

Agrometeorologia



Professor: Antonio Henrique Cordeiro Ramalho



Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA



Instituto de Biodiversidade e Florestas



Capítulo 8

Balanço hídrico Climatológico



Balanço hídrico Climatológico (BHC)

Uma ferramenta de estimativa da **dinâmica de entrada e saídas de água no sistema** que passa a ser fundamental para garantir sucesso à atividade agrícola e silvicultural

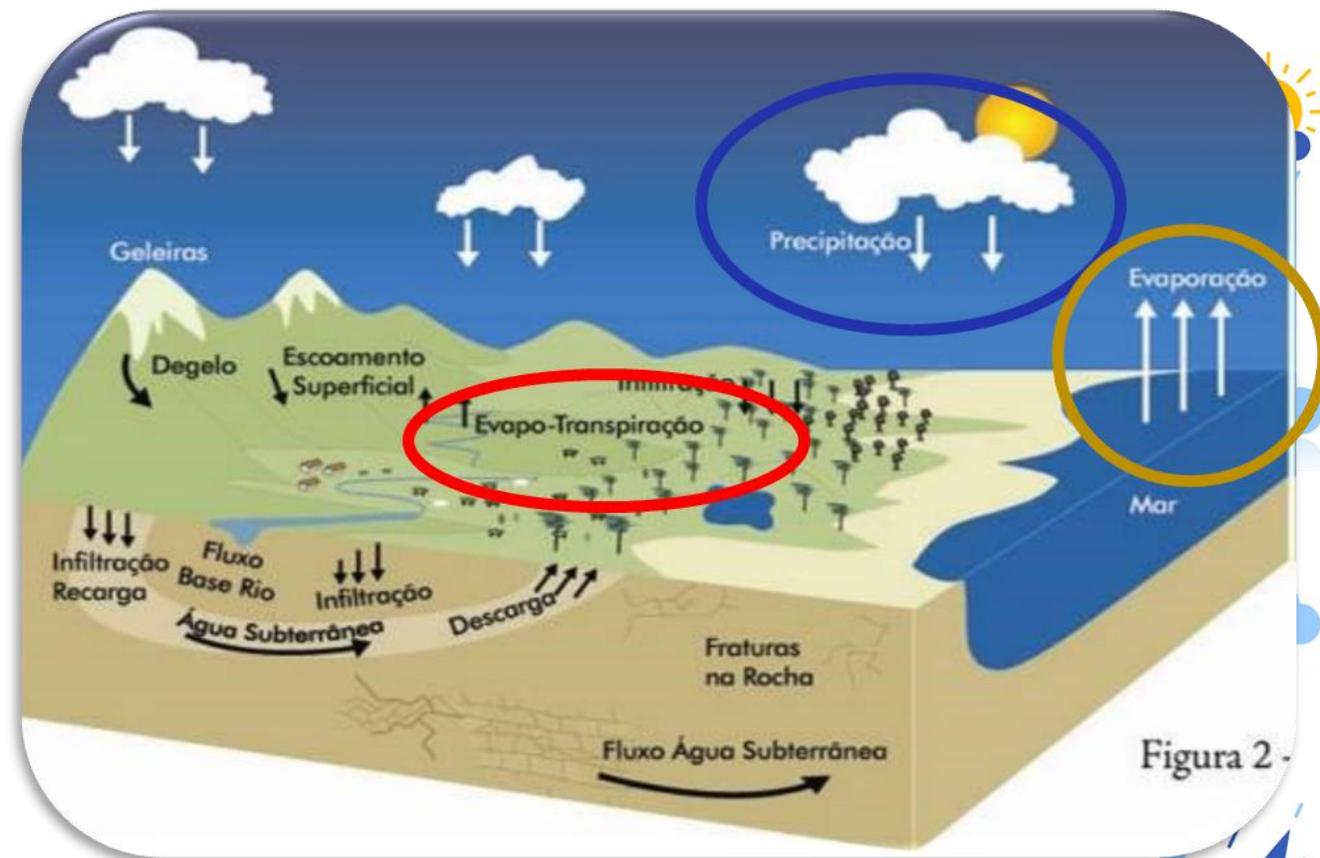


Figura 2





Balanço hídrico Climatológico (BHC)

O BHC é um cálculo utilizado para medir a quantidade de água disponível em uma região em relação às necessidades de água das plantas, levando em consideração:



Quantidade de precipitação

Evapotranspiração

Escoamento superficial



Drenagem do solo

Ascensão capilar

Quantidade de água utilizada pelas plantas





Balanço hídrico Climatológico (BHC)

Basicamente, o BHC compara a quantidade de **água que entra (A_e)** na região com a quantidade de **água que sai (A_s)** durante um período de tempo determinado.

$A_e > A_s =$ **Saldo positivo** \rightarrow Há água disponível para as plantas e outras necessidades

$A_e < A_s =$ **Saldo negativo** \rightarrow Pode haver escassez de água



Balanço hídrico Climatológico (BHC)

BHC elaborado com dados de P e ETP de uma região → BHC Normal (mensal).

