

# AULA 5

# MANEJO DA

# IRRIGAÇÃO

LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP





Prof. Patricia A A Marques









## MANEJO da irrigação

“Manejo pode ser definido como o uso criterioso dos recursos disponíveis para se atingir um determinado objetivo. No caso da irrigação, as práticas de manejo têm por objetivo maximizar a produção vegetal com o menor consumo de água. Em outras palavras, a água aplicada deve ser efetivamente utilizada para a produção, com o mínimo de perdas. “







# MANEJO DA IRRIGAÇÃO

- ✓ Evitar o desperdício dos recursos hídricos;
  - ✓ Minimizarem os impactos ao meio ambiente;
  - ✓ Aumentar a rentabilidade das atividades agrícolas.
- 
- 
- 
- 



O manejo da irrigação depende:

- Sistema de irrigação;
  - Grau de automação;
  - Necessidade de sistematização;
  - Medição de vazão e horário durante a irrigação;
  - disponibilidade de água e mão de obra.
- 
- 





## MÉTODO DIRETO:

- Medição direta no campo das necessidades da cultura: Lisímetros





# Lisímetro de Pesagem

- 3,91 m de diâmetro
- 12 m<sup>2</sup>
- 1,3 m profundidade
- 3 células de carga de 10.000 kg cada



# Consumo horário



# MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO



Via planta



Via clima



Via solo








Via planta

Monitora o estado hídrico da planta





# Foco é a planta

Ideal sob o rigor científico → Limitados para aplicação em campo

- poucas informações de referência
- dificuldade operacional
- operador treinado e com conhecimentos
- Aparelhos sofisticados
- mais usado na pesquisa
- Métodos promissores



A condição hídrica da planta é uma resultante de sua interação com o sistema solo-atmosfera.

- 
- 
- Abertura de estômatos (porômetro)
  - Estimativa de transpiração (IRGA)
  - Potencial de água na folha (Câmara de Scholander)
  - Fluxo de seiva
- 
- 




# Porômetro

Há uma forte correlação entre a condutância estomática e o potencial hídrico da planta: conforme o potencial hídrico da planta se torna mais negativo, a condutância estomática diminui.



Algumas espécies são sensíveis e mostram uma diminuição rápida na condutância estomática; outras espécies apresentam uma diminuição mais lenta.





