

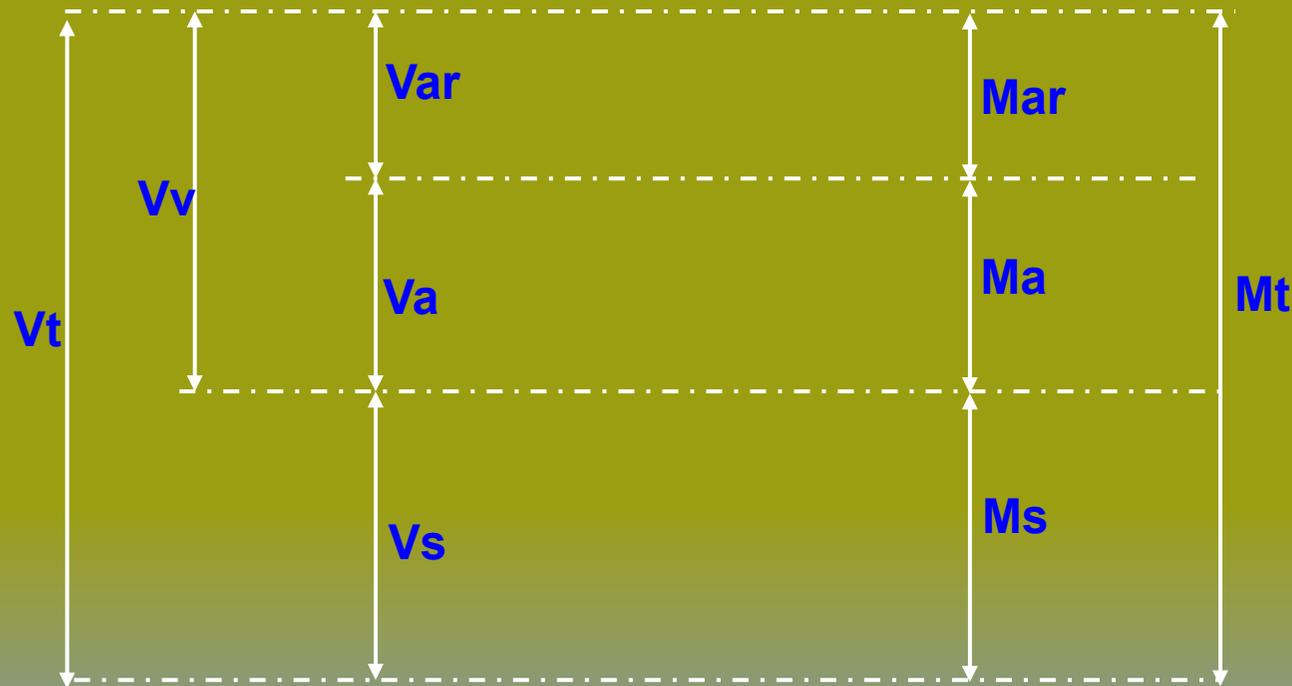
# LER 1571 - IRRIGAÇÃO

Prof.<sup>o</sup> Dr. Marcos Vinícius Folegatti

Aula 02

# RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA

## 1. Relação massa volume dos constituintes do solo.



$M_{ar}$  = massa de ar  
 $M_a$  = massa de água  
 $M_s$  = massa de sólidos  
 $M_t$  = massa total

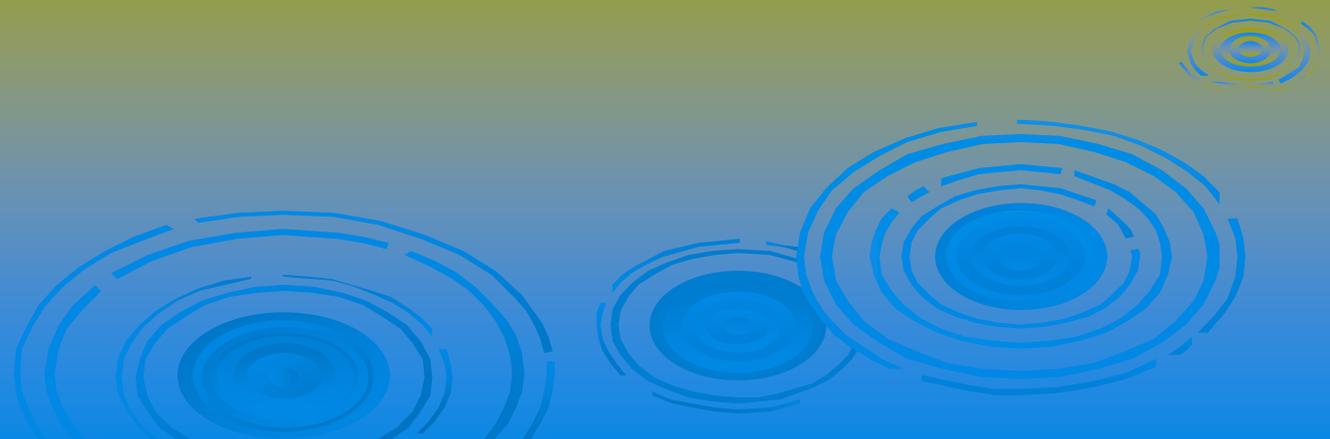
$V_{ar}$  = volume de ar  
 $V_a$  = volume de água  
 $V_v$  = volume de poros (vazios) =  $V_{ar} + V_a$   
 $V_s$  = Volume de sólidos  
 $V_t$  = Volume total

## 1.1 Densidade das partículas ( $d_p$ )

$$d_p = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3) \sim 2,65$$

f (nat. Mineralógica: feldspatos, quartzo)

M.O (1,3 – 1,5)



## 1.2 Densidade do solo ( $d_s$ )

$$d_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (\text{g/cm}^3)$$

f (textura, estrutura, grau compactação)

---

**SOLOS TEXTURA:**

**$d_s$**

---

**GROSSA**

**1,3 – 1,8 g/cm<sup>3</sup>**

**FINA**

**1,0 – 1,4 g/cm<sup>3</sup>**

**ORGÂNICO**

**0,2 – 0,6 g/cm<sup>3</sup>**

---

## 2. Umidade do solo com base em massa (U)

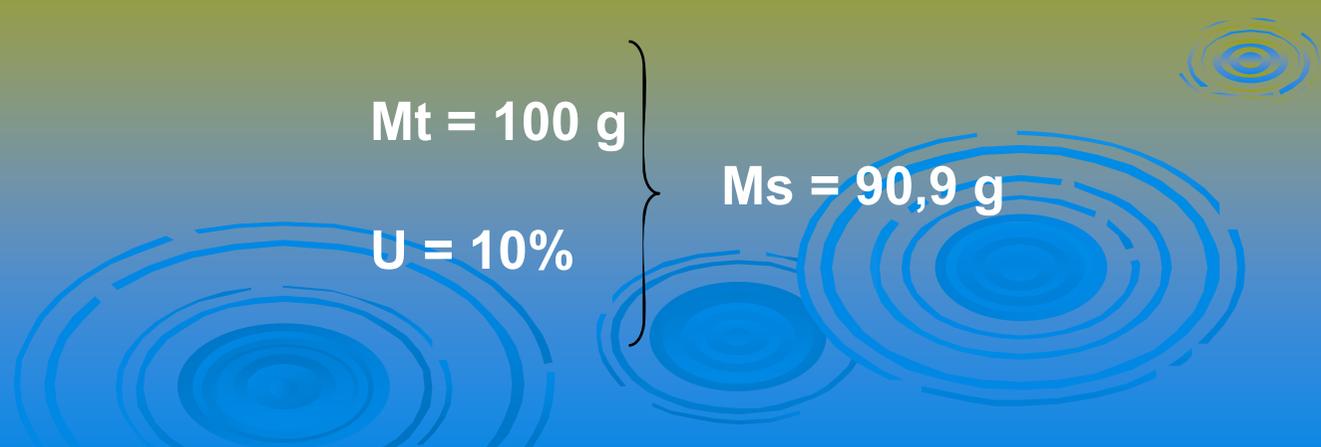
$$U = \frac{Ma}{Ms} = \frac{Mt - Ms}{Ms} = \frac{gH2O}{gsoloseco}$$

$$Ms = \frac{Mt}{1 + U}$$

Mt = 100 g

U = 10%

Ms = 90,9 g



### 3. Umidade do solo com base em volume ( $\Theta$ )

$$\Theta = \frac{V_a}{V_t} = \frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{solo}}$$

$$\left. \begin{array}{l} da = \frac{M_a}{V_a} \\ ds = \frac{M_s}{V_t} \end{array} \right\} \Theta = \frac{M_a}{M_s} \times \frac{ds}{da}$$

$$da = 1 \text{g/cm}^3$$

#### 4. Porosidade do solo ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_{ar} + V_a}{V_t} \quad (\text{cm}^3/\text{cm}^3)$$

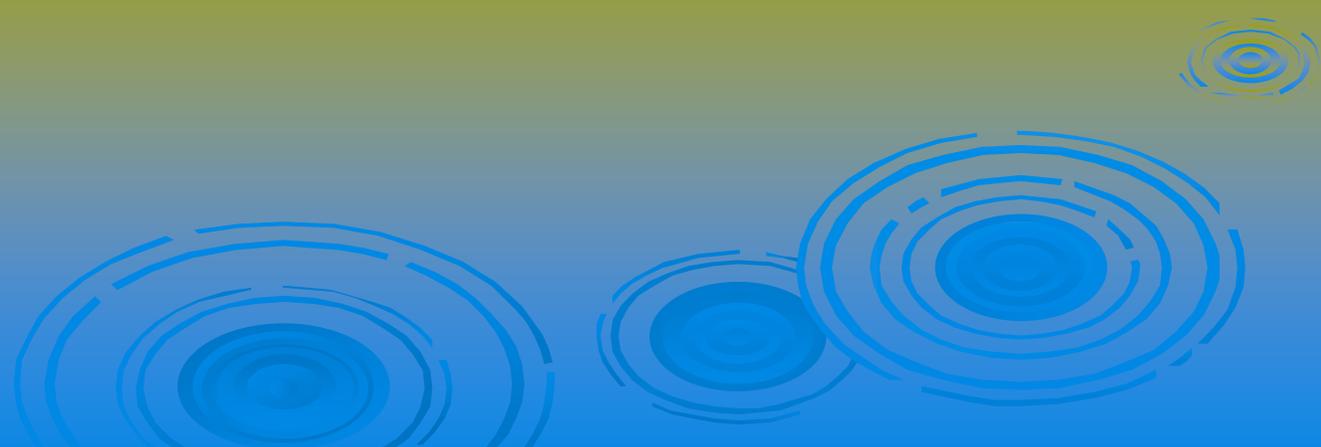
$$\eta = \frac{V_t - V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_s}{V_t}$$

$$\left. \begin{aligned} ds &= \frac{M_s}{V_t} \\ dp &= \frac{M_s}{V_s} \end{aligned} \right\} \eta = 1 - \frac{ds}{dp}$$