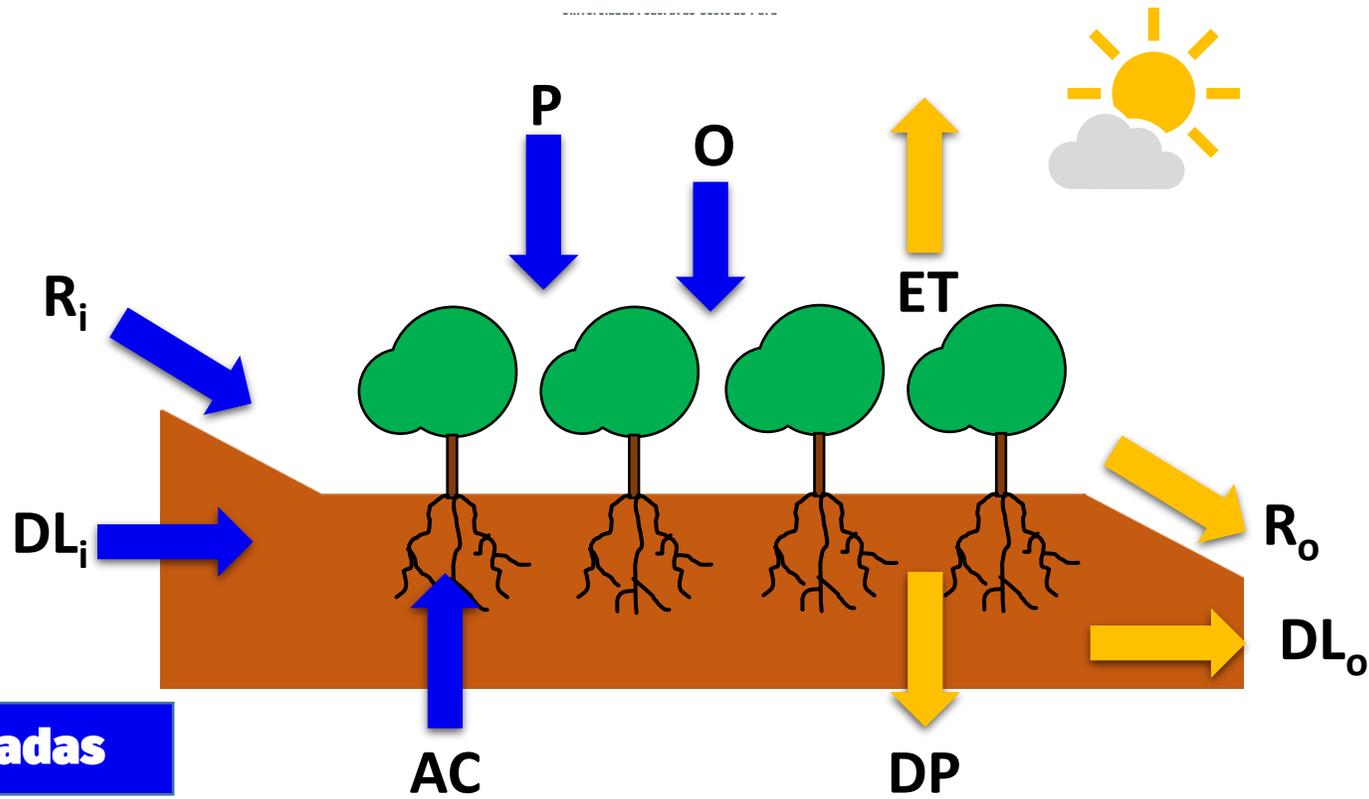
Indica a **disponibilidade hídrica na região**, por meio da **variação sazonal** das condições do BH **ao longo de um ano** médio (cíclico)

BHC elaborado com dados de P e ETP de uma sequência de períodos de uma região →
BHC Sequencial (diário, semanal, mensal).

Fornece a **caracterização e variação sazonal** das condições do BH (deficiências e excedentes) **ao longo do período em questão**.



Componentes do balanço hídrico



Entradas

P = chuva

O = orvalho

R_i = escoamento superficial

DL_i = escoamento sub-superficial

AC = ascensão capilar

Saídas

ET = evapotranspiração

R_o = escoamento superficial

DL_o = escoamento sub-superficial

DP = drenagem profunda



Componentes do balanço hídrico - Entrada

Precipitação (P): Quantidade de água que cai na superfície da Terra em forma de chuva, granizo ou neve.



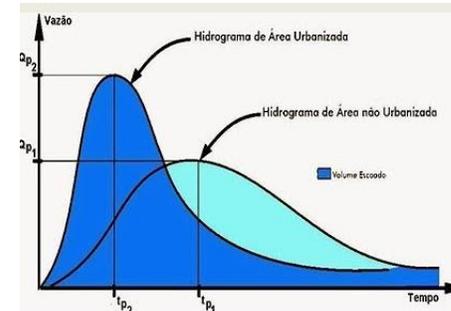
Orvalho (O): Formação de gotículas de água sobre objetos expostos ao ar livre durante a noite



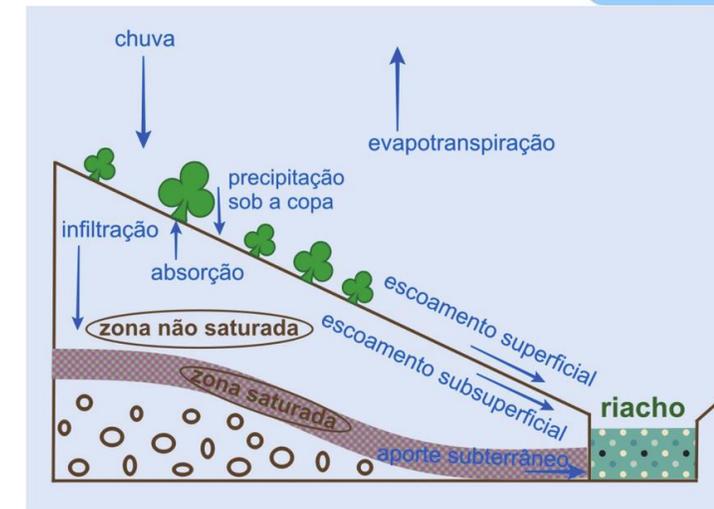


Componentes do balanço hídrico - Entrada

Escoamento superficial (R_i): Quantidade de água que escoar pela superfície do solo e dos cursos d'água e contribui para a recarga de alguns aquíferos.



