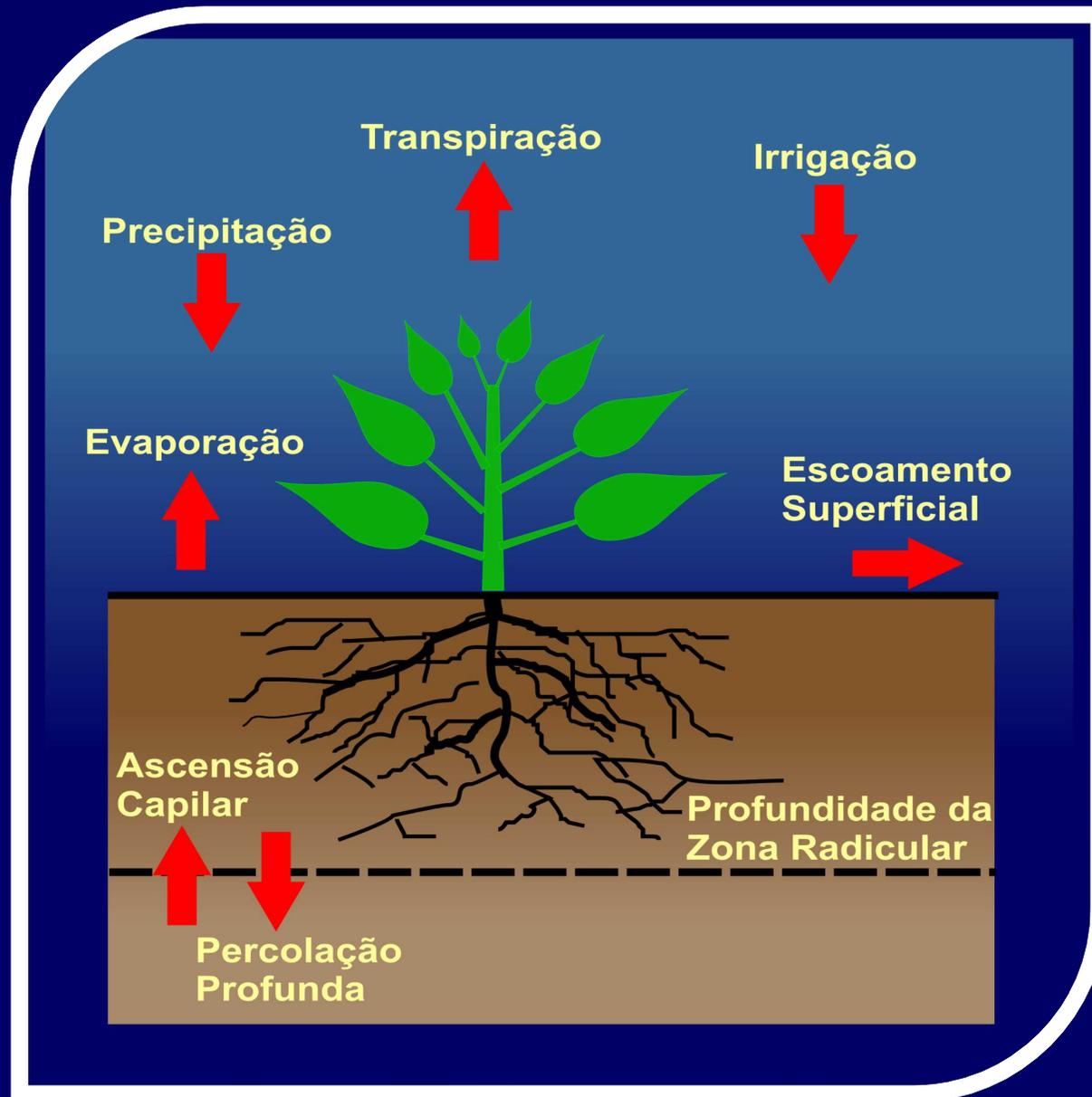


CICLO DA ÁGUA NA AGRICULTURA



ESTADO DE ENERGIA OU POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

- A água do solo, da planta, da atmosfera, assim como qualquer corpo na natureza, pode ser caracterizada por um estado de energia.
- Formas principais de energia: a cinética e a potencial.
- Energia cinética da água \Rightarrow desprezível \Rightarrow movimento da água é muito lento.
- Energia potencial da água \Rightarrow função da posição e condição interna da água no ponto em consideração. Caracterização do seu estado de energia (“energia livre de Gibbs”), que recebe o nome de “Potencial total da água”.

ESTADO DE ENERGIA OU POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

- A lei geral da natureza é a de os corpos ocuparem um estado mínimo de energia.
- A água flui do ponto de potencial mais elevado para outro mais baixo, na tendência de atingir seu equilíbrio no seu universo.
- Potencial de energia da água é a capacidade relativa da água produzir trabalho comparada àquela da água pura (estado padrão), fora dos campos adsortivos e numa mesma temperatura.

ESTADO DE ENERGIA OU POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

- A água no solo está sujeita a diversos campos de forças, resultantes da atração do solo pela água (Ψ_m), da presença do campo gravitacional (Ψ_g), da presença de solutos (Ψ_{os}), da carga hidrostática (Ψ_p) e outros (ex. temperatura).
- Potencial total:

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_g + \Psi_p + \Psi_{os}$$

UNIDADES DE POTENCIAL

- Energia por unidade de volume (erg cm^{-3} , joule m^{-3}) – estas unidades têm dimensão de pressão. Unidades mais utilizadas: bar, atm.

$$\frac{\text{Energia}}{\text{Volume}} = \frac{F L}{L^3} = \frac{F}{L^2} \left(\frac{\text{Força}}{\text{Unidade de área}} \right) = \text{Pressão}$$

- Energia por unidade de peso (erg g^{-1} , joule g^{-1}) – estas unidades têm dimensão de altura de coluna de um determinado líquido. Unidades mais utilizadas: cm H₂O, m.c.a.