## 5. Porosidade livre de água (E)

$$E = \frac{V_{ar}}{V_t}$$

$$E = \frac{V_v - V_a}{V_t} = \eta - \Theta$$

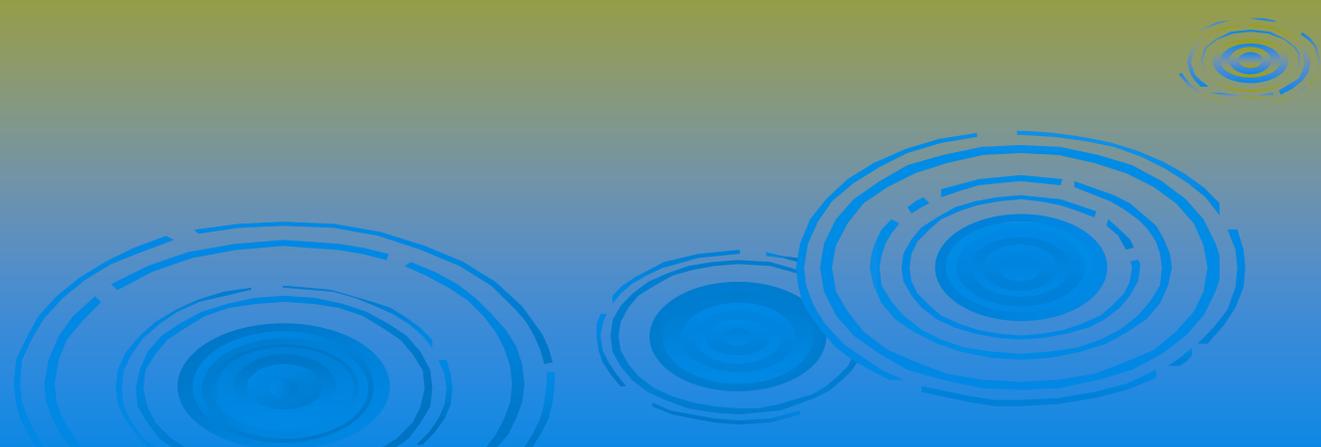


## 6. Grau de saturação ( $\Theta_{gs}$ )

$$\Theta_{gs} = \frac{V_a}{V_v} = \Theta / \eta$$

SOLO SECO  $\Theta_{gs} = 0$

SOLO SATURADO  $\Theta_{gs} = 1$



## Exercício

100 cm<sup>3</sup> de solo tem massa úmida igual a 1460g e peso seco de 1200g. Sabendo-se que a  $d_p = 2,65 \text{ g/cm}^3$ , calcular:

- a) umidade com base em massa seca;
- b) umidade volumétrica;
- c) densidade do solo;
- d) porosidade do solo;
- e) porosidade livre de água;
- f) grau de saturação.

# Métodos de determinação da umidade do solo.

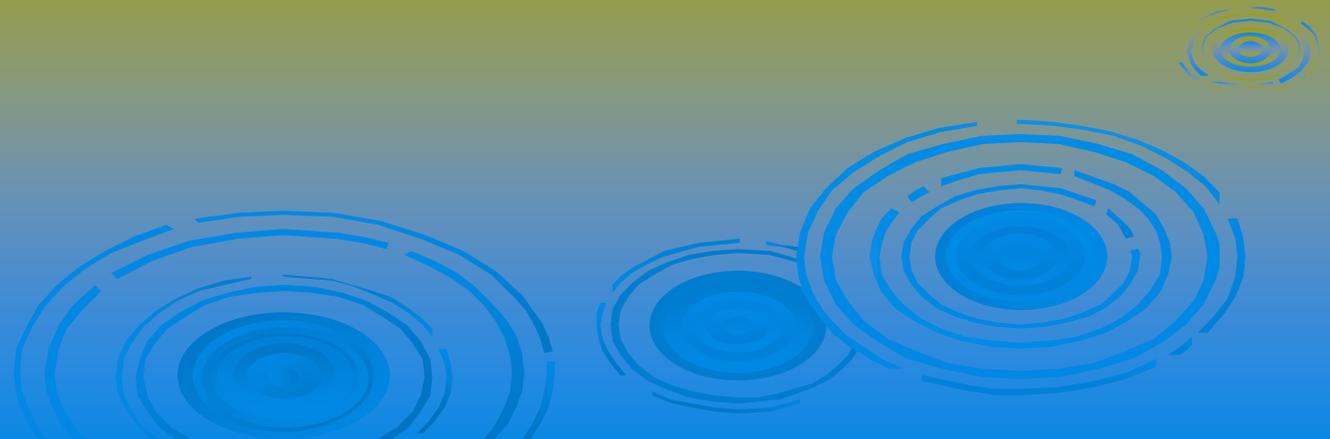
- Gravimétrico;
- Das pesagens;
- Dos volumes;
- Tensiômetro;
- Blocos de gesso;
- Sonda de nêutrons;
- Speed (Carbureto);
- Frigideira.

# Métodos de determinação da umidade do solo

## 1. Gravimétrico (Padrão)

$$U = \frac{M_t - M_s}{M_s} \times 100$$

Estufa – (105 – 110°C – 24 a 48 horas)



# Métodos de determinação da umidade do solo

## 2. Método das pesagens (Frasco Papadakis)

$$U' = (M - M') \times \frac{dp}{dp - 1} \quad (\text{umidade com base em massa úmida})$$

$$U = \frac{100 \times U'}{100 - U'} \quad (\text{umidade com base em massa seca})$$

**M = massa do frasco + solo seco + água (Padrão)**

**M' = massa do frasco + solo úmido + água**

# Métodos de determinação da umidade do solo

## 3. Método dos volumes

Balão volumétrico – 100ml

Tubo adicional

$$Ma = \frac{VX (dp - Mt)}{dp - 1}$$

V = volume em excesso no balão ( $\Delta$  ml)

$$Ms = Mt - Ma$$

$$U = \frac{Ma}{Mt - Ma}$$

# Métodos de determinação da umidade do solo.

## Exemplo

$$M_t = 20\text{g}$$

$$V = 10,1\text{ml}$$

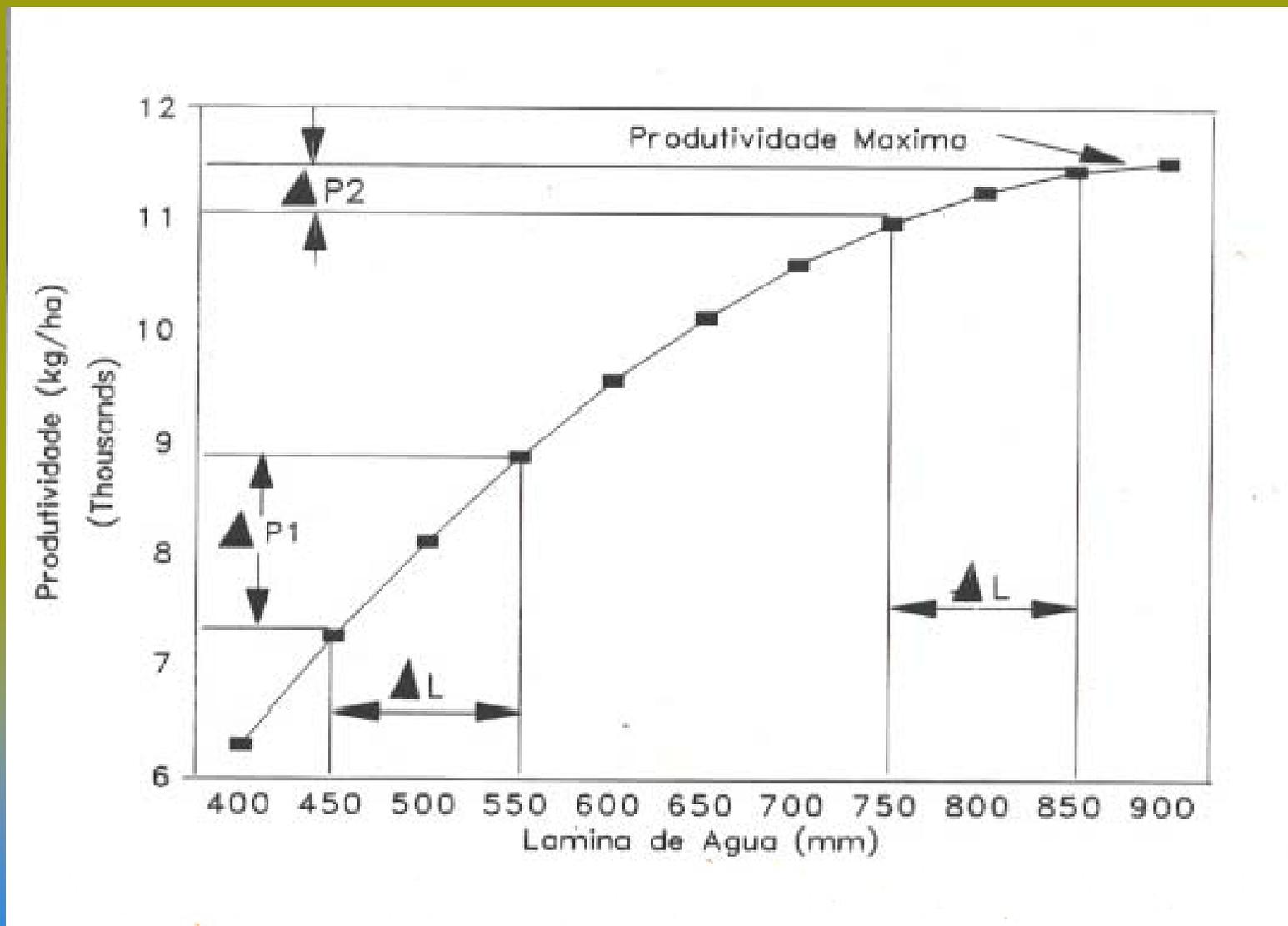
$$D_p = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