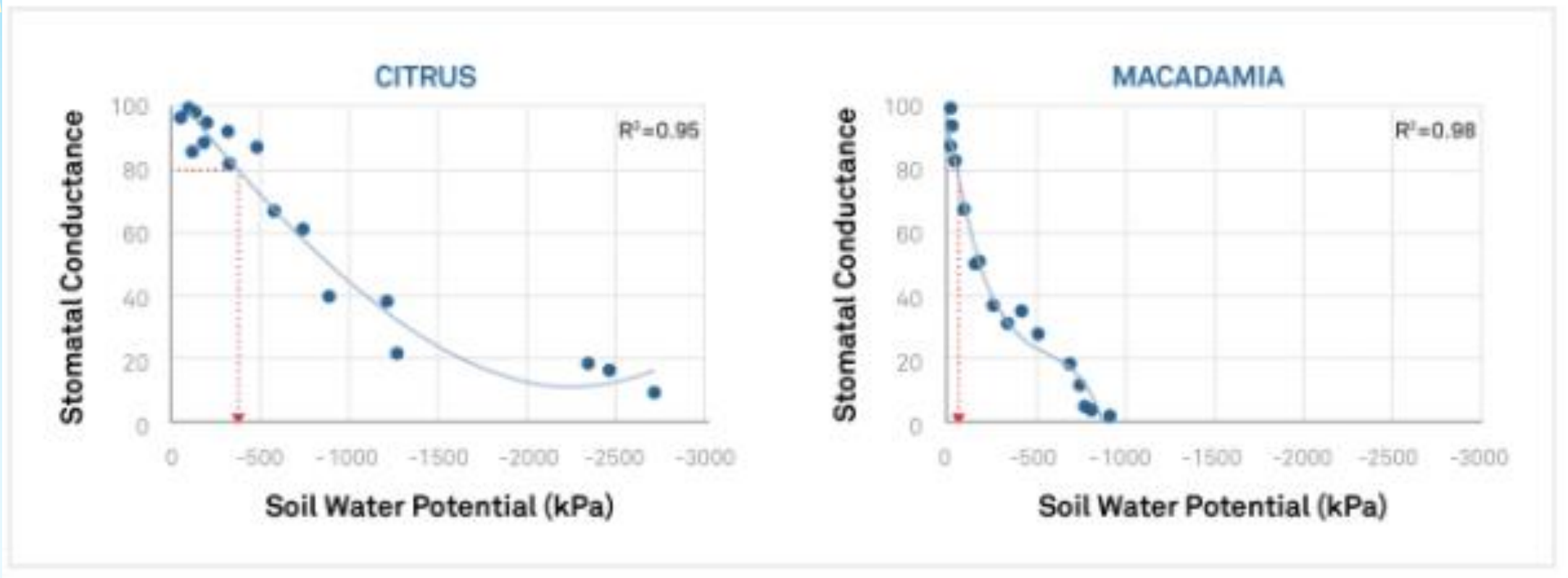


Quando a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte o potencial hídrico da folha diminui, levando ao fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese.



Em situação de baixa disponibilidade de água no solo as plantas reduzem a perda de água ao reduzir a condutância estomática.





<https://www.environmentalbiophysics.org/irrigation-curves-a-novel-irrigation-scheduling-technique/>

# IRGA (INFRA-RED GAS ANALYSER)

O IRGA é o principal equipamento utilizado para avaliações de trocas gasosas em plantas e indispensável para traçar o perfil fisiológico de uma planta.

- capacidade fotossintética das plantas
- trocas gasosas: transpiração e condutância estomática

**Ver texto de apoio taxa de fotossíntese**



[https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fvixlab.com.br%2Fproduto.asp%3Fid\\_produto%3D532&psig=A0vVaw0XAFa13F9Sxkw-jfrF9EXD&ust=1620570339652000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLC13pGluvACFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fvixlab.com.br%2Fproduto.asp%3Fid_produto%3D532&psig=A0vVaw0XAFa13F9Sxkw-jfrF9EXD&ust=1620570339652000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLC13pGluvACFQAAAAAdAAAAABAD)

