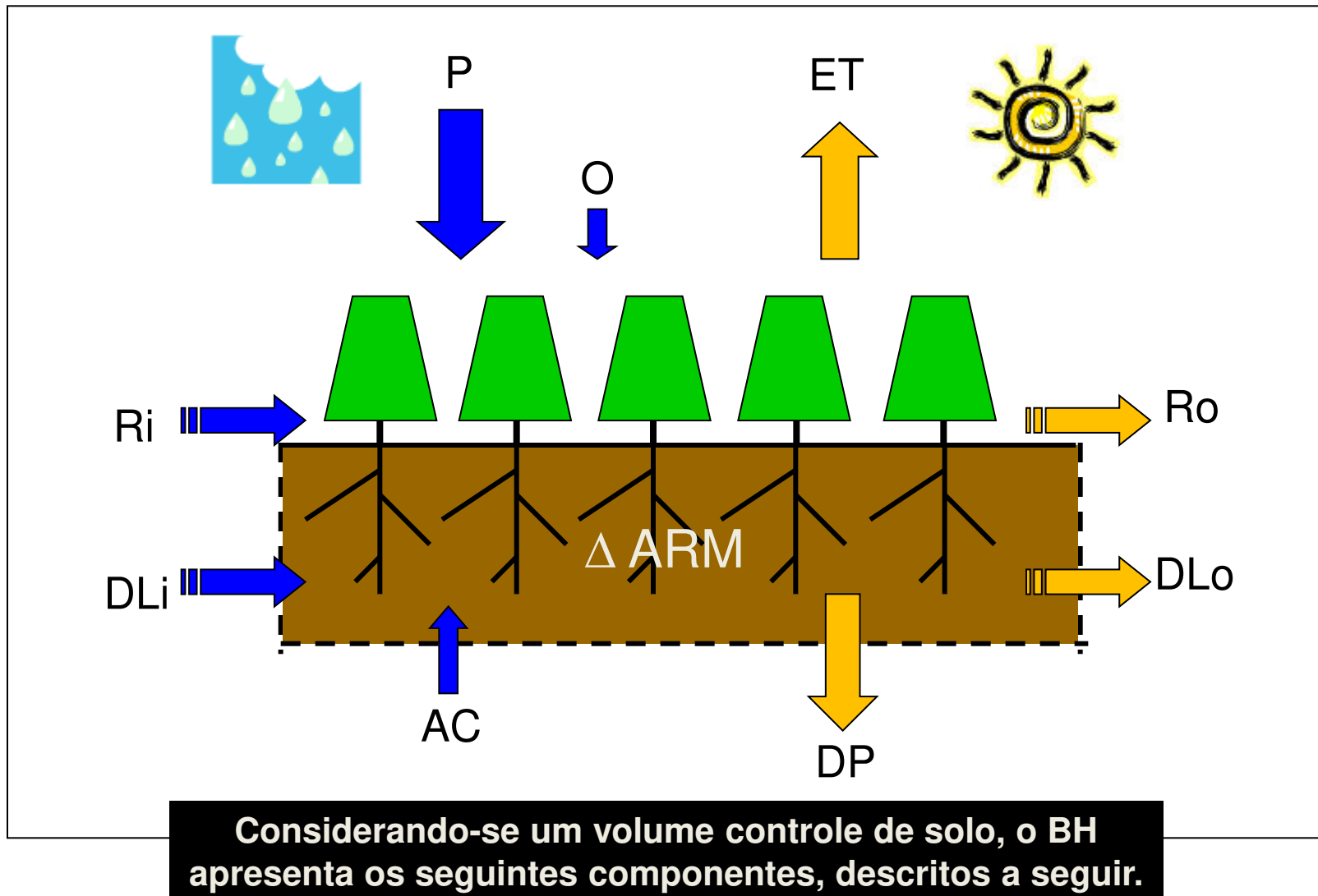


Em uma escala intermediária, representada por uma micro-bacia hidrográfica, o balanço hídrico resulta na vazão de água desse sistema. Para períodos em que a chuva é menor do que a demanda atmosférica por vapor d'água, a vazão (Q) diminui, ao passo em que nos períodos em que a chuva supera a demanda, Q aumenta.

Na escala local, no caso de uma cultura, o balanço hídrico tem por objetivo estabelecer a variação de armazenamento e, conseqüentemente, a disponibilidade de água no solo. Conhecendo-se qual a umidade do solo ou quanto de água este armazena é possível se determinar se a cultura está sofrendo deficiência hídrica, a qual está intimamente ligada aos níveis de rendimento dessa lavoura.



Componentes do balanço hídrico para condições naturais



 Entradas

P = chuva

O = orvalho

Ri = escoamento superficial

DLi = escoamento sub-superficial

AC = ascensão capilar

 Saídas

ET = evapotranspiração

Ro = escoamento superficial

DLo = escoamento sub-superficial

DP = drenagem profunda



Equacionando-se as entradas (+) e as saídas (-) de água do sistema, tem-se a variação de armazenamento de água no solo

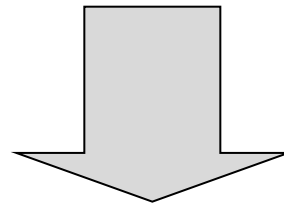
$$\Delta ARM = P + O + Ri + DLi + AC - ET - Ro - DLo - DP$$

A chuva representa a principal entrada de água em um sistema, ao passo que a contribuição do orvalho só assume papel importante em regiões muito áridas, sendo assim desprezível. As entradas de água pela ascensão capilar também são muito pequenas e somente ocorrem em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos. Mesmo assim, a contribuição dessa variável é pequena, sendo também desprezível. Já os fluxos horizontais de água (Ri, Ro, DLi e DLo), para áreas homogêneas, se compensam, portanto, anulando-se. A ET é a principal saída de água do sistema, especialmente nos períodos secos, ao passo que DP constitui-se em outra via de saída de água do volume controle de solo nos períodos excessivamente chuvosos.

Sendo assim, pode-se considerar que $R_i \approx R_o$, $D_{Li} \approx D_{Lo}$, O e AC desprezíveis, o que resulta na seguinte equação geral do balanço hídrico:

$$\Delta ARM = P - ET - DP$$

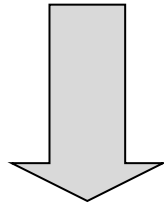
Por meio dessa equação, pode-se determinar a variação da disponibilidade de água no solo. Caso se conheça a capacidade de água disponível (CAD) desse solo, pode-se determinar também a quantidade de água armazenada por ele.



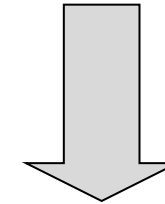
Uma das formas de se contabilizar o balanço de água no solo é por meio do método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), denominado de Balanço Hídrico Climatológico, no qual a partir dos dados de P , de ETP e da CAD , chega-se aos valores de disponibilidade de água no solo (Armazenamento = ARM), de alteração do armazenamento de água do solo ($ALT = \Delta ARM$), de evapotranspiração real (ETR), de deficiência hídrica (DEF) e de excedente hídrico ($EXC = DP$).

Balanço Hídrico Climatológico

O Balanço Hídrico Climatológico foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de se caracterizar o clima de uma região, de modo a ser empregado na classificação climática desenvolvida por Thornthwaite na década de 40. Posteriormente, esse método começou a ser empregado para fins agrônômicos dada a grande interrelação da agricultura com as condições climáticas.



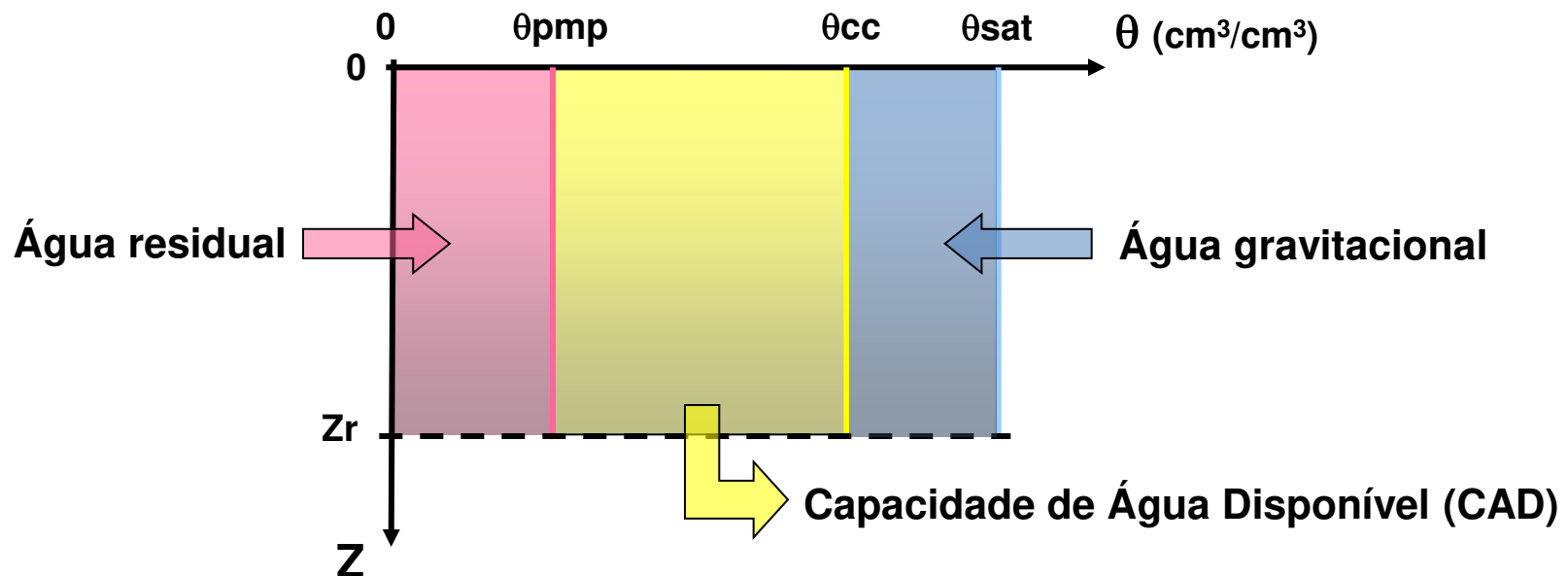
O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) elaborado com dados médios de P e ETP de uma região é denominado de **BHC Normal**. Esse tipo de BH é um indicador climatológico da disponibilidade hídrica na região, por meio da variação sazonal das condições do BH ao longo de um ano médio (cíclico), ou seja, dos períodos com deficiências e excedentes hídricos. Essas informações são de cunho climático e, portanto, auxiliam no **PLANEJAMENTO AGRÍCOLA**.