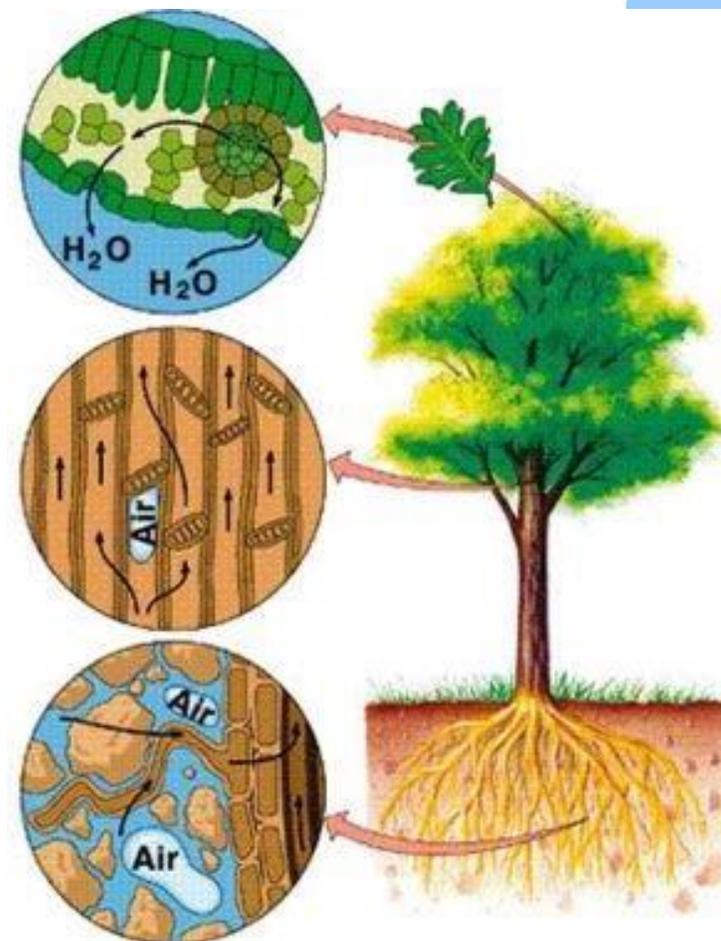
Escoamento subsuperficial (D_i): movimento de água abaixo da superfície do solo, através de poros e fissuras, em direção a corpos d'água ou camadas mais profundas do solo e contribui para a recarga de alguns aquíferos





Componentes do balanço hídrico - Entrada

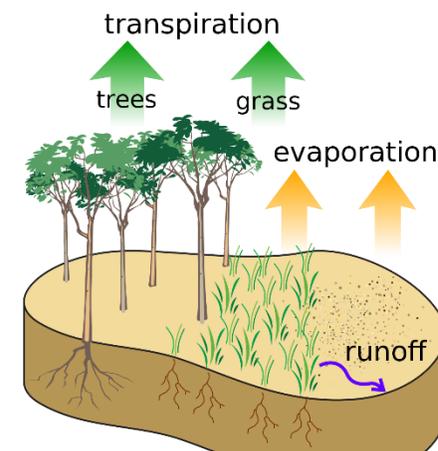
Ascensão Capilar (AC): Processo em que a água presente no solo é absorvida pelas raízes das plantas e, em seguida, é transportada para a parte superior da planta através de pequenos vasos condutores.





Componentes do balanço hídrico - Saída

Evapotranspiração (ET): Quantidade de água que é devolvida à atmosfera por meio da evaporação da superfície do solo e da transpiração das plantas



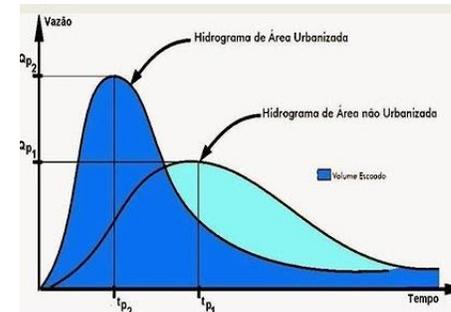
Drenagem profunda (DP): Processo em que a água presente no solo, que não é utilizada pelas plantas nem evaporada, é transportada para camadas mais profundas do solo (percolação)



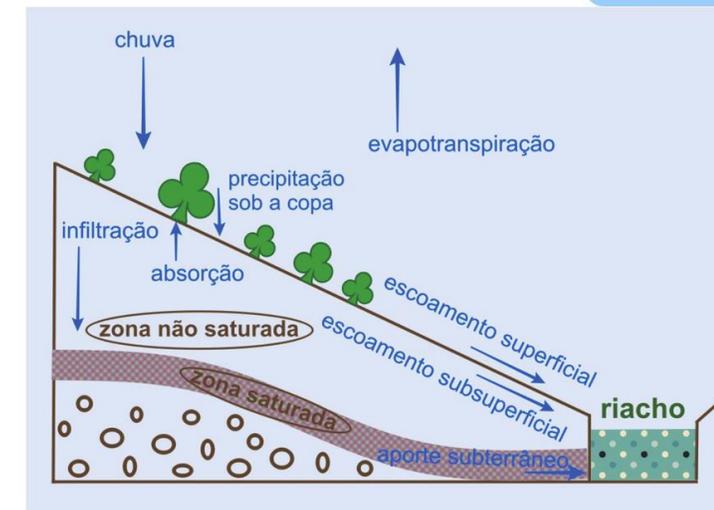


Componentes do balanço hídrico - Saída

Escoamento superficial (R_o): Quantidade de água que escoar pela superfície do solo e dos cursos d'água.



Escoamento subsuperficial (DI_o): movimento de água abaixo da superfície do solo, através de poros e fissuras, em direção a corpos d'água ou camadas mais profundas do solo





Componentes do balanço hídrico

- **Armazenamento (ARM):** Quantidade de água que é armazenada no solo e nas camadas subterrâneas.
- **Deficiência hídrica (DEF):** Diferença entre a quantidade de água necessária para atender às demandas da vegetação e a quantidade disponível no solo.
- **Excedente hídrico (EXC):** Diferença entre a quantidade de água que é disponível no solo e a quantidade necessária para atender às demandas da vegetação.



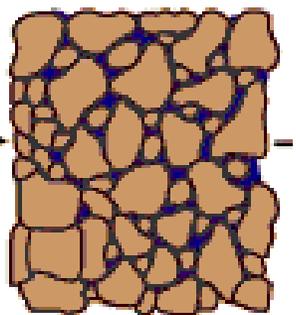
Utilizados para determinar os sistemas e necessidades de irrigação



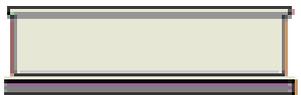
Armazenamento

O armazenamento de água no solo pode ser descrito pelas seguintes características:

- **Capacidade de campo:** Quantidade máxima de água que o solo pode reter após ser completamente molhado e deixado drenar sob a ação da gravidade.



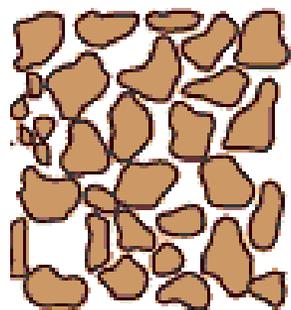
Indica a **quantidade de água disponível para as plantas** e a **capacidade de armazenamento do solo** para períodos de estiagem.