# Câmara Scholander

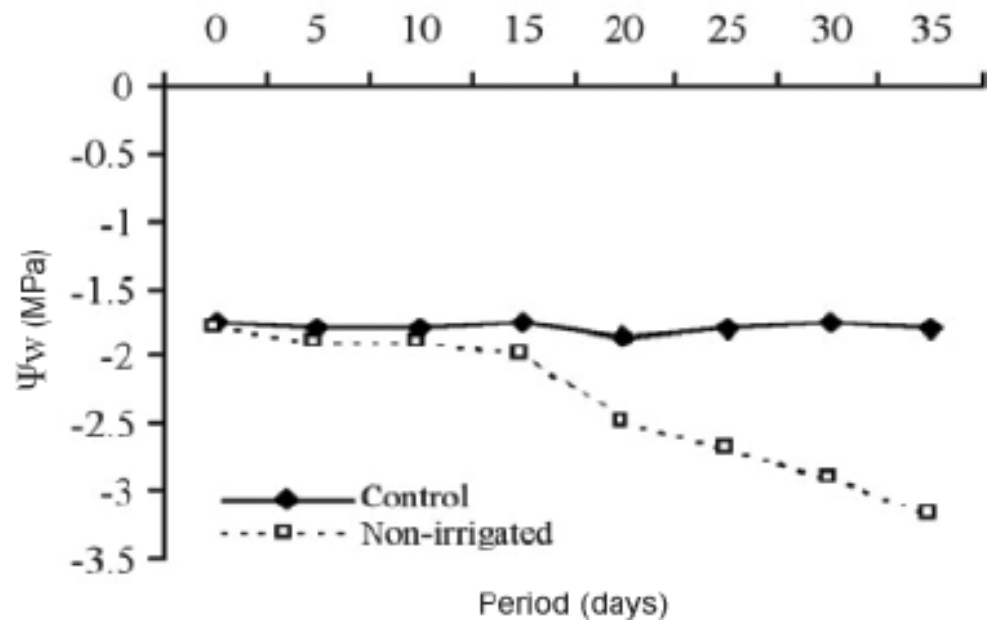
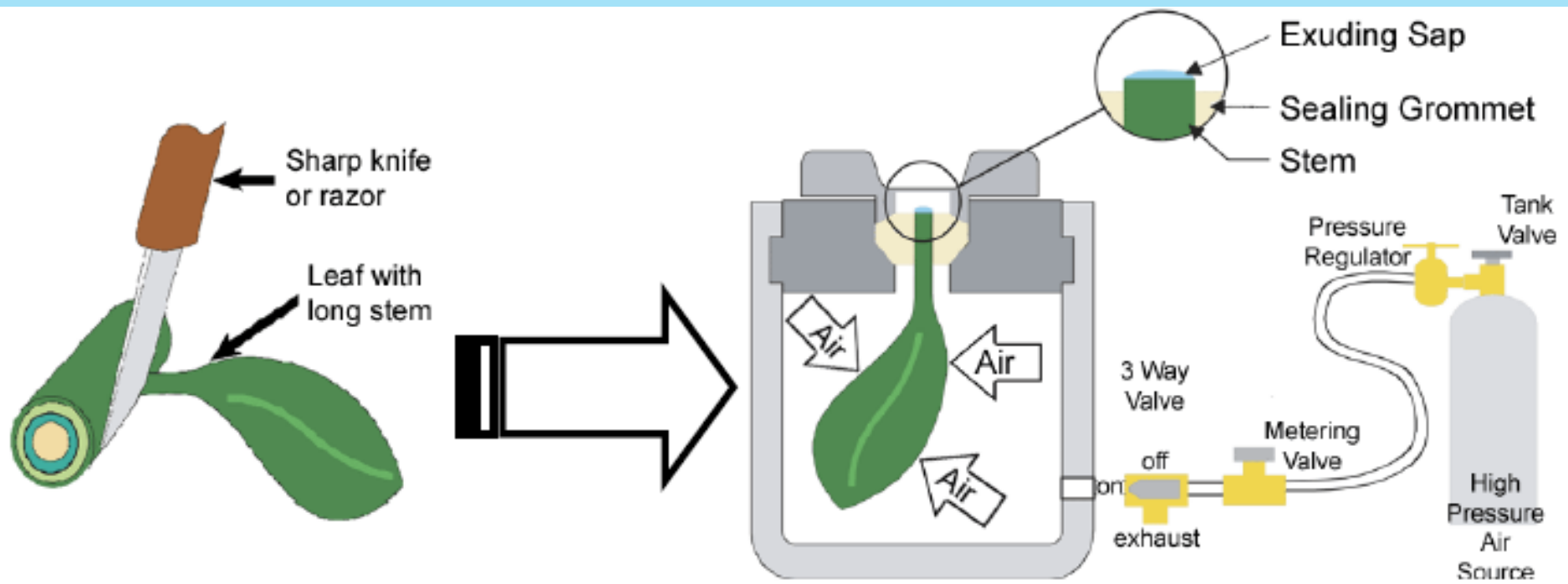
Potencial hídrico na folha (pressão hidrostática da seiva xilemática)

Câmara hermética: folha com pecíolo que recebe a inserção de gás pressurizado (N).

A pressão indicada pelo manômetro quando ocorre a exudação é a correspondente ao potencial hídrico da folha.