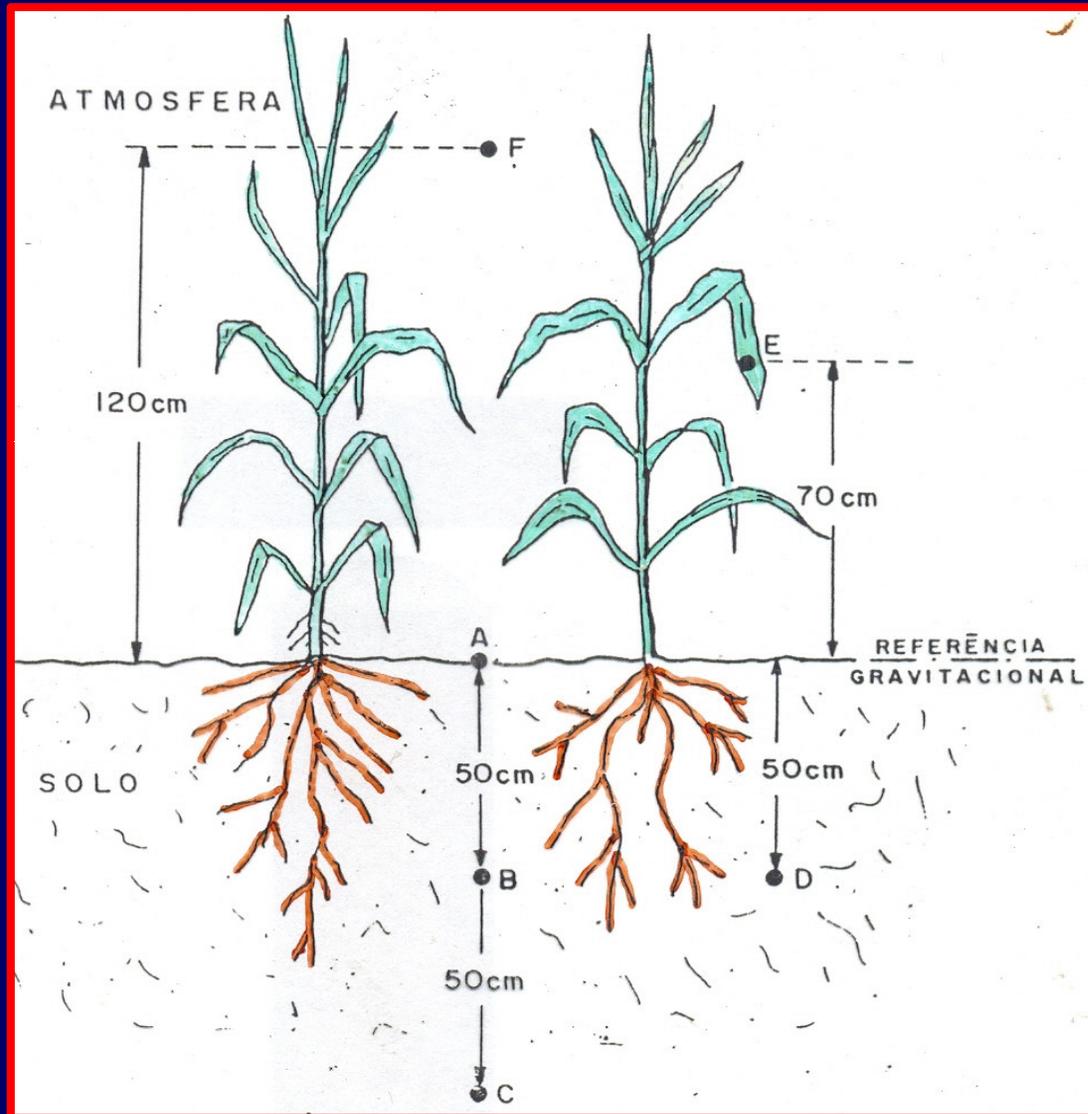
$$\frac{\text{Energia}}{\text{Peso}} = \frac{F L}{F} = L \text{ (altura de coluna de líquido)}$$

POTENCIAL GRAVITACIONAL (Ψ_g)

- Está sempre presente: é a própria energia potencial do campo gravitacional
- É medido a partir de um referencial de posição: + ou – (superfície do solo)

$$\Psi_g = -Z$$

POTENCIAL GRAVITACIONAL (Ψ_g)



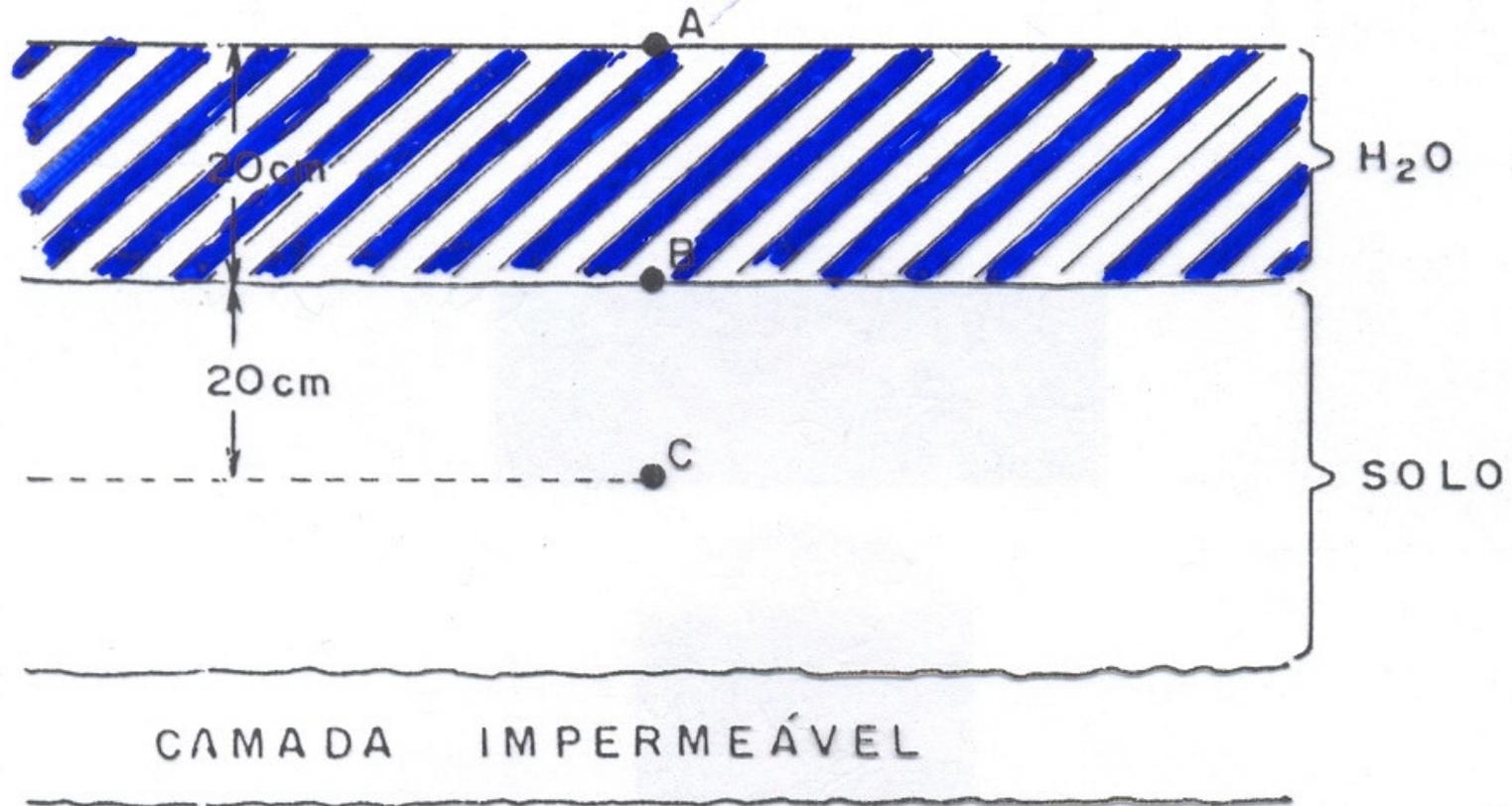
POTENCIAL DE PRESSÃO (Ψ_p)