Armazenamento

- **Ponto de murcha permanente:** ponto em que a quantidade de água é tão baixa que a planta não consegue mais retirar água do solo.



Esse ponto é importante para avaliar a **capacidade do solo de reter água** e as **necessidades de irrigação das plantas**.





Armazenamento

- **Ponto de saturação:** momento em que o solo está completamente saturado e não consegue mais reter água em seus poros.

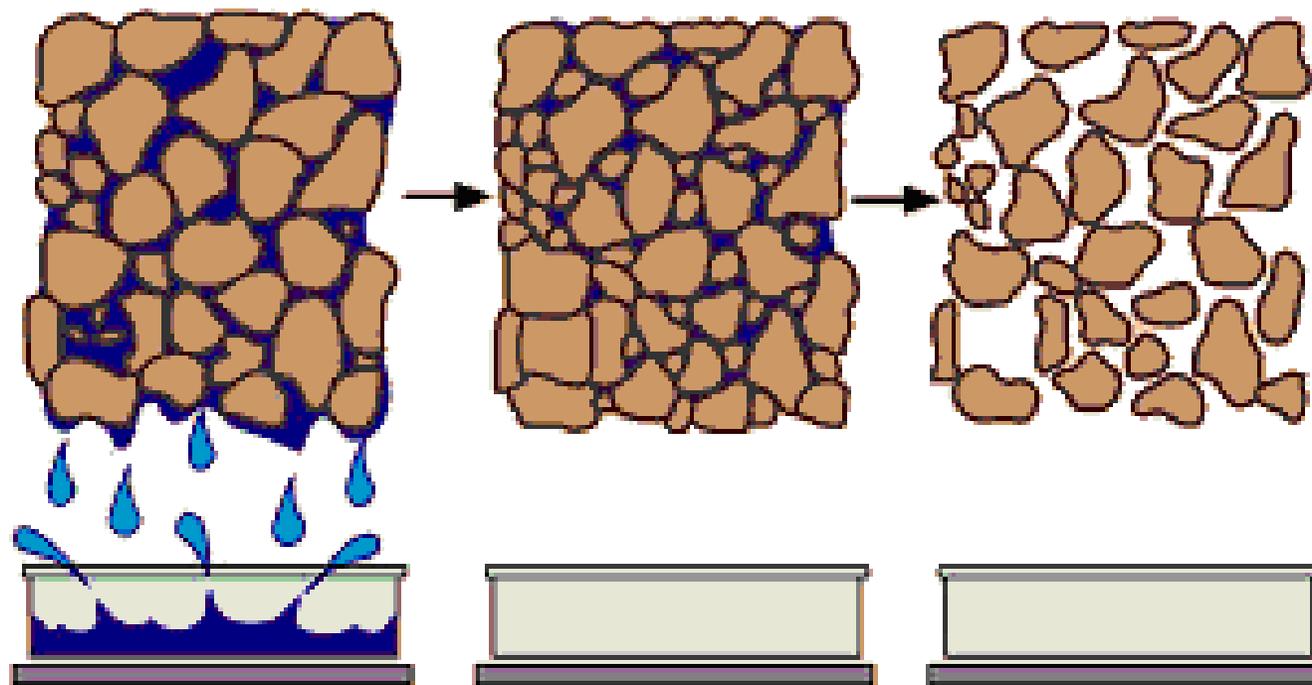


Nesse ponto, **qualquer excesso de água** adicionada ao solo **irá escorrer** superficialmente **ou infiltrar** no solo





Armazenamento



Saturação

Capacidade
de campo

Ponto de
Murcha
Permanente



Variação de armazenamento de água no solo

Diferença entre o armazenamento de água no solo em dois momentos diferentes (**quantidade de água que entrou ou saiu do solo durante um certo período**), influenciada pelas condições meteorológicas, as características do solo e a vegetação presente.





Variação de armazenamento de água no solo

O conhecimento da variação de armazenamento de água no solo é importante para a gestão da água na agricultura e na previsão de enchentes e secas, pois permite determinar:

- **Quantidade de água disponível para as plantas;**
- **Necessidade de irrigação;**
- **Capacidade do solo em armazenar água; e**
- **Previsão de desastres naturais relacionados à água.**





Variação de armazenamento de água no solo

$$\Delta_{ARM} = P + O + R_I + DL_I + AC - ET - R_O - DL_O - DP$$

- **A chuva (P) representa a principal entrada de água em um sistema;**
- O orvalho (O) só assume papel importante em regiões muito áridas;
- Ascensão capilar (AC) só ocorrem em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos;
- O escoamento superficial– entrada (R_I) e saída (R_O) – e sub-superficial– entrada (DL_I) e saída (DL_O), para áreas homogêneas, se compensam, portanto, anulando-se

Desprezíveis



Variação de armazenamento de água no solo

$$\Delta_{ARM} = P + O + R_I + DL_I + AC - ET - R_O - DL_O - DP$$

- A Evapotranspiração (ET) é a principal saída de água do sistema, especialmente nos períodos secos;
- A drenagem profunda (DP) constitui-se em outra via de saída de água do volume controle de solo nos períodos excessivamente chuvosos;





Variação de armazenamento de água no solo

Sendo assim, pode-se considerar que:

Ri (escoamento superficial – entrada)

≈

Ro (escoamento superficial – saída)

DLi (escoamento subsuperficial – entr)

≈

Dlo (escoamento subsuperficial – saída)

(O) Orvalho

e

AC (ascensão capilar)

=

Desprezíveis

O que resulta na seguinte equação geral de variação de armazenamento de água no solo:

$$\Delta_{ARM} = P - ET_o$$





Variação de armazenamento de água no solo

$$\Delta_{ARM} = P - ET_o$$

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.