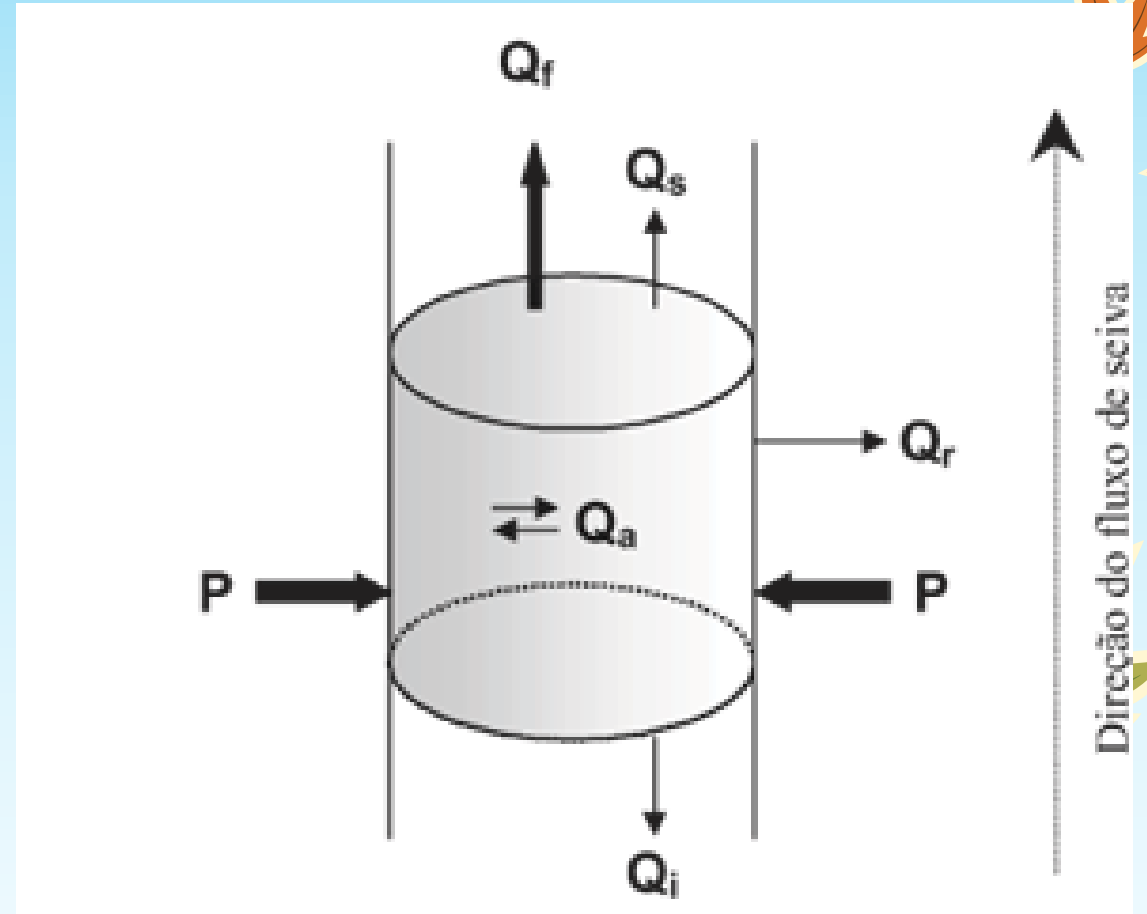
**Vídeo do  
Funcionamento  
Câmara de  
Scholander:  
<https://youtu.be/3T7QIn1yh04>**

# FLUXO DE SEIVA

- sensores de dissipação térmica
- - medidas confiáveis
- - boa resolução temporal
- - coleta e armazenamento dos dados
  
- Composição básica do sistema: sonda de aquecimento, sondas com termopares e data logger



O cálculo do fluxo de seiva baseia-se no aquecimento de um segmento de caule, ramo ou colmo por uma fonte de calor ( $P$ ), e que a energia térmica fornecida é dissipada por condução nos eixos axial e radial e também por convecção através do fluxo de seiva.









[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052008000100001](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052008000100001)



Via solo

Monitora o estado hídrico do solo



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- Gravimétrico (estufa)
  - Speed
  - Tensiômetro
  - TDR e FDR
  - Etc..

# Gravimétrico ou Método da estufa (padrão)

- destrutivo  
(amostra de solo removida para cada medida)
- não pode ser automatizado

Coletar amostra de solo e determinar massa úmida  
Levar estufa 105 – 110°C por 48h e determinar massa seca

$$- U\% = \frac{\text{Massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \times 100$$

Exemplo: 600g de solo úmido. Após secagem obtenção de 500g de solo seco. Qual a U%?

$$U = \frac{M_w}{M_s} = \frac{(600 - 500)}{500} \cdot 100 = 20,0 \%$$

## MÉTODO SPEED

- Reação do carbureto com a água do solo → forma gás acetileno
- Umidade proporcional à pressão exercida
- Curva tabelada e usado eng. civil