- Aparece apenas quando a pressão que atua sobre a água é diferente da pressão atmosférica “ P_o ”
- Corresponde a uma pressão hidrostática
- É importante no caso de solos saturados

$$\Psi_p = + H$$

POTENCIAL DE PRESSÃO (Ψ_p)

Componente de pressão ψ_p

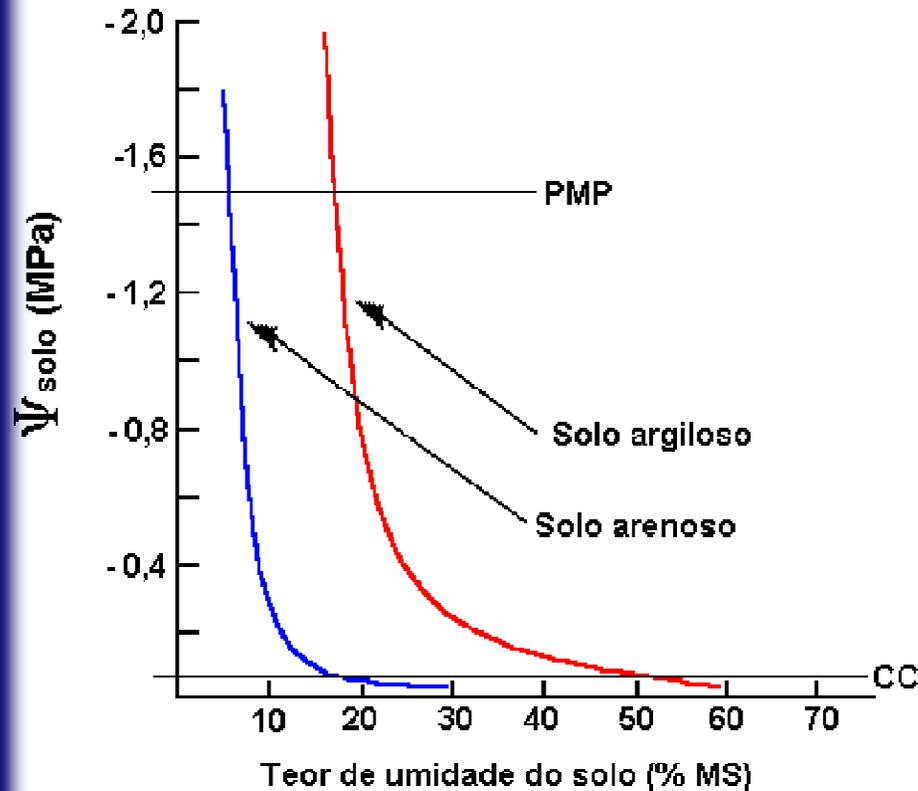


POTENCIAL MATRICIAL (Ψ_m)

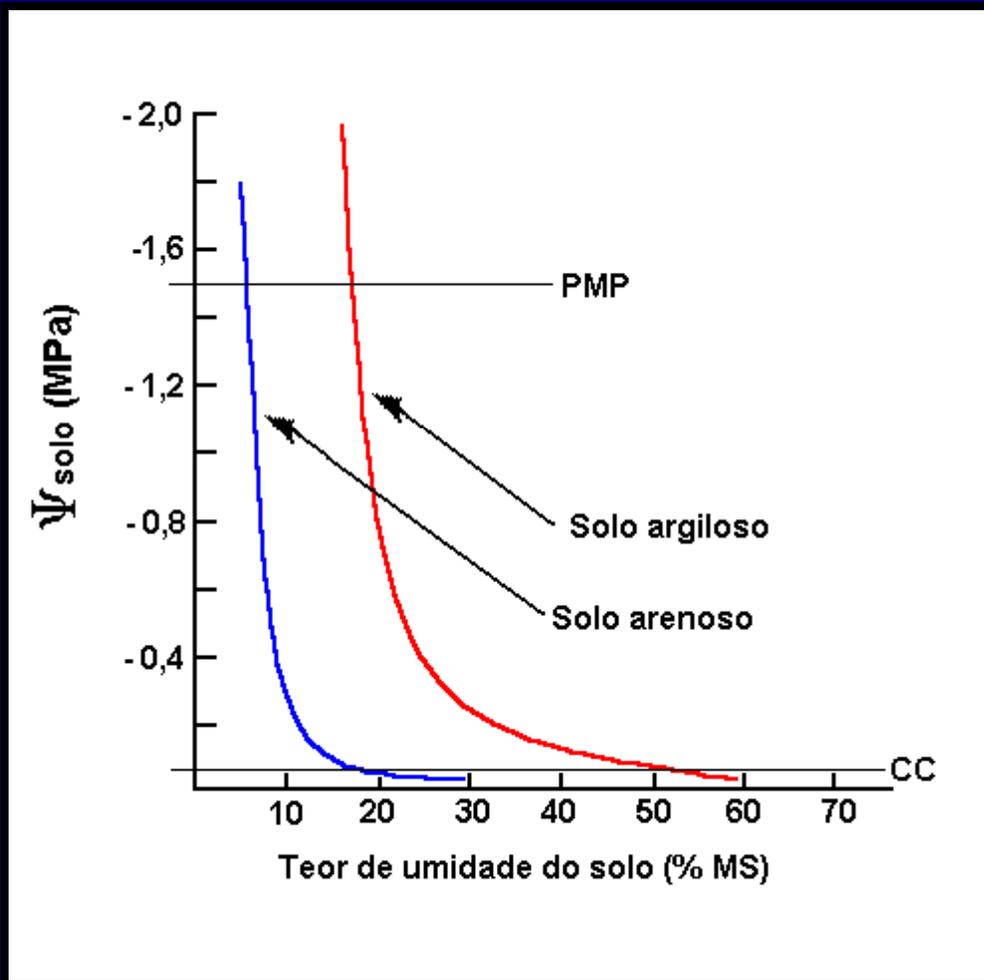
- Resultado de forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a água e as partículas sólidas \Rightarrow matriz do solo.
- Resultado do efeito combinado de dois mecanismos, capilaridade e adsorção
- O componente matricial ou tensão será negativo pois o estado de energia da água no solo é menor que o estado de energia no estado padrão (equilíbrio: $\Psi = 0$),
- O potencial matricial de um solo é função da sua umidade θ .