O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) elaborado com dados de P e ETP de um período ou de uma seqüência de períodos (meses, semanas, dias) de um ano específico para uma certa região é denominado de **BHC Seqüencial**. Esse tipo de BH nos fornece a caracterização e variação sazonal das condições do BH (deficiências e excedentes) ao longo do período em questão. Essas informações são de grande importância para as **TOMADAS DE DECISÃO**.

Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

Para se elaborar o BHC, seja ele o Normal ou o Seqüencial, há a necessidade de se conhecer a capacidade de água disponível no solo (CAD). A CAD representa o máximo de água disponível que determinado tipo de solo pode reter em função de suas características físico-hídricas, ou seja, umidade da capacidade de campo (θ_{cc}), umidade do ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), massa específica do solo (d_g) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z_r), onde se concentram cerca de 80% das raízes. Veja a representação esquemática abaixo e a seguir as diferentes formas de se determinar a CAD.



Determinação da CAD para elaboração do BHC

⇒ A partir das características físico-hídricas do solo

$$CAD = [(CC\% - PMP\%)/100] * dg * Zr$$

CC% = umidade da capacidade de campo, em %

PMP% = umidade do ponto de murcha, em %

dg = massa específica do solo

Zr = profundidade específica do sistema radicular, em mm

⇒ A partir das características gerais do solo (Doorenbos e Kassam, 1994)

$$CAD = CAD_{média} * Zr$$

*CAD_{média} = capacidade de água disponível média, em
mm de água / cm de profundidade de solo*

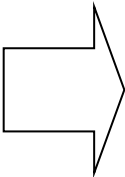
Zr = profundidade específica do sistema radicular, em cm

CAD_{média} p/ solos argilosos = 2,0 mm/cm

CAD média p/ solos de text. Média = 1,4 mm/cm

CAD_{média} p/ solos arenosos = 0,6 mm/cm

Valores médios da profundidade efetiva dos sistemas radiculares (Zr) das principais culturas do Estado de São Paulo. Adaptado de Alfonsi et al. (1990)



Cultura	Zr (cm)
Hortaliças	10 a 20
Arroz, batata, feijão	20 a 30
Trigo	30 a 40
Milho e soja	40 a 50
Amendoim	50 a 60
Cana, citrus, cafeeiro	70 a 100
Espécies florestais	150 a 250



A partir das características gerais da cultura – critério prático

$$CAD = CAD_{média} * Zr$$

$$CAD_{média} = 1,3 \text{ mm/cm}$$

$$Zr = \text{Tabela acima}$$

OBS: Para fins climatológicos, ou seja, para determinação do BHC apenas para caracterização da disponibilidade hídrica regional, é muito comum a adoção de valores de CAD variando de 75 a 125 mm.

Exemplos de determinação da CAD

Exemplo 1:

CC = 32%, PMP = 20%, dg = 1,3 e Zr = 50 cm

$$\text{CAD} = (32 - 20)/100 * 1,3 * 500 = 78 \text{ mm}$$

 **Solo Argiloso****Solo Arenoso** **Exemplo 2:**

CC = 25%, PMP = 17%, dg = 1,2 e Zr = 50 cm

$$\text{CAD} = (25 - 17)/100 * 1,2 * 500 = 48 \text{ mm}$$

Exemplo 3:

Solo textura média $\Rightarrow$ CADmédia = 1,4 mm/cm
e Zr = 50 cm

$$\text{CAD} = 1,4 * 50 = 70 \text{ mm}$$

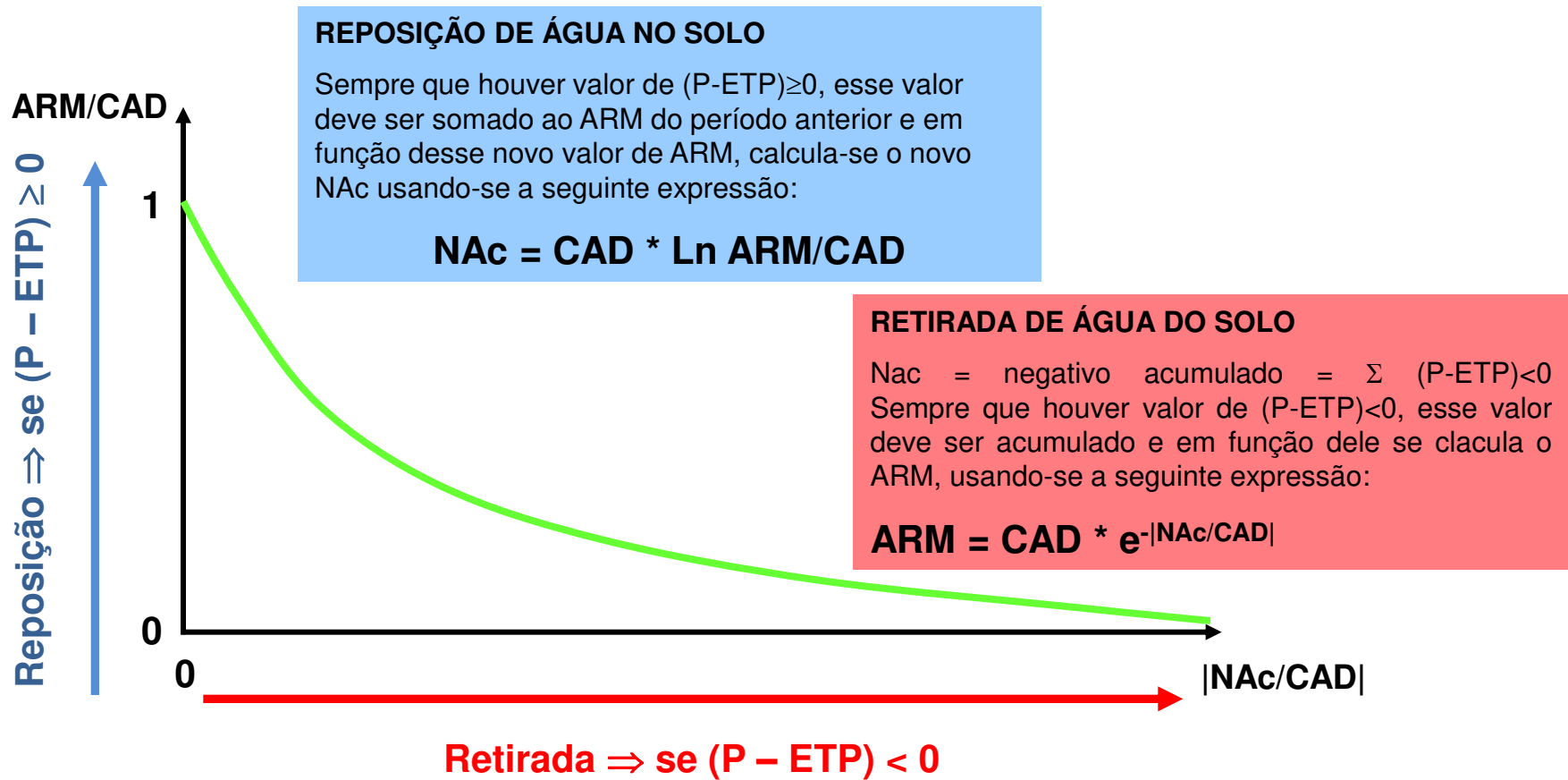
 **Solo de textura média****Critério prático** **Exemplo 4:**

Critério prático $\Rightarrow$ CADmédia = 1,3 mm/cm e
Zr = 50 cm

$$\text{CAD} = 1,3 * 50 = 65 \text{ mm}$$

Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

Antes de iniciarmos o BHC propriamente dito, há a necessidade de se entender como o método proposto por T&M (1955) considera a retirada e a reposição de água do solo. Os autores adotaram uma função exponencial para a retirada de água do solo (ver esquema abaixo), ao passo que a reposição é direta, simplesmente somando-se ao armazenamento de água do solo o saldo positivo do balanço entre P e ETP [(P – ETP)⁺].



Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

Conhecendo-se P, ETP, a CAD e como se dá a retirada e reposição de água no solo, pode-se agora iniciar a elaboração do BHC propriamente dita. Porém, antes iremos fazer algumas simulações para que o processo fique bem claro. Para tais simulações iremos considerar intervalos de tempo de 5 dias, numa seqüência de 6 períodos, e uma CAD = 100mm. Além disso, é necessário se definir algumas outras variáveis:

$$N_{Ac} = \sum (P - ETP)_{>0}$$

$$ARM = CAD \cdot e^{-|N_{Ac}/CAD|}$$

$$N_{Ac} = CAD \cdot \ln (ARM/CAD)$$

$$ALT = ARM_i - ARM_{i-1}$$

$$\text{Se } (P - ETP) \geq 0 \Rightarrow ETR = ETP$$

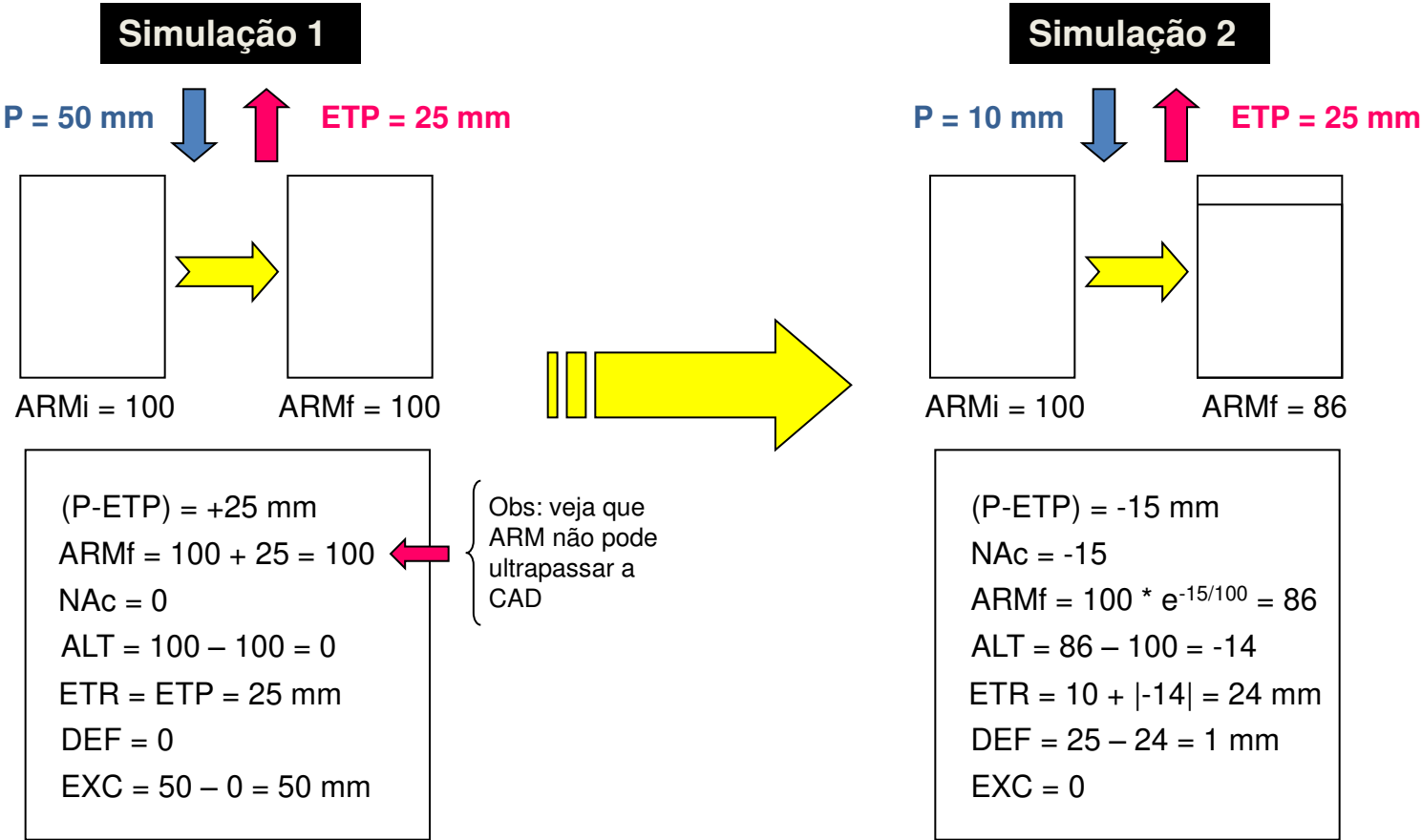
$$\text{Se } (P - ETP) < 0 \Rightarrow ETR = P + |ALT|$$