**Vídeo funcionamento:**

**<https://www.youtube.com/watch?v=y5xsgQzmT4c>**



# Sonda de nêutrons

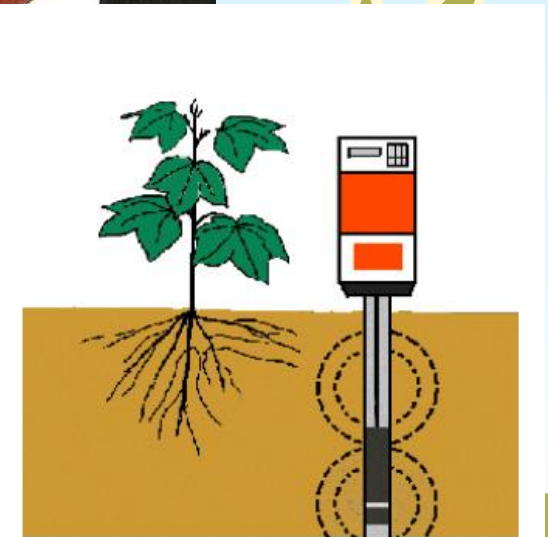
- Correlação entre nêutrons e quantidade de  $H^+$  presente no solo.

## Vantagens:

- Eficiente; preciso e rápido
- Não destrutivo (só na instalação)
- Permite determinações rotineiras

## Limitações:

- Alto custo
- Dificuldades na superfície (fuga de nêutrons)
- Saúde humana (radioativo)



# Time-Domain Reflectometry (TDR)

- ▶ Medição da constante dielétrica do solo (Pulso elétrico propagado ao longo de uma sonda inserida no solo na qual acontece a reflexão do pulso).
- ▶ Não destrutiva.
- ▶ Calibração.
- ▶ Preciso.
- ▶ Efeitos da salinidade do solo.





# TDR

- ▶ A constante dielétrica é a capacidade de um material não condutor em transmitir ondas ou pulsos eletromagnéticos de alta frequência.
- ▶ solo seco  $\rightarrow$  5    Ar  $\rightarrow$  1    Água  $\rightarrow$  80
- ▶ Pequenas mudanças no conteúdo de água do solo podem ter grande influência na capacitância.