POTENCIAL MATRICIAL (Ψ_m)

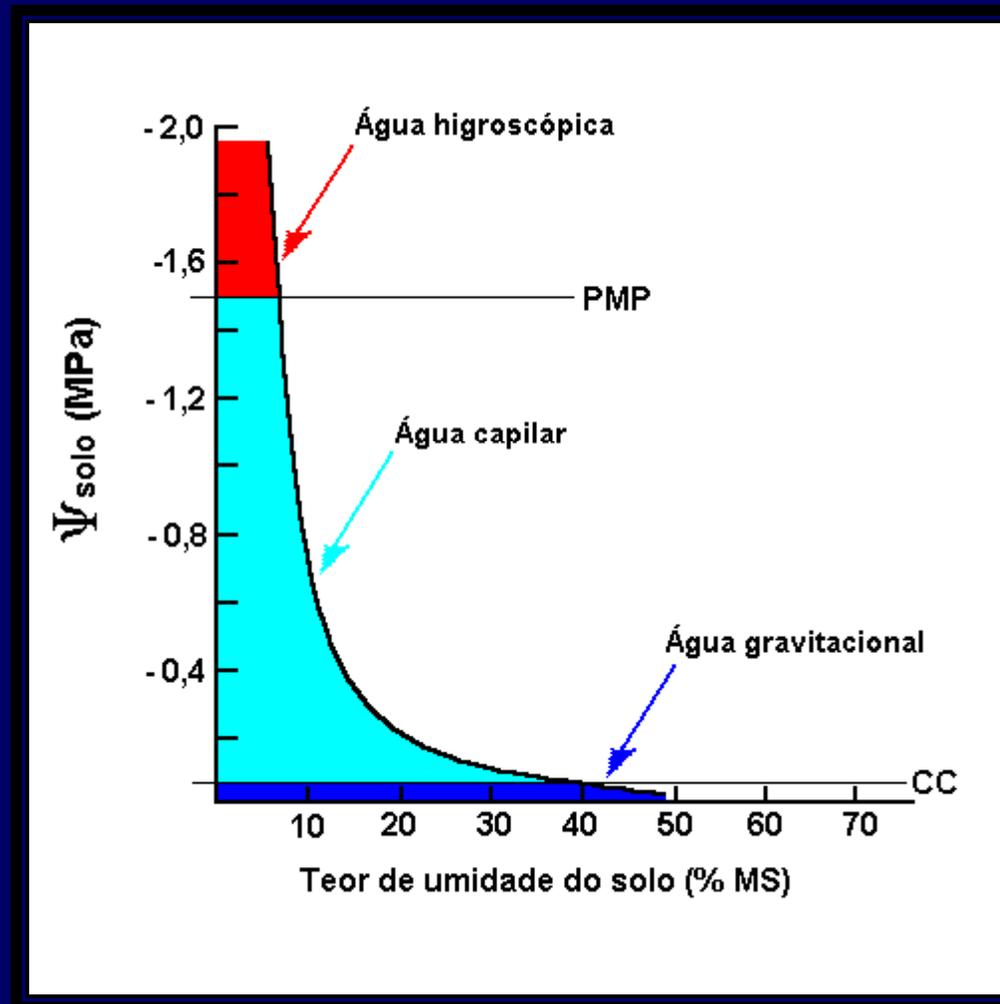
- A relação entre ϕ_m e θ é uma característica física do solo denominada de *Curva característica da água no solo*, ou *Curva de retenção*.



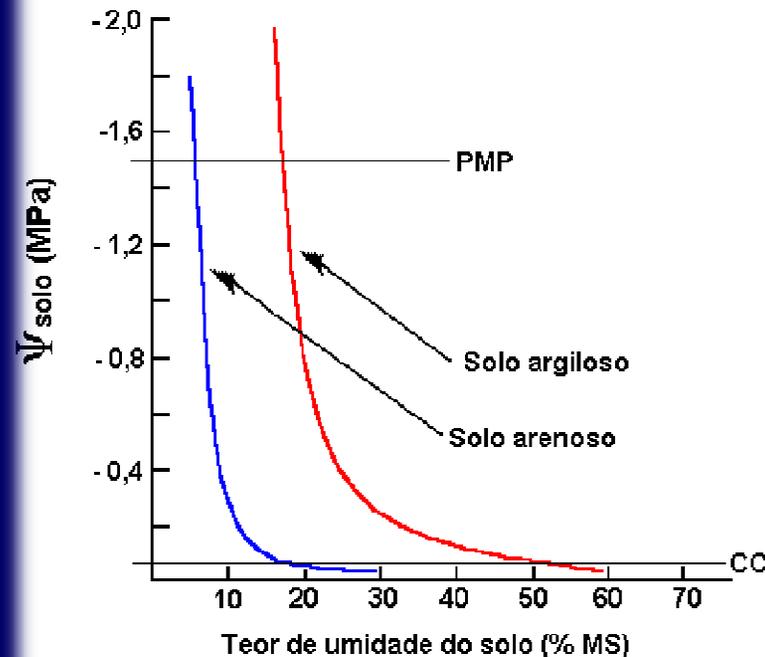
CURVA CARACTERÍSTICA DE ÁGUA NO SOLO



CURVA CARACTERÍSTICA DE ÁGUA NO SOLO



CURVA CARACTERÍSTICA DE ÁGUA NO SOLO



Limitações:

- Varia com as variações de textura, estrutura e compactação
- Variações de densidade global e de textura de um horizonte para outro podem determinar a necessidade de curvas distintas
- Apresenta o fenômeno de histeresse

POTENCIAL MATRICIAL (Ψ_m)

- Para um solo saturado, não existem meniscos (interface água/ar) e a adsorção é nula
 $\Rightarrow \Psi_m = 0$
- Quanto menor θ , mais negativo ϕ_m
- Solos úmidos ($> \theta$): a capilaridade é o principal fenômeno que determina Ψ_m
- Solos secos ($< \theta$): a adsorção é o fenômeno que determina Ψ_m

POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



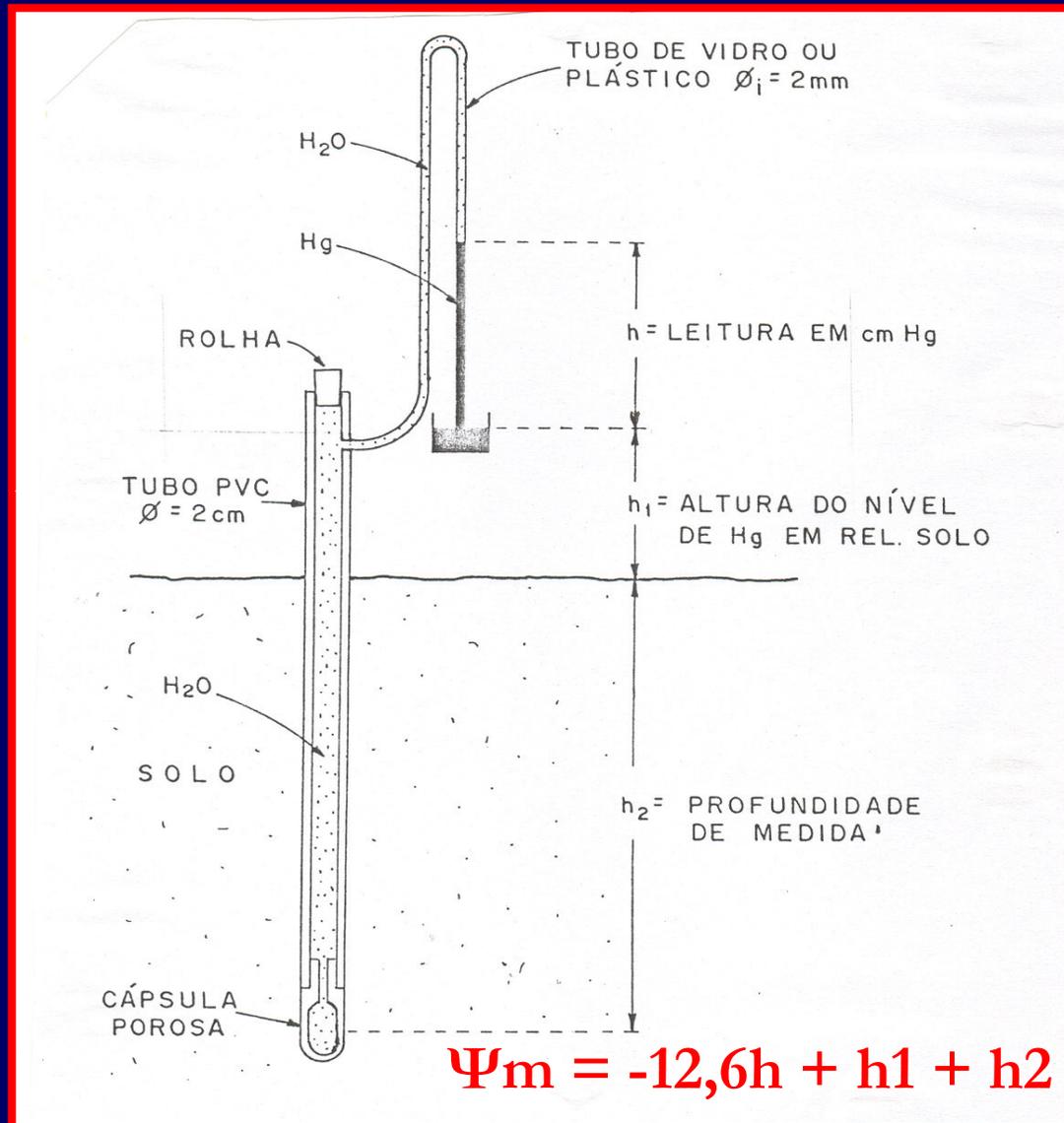
POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO

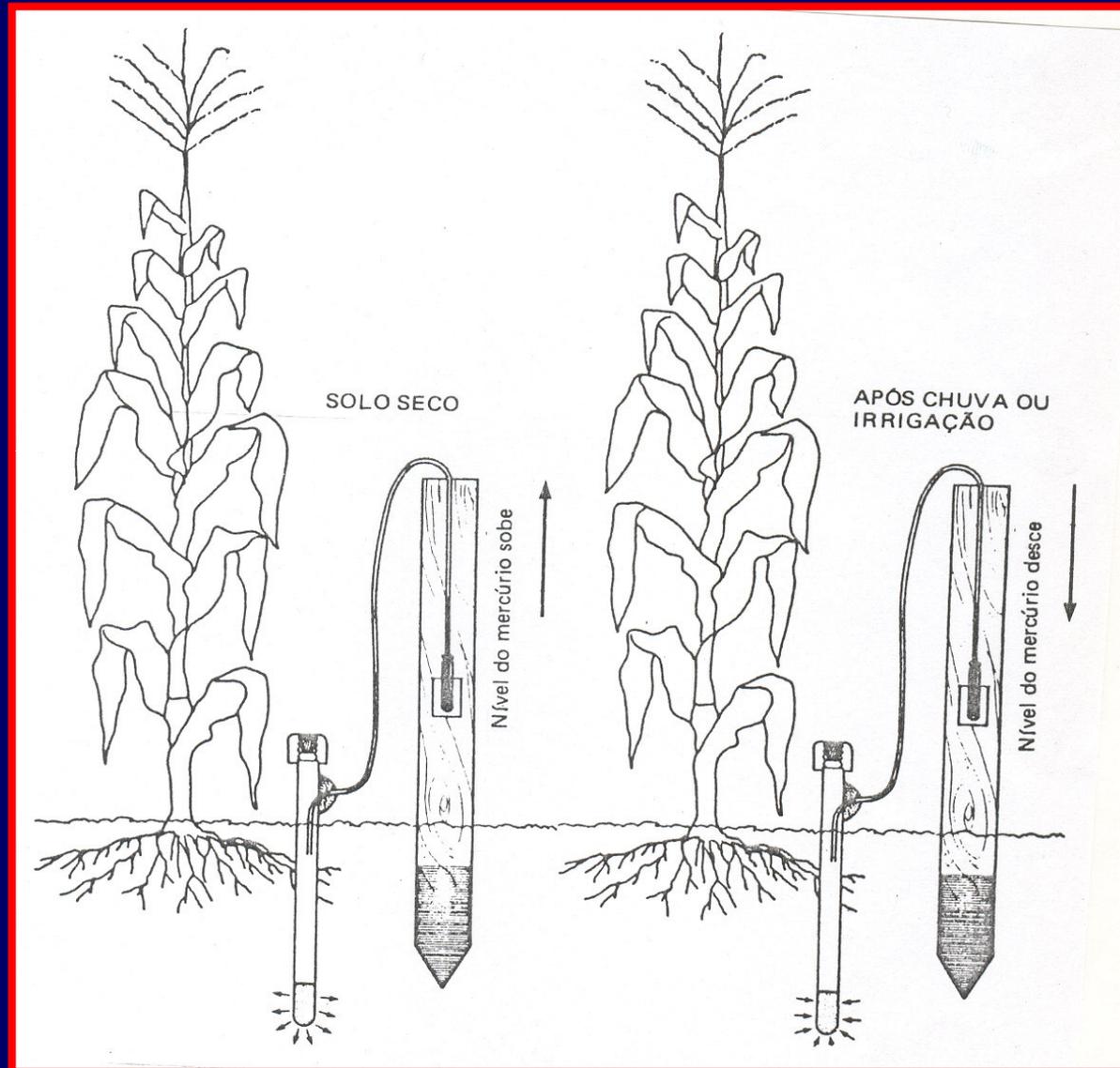


POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO

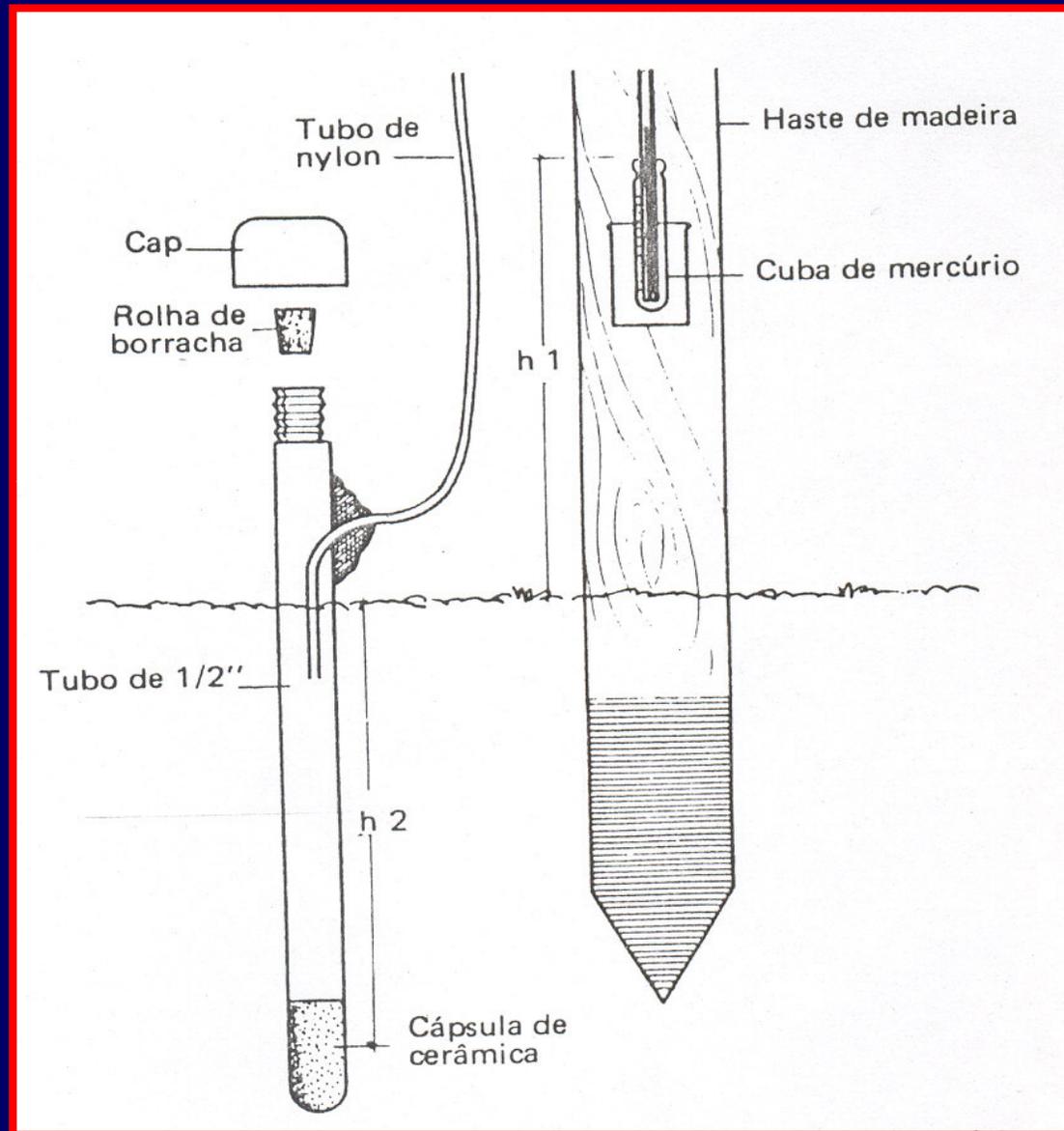


1 atm
=
76 cmHg
=
1033 cmH₂O
=
1,033 bar
=
101,3 KPa

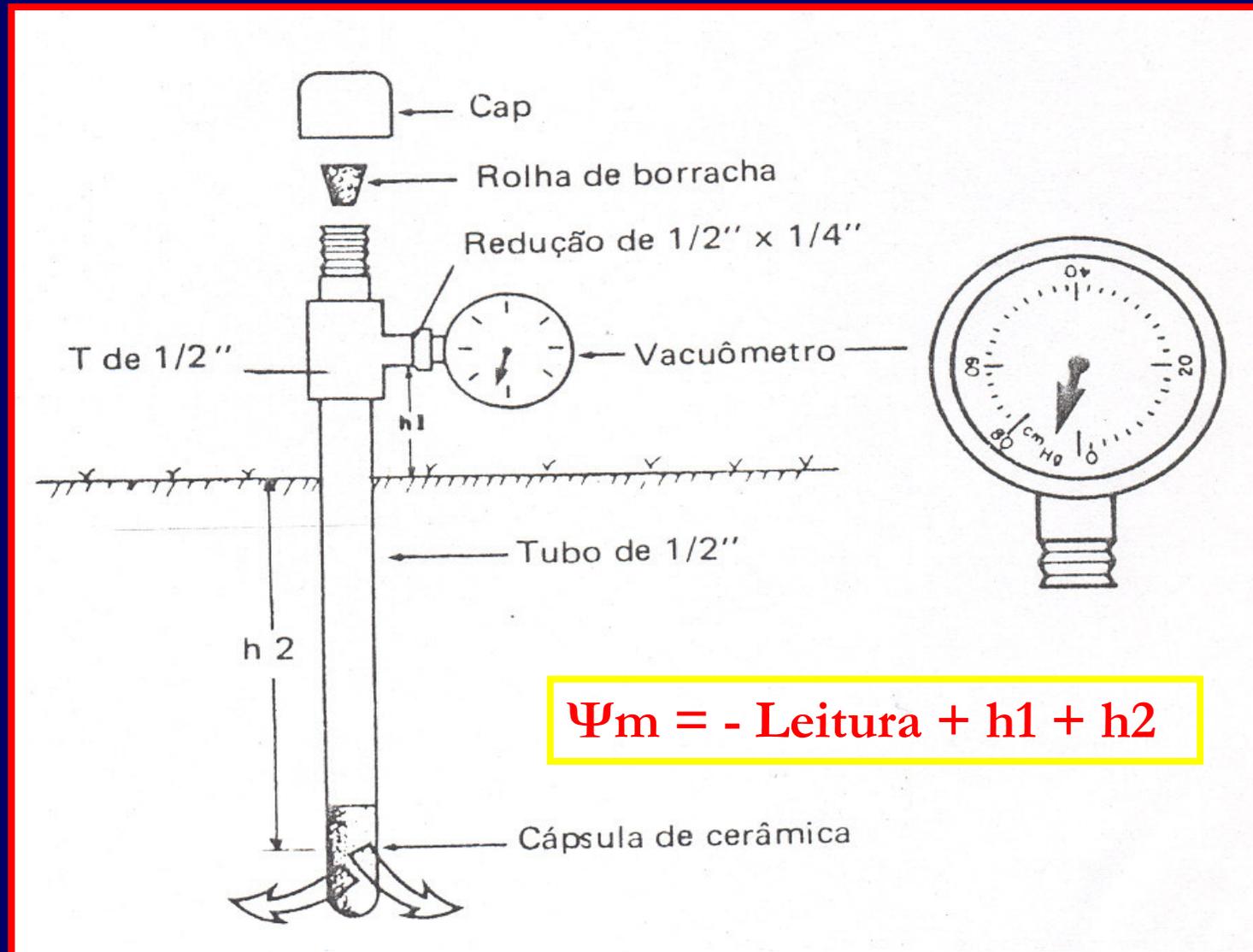
POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO



POTENCIAL MATRICIAL - TENSIÔMETRO

CULTURA	PERÍODOS CRÍTICOS	RAÍZES (cm)	TENS. (CM)		TENSÃO DA ÁGUA	
			Sup.	Prof.	Atm	cmHg
Alface	Formação da cabeça à colheita	20 - 30	15	-	0,43 - 0,63	32 - 48
Alho	Crescimento do bulbo	20 - 40	15	-	0,43 - 0,53	32 - 40
Batata	Floração e tuberização	40 - 60	20	60	0,33 - 0,53	25 - 44
Cebola	Desenvolvimento do bulbo	30 - 50	20	-	0,48 - 0,58	37 - 44
Cenoura	Primeiro mês após emergência	45 - 75	15	45	0,48 - 0,68	36 - 51
Feijão	Crescimento e enchimento de grãos	40 - 60	20	50	0,33 - 0,43	25 - 33
Laranja	Florescimento e pegamento de frutos	120 - 160	30	100	0,24 - 1,00	18 - 79
Milho	Florescimento e enchimento de grãos	80 - 130	25	100	0,44 - 0,74	33 - 56
Soja	Floração e formação de grãos	60 - 130	25	100	0,54 - 1,53	41 - 116

POTENCIAL OSMÓTICO (Ψ_{os})

- Considerando os íons e outros solutos encontrados na água do solo, a água adquire uma energia potencial osmótica " Ψ_{os} "
- Quanto mais concentrada a solução, menor o estado de energia da água e mais negativo " Ψ_{os} "
- É uma ocorrência não desejada

$$\Psi_{os} = - R T C$$

$$\Psi_{os} = - 36,0 C E_e$$

R – Constante geral dos gases = $0,082 \text{ atm mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}$;

T – Temperatura absoluta da solução $^\circ\text{K}$;

C – Concentração da solução, mol l^{-1} ;

$C E_e$ – Condutividade elétrica, dS m^{-1} .

POTENCIAL TOTAL (Ψ_t)

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_g + \Psi_p + \Psi_{os}$$

Solo não saturado

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_g$$

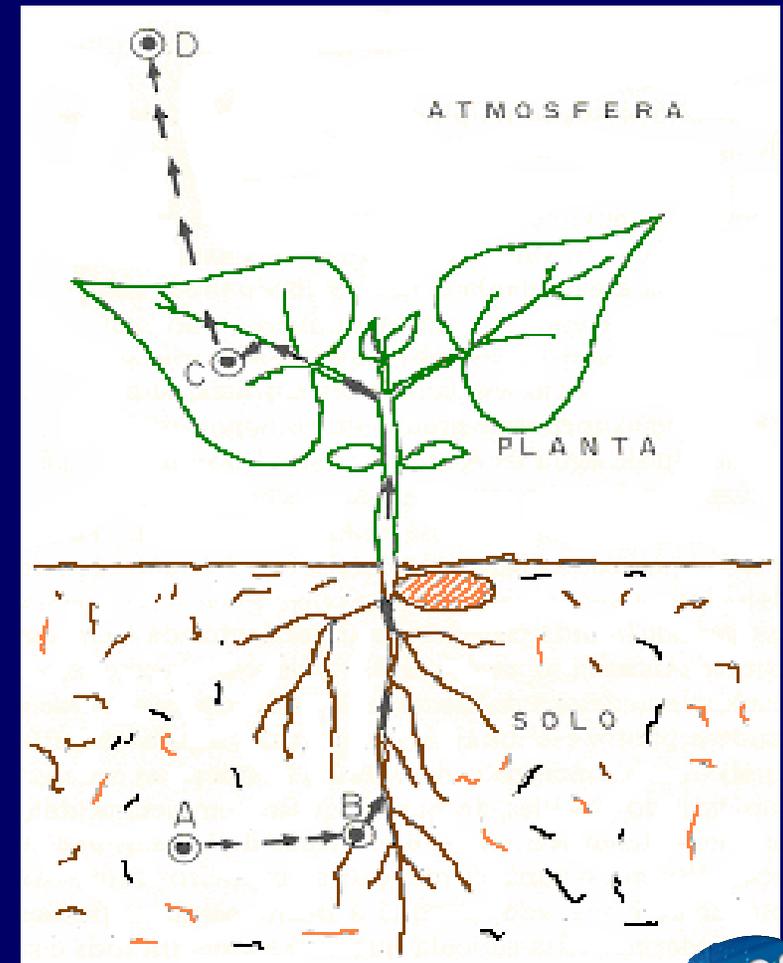
Solo saturado

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_p$$

MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

DIFERENÇA DE POTENCIAL

- A água no estado líquido move-se sempre que existirem diferenças de potencial nos diferentes pontos dentro do sistema;
- O movimento dá-se no sentido do decréscimo do potencial, isto é, a água se move de pontos de maior potencial para os pontos de menor potencial.



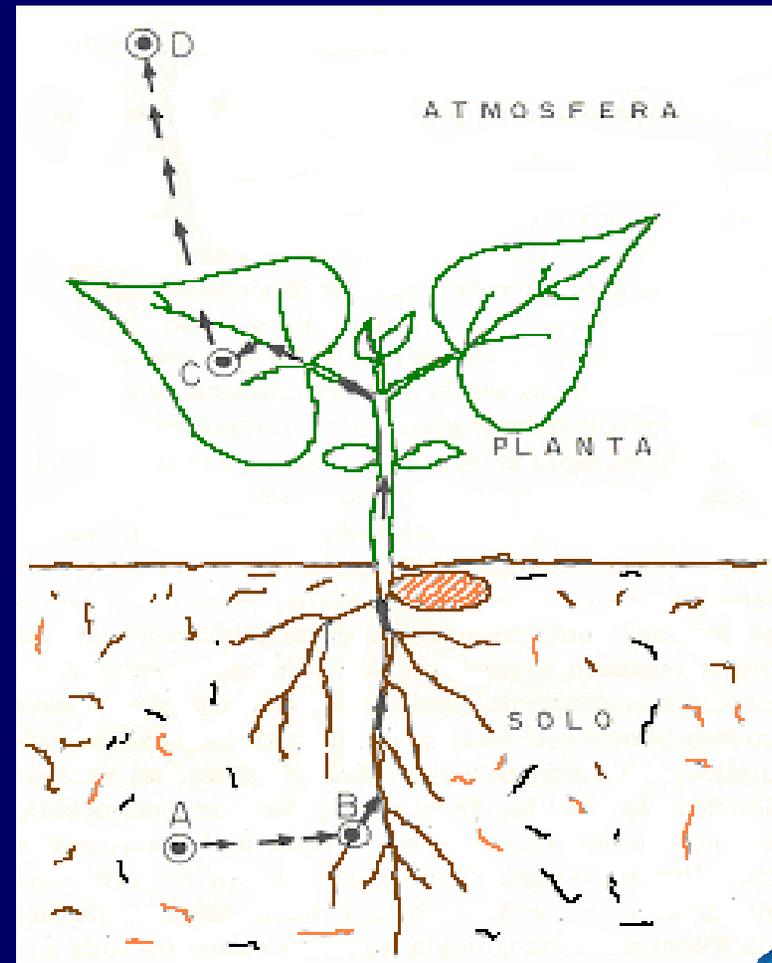
MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