$$DEF = ETP - ETR$$

$$\text{Se } ARM < CAD \Rightarrow EXC = 0$$

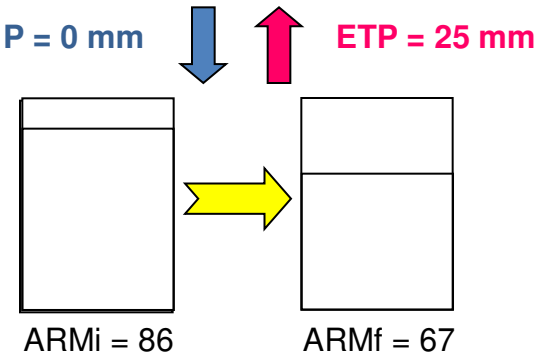
$$\text{Se } ARM = CAD \Rightarrow EXC = (P - ETP) - ALT$$

Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico



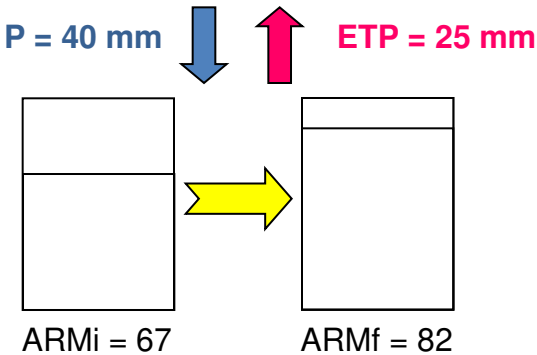
Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

Simulação 3



$(P-ETP) = -25 \text{ mm}$
 $N_{Ac} = -15 + (-25) = -40$
 $ARM_f = 100 * e^{-40/100} = 67$
 $ALT = 67 - 86 = -19$
 $ETR = 0 + |-19| = 19 \text{ mm}$
 $DEF = 25 - 19 = 6 \text{ mm}$
 $EXC = 0$

Simulação 4

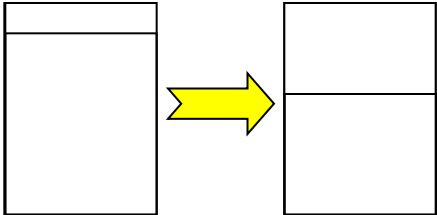


$(P-ETP) = +15 \text{ mm}$
 $ARM_f = 67 + 15 = 82$
 $N_{Ac} = 100 \text{ Ln } 82/100 = -20$
 $ALT = 82 - 67 = +15$
 $ETR = ETP = 25 \text{ mm}$
 $DEF = 0$
 $EXC = 15 - 15 = 0$

Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

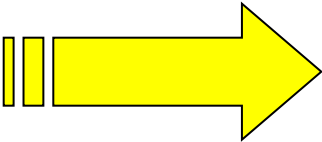
Simulação 5

P = 2 mm ETP = 25 mm



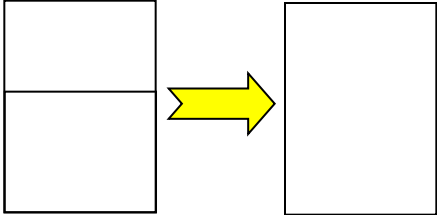
ARMi = 82 ARMf = 65

(P-ETP) = -23 mm
NAc = -20 + (-23) = -43
ARMf = 100 * e^{-43/100} = 65
ALT = 65 - 82 = -17
ETR = 2 + |-17| = 19 mm
DEF = 25 - 19 = 6 mm
EXC = 0



Simulação 6

P = 100 mm ETP = 25 mm



ARMi = 65 ARMf = 100

(P-ETP) = +75 mm
ARMf = 65 + 75 = 100
NAc = 100 Ln 100/100 = 0
ALT = 100 - 65 = +35
ETR = ETP = 25 mm
DEF = 0
EXC = 75 - 35 = 40 mm

Obs: veja que ARM não pode ultrapassar a CAD

Roteiro para a Elaboração do Balanço Hídrico Climatológico

OBS: O roteiro a seguir é apresentado para a elaboração de um Balanço Hídrico Climatológico Normal, ou seja, para um ano cíclico. Porém, com exceção para o modo de inicialização do BH, esse mesmo roteiro servirá para a elaboração do balanço hídrico Seqüencial e também o de Cultura (quando usaremos ETc ao invés de ETP e estimaremos ETr ao invés de ETR).

- 1) Estimativa da ETP – deve-se estimar a ETP com o método mais adequado para a região, em função dos dados meteorológicos disponíveis
- 2) Obtenção de dados de chuva (P) – esses dados devem ser obtidos junto a publicações que forneçam as normais climatológicas da região
- 3) Calcular (P-ETP), mantendo-se os sinais positivos (+) e negativos (-)

OBS: a partir daqui deve-se preencher as colunas a seguir (NAC e ARM) simultaneamente, iniciando-se com o primeiro mês com valor de (P-ETP) < 0, após uma seqüência de valores positivos de (P-ETP), ou seja no início da estação seca. Porém, o valor de ARM a ser determinado para se iniciar o BHC Normal, será o do último mês (período) da estação úmida [com (P-ETP) ≥ 0]. A determinação do ARM no último período da estação úmida deverá seguir as seguintes condições:

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

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

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

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

4) Determinação do NAc e do ARM

⇒ Se $(P-ETP) < 0$ ⇒ Calcula-se o NAc, ou seja os valores de $(P-ETP)$ negativos, e posteriormente se calcula o valor do ARM ($ARM = CAD e^{-|N_{Ac}/CAD|}$)

⇒ Se $(P-ETP) \geq 0$ ⇒ Calcula-se primeiro o ARM [$ARM = ARM \text{ anterior} + (P-ETP)$] e posteriormente calcula-se o NAc [$N_{Ac} = CAD \ln (ARM/CAD)$]. Nesse caso o NAc deve ser determinado no caso de haver um próximo período com $(P-ETP) < 0$

5) Cálculo da Alteração ($ALT = \Delta ARM$)

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

6) Determinação da ETR (Evapotranspiração Real)

Se $(P-ETP) < 0 \Rightarrow ETR = P + |ALT|$

Se $(P-ETP) \geq 0 \Rightarrow ETR = ETP$

7) Determinação da DEF (Deficiência hídrica = o quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar)

$DEF = ETP - ETR$

8) 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 $ARM = CAD \Rightarrow EXC = (P-ETP) - ALT$

Exemplo do Balanço Hídrico Climatológico Normal

Local: Posse, GO (Lat. 14°06´S)

Período: 1961-1990

CAD = 100mm

Mês	ETP	P	(P-ETP)	NAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
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
Ano	1113	1537	+424			0	898	215	639

Mês em que se iniciou o BHC Normal (Usando critério A da inicialização)

Aferição do BHC Normal

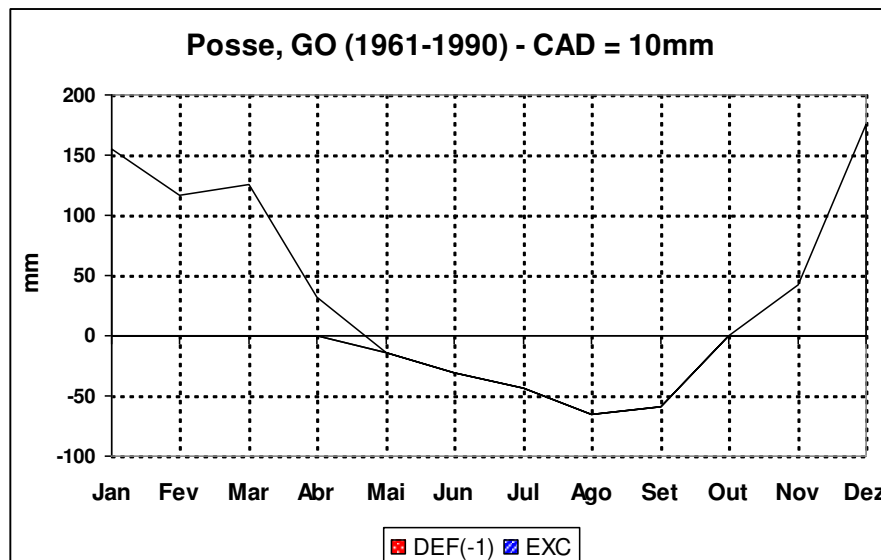
$$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P-ETP) \Rightarrow 1537 = 1113 + 424 \checkmark$$