$$M_a = \frac{10,1 \times 2,65 - 20}{2,65 - 1} = 4,1$$

$$M_s = 20 - 4,1 = 15,9$$

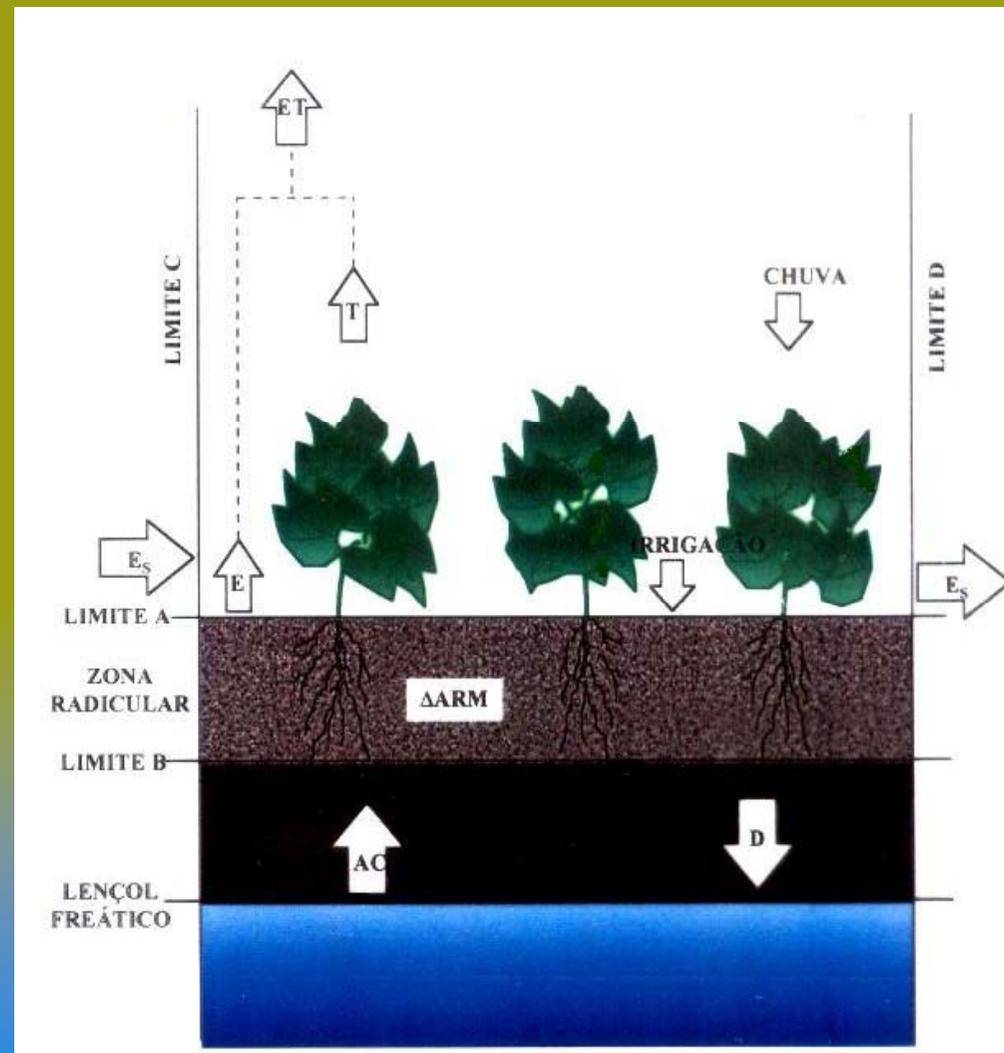
$$U = \frac{4,1}{15,9 - 4,1} = 0,347$$

## FUNÇÃO DE RESPOSTA DE UMA CULTURA À IRRIGAÇÃO

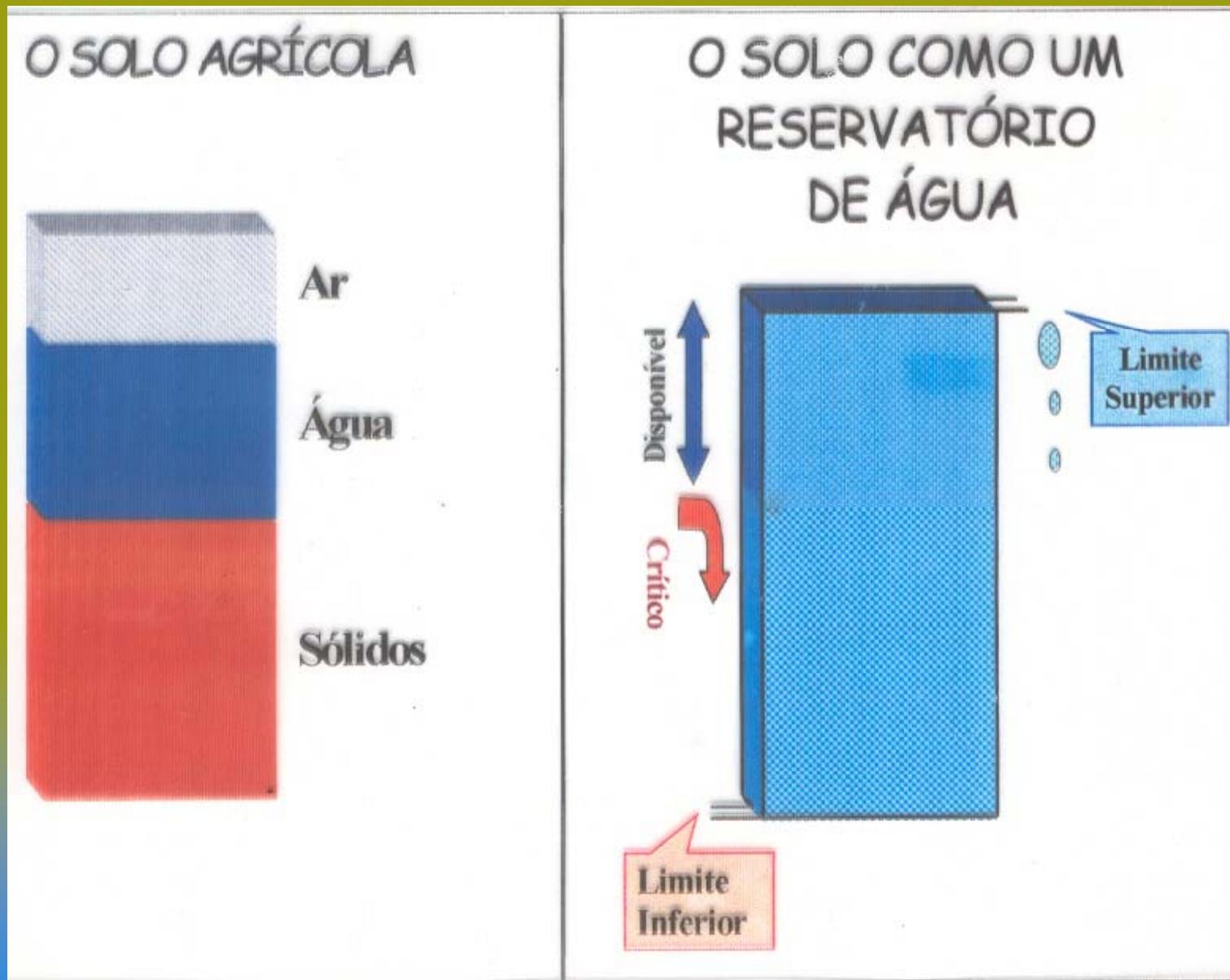


# RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA

## RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO



# RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

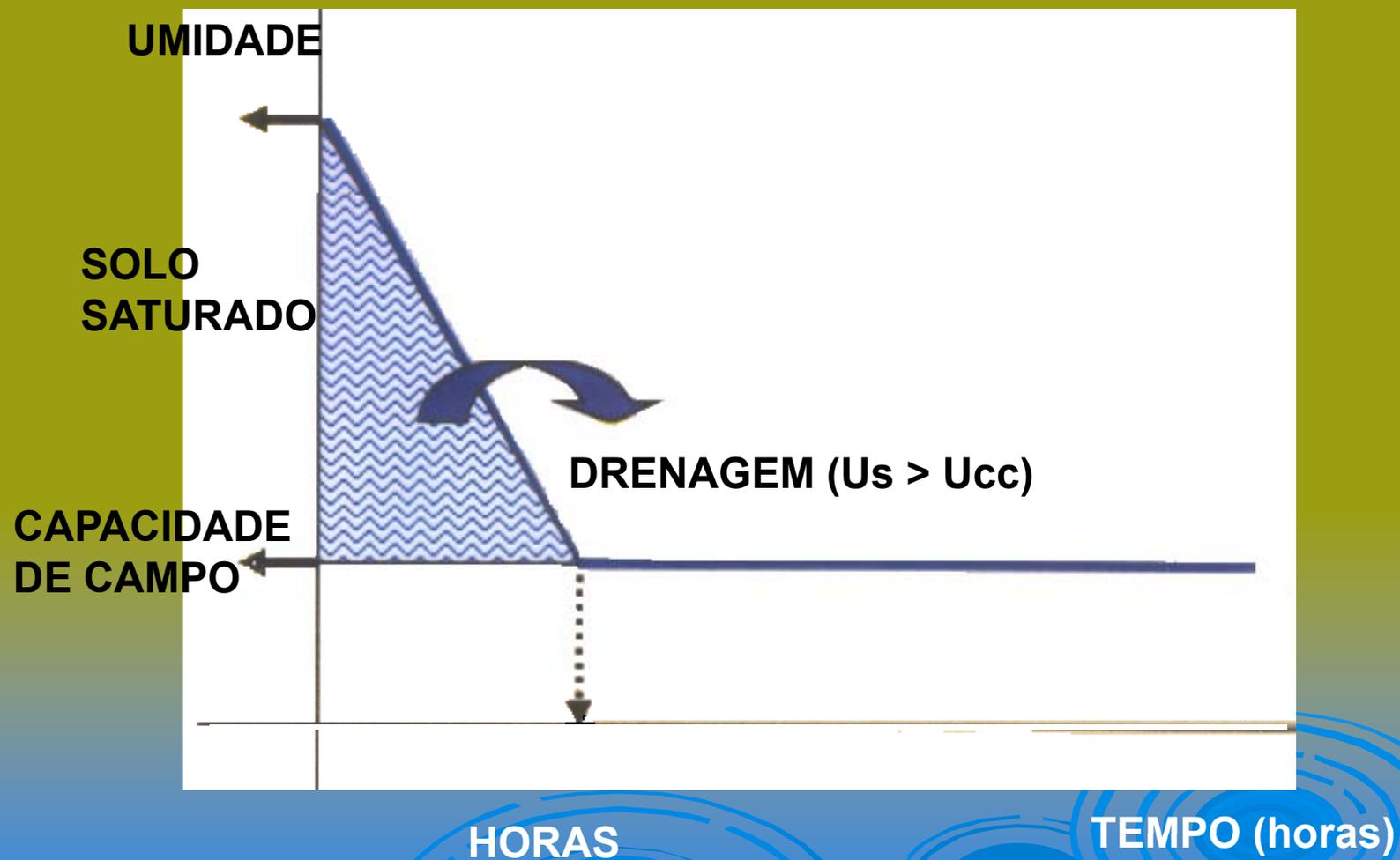


# RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO



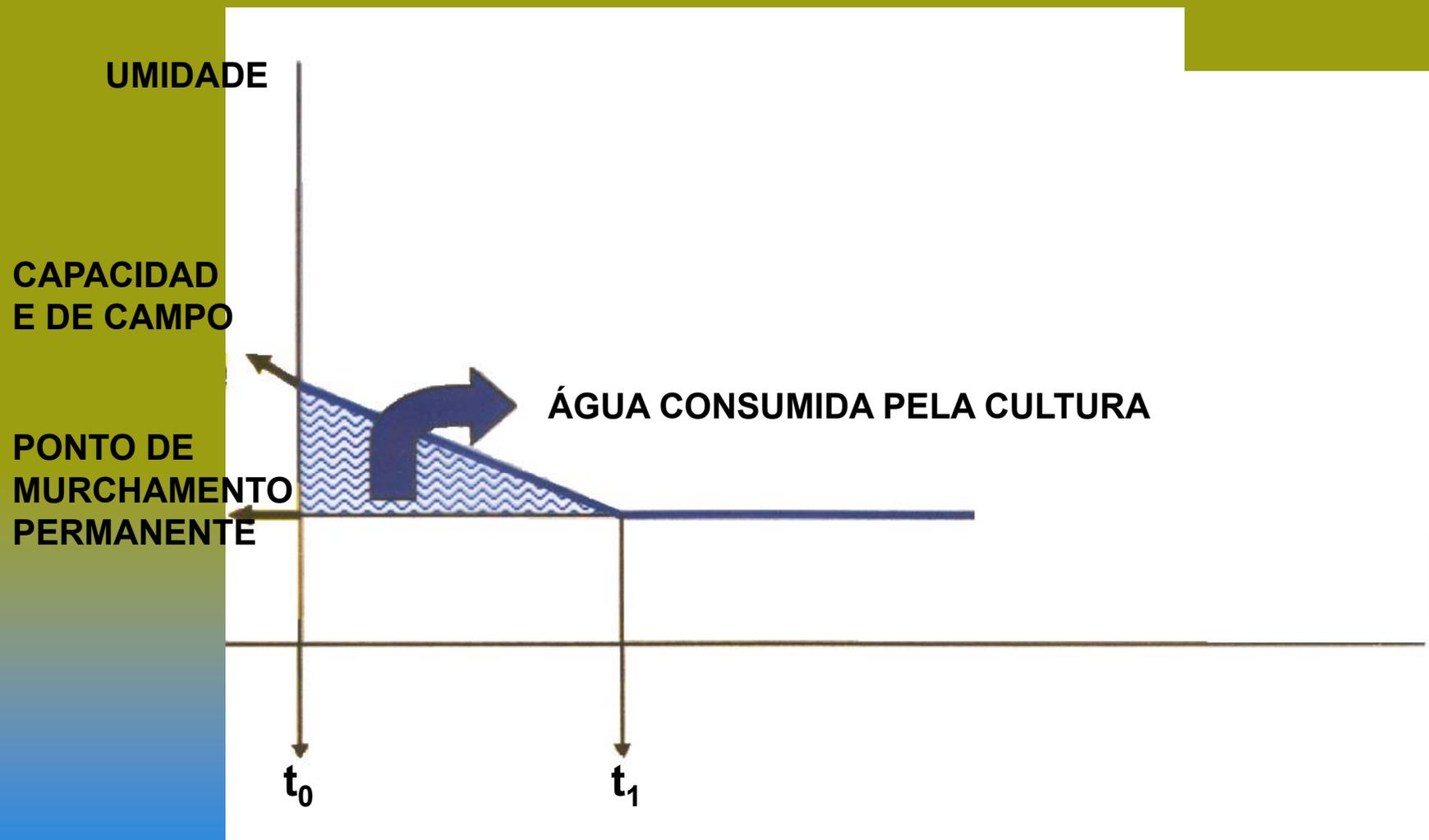
# RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA

## 1. CAPACIDADE DE CAMPO



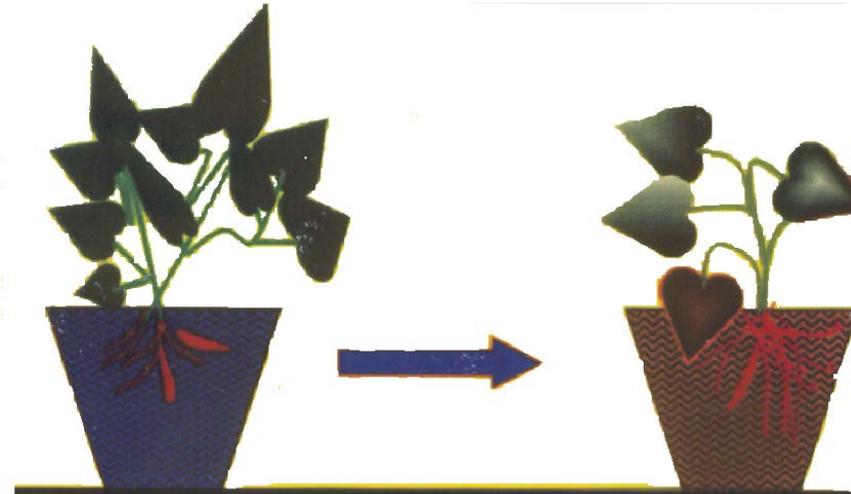
# RELAÇÕES ÁGUA-SOLO-PLANTA

## 2. PONTO DE MURCHAMENTO PERMANENTE



**SOLO COM UMIDADE A  
CAPACIDADE DE CAMPO –  
(CC)**

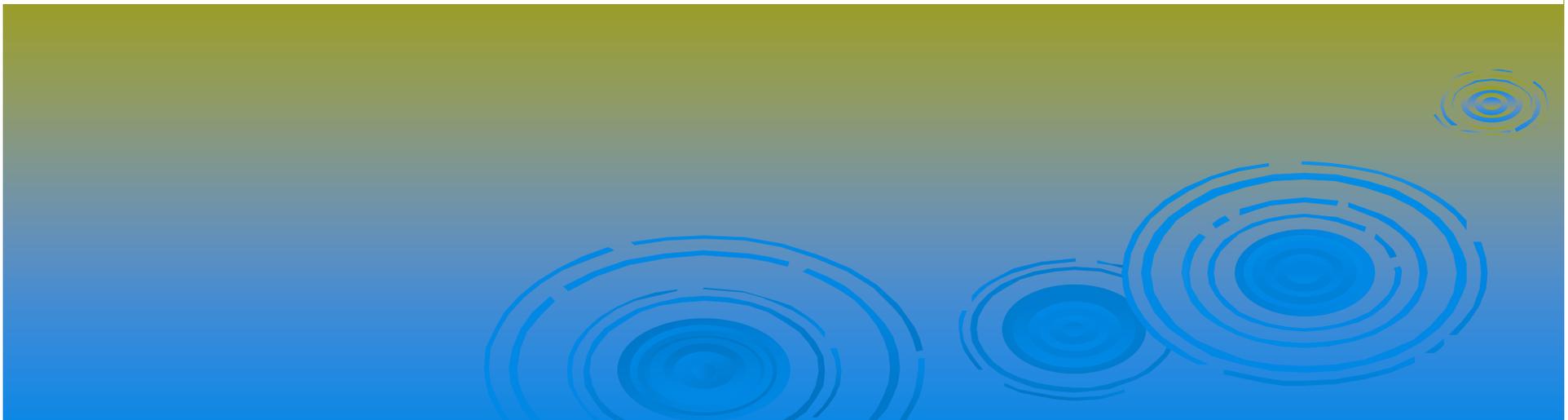
**SOLO COM UMIDADE NO  
PONTO DE MURCHA  
PERMANENTE (PMP)**



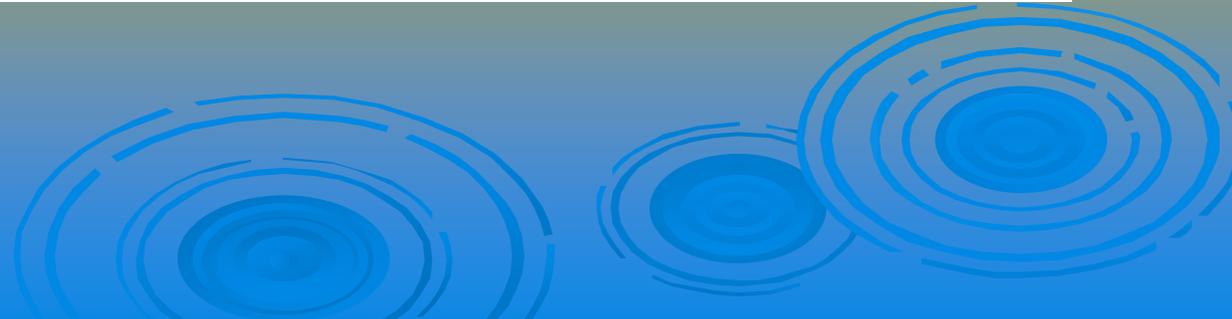
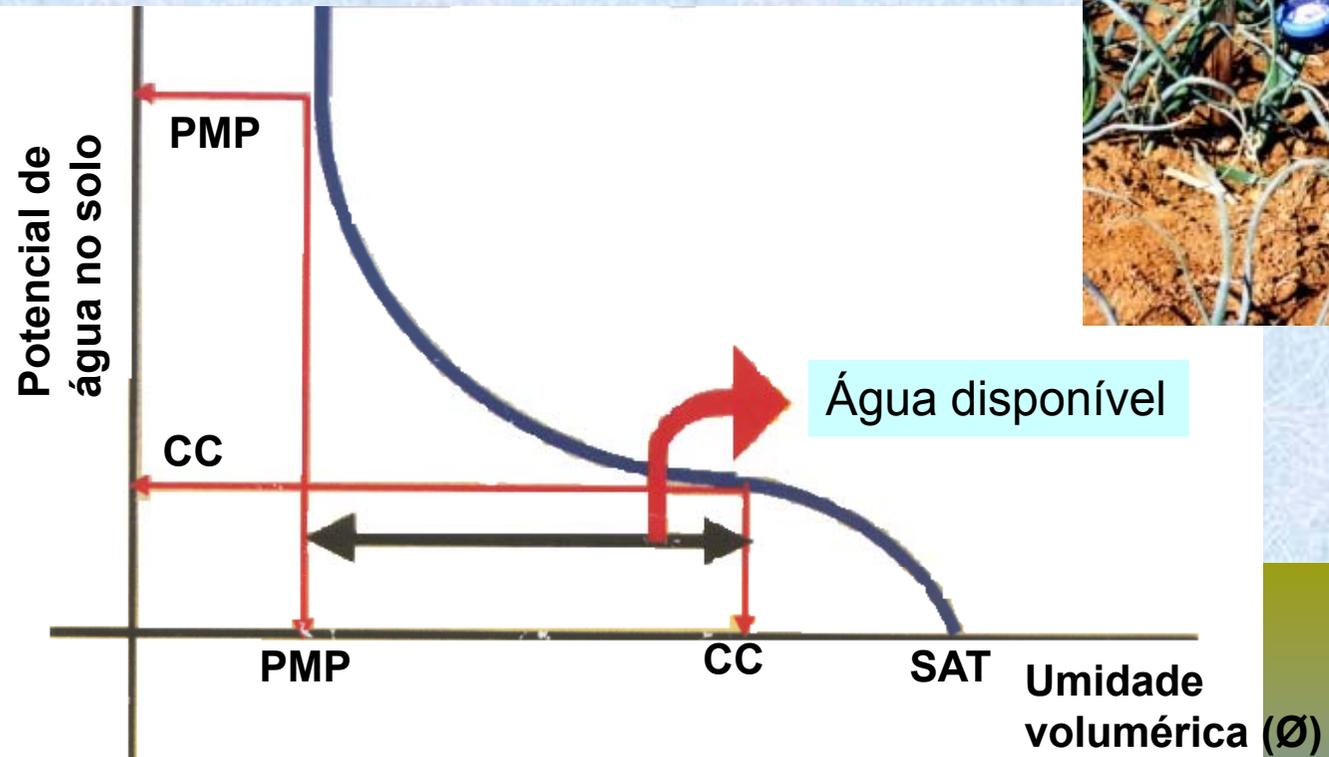
**Capacidade máxima de  
Retenção pelos microporos**