DIFERENÇA DE POTENCIAL

- Se o potencial total da água em um dado ponto A no solo é $\psi(A)$ e em outro ponto B é $\psi(B)$, a diferença de potencial entre os pontos $\Delta\psi$ será:

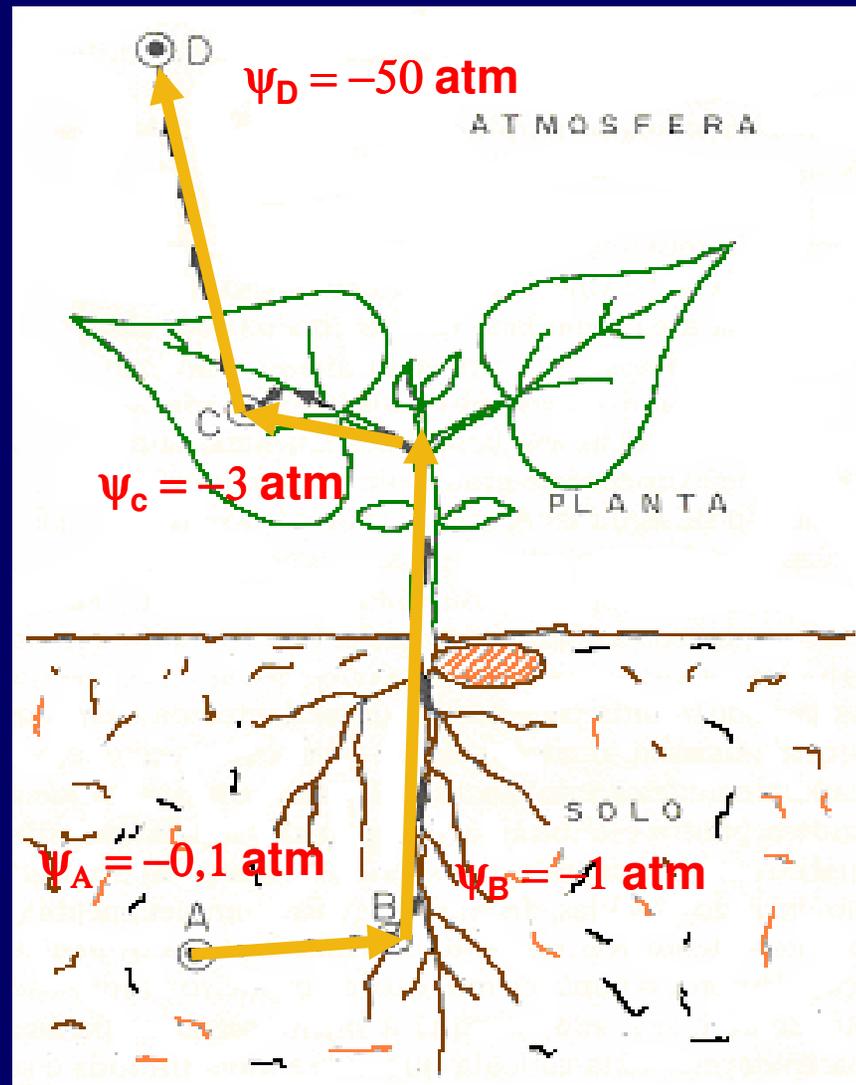
$$\Delta\psi = \psi(A) - \psi(B)$$

- A diferença de potencial entre dois pontos é um indicativo de movimento de água



MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

Movimento de água
no sistema
solo-planta-atmosfera



Fonte: Klaus Reichardt

MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

GRADIENTE DE POTENCIAL

- O gradiente de potencial é uma grandeza física que mede o sentido no qual um campo potencial apresenta maior crescimento;
- Assim, se a diferença de potencial $\Delta\Psi = \Psi(A) - \Psi(B)$, onde $\Psi(A) > \Psi(B)$, for dividida pela distância entre os pontos A e B (Δx), resultará em:

$$\text{Grad } \Psi = \frac{\Delta\Psi}{\Delta X}$$

MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

GRADIENTE DE POTENCIAL

- O gradiente indica quantas unidades de ψ o campo aumenta por unidade de distância

$$\text{Grad } \Psi = \frac{\Delta \Psi}{\Delta X}$$

- Gradiente é energia (trabalho) e como ΔX é deslocamento

$$\text{Grad } \Psi = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Deslocamento}} = F$$

- Gradiente de potencial é, então, igual a força responsável pelo movimento da água, porém, em sentido contrário

$$\text{Grad } \Psi = -F$$

MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

GRADIENTE DE POTENCIAL

- Henry Darcy (1856) foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitasse quantificar o movimento da água, a partir da observação de infiltração de solução em colunas de areia homogênea em condições de saturação
- A água move-se na existência de um gradiente de potencial nos diferentes pontos de um sistema, no sentido do maior para o menor potencial



MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

DENSIDADE DE FLUXO – DARCY (1856)

$$q \propto \text{Grad } \Psi$$

$$q = -k \text{ Grad } \Psi$$

- O movimento de água é influenciado por uma característica intrínseca do solo (k), chamada condutividade hidráulica

- A condutividade hidráulica, k , é um parâmetro que mede a facilidade com a qual o solo transmite água
- K é tanto maior quanto maior a umidade θ
- K é máximo quando o solo se encontra saturado (θ_s)

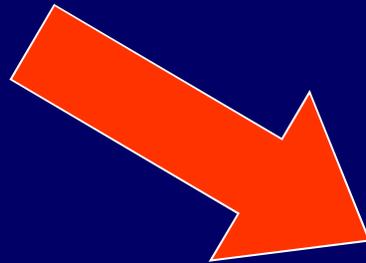
MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO

DENSIDADE DE FLUXO – DARCY (1856)

$$q = -k \text{ Grad } \Psi$$

- A densidade de fluxo (q) é o volume de água que passa pela unidade de área transversal, por unidade de tempo

$$q = \frac{V}{A t}$$



$$k = - \frac{q}{\text{Grad } \Psi}$$

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E RECOMENDADA

- Bernardo, S. Manual de irrigação
- Klar, A. Água no sistema solo-planta-atmosfera
- Reichardt, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera
- Reichardt, K. A água em sistemas agrícolas