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

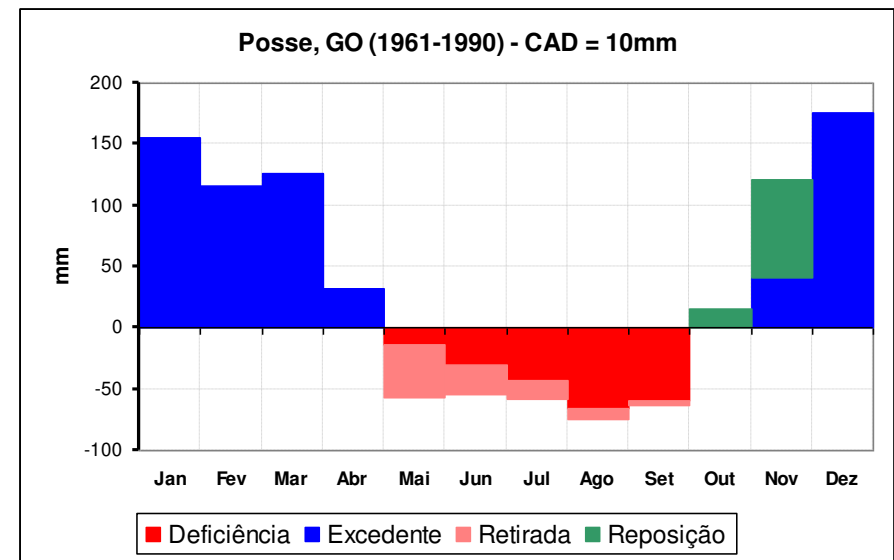
$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF \Rightarrow 1113 = 898 + 215 \checkmark$$

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

Representação gráfica do BHC Normal



Simplificada (EXC e -DEF)



Completa (EXC, DEF, ALT)

Exemplo do Balanço Hídrico Climatológico Normal

Local: Petrolina, PE (Lat. 14°06´S)

Período: 1961-1990

CAD = 100mm

Mês	ETP	P	(P-ETP)	NAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	153	72	-81	-1250	0	0	72	81	0
Fev	139	90	-49	-1299	0	0	90	49	0
Mar	143	148	+5	-300	5	+5	143	0	0
Abr	121	82	-39	-339	3	-2	84	37	0
Mai	116	29	-87	-426	1	-2	31	85	0
Jun	97	10	-87	-513	1	0	10	87	0
Jul	103	13	-90	-603	0	-1	14	89	0
Ago	106	4	-102	-705	0	0	4	102	0
Set	127	6	-121	-826	0	0	6	121	0
Out	167	21	-146	-972	0	0	21	146	0
Nov	174	50	-124	-1096	0	0	50	124	0
Dez	157	84	-73	-1169	0	0	84	73	0
Ano	1603	609	-994			0	609	994	0

 Mês em que se iniciou o BHC Normal (Usando critério C da inicialização)

Aferição do BHC Normal

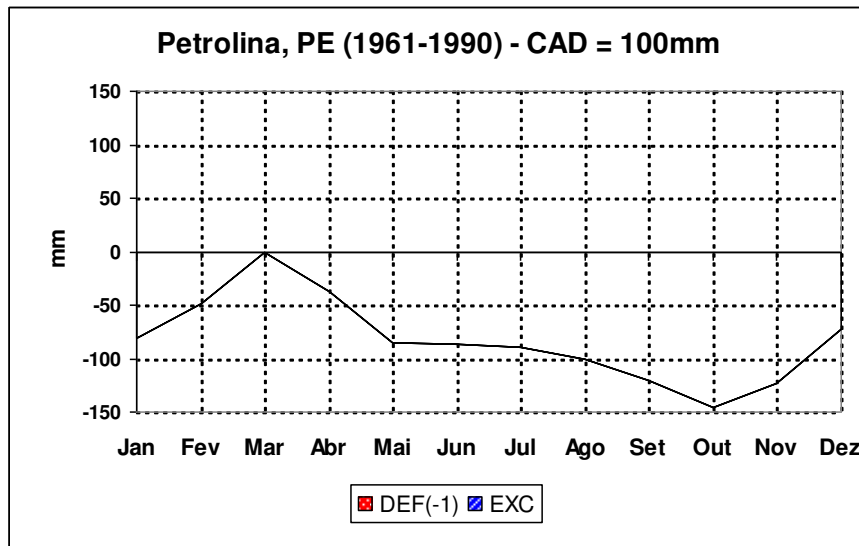
$$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma(P-ETP) \Rightarrow 609 = 1603 + -994 \checkmark$$

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC \Rightarrow 609 = 609 + 0 \checkmark$$

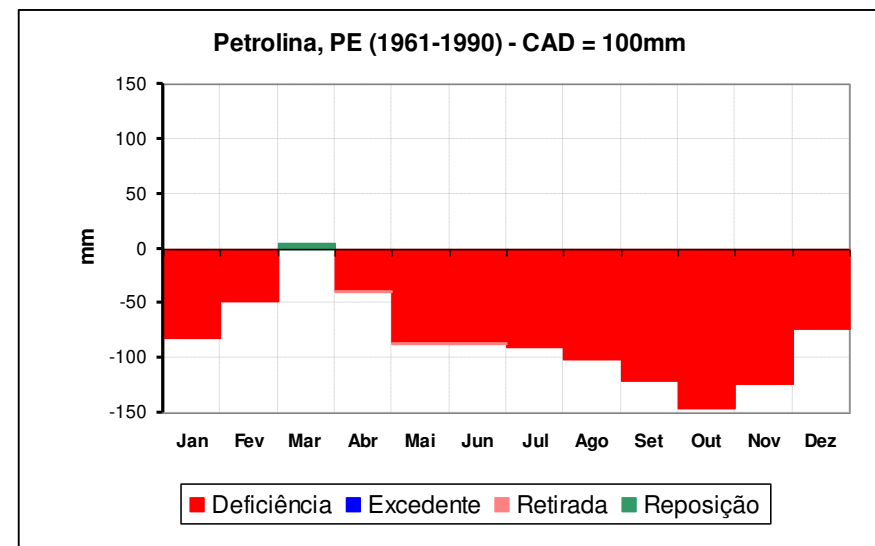
$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF \Rightarrow 1603 = 609 + 994 \checkmark$$

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

Representação gráfica do BHC Normal



Simplificada (EXC e -DEF)



Completa (EXC, DEF, ALT)

Exemplo do Balanço Hídrico Climatológico Normal

Local: Garanhuns, PE (Lat. 8°33´S)

Período: 1961-1990

CAD = 100mm

Mês	ETP	P	(P-ETP)	NAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	96	45	-51	-261	7	-5	50	46	0
Fev	80	58	-22	-283	6	-1	59	21	0
Mar	94	100	+6	-212	12	+6	94	0	0
Abr	75	115	+40	-65	52	+40	75	0	0
Mai	76	104	+28	-22	80	+28	76	0	0
Jun	63	122	+59	0	100	+20	63	0	39
Jul	60	133	+73	0	100	0	60	0	73
Ago	63	74	+11	0	100	0	63	0	11
Set	60	47	-13	-13	88	-12	59	1	0
Out	83	33	-50	-63	53	-35	68	15	0
Nov	89	18	-71	-134	26	-27	45	44	0
Dez	98	22	-76	-210	12	-14	36	62	0
Ano	937	871	-66			0	748	189	123

 Mês em que se iniciou o BHC Normal (Usando critério B da inicialização)

Aferição do BHC Normal

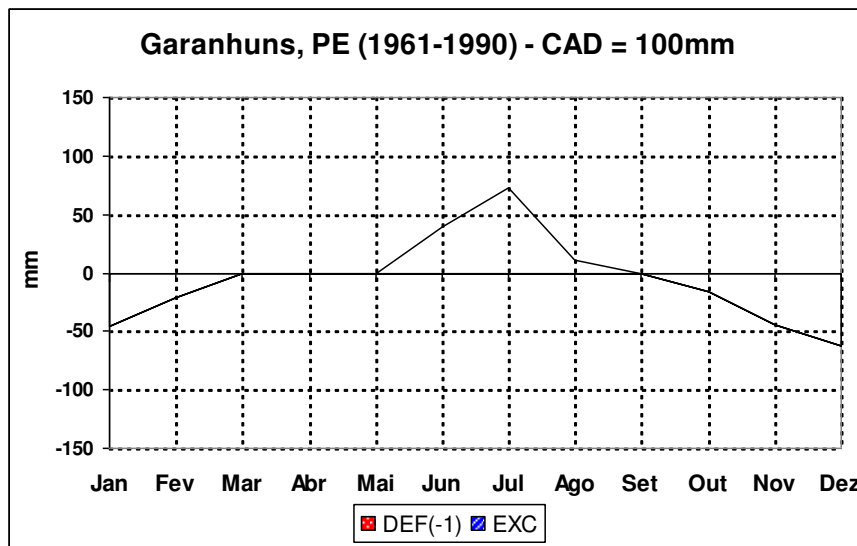
$$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma(P-ETP) \Rightarrow 871 = 937 + -66 \checkmark$$

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC \Rightarrow 871 = 748 + 123 \checkmark$$

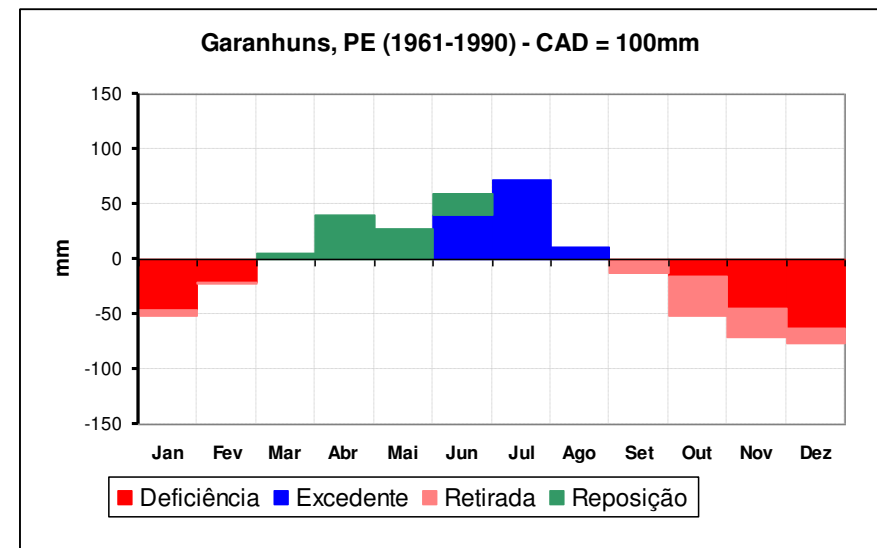
$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF \Rightarrow 937 = 748 + 189 \checkmark$$

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

Representação gráfica do BHC Normal



Simplificada (EXC e -DEF)



Completa (EXC, DEF, ALT)