CAD: Quantidade de água que o solo é capaz de armazenar e disponibilizar para as plantas durante o seu crescimento





Determinação da CAD para elaboração do BHC

Para se elaborar o BHC, Normal ou o Sequencial, é preciso conhecer a capacidade de água disponível no solo (CAD):

Conceitos importantes

CAD

Máximo de água disponível que cada tipo de solo pode reter em função de suas características físicas, levando em conta:

- **Umidade da capacidade de campo (CC);**
- **Umidade do ponto de murcha permanente (PMP);**
- **Densidade aparente do solo (DA); e**
- **Profundidade efetiva do sistema radicular (Z), concentram 80% das raízes)**



Determinação da CAD para elaboração do BHC

Densidade aparente do solo (DA)

Relação entre a massa de uma amostra de solo seca a 110 °C e o volume total ocupado por esta (g/cm^3). Essa é medida representa a compactação do solo



Profundidade efetiva do sistema radicular (Z)

Profundidade do solo em que as raízes das plantas encontram condições favoráveis para desenvolvimento (disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio). Pode variar de acordo com o tipo de planta e as características do solo.





Determinação da CAD para elaboração do BHC

1) A partir das características físico-hídricas do solo

$$CAD = \left[\frac{(CC\% - PMP\%)}{10} \right] \times DA \times Z$$

CC% = umidade da capacidade de campo (%);

PMP% = umidade do ponto de murcha (%);

DA = densidade aparente do solo (g/cm³);

Z = profundidade específica do sistema radicular (cm)



Determinação da CAD para elaboração do BHC

2) A partir das características gerais do solo:

$$CAD = CAD_{méd} \times Z$$

$CAD_{méd}$ = capacidade de água disponível média (mm/cm – mm de água/cm de profundidade de solo);

Z = profundidade específica do sistema radicular (cm)

$CAD_{méd}$ solos argilosos = 2,0 mm/cm

$CAD_{méd}$ solos textura média = 1,4 mm/cm

$CAD_{méd}$ solos arenosos = 0,6 mm/cm





Determinação da CAD para elaboração do BHC

Valores médios da profundidade efetiva dos sistemas radiculares (Z) das principais culturas do Estado de São Paulo:

| Cultura | Z (cm) |
|------------------------|-----------|
| Espécies florestais | 150 a 250 |
| 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 |

Profundidade efetiva do sistema radicular do eucalipto de 0,90 m



Determinação da CAD para elaboração do BHC

3) A partir das características gerais da cultura – critério prático:

$$CAD = CAD_{méd} \times Z$$

$CAD_{méd} = 1,3 \text{ mm.cm}^{-1}$;

Z = Tabela abaixo

| Cultura | Z (cm) |
|------------------------|-----------|
| Espécies florestais | 150 a 250 |
| 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 |
| Eucalipto | 90 |



Exemplos de Determinação da CAD

Exemplo 1)

Calcule a CAD a partir das características físico-hídricas do solo, com as características listadas abaixo:

- **CC = 32%;**
- **PMP = 20%;**
- **DA = 1,3; e**
- **Z = 50 cm**

$$CAD = \left[\frac{(CC\% - PMP\%)}{10} \right] \times DA \times Z$$

$$CAD = \left[\frac{(32 - 20)}{10} \right] \times 1,3 \times 50$$

$$CAD = 1,2 \times 1,3 \times 50$$

$$CAD = 78 \text{ mm}$$



Exemplos de Determinação da CAD

Exemplo 2)

Calcule a CAD do solo de textura média a partir das características gerais do solo:

- $Z = 50 \text{ cm}$; e
- $CAD_{\text{méd}} = 1,4 \text{ mm.cm}^{-1}$

$$CAD = CAD_{\text{méd}} \times Z$$

$$CAD = 1,4 \times 50$$

$$CAD = 70 \text{ mm}$$



Exemplos de Determinação da CAD

O CAD, de uma maneira generalista, é tabelado para cada cultura, independentemente do tipo de solo:



← **Hortaliças:** 25 a 50 mm;



← **Culturas anuais:** 75 a 100 mm;



← **Culturas perenes:** 100 a 125 mm;



← **Espécies florestais:** 125 e 300 mm;





Métodos de cálculo do balanço hídrico climatológico

Uma das formas de se contabilizar o balanço de água no solo é por meio do método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), o chamado **Balanço Hídrico Climatológico**.

Esse método utiliza os dados de **P**, de **ETP** e da **CAD**, para chegar aos valores de:

Disponibilidade de água no solo (ARM)

Alteração do armazenamento de água do solo (Δ ARM)

Evapotranspiração real (ETR)

Deficiência hídrica (DEF)

Excedente hídrico (EXC)





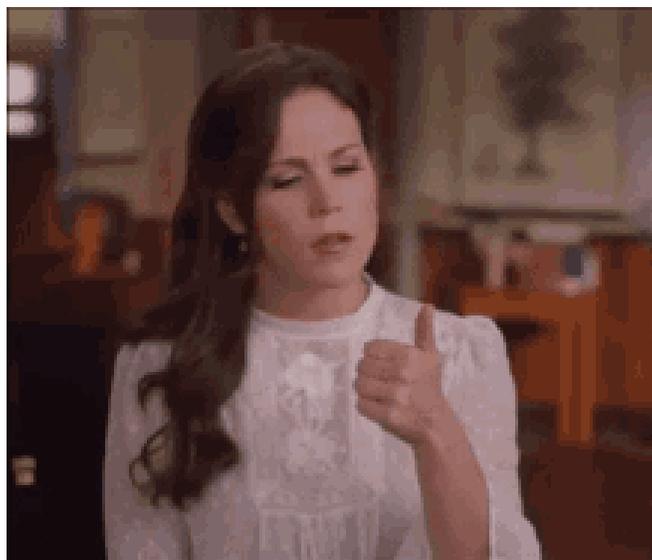
ROTEIRO PARA ELABORAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO



Evapotranspiração potencial (ET_0)