**MONITORAMENTO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO EM TEMPO REAL COM AS TÉCNICAS DE TDR E FDR:**

**<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1603/1515>**



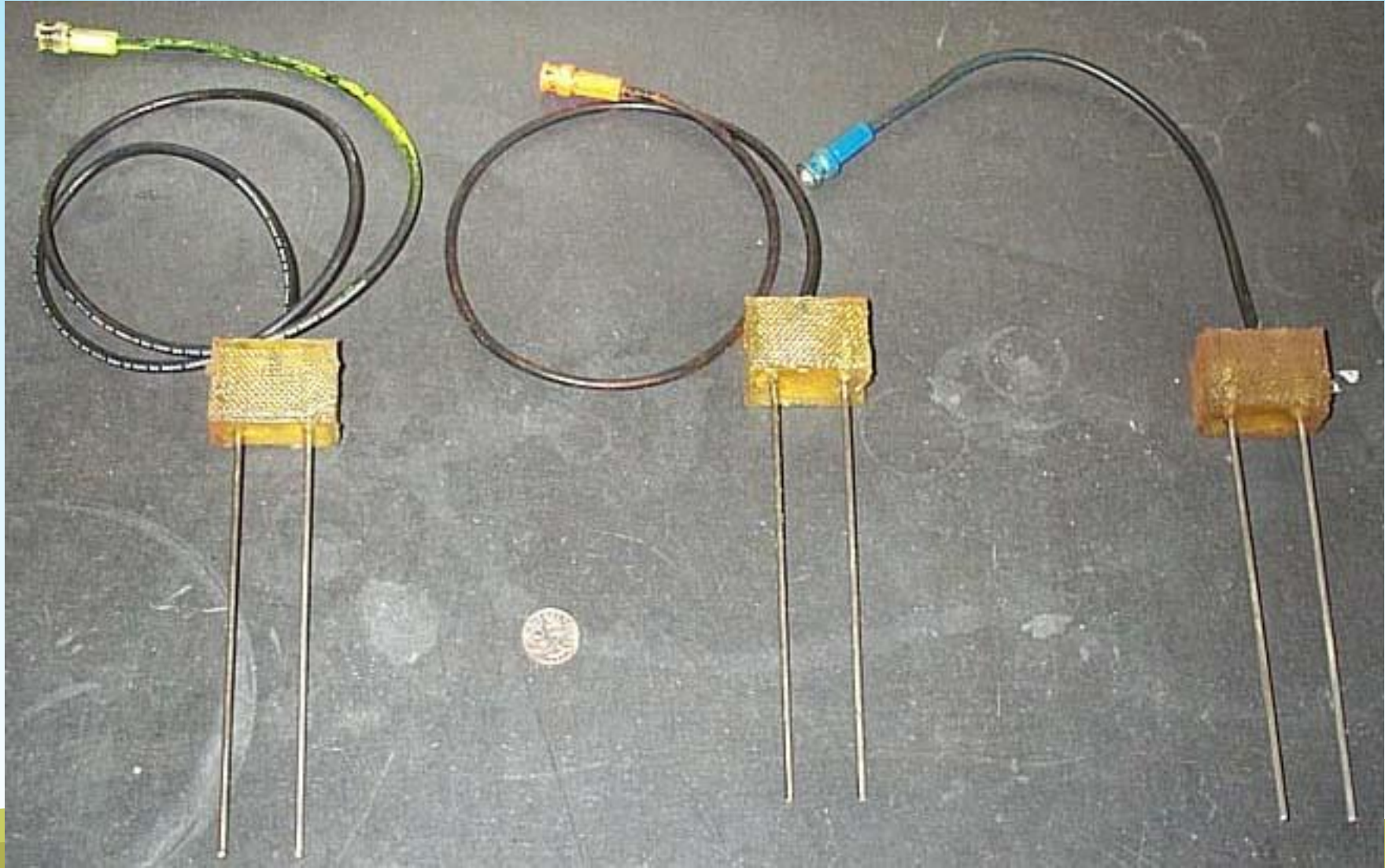
# TDR



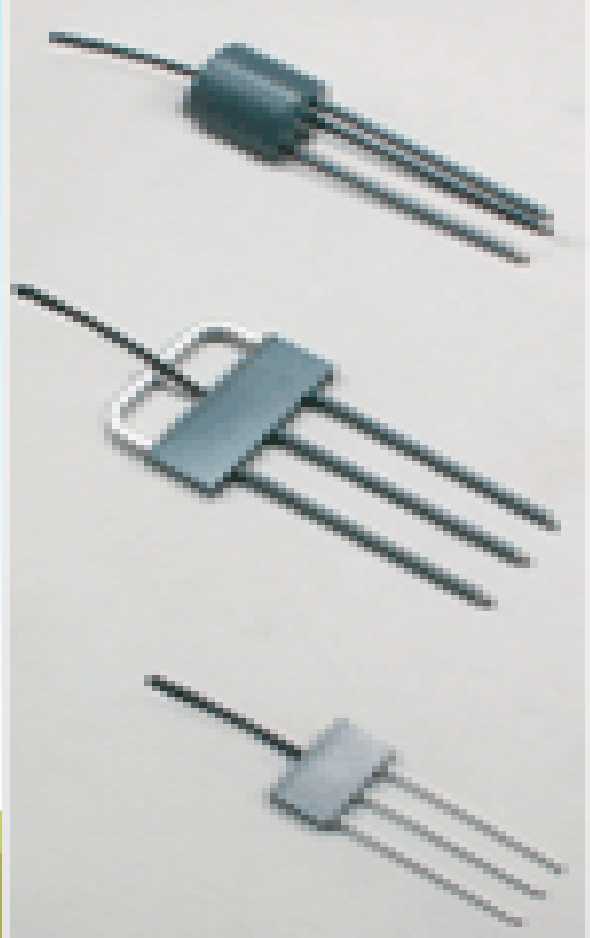
# Instalação da sonda TDR