**Solo seco**

**Planta não mais entugerce**



# CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

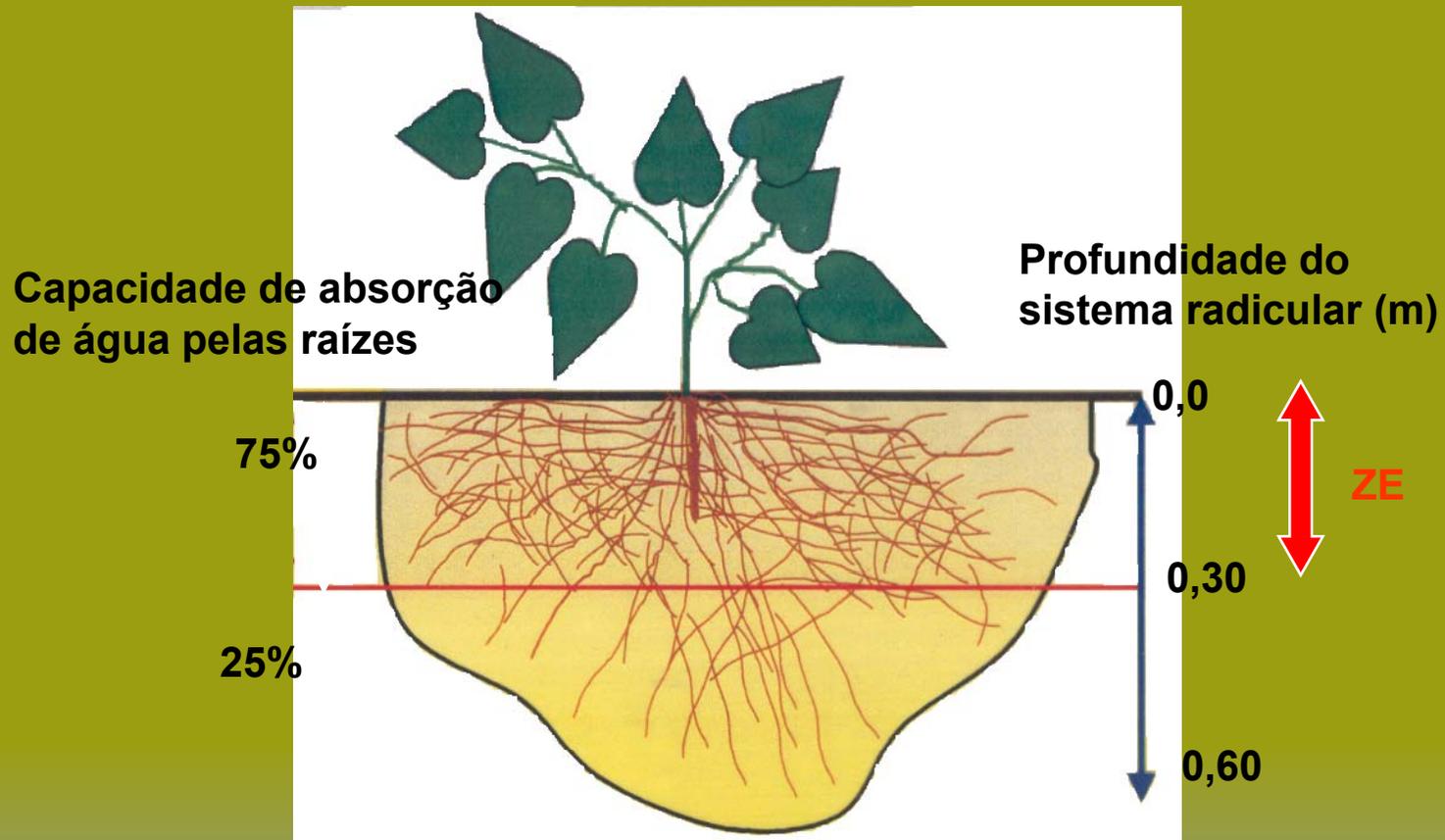


# ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO

Modelo para explicar as frações de água disponível no solo para as plantas



# PROFUNDIDADE DA IRRIGAÇÃO

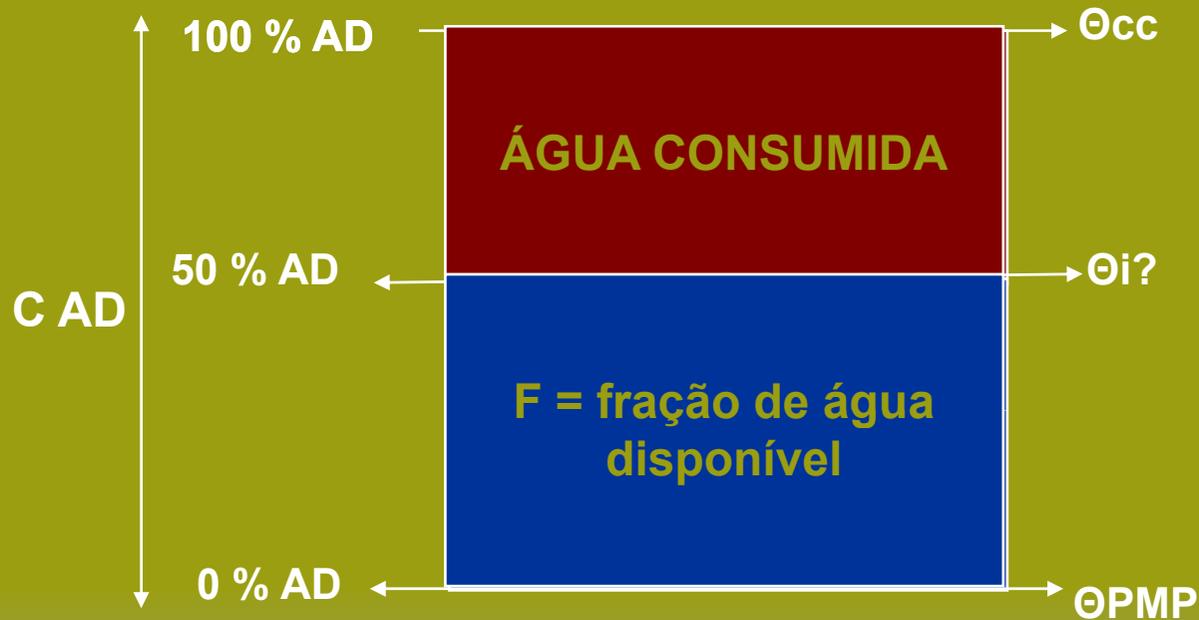


Capacidade de água disponível (CAD) ou Reservatório de água para as plantas – (Modelo)

$$\text{CAD} = \Theta_{cc} - \Theta_{PMP}) \times \text{ZE} \longrightarrow \text{mm}$$

# QUANTO IRRIGAR?

Qual o valor da umidade do solo quando a cultura consome 50% da água disponível?



$$F = \frac{\theta_i - \theta_{PMP}}{\theta_{CC} - \theta_{PMP}}$$

F é a fração de água disponível no solo para as plantas e varia de 0 a 1

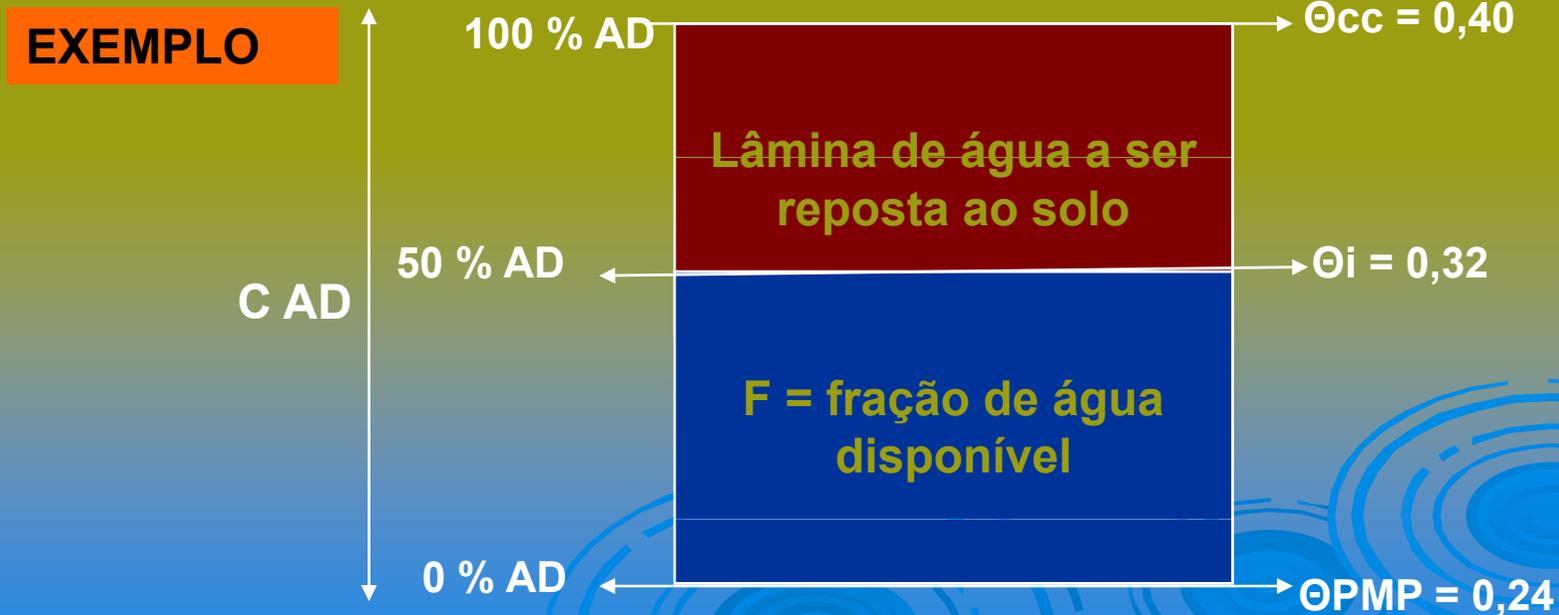
O valor da umidade do solo quando devo iniciar a irrigação é igual a:

$$\Theta_i = \Theta_{PMP} + F \times (\Theta_{cc} - \Theta_{PMP})$$



$$\Theta_i = \Theta_{PMP} + 0,5 \times (\Theta_{cc} - \Theta_{PMP})$$

Lâmina líquida de água a ser repostada ao solo

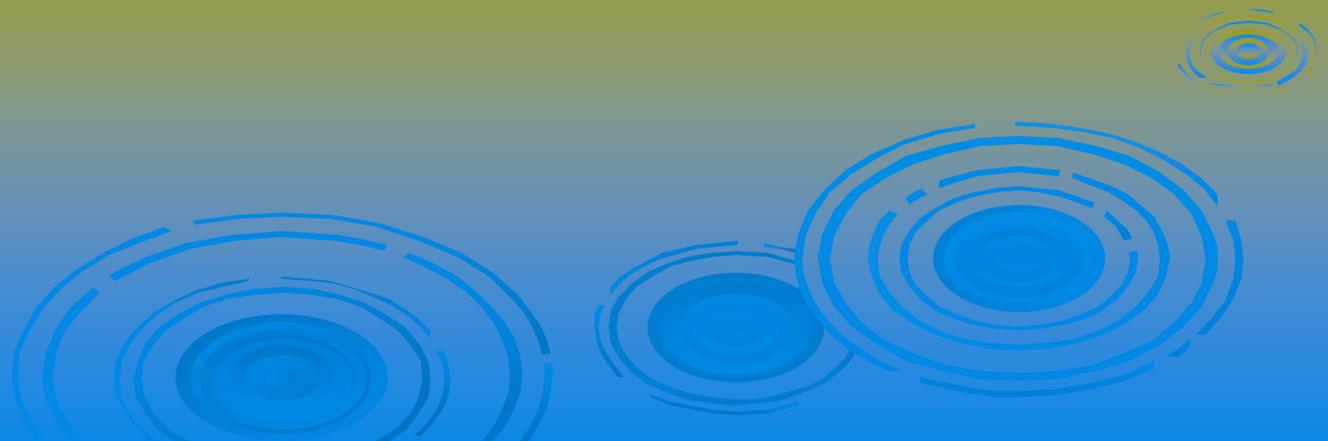


O valor da lâmina líquida de água a ser reposta ao solo é igual a:

$$L_r = (\Theta_{cc} - \Theta_i) \times Z_E \quad (\text{mm})$$

$$L_r = (0,40 - 0,32) \times 300 \quad (\text{mm})$$

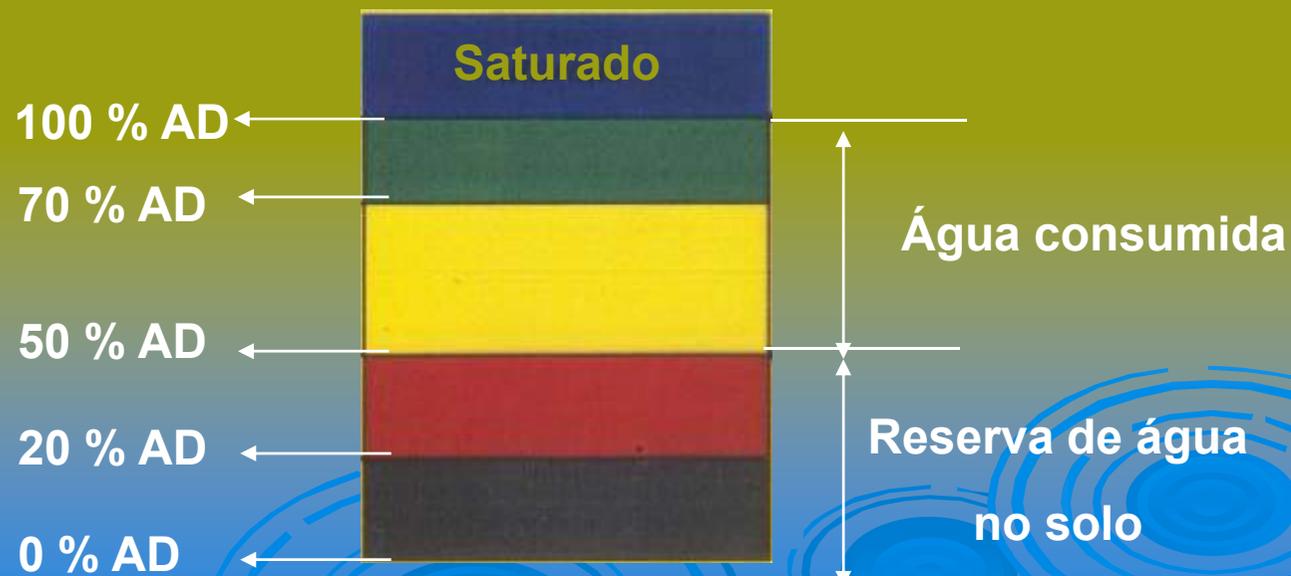
$$L_r = 24 \text{ mm}$$



## Quando irrigar?

1. Fatores a serem observados para definição do nível de água disponível no solo antes de se iniciar a irrigação:

- Capacidade de aplicação de água do pivô central;
- Cultura e fase fenológica;
- Sub-divisões de culturas e/ou épocas de plantio sob pivô central;
- Datas de aplicações de agroquímicos via pivô central.

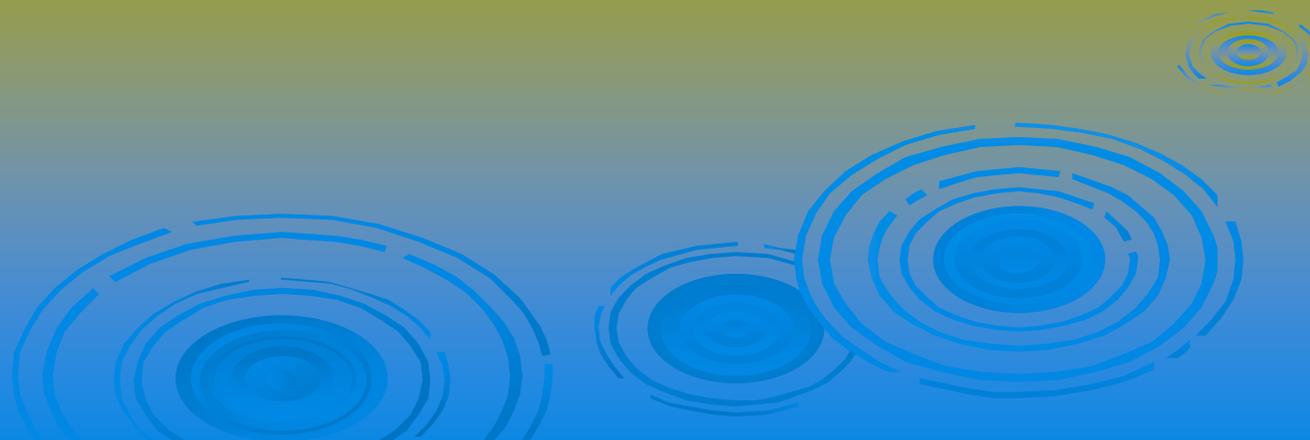


# PROPRIEDADES DE MOVIMENTAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

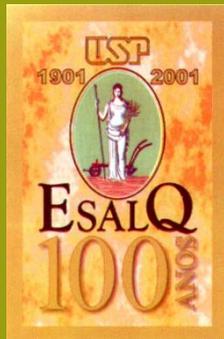
INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO



# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO



*Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti*

**LER - 1571 Irrigação**

# DEFINIÇÃO

A Infiltração é definida como sendo o processo de penetração da água no solo, através de sua superfície, no sentido vertical descendente, indo molhar camadas mais profundas.