Equação de
Penman-Monteith

Método de
Hargreaves



Tanque Classe A

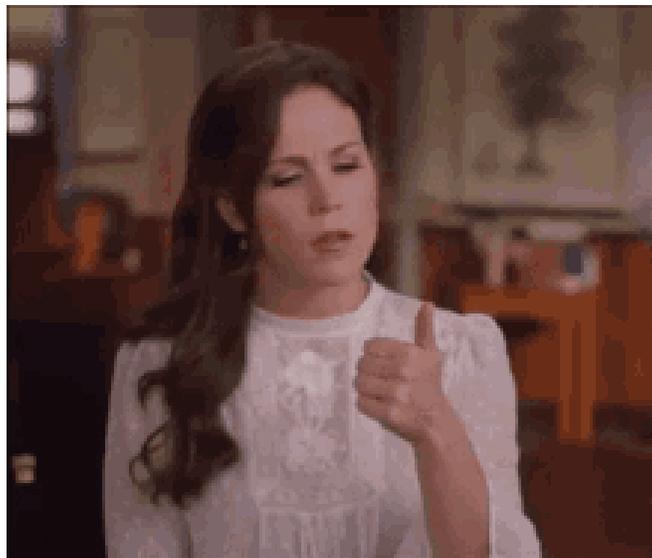
Método de
Thornthwaite



Precipitação

Método Aritmético

Pluviômetros



Método de Thiessen

Método das Isoietas





Preenchimento da coluna: P - ETo



CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | | | | | | | |
| Fev | 97 | 215 | | | | | | | |
| Mar | 104 | 230 | | | | | | | |
| Abr | 88 | 119 | | | | | | | |
| Mai | 78 | 20 | | | | | | | |
| Jun | 63 | 9 | | | | | | | |
| Jul | 62 | 5 | | | | | | | |
| Ago | 90 | 12 | | | | | | | |
| Set | 94 | 30 | | | | | | | |
| Out | 109 | 123 | | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | | | | | | | |

$$P - ETo$$

Ps.: Coloque os sinais

(+) = Entrada maior que saída

(-) = Saída maior que entrada

Excel: +0; -0; 0



Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | | | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | | | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | | | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | | | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | | | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | | | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | | | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | | | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | | | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |



Preenchimento das colunas: Nac e ARM

Nac = Negativo acumulado

Indicador de falta de água em uma área em um dado período. É importante monitorar esse indicador para garantir a disponibilidade de água para e abastecimento de água potável para a população.

Interessa para a coluna Nac, somente os valores negativos da coluna (P-Eto), ou seja, só tem-se valor diferente de 0, quando encontra-se o primeiro valor negativo





Preenchimento das colunas: Nac e ARM

ARM

Sempre que o Nac for 0, o ARM será o CAD

Quando o Nac não for 0, utiliza-se a equação do ARM

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{Nac}{CAD}\right)}$$



Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|------------|-------------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | | | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | | | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | | | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | | | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | | | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |



Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|------------|-------------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | | | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | | | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | | | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | | | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{Nac}{CAD}\right)}$$

$$ARM = 100 \times e^{\left(\frac{-58}{100}\right)}$$

$$ARM = 100 \times 0,56$$

$$ARM = 56$$



Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +131 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | | | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | | | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | | | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{Nac}{CAD}\right)}$$



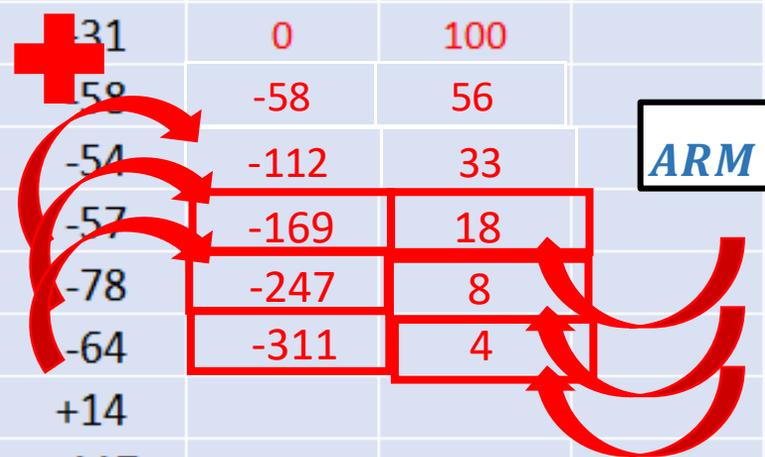
Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{Nac}{CAD}\right)}$$





Preenchimento das colunas: *Nac* e *ARM*

Após uma sequência de (*P-ET_o*) negativa, o *ARM* é calculado com a seguinte equação:

$$ARM = (P - ET_o)_n + ARM_{n-1}$$

n = mês atual; *n-1* = mês anterior

Nesse caso, o *Nac* é definido pela seguinte equação:

$$Nac = CAD \times \ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right)$$





Preenchimento das colunas: Nac e ARM



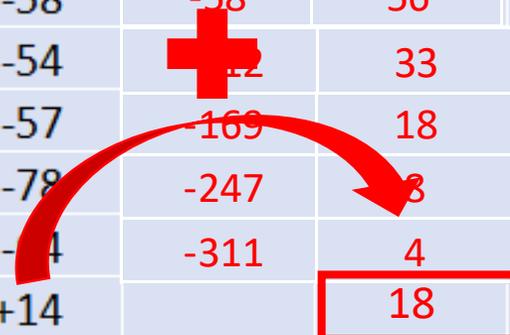
CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|-----|------|------|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | | 18 | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |

$$ARM = (P - ETo)_n + ARM_{n-1}$$

$$ARM = 14 + 4$$

$$ARM = 18$$





Preenchimento das colunas: Nac e ARM



CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|-----|------|------|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | | | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | | | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | | | | | | |

$$Nac = CAD \times \ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right)$$

$$Nac = 100 \times \ln\left(\frac{18}{100}\right)$$

$$Nac = 100 \times -1,71$$

$$Nac = -171$$





Preenchimento das colunas: Nac e ARM

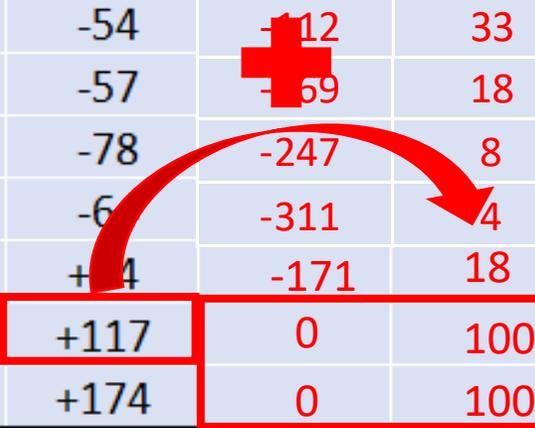


CAD: 100 mm

| Mês | Eto | P | (P-ETo) | Nac | ARM | ALT | ETR | DEF | EXC |
|------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|-----|-----|-----|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -12 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -69 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | | | | |

Se fizesse isso, o valor seria superior ao nosso CAD (100 mm)

Então, assume-se o valor do CAD para ARM e 0 para Nac





Preenchimento das colunas: ALT



CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | | | | |



Preenchimento da coluna: ALT

Para preencher a coluna ALT (alteração de armazenamento de água no solo), utiliza-se a seguinte equação:

$$ALT = ARM_n - ARM_{n-1}$$

n= mês atual; n-1 = mês anterior



O SOMATÓRIO DA COLUNA “ALT” É, OBRIGATORIAMENTE, IGUAL A 0 (ZERO)



Preenchimento das colunas: ALT

CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | | | | |
| Jun | 63 | 9 | | -112 | 33 | | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | | | | |

$$ALT = ARM_n - ARM_{n-1}$$

$$ALT = 100 - 100$$

$$ALT = 0$$



Preenchimento das colunas: ALT

CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | 152 | 56 | -44 | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | 143 | 33 | -23 | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | 136 | 18 | -15 | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | 127 | 8 | -10 | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | 114 | 4 | -4 | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | 17 | 18 | +14 | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | +82 | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | | | |

$$ALT = ARM_n - ARM_{n-1}$$

$$ALT = 100 - 100$$

$$ALT = 0$$



Preenchimento das colunas: ETR



CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | -44 | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | -23 | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | -15 | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | -10 | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | -4 | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | 14 | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 82 | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | | | |



Preenchimento da coluna: ETR

Para a ETR (Evapotranspiração Real), utiliza-se as seguintes regras:

$$(P - E_{to}) \geq 0 = ETR = E_{to}$$

$$ALT < 0 = ETR = P + |ALT|$$





Preenchimento das colunas: ETR

(P-Eto)

≥

0

=

ETR = ETo

CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | -44 | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | -23 | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | -15 | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | -10 | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | -4 | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 10 | 14 | | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | | | |



Preenchimento das colunas: ETR

$$\text{ALT} < 0 = \text{ETR} = P + |\text{ALT}|$$

CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | 116 | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | 97 | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | 104 | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | + | 100 | 0 | 88 | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 58 | -44 | | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 55 | -23 | | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -168 | 18 | -15 | | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -217 | 0 | -10 | | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 1 | -4 | | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | 14 | 109 | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 82 | 106 | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | 106 | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | 898 | | |



Preenchimento das colunas: DEF e EXC



CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | 116 | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | 97 | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | 104 | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | 88 | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | -44 | 64 | | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | -23 | 32 | | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | -15 | 20 | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | -10 | 22 | | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | -4 | 34 | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | 14 | 109 | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 82 | 106 | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | 106 | | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | 898 | | |



Preenchimento das colunas: DEF e EXC

Para calcular a coluna DEF (déficit hídrico), utiliza-se a seguinte equação:

$$DEF = ET_0 - ETR$$

Para a EXC (excedente hídrico), utiliza-se as seguintes regras:

$$ARM < CAD = EXC = 0$$

$$ARM = CAD = EXC = (P - ET_0) - ALT$$





Preenchimento das colunas: DEF e EXC

$$DEF = ETo - ETR$$

CAD: 100 mm

| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|-----|-----------|---------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | 116 | | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | 97 | | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | 104 | | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | 88 | | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | 58 | 58 | 14 | 64 | | |
| Jun | 63 | 0 | -63 | 111 | 58 | 23 | 32 | | |
| Jul | 62 | 0 | -62 | 165 | 18 | 15 | 20 | | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | 247 | 8 | 10 | 22 | | |
| Set | 94 | 0 | -94 | 311 | 7 | 7 | 34 | | |
| Out | 109 | 123 | +14 | 171 | 18 | 14 | 109 | | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 82 | 106 | | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | 106 | | |
| Ano | 1113 | 1557 | +424 | 582 | 582 | 0 | 898 | | |



Preenchimento das colunas: DEF e EXC

CAD: 100 mm

ARM

<

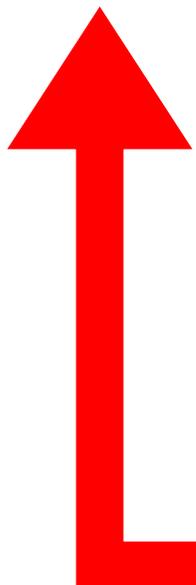
CAD

=

EXC = 0



| Mês | Eto mm | P mm | (P-ETo) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | 116 | 0 | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | 97 | 0 | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | 104 | 0 | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | 88 | 0 | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | 22 | 64 | 14 | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | 29 | 52 | 31 | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | 44 | 20 | 42 | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | 82 | 22 | 68 | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | 90 | 34 | 68 | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | 14 | 105 | 0 | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 82 | 106 | 0 | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | 106 | 0 | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | 898 | 215 | |





Preenchimento das colunas: DEF e EXC

CAD: 100 mm

ARM

=

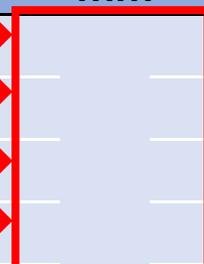
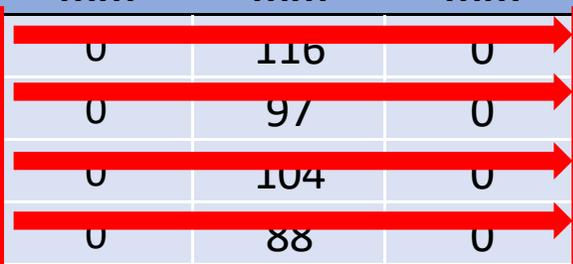
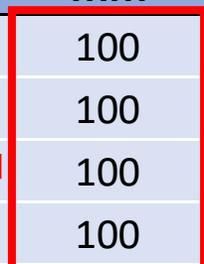
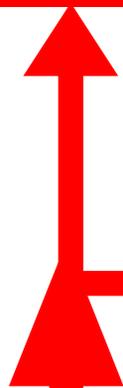
CAD