Exemplo do Balanço Hídrico Climatológico Normal

Local: Passo Fundo, RS (Lat. 28°15´S) Período: 1961-1990 CAD = 100mm

Mês	ETP	P	(P-ETP)	NAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	105	143	+38	0	100	0	105	0	38
Fev	92	148	+56	0	100	0	92	0	56
Mar	90	121	+31	0	100	0	90	0	31
Abr	64	118	+54	0	100	0	64	0	54
Mai	44	131	+87	0	100	0	44	0	87
Jun	35	129	+94	0	100	0	35	0	94
Jul	36	153	+117	0	100	0	36	0	117
Ago	43	166	+123	0	100	0	43	0	123
Set	47	207	+160	0	100	0	47	0	160
Out	68	167	+99	0	100	0	68	0	99
Nov	82	141	+59	0	100	0	82	0	59
Dez	100	162	+62	0	100	0	100	0	62
Ano	806	1786	+980			0	806	0	980

Neste caso o BHC Normal pode ser iniciado em qualquer mês com ARM = CAD, pois não há negativo acumulado

Aferição do BHC Normal

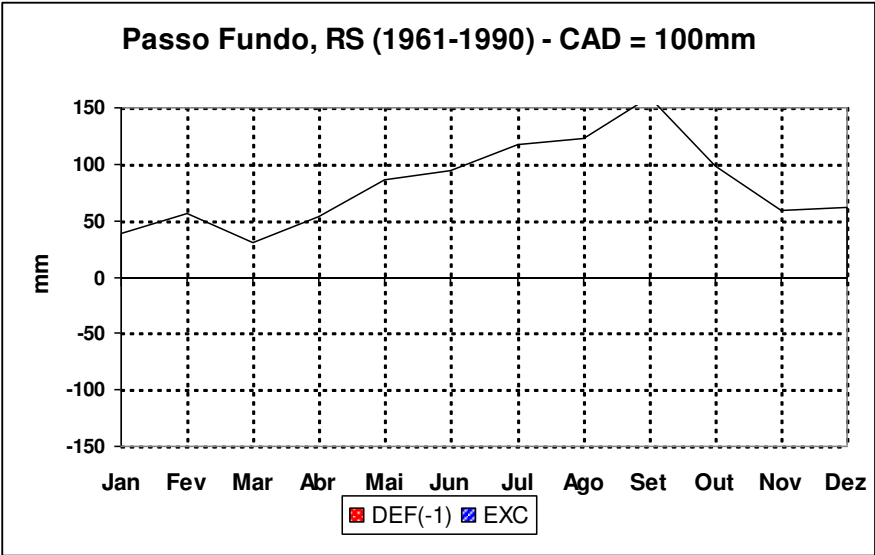
$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P-ETP) \Rightarrow 1786 = 806 + 980 \checkmark$

$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC \Rightarrow 1786 = 806 + 980 \checkmark$

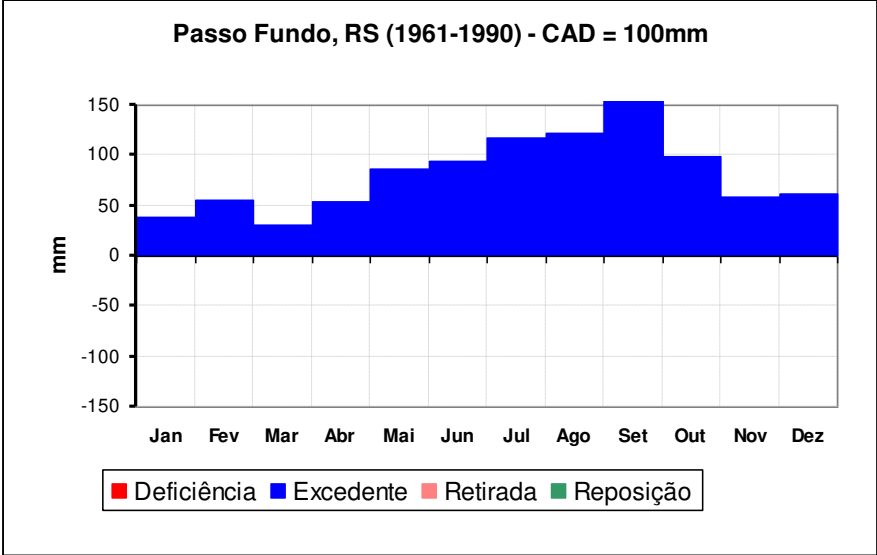
$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DEF \Rightarrow 806 = 806 + 0 \checkmark$

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

Representação gráfica do BHC Normal

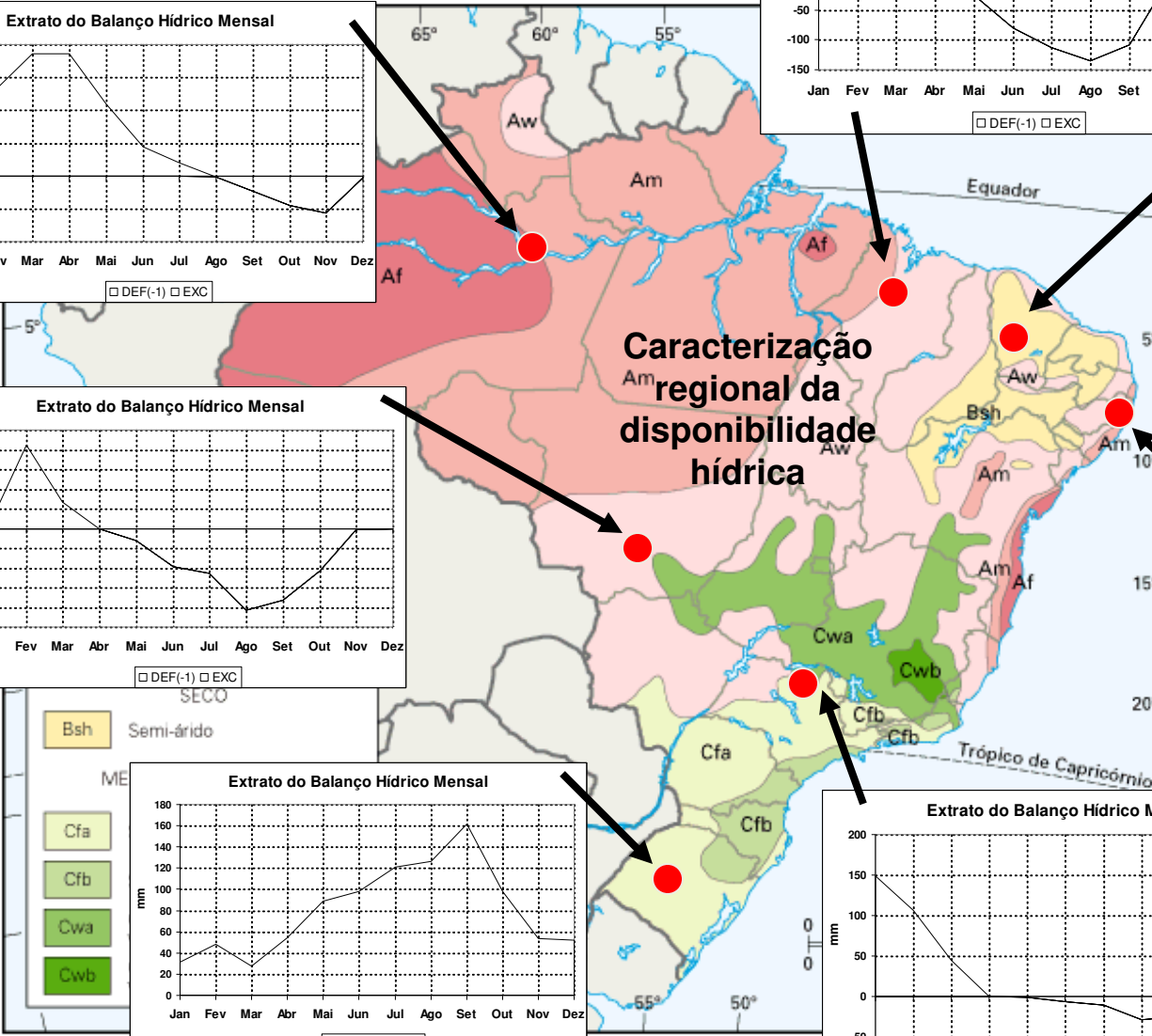
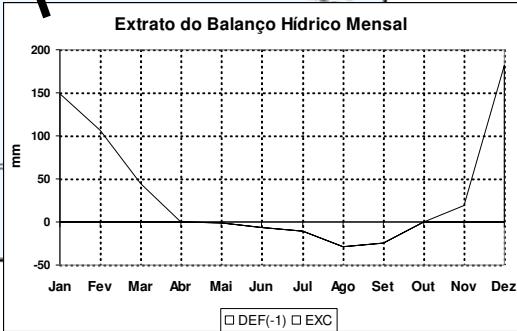
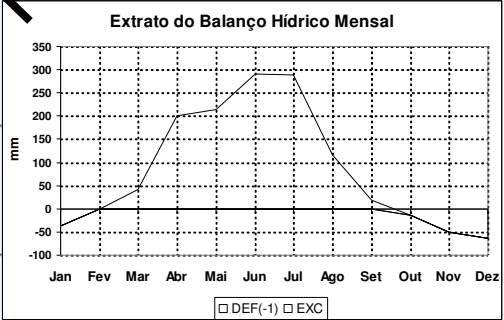
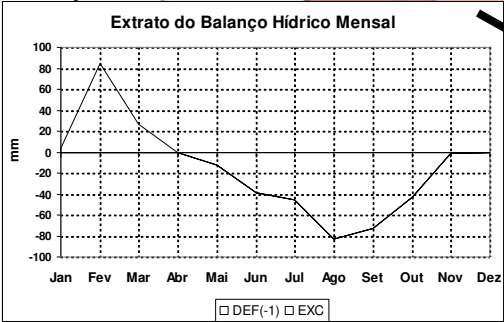
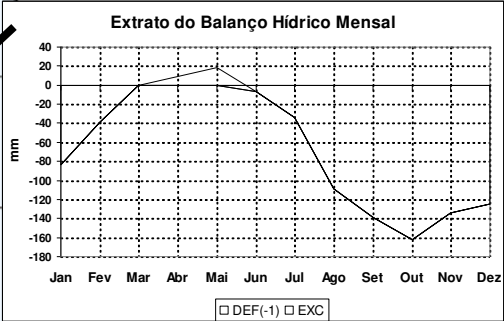
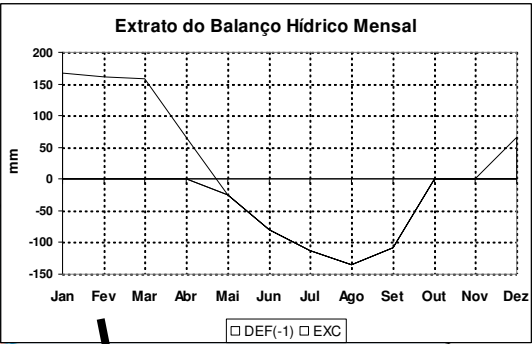
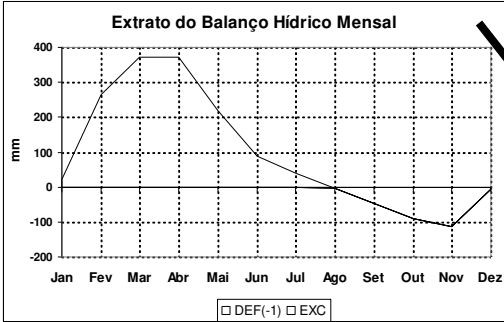