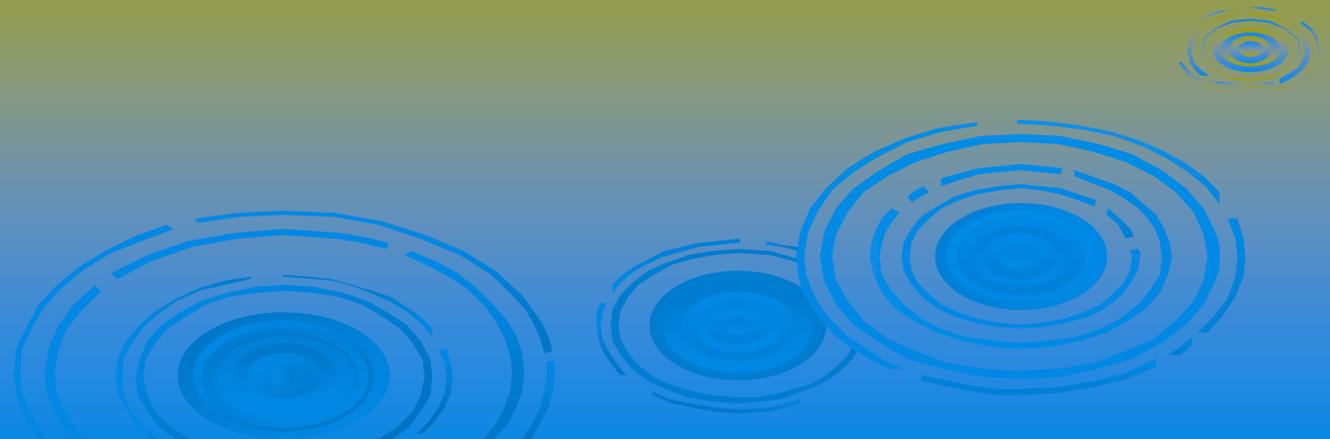
# Fatores que interferem na velocidade de infiltração

- Umidade inicial do solo
- Textura e estrutura do solo
- Matéria orgânica
- Camada de impedimento
- Variabilidade espacial
- Ar comprimido



# Métodos de determinação

-MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS



# Infiltrômetro de anéis

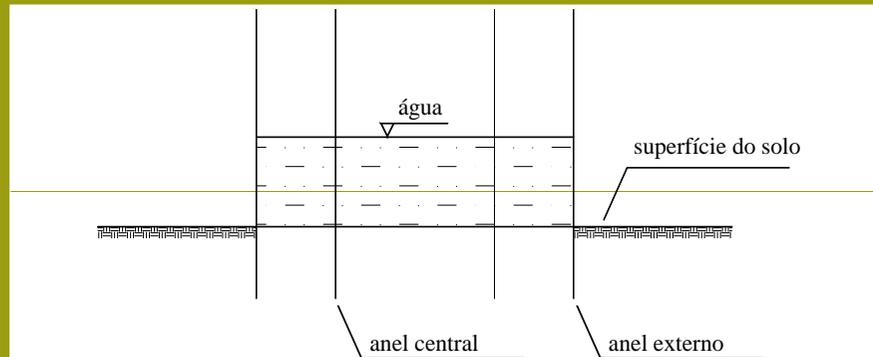
Material:

2 cilindros, interno e externo;

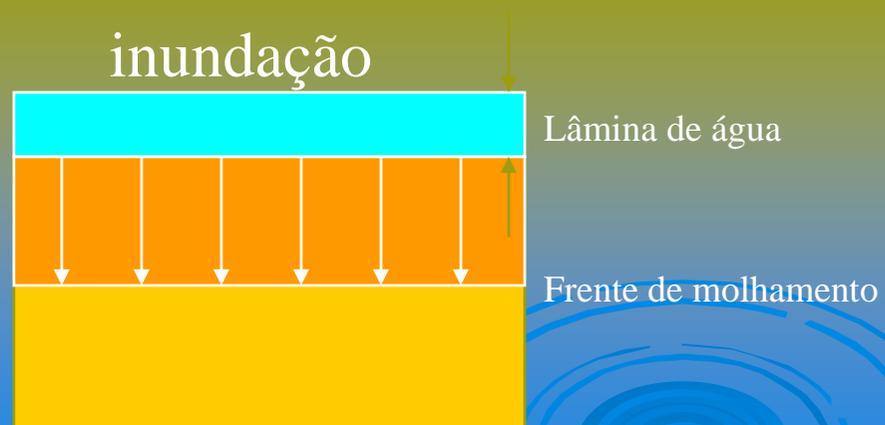
Prancha de madeira;

Marreta e Regua;

Plástico



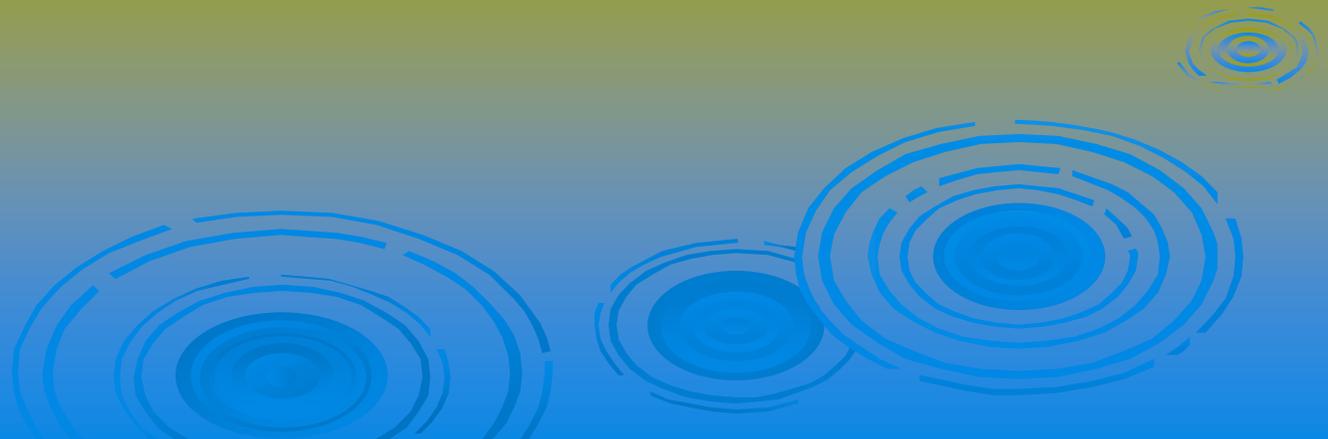
Carga variável



Carga constante

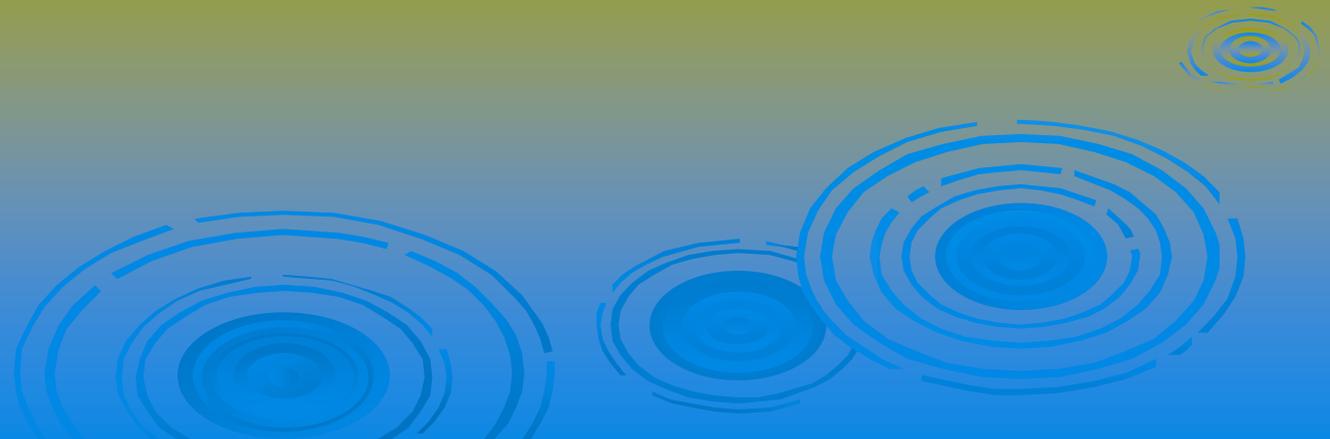
# Métodos de determinação

- MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS
- ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA NO SULCO (sulco e gotejamento)
- SIMULADOR DE CHUVA (aspersão)



# GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

- Lâmina de água infiltrada ( $I$ )
- Velocidade instantânea de infiltração ( $i$ )
- Velocidade de infiltração básica(VIB)



# MODELO DE KOSTIAKOV

$$I = K.T^m$$

Modelo potencial

I = infiltração acumulada (cm);

T = tempo de infiltração acumulado (min);

K e m = coeficiente que depende do solo (0-1)

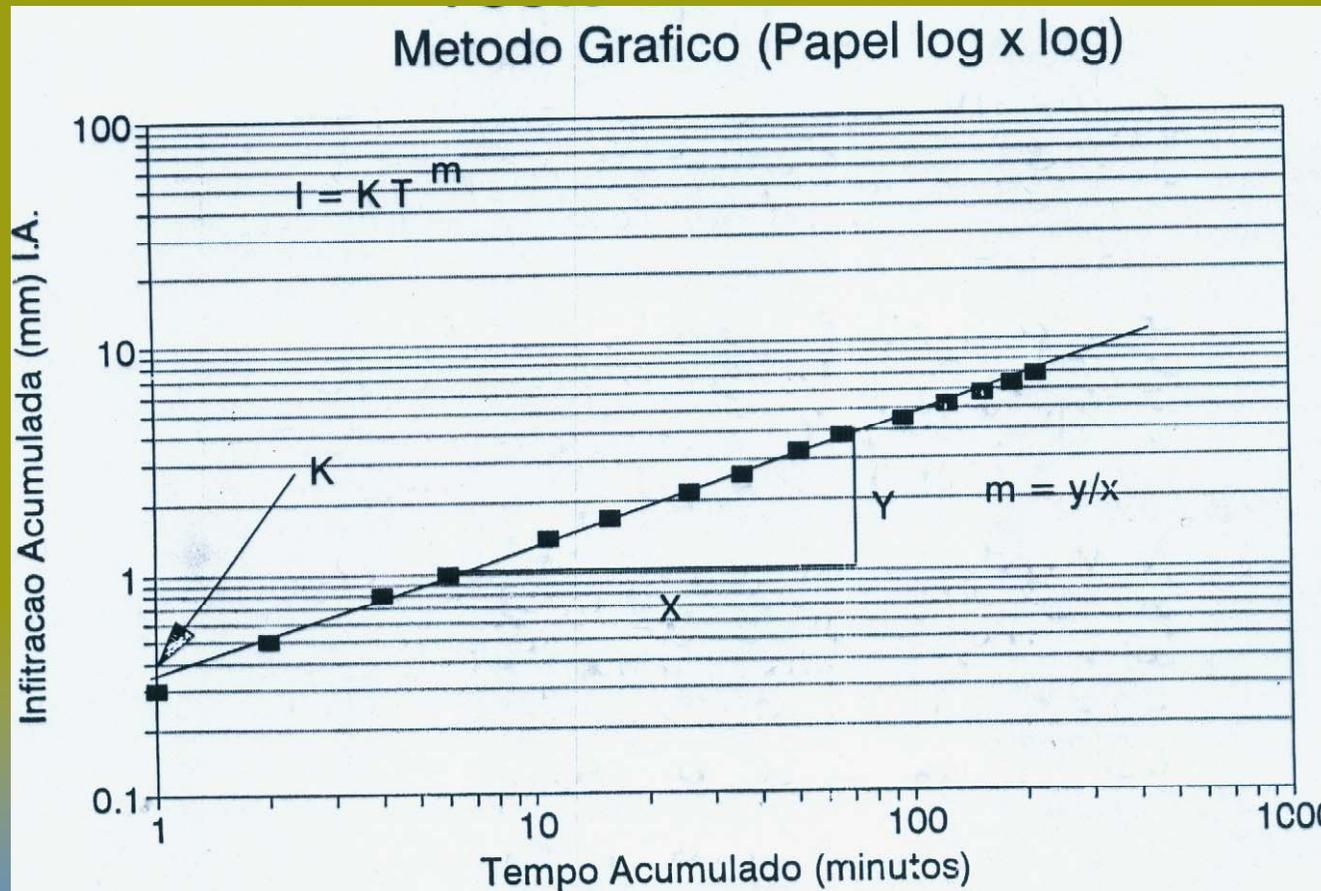
Formas para definir K e m

-gráfica

-analítica



# Resolução gráfica



# SOLUÇÃO ANALÍTICA

$$I = K \cdot T^m$$

Modelo potencial

$$\log I = \log K + m \cdot \log T$$

Modelo linear

$$\bar{Y} = A + B \bar{X}$$

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = m = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$\text{Log } K = A \quad K = \text{ant log } A$$