=

$$EXC = (P - ET_o) - ALT$$



| Mês | Et _o mm | P mm | (P-ET _o) mm | Nac mm | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|------------|-----------------------|-------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Jan | 116 | 271 | +155 | 0 | 100 | 0 | 116 | 0 | |
| Fev | 97 | 215 | +118 | 0 | 100 | 0 | 97 | 0 | |
| Mar | 104 | 230 | +126 | 0 | 100 | 0 | 104 | 0 | |
| Abr | 88 | 119 | +31 | 0 | 100 | 0 | 88 | 0 | |
| Mai | 78 | 20 | -58 | -58 | 56 | -44 | 64 | 14 | |
| Jun | 63 | 9 | -54 | -112 | 33 | -23 | 32 | 31 | |
| Jul | 62 | 5 | -57 | -169 | 18 | -15 | 20 | 42 | |
| Ago | 90 | 12 | -78 | -247 | 8 | -10 | 22 | 68 | |
| Set | 94 | 30 | -64 | -311 | 4 | -4 | 34 | 60 | |
| Out | 109 | 123 | +14 | -171 | 18 | 14 | 109 | 0 | |
| Nov | 106 | 223 | +117 | 0 | 100 | 0 | 106 | 0 | |
| Dez | 106 | 280 | +174 | 0 | 100 | 0 | 106 | 0 | |
| Ano | 1113 | 1537 | +424 | - | - | 0 | 898 | 215 | - |



Aferições



| Mês | Eto | P | (P-ETo) | 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 |

$$\sum P = \sum ETo + \sum (P - ETo)$$

$$1537 = 1113 + 424$$

$$1537 = 1537$$

$$\sum P = \sum ETR + \sum EXC$$

$$1537 = 898 + 639$$

$$1537 = 1537$$

$$\sum ETo = \sum ETR + \sum DEF$$

$$1113 = 898 + 215$$

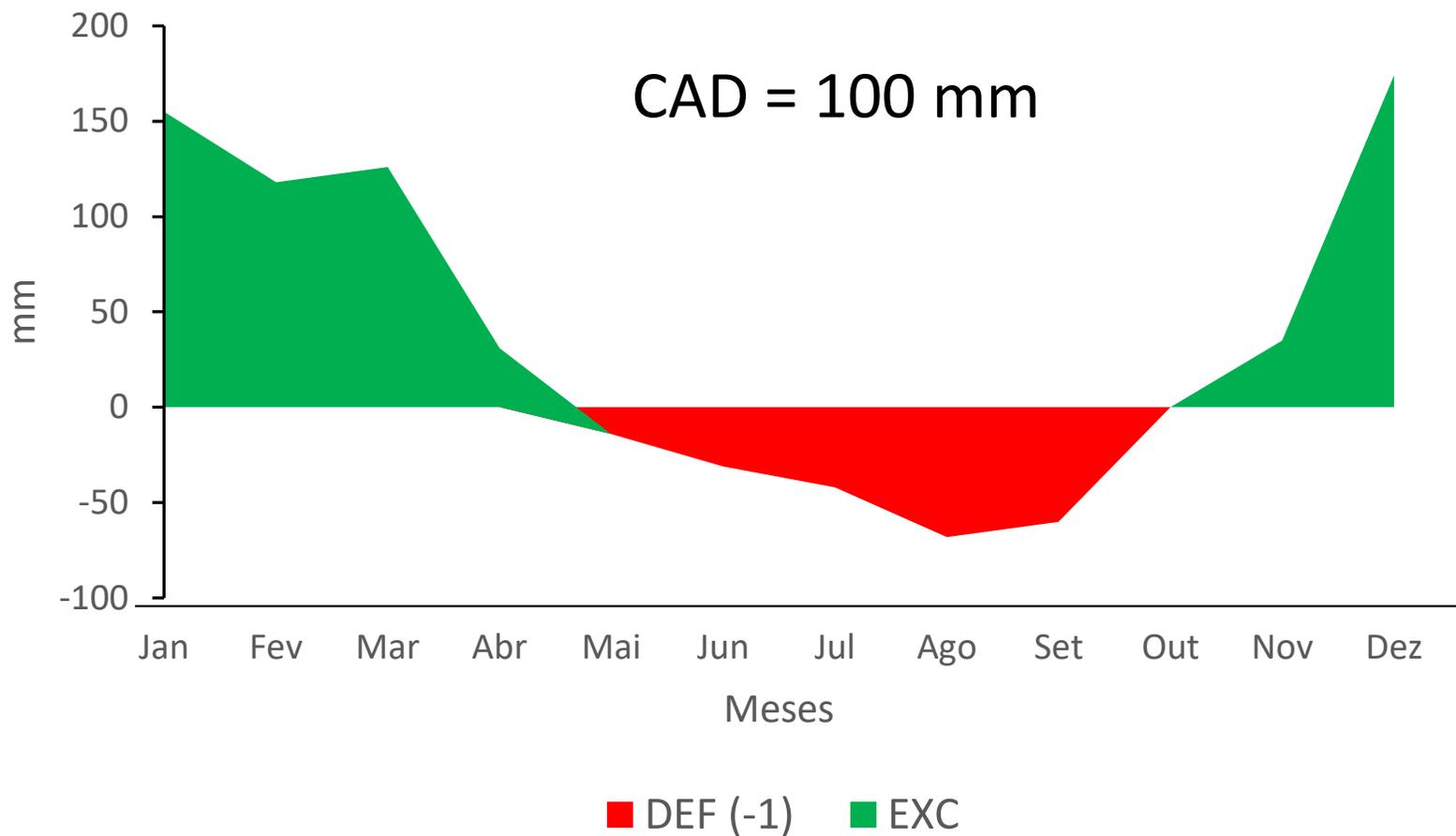
$$1113 = 1113$$

$$\sum ALT = 0$$

$$0 = 0$$



Apresentação





Não entendeu?

Acesse o vídeo do Professor Frederico Vieira, que ensina o passo a passo para a elaboração do BHC:

<https://youtu.be/exMG359yxvc>



Muito obrigado pela atenção!

**“O esforço sem talento
vence o talento sem
esforço. Porém, o talento
com esforço vence tudo”**

Professor: Antonio Henrique Cordeiro Ramalho



E-mail principal: antonio.ramalho@ufopa.edu.br



E-mail secundário: henriqueramalho@gmail.com



Telefone/Whatsapp: (94) 9167-1066