Simplificada (EXC e -DEF)



Completa (EXC, DEF, ALT)

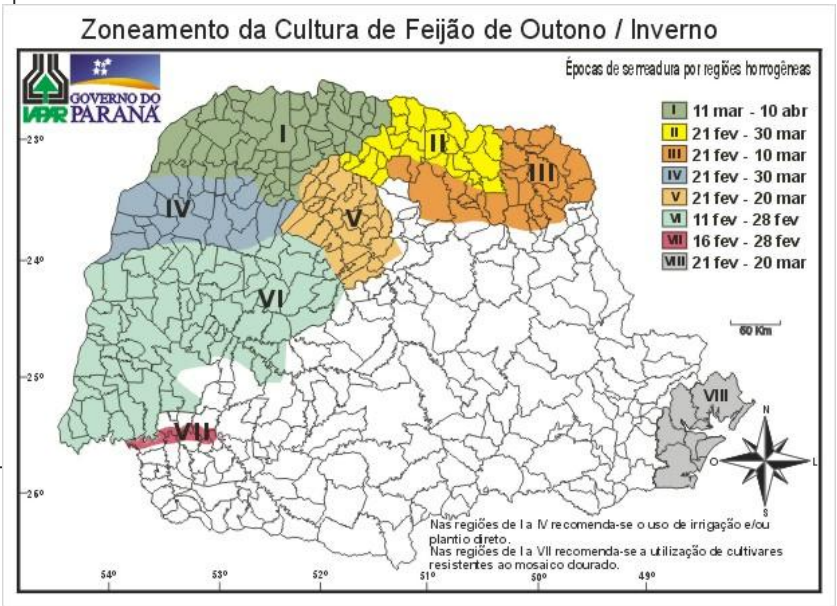
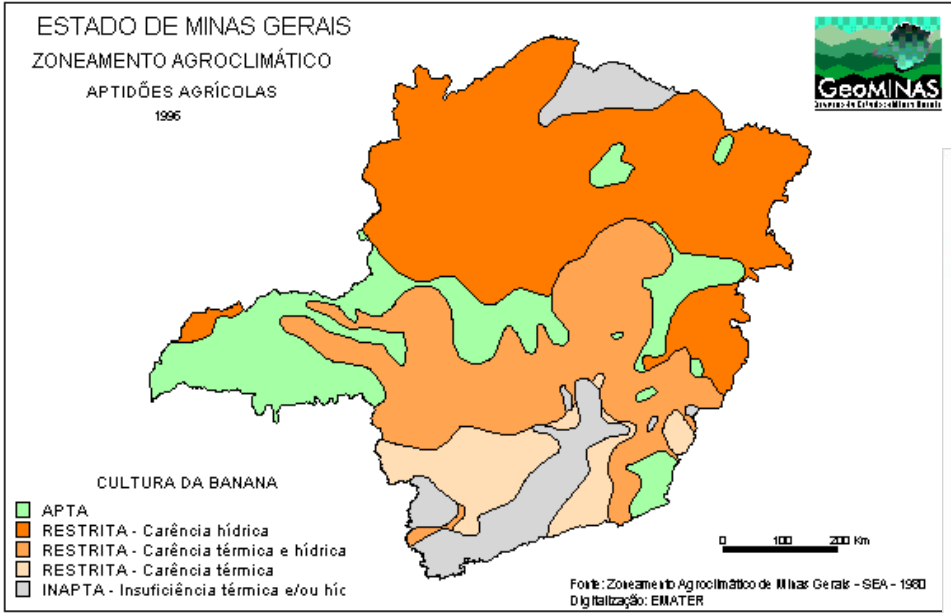
Aplicações do Balanço Hídrico Climatológico Normal



Aplicações do Balanço Hídrico Climatológico Normal

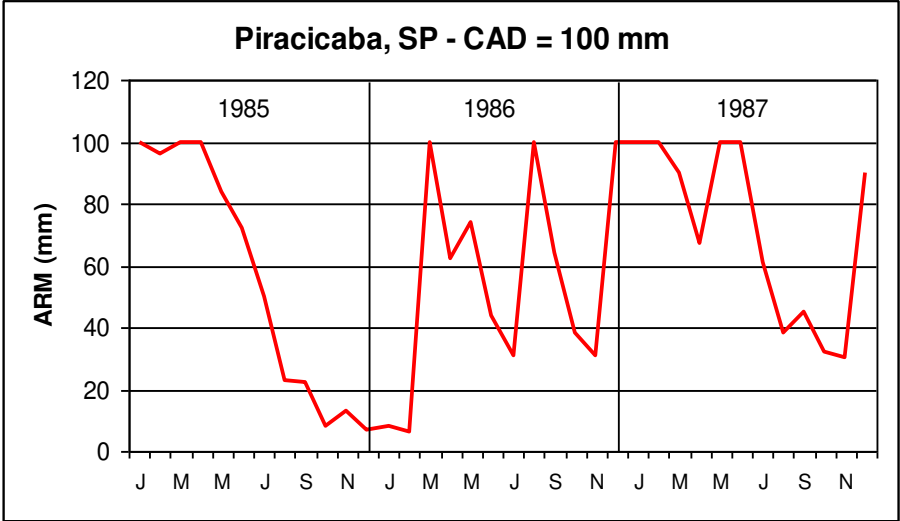
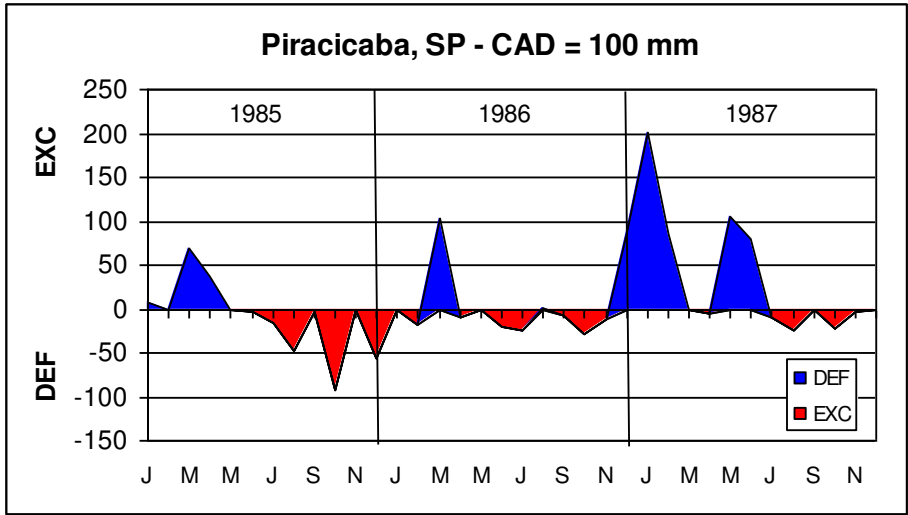
A caracterização regional da disponibilidade hídrica do solo possibilita:

- A comparação dos climas de diferentes localidades
- A caracterização dos períodos secos/úmidos
- O planejamento agrícola (áreas aptas, época mais favorável de semeadura, sistema de cultivo, etc), baseado no zoneamento agroclimático



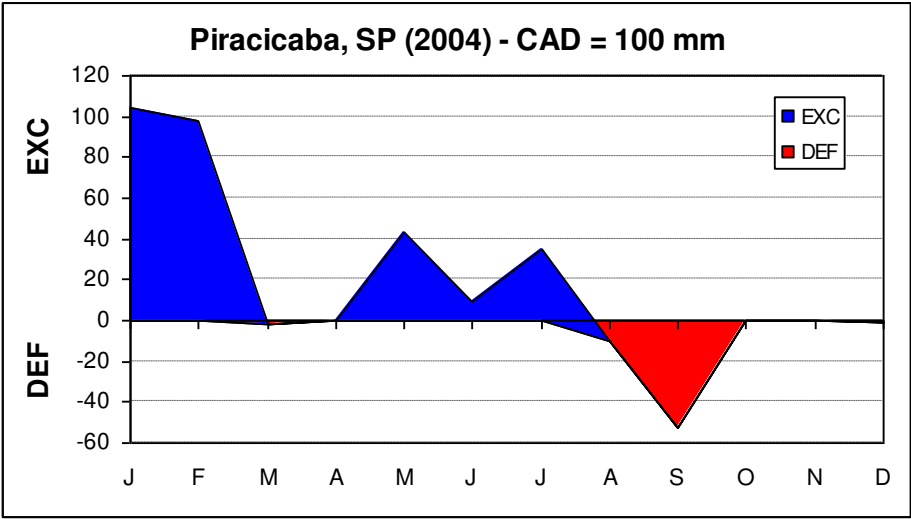
Balanço Hídrico Climatológico Seqüencial

O balanço hídrico climatológico seqüencial emprega o mesmo método do BHC Normal. A primeira diferença entre ambos é que no seqüencial utiliza-se dados de um período ou de uma seqüência de períodos específicos, ou seja, o BHC seqüencial de 2004, por exemplo, ou ainda dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005. Esse tipo de BHC permite se conhecer o que ocorreu em termos de disponibilidade hídrica do solo, deficiência e excedente hídricos em períodos específicos e, com isso, identificar a variabilidade dessas variáveis. A segunda diferença é na inicialização do BHC seqüencial. Neste, por não ser um ano cíclico (normal), deve-se iniciar o balanço somente quando houver uma seqüência de períodos com $(P-ETP) > 0$ que seja suficiente para garantir $ARM = CAD$. Assim, se deseja-se determinar o BHC seqüencial a partir de janeiro de 2005, é conveniente se iniciar os cálculos em algum momento de 2004. Os exemplos a seguir ilustram essas situações.