## Dados obtidos em um ensaio para determinação da infiltração de água no solo pelo método do infiltrômetro de anel.

| Hora  | Tempo (min) | Tempo acumulado (min) | Leitura da régua (cm) | Reposição (cm) | Infiltração (cm) | Infiltração Acumulada (cm) | Tempo acumulado (min) | X      | Y      | XY     | X <sup>2</sup> |
|-------|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------|----------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|----------------|
| 08:00 | 0           | 0                     | 10,5                  |                | 0                | 0                          | 1                     | 0      | 0,415  | 0      | 0              |
| 08:01 | 1           | 1                     | 7,9                   |                | 2,6              | 2,6                        | 2                     | 0,301  | 0,613  | 0,184  | 0,091          |
| 08:02 | 1           | 2                     | 6,4                   |                | 1,5              | 4,1                        | 4                     | 0,602  | 0,716  | 0,431  | 0,362          |
| 08:04 | 2           | 4                     | 5,3                   | 10,7           | 1,1              | 5,2                        | 6                     | 0,778  | 0,778  | 0,606  | 0,606          |
| 08:06 | 2           | 6                     | 9,9                   |                | 0,8              | 6,0                        | 11                    | 1,041  | 0,934  | 0,973  | 1,084          |
| 08:11 | 5           | 11                    | 7,3                   | 10,5           | 2,6              | 8,6                        | 16                    | 1,204  | 1,045  | 1,259  | 1,450          |
| 08:16 | 5           | 16                    | 8                     |                | 2,5              | 11,1                       | 26                    | 1,415  | 1,140  | 1,613  | 2,002          |
| 08:26 | 10          | 26                    | 5,3                   | 10,6           | 2,7              | 13,8                       | 36                    | 1,556  | 1,196  | 1,861  | 2,422          |
| 08:36 | 10          | 36                    | 8,7                   |                | 1,9              | 15,7                       | 51                    | 1,708  | 1,260  | 2,152  | 2,916          |
| 08:51 | 15          | 51                    | 6,2                   | 10,4           | 2,5              | 18,2                       | 66                    | 1,820  | 1,326  | 2,413  | 3,311          |
| 09:06 | 15          | 66                    | 7,4                   | 10,5           | 3,0              | 21,2                       | 96                    | 1,982  | 1,408  | 2,792  | 3,929          |
| 09:36 | 30          | 96                    | 6,1                   | 10,4           | 4,4              | 25,6                       | 126                   | 2,100  | 1,476  | 3,099  | 4,412          |
| 10:06 | 30          | 126                   | 6,1                   | 10,6           | 4,3              | 29,9                       | 156                   | 2,193  | 1,513  | 3,319  | 4,810          |
| 10:36 | 30          | 156                   | 7,9                   |                | 2,7              | 32,6                       | 186                   | 2,270  | 1,547  | 3,510  | 5,151          |
| 11:06 | 30          | 186                   | 5,3                   | 10,7           | 2,6              | 35,2                       | 216                   | 2,334  | 1,584  | 3,699  | 5,450          |
| 11:36 | 30          | 216                   | 7,5                   |                | 3,2              | 38,4                       | <b>Soma</b>           | 21,305 | 16,952 | 27,910 | 37,995         |
|       |             |                       |                       |                |                  |                            | <b>Média</b>          | 1,420  | 1,130  | 1,861  | 2,533          |

Lembre-se :  $Y = \log I$     $X = \log T$

# SOLUÇÃO ANALÍTICA

$$I = K \cdot T^m$$

Modelo potencial

$$\log I = \log K + m \cdot \log T$$

Modelo linear

$$\bar{Y} = A + B \bar{X}$$

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = m = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

N o número de leituras realizadas na régua durante o teste de infiltração

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$\text{Log } K = A \quad K = \text{ant log } A$$

# VELOCIDADE INSTANTÂNEA (I)

$$I = K \cdot T^m$$

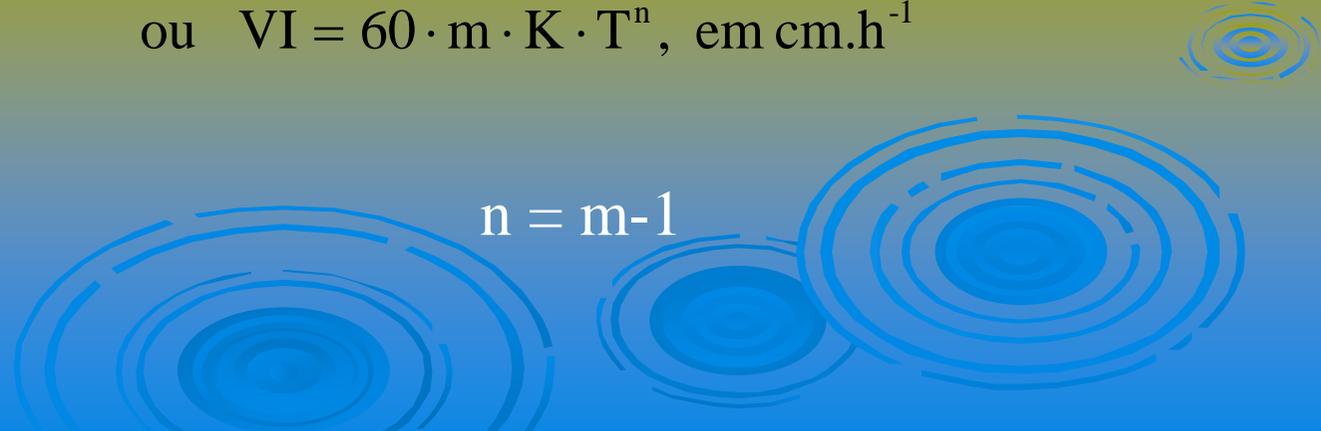
$$\frac{dI}{dT} = VI$$

Derivando a lâmina de  
infiltração em relação ao  
tempo

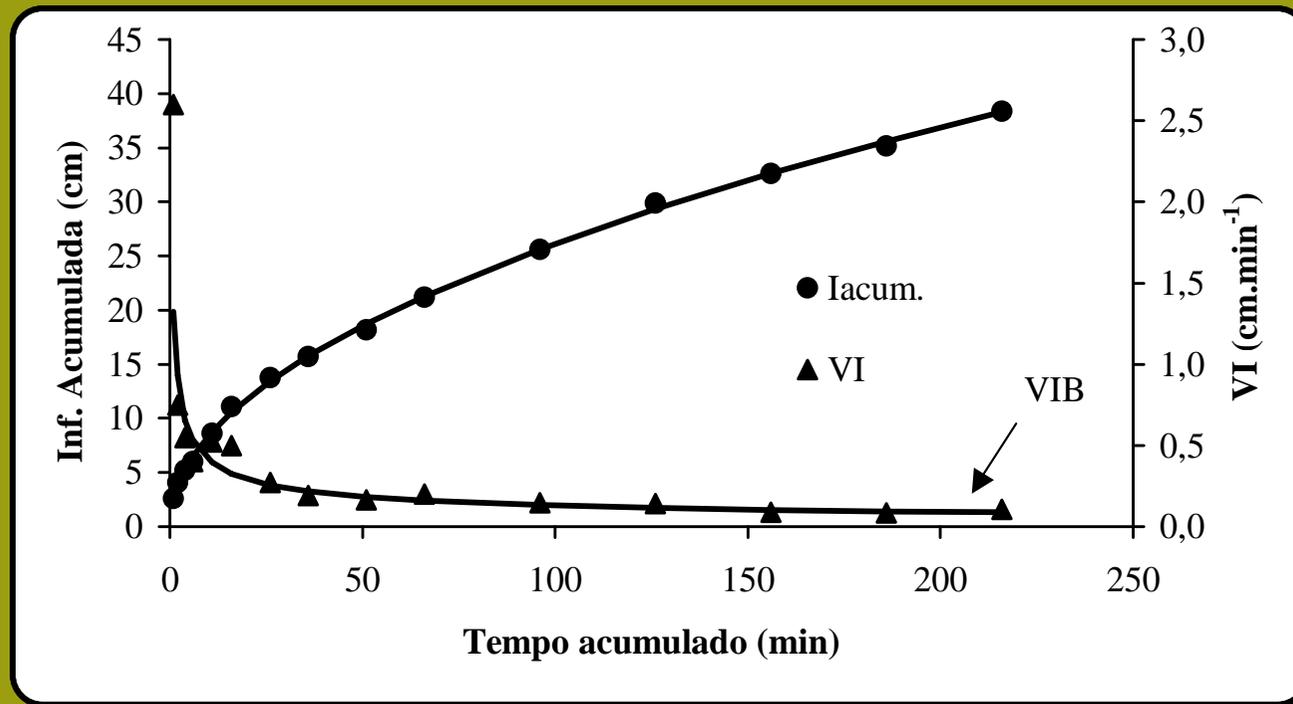
Desenvolvendo-se a equação de VI, tem-se:

$$VI = m \cdot K \cdot T^{m-1} \quad \therefore \quad VI = m \cdot K \cdot T^n, \text{ em cm.min}^{-1}$$

$$\text{ou } VI = 60 \cdot m \cdot K \cdot T^n, \text{ em cm.h}^{-1}$$

$$n = m - 1$$


# VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA (VIB)



- Solo de VIB muito alta ..... > 3,0 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB alta ..... 1,5 – 3,0 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB média ..... 0,5 – 1,5 cm.h<sup>-1</sup>
- Solo de VIB baixa ..... < 0,5 cm.h<sup>-1</sup>



Material escrito : pasta da disciplina (xerox )

## “INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO”

descrição mais detalhada e exemplo prático

AULA PRÁTICA

REALIZAÇÃO DE TESTE  
( ANÉIS ) – Relatório 1