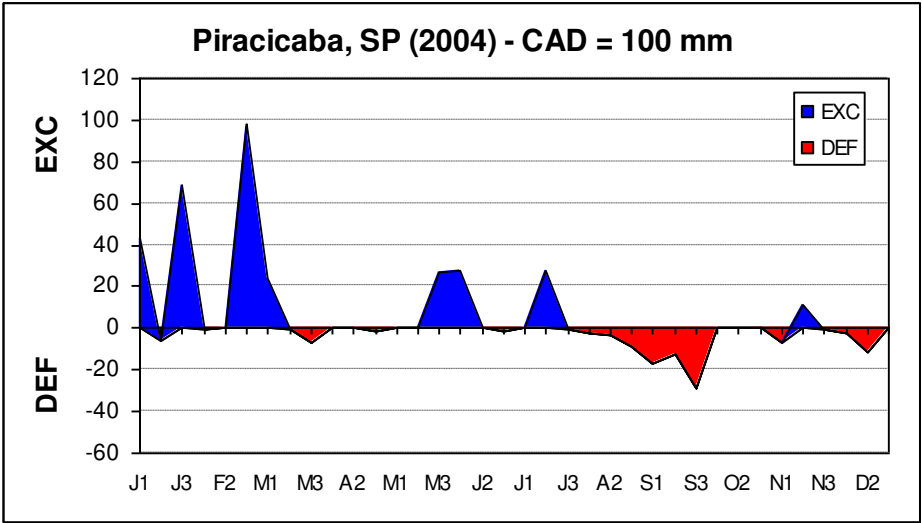


Balanço Hídrico Climatológico Seqüencial

O balanço hídrico climatológico pode ser elaborado em qualquer escala de tempo. Normalmente, utiliza-se a escala mensal para o BHC Normal. Para o BHC Seqüencial é mais freqüente o uso de escalas menores como a decendial (10 dias) ou qüinqüidial (5 dias). No exemplo do slide anterior foi apresentado o BHC seqüencial de Piracicaba para os anos de 1985, 1986 e 1987, na escala mensal. Nele observamos a variabilidade que o BHC pode apresentar, resultado da variabilidade das condições meteorológicas. Esse BH, no entanto, não apresenta tantos detalhes quanto se fosse elaborado com dados decendiais ou mesmo qüinqüidiais. Portanto, quanto menor a escala de tempo, maior o nível de detalhamento do BH. A seguir apresentamos o BHC seqüencial de 2004 nas escalas mensal e decendial.



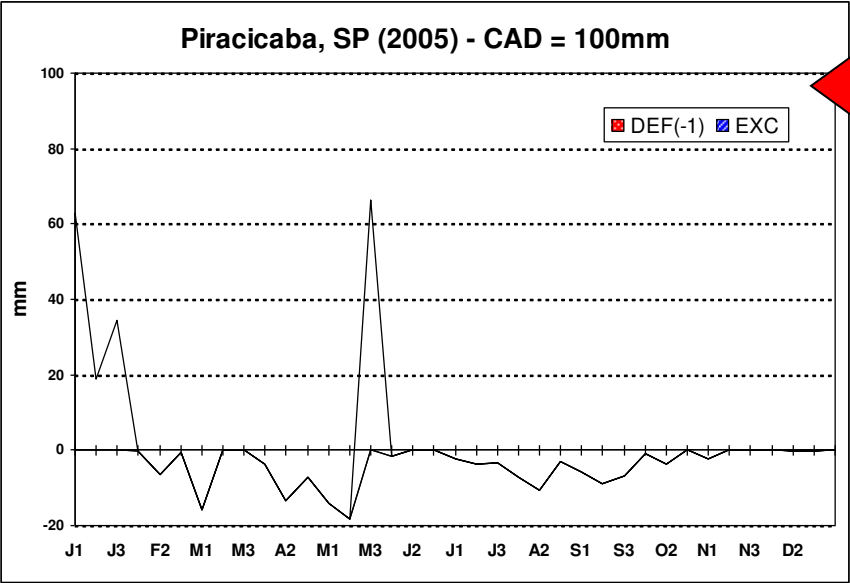
BHC Seqüencial Mensal



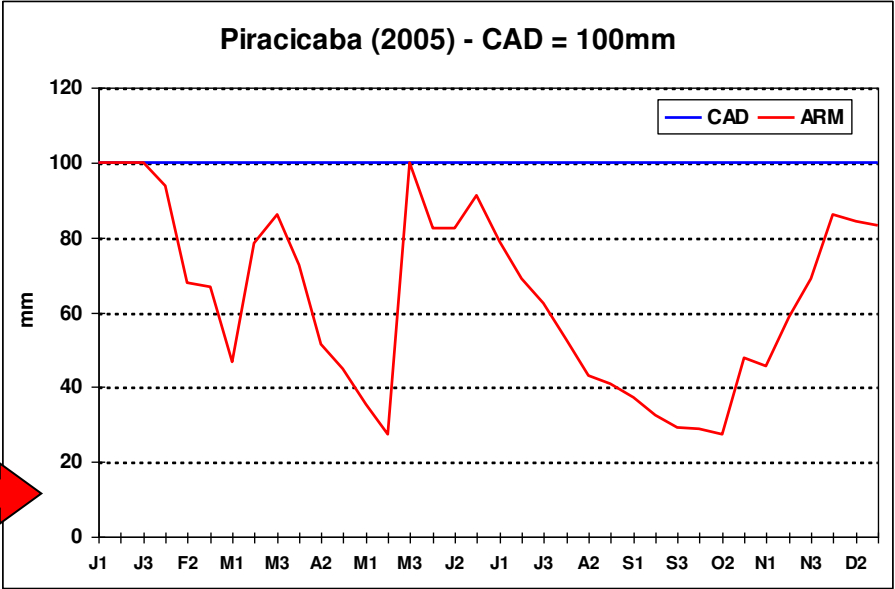
BHC Seqüencial Decendial

Aplicações do Balanço Hídrico Climatológico Sequencial

Além de possibilitar o acompanhamento do que ocorreu em termos de disponibilidade hídrica ao longo de vários anos, o BHC sequencial possibilita que se faça o acompanhamento em tempo real das condições de deficiência hídrica e excedente hídrico, como mostra a figura da esquerda, e o acompanhamento do armazenamento de água no solo, como mostra a figura da direita. Essas informações possibilitam as tomadas de decisão, com relação a algumas práticas agrícolas, entre elas o preparo e manejo do solo ($0,4 < \text{ARM}/\text{CAD} < 0,9$), a semeadura ($\text{ARM}/\text{CAD} > 0,8$) e a colheita ($\text{EXC} = 0$ e $\text{ARM}/\text{CAD} < 0,9$).



Extrato do Balanço Hídrico



Armazenamento de água no solo

Balanço Hídrico de Cultura

O balanço hídrico climatológico elaborado até então considerava a ETP para posteriormente estimar ETR. No caso do BH de cultura, leva-se em consideração a ETc (também simbolizada por ETm) tendo-se então (P-ETc), que servirá para a estimativa de ETr (também simbolizada por ETa), assim como para a estimativa da deficiência hídrica (ETc – ETr) e do excedente hídrico. O BH de cultura será empregado também para se determinar a deficiência hídrica relativa da cultura ($1 - ETr/ETc$), a qual tem relação direta com a quebra de rendimento das lavouras ($1 - Yr/Yp$). O BH de cultura é normalmente empregado de forma seqüencial e utiliza o método de T&M (1955), ou seja do BHC para a estimativa de ARM, ALT, ETr, DEF e EXC.

$ETr/ETc = 0 \Rightarrow (1 - ETr/ETc) = 1 \Rightarrow$ Deficiência hídrica máxima $\Rightarrow (1 - Yr/Yp)$ ALTA

$ETr/ETc = 1 \Rightarrow (1 - ETr/ETc) = 0 \Rightarrow$ Sem deficiência hídrica $\Rightarrow (1 - Yr/Yp) \approx 0$

**Sem
Deficiência
Hídrica**



**Com
Deficiência
Hídrica**



Local: Ituverava, SP (Lat. 20°16´S) Ano: 1985 CAD = 130 mm
Cultura: Café (var. Catuaí, com 5 anos, Espaçamento 3,5 x 1,0 m

Mês	ETP	Kc	ETc	P	P-ETc	NAc	ARM	ALT	ETr	ETr/ETc	Mês
	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
JAN	134	0,80	107	474	+367	0	130	0	107	1	JAN
FEV	105	0,81	85	141	+56	0	130	0	85	1	FEV
MAR	101	0,82	83	306	+223	0	130	0	83	1	MAR
ABR	93	0,64	60	30	-30	-30	103	-27	57	0,95	ABR
MAI	75	0,64	48	17	-31	-61	81	-22	39	0,81	MAI
JUN	49	0,64	31	0	-31	-92	64	-17	17	0,55	JUN
JUL	54	0,64	34	0	-34	-126	49	-15	15	0,44	JUL
AGO	77	0,64	49	29	-20	-146	42	-7	36	0,73	AGO
SET	87	0,65	57	17	-40	-186	31	-11	28	0,49	SET
OUT	104	0,86	89	66	-23	-209	26	-5	71	0,80	OUT
NOV	114	0,87	99	244	+145	0	130	+104	99	1	NOV
DEZ	120	0,88	106	210	+104	0	130	0	106	1	DEZ

Considerando-se que a seca somente é benéfica ao cafeeiro durante os meses de julho e agosto, este ano foi desfavorável à cultura, com deficiências hídricas antes (Abril, Maio, Junho) e depois (Setembro e Outubro) o repouso vegetativo, o que repercutiu nos níveis de rendimento da lavoura.

Local: Ituverava, SP (Lat. 20°16´S) Ano: 1985 CAD = 78 mm

Cultura: Milho Safrinha (var. precoce) Semeadura: 01/03



Mês	ETP	Kc	ETc	P	P-ETc	NAc	ARM	ALT	ETr	ETr/ETc
	mm		mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	
Jan 1	42	1	42	127	+85					
Jan 2	41	1	41	158	+117	0	78			
Jan 3	44	1	44	189	+145	0	78	0	44	
Fev 1	39	1	39	60	+21	0	78	0	39	
Fev 2	38	1	38	41	+3	0	78	0	38	
Fev 3	29	1	29	40	+11	0	78	0	29	
Mar 1	36	0,3	11	133	+122	0	78	0	11	1
Mar 2	34	0,4	14	102	+88	0	78	0	14	1
Mar 3	34	0,5	17	71	+54	0	78	0	17	1
Abr 1	30	0,6	18	25	+7	0	78	0	18	1
Abr 2	28	0,7	20	14	-6	-6	72	-6	20	1
Abr 3	26	0,9	23	17	-6	-12	67	-5	22	0,95
Mai 1	24	1,0	24	7	-17	-29	54	-13	20	0,83
Mai 2	22	1,2	26	2	-24	-53	40	-14	16	0,61
Mai 3	23	1,2	28	8	-20	-73	31	-9	17	0,61
Jun 1	19	1,0	19	0	-19	-92	24	-7	7	0,37
Jun 2	17	0,9	15	0	-15	-107	20	-4	4	0,27
Jun 3	17	0,8	14	0	-14	-121	17	-3	3	0,21
Jul 1	18	0,5	9	0	-9	-130	15	-2	2	0,22

$$\text{ETr/ETc média} = 0,70 \Rightarrow (1 - \text{ETr/ETc}) = 0,30 \Rightarrow (1 - \text{Yr/Yp}) \gg 0$$

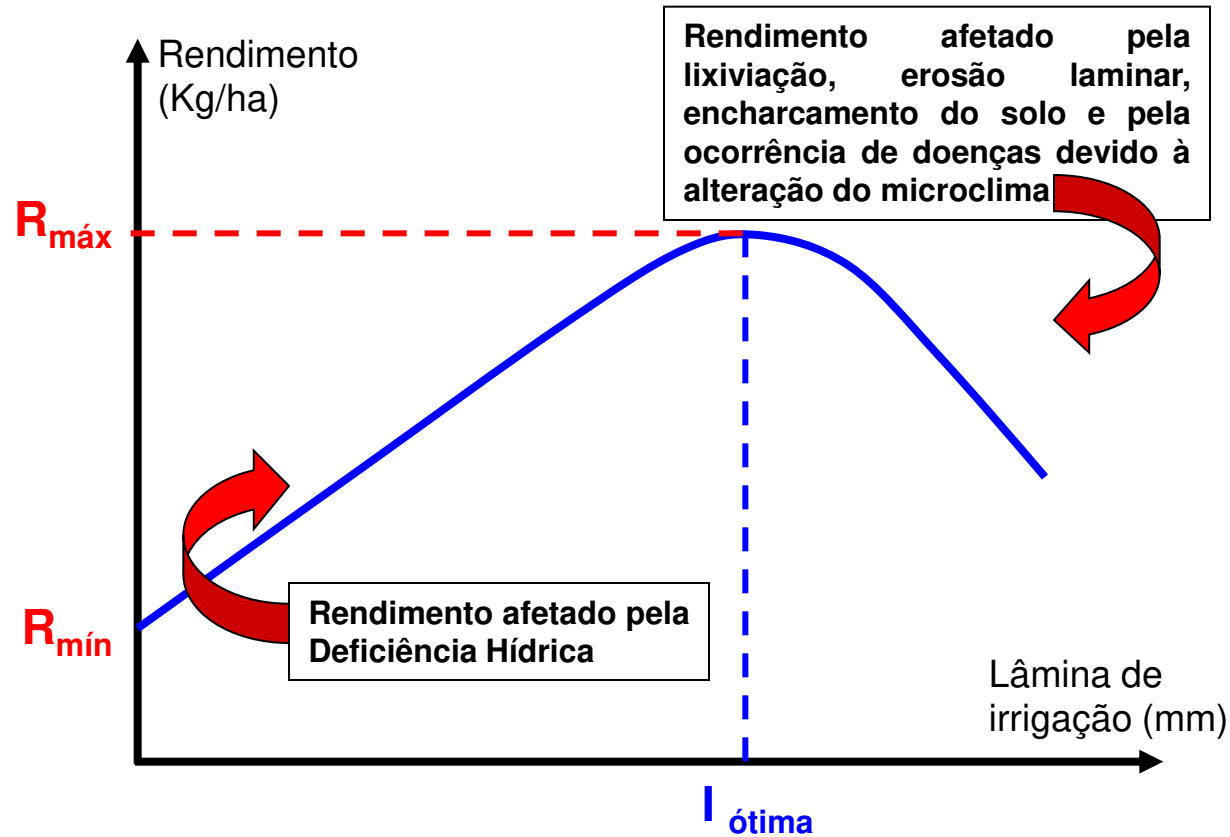
Balanco Hídrico para Controle da Irrigação

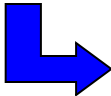
A irrigação é uma prática agrícola cujo objetivo é atender as necessidades hídricas das culturas, evitando, assim, que estas sofram deficiências hídricas e, conseqüentemente, apresentem reduções em seus rendimentos.



Desse modo, tanto as irrigações deficientes como a irrigações excessivas são prejudiciais, reduzindo o rendimento das lavouras. O ideal é se aplicar a lâmina ótima, o que depende basicamente do monitoramento do balanço hídrico

Função de Produção



 O BH nos informa quando e com quanto irrigar

Balanço Hídrico para Controle da Irrigação

O BH para controle da irrigação é uma adaptação do BHC seqüencial, no qual trabalha-se somente no intervalo de umidade do solo em que a cultura consiga extrair água na mesma taxa que ela necessita. Isso se dá entre a umidade da capacidade de campo (θ_{cc}) e a umidade crítica (θ_{crit}), a partir da qual se inicia o processo da deficiência hídrica. A esse intervalo entre a θ_{cc} e a θ_{crit} denomina-se Água Facilmente Disponível (AFD). Portanto, a AFD é uma fração da CAD. Essa fração é determinada fração de água disponível (p), a qual é fornecida por tabelas, em função do tipo de cultura e da demanda hídrica máxima da cultura.

Antes de se iniciar o controle da irrigação pelo BH, é preciso se conhecer:

Fenologia da Cultura: A necessidade hídrica de uma cultura varia de acordo com suas fases fenológicas, que estão relacionadas aos valores de K_c . Culturas perenes muitas vezes necessitam de um período de repouso vegetativo durante o ano, normalmente no inverno. Obviamente, nesse período as irrigações não são necessárias. Já as culturas anuais não necessitam ser irrigadas na fase de maturação.

Demanda Hídrica da Cultura: Além das fases fenológicas, a demanda hídrica de uma cultura varia de acordo com as condições meteorológicas, principalmente o saldo de radiação e a demanda atmosférica. A evapotranspiração da cultura (ET_c) pode ser estimada em função de ETP: $ET_c = K_c * ETP$.

Características físico-hídricas do solo: Essas informações são importantes para se determinar a CAD e a AFD.

$$CAD = [(CC\% - PMP\%)/100] * dg * Z$$

$$AFD = CAD * p$$

Diferença entre Irrigar e Molhar: irrigar implica em conhecer as necessidades hídricas das culturas, as características do solo e, assim, fornecer água em quantidade adequada no momento certo

Roteiro para a Elaboração do Balanço Hídrico para Controle da Irrigação

1) Determinar a CAD – ver slides 8 a 11

2) Determinar o valor da AFD – $AFD = CAD * p$ (valores de p são fornecidos na tabela abaixo)

Culturas	Grupo	ETc (mm/d)								
		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
Tomate, Repolho,Uva, Ervilha	2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,23
Girassol, Trigo, Feijão, Citros, Amendoim	3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,43	0,38	0,35	0,30
Algodão, Cana, Milho, Sorgo, Soja	4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,43	0,40

Roteiro para a Elaboração do Balanço Hídrico para Controle da Irrigação

3) Determinação de ET_c – de acordo com os procedimentos já discutidos na aula de evapotranspiração

4) Determinação da chuva (P) – valores obtidos de postos meteorológicos próximos à região de interesse ou medida no local

5) Determinação da AFD inicial (AFD_i) – será igual ao valor da AFD final do período anterior (AFD_f)

6) Determinação da AFD final (AFD_f) – será igual ao valor da AFD_i mais o balanço entre a chuva (P) a irrigação (I) e a ET_c :

$$AFD_f = AFD_i + (P + I - ET_c)$$

7) Determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada (I) – I será aplicada no início do período, baseando-se no valor de AFD_f do período anterior, sempre que este estiver próximo ou igual a zero, ou seja, próximo do limite crítico a partir do qual a deficiência hídrica começa a se manifestar. I será variável e igual a:

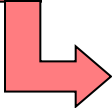
$$I = AFD - AFD_f \text{ (do período anterior)}$$

Exemplo de Aplicação do Balanço Hídrico para Controle da Irrigação

Cultura: Trigo
Local: Campinas, SP
Semeadura: 11/05
CAD = 38 mm
p = 0,5
AFD = 19 mm

Período	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	P (mm)	I+P-ETc (mm)	AFDi (mm)	AFDf (mm)	I (mm)
11-15/5	10	0,3	3	26,1	+23,1	19,0	19,0	0
16-20/5	10	0,3	3	19,4	+16,4	19,0	19,0	0
21/25/5	10	0,4	4	29,3	+25,3	19,0	19,0	0
26-30/5	9	0,4	4	20,9	+16,9	19,0	19,0	0
31-04/6	6	0,6	4	22,2	+18,2	19,0	19,0	0
05-09/6	8	0,6	5	1,0	-4,0	19,0	15,0	0
10-14/6	8	0,7	6	8,2	+2,2	15,0	17,2	0
15-19/6	7	0,7	5	2,0	-3,0	17,2	14,2	0
20-24/6	9	0,8	7	1,0	-6,0	14,2	8,2	0
25-29/6	9	0,8	7	1,4	-5,6	8,2	2,6	0
30-04/7	9	1,1	10	0	+6,4	2,6	9,0	16,4
05-09/7	9	1,1	10	0	-10,0	9,0	0	0
10-14/7	6	1,2	7	0	+12,0	0	12,0	19,0
15-19/7	7	1,2	8	0	-8,0	12,0	4,0	0
20-24/7	9	1,2	11	0	+4,0	4,0	8,0	15,0
25-29/7	7	1,2	8	0	-8,0	8,0	0	0
30-03/8	8	1,1	9	12,1	+22,1	0,0	19,0	19,0
04-08/8	10	1,1	11	0	-11,0	19,0	8,0	0
09-13/8	10	0,8	8	0	-8,0	8,0	0,0	0
14-18/8	11	0,8	9	0	+10,0	0	10,0	19,0
19-21/8	13	0,7	9	0	-9,0	10,0	1,0	0
24-28/8	14	0,7	10	0	+8,0	1,0	9,0	18,0
29-02/8	14	0,6	8	0	-8,0	9,0	1,0	0
03-09/8	12	0,6	7	5	+16,0	1,0	17,0	18,0*

Obs: apesar de no último período haver a indicação de necessidade de irrigação, esta não deve ser realizada pois a cultura se encontra em fase de maturação



Teste rápido #9

- 1) Faça uma comparação entre os balanços hídricos discutidos nesta aula (BHC Normal, BHC Seqüencial, BH de Cultura e BH para controle da irrigação), incluindo também na resposta as aplicações de cada um deles.
- 2) Explique como o método de BHC de T&M (1955) considera a retirada e a reposição de água no solo.
- 3) Defina deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC). Do que essas variáveis do balanço hídrico dependem?
- 4) O que se deve conhecer para se elaborar um projeto de irrigação, no contexto do controle da irrigação? Qual a diferença entre irrigar e molhar?
- 5) Considerando-se o exercício de BH de cultura feito em sala de aula, determine qual seria a quebra de rendimento médio do milho safrinha no ano de 1985, no exemplo apresentado no slide 34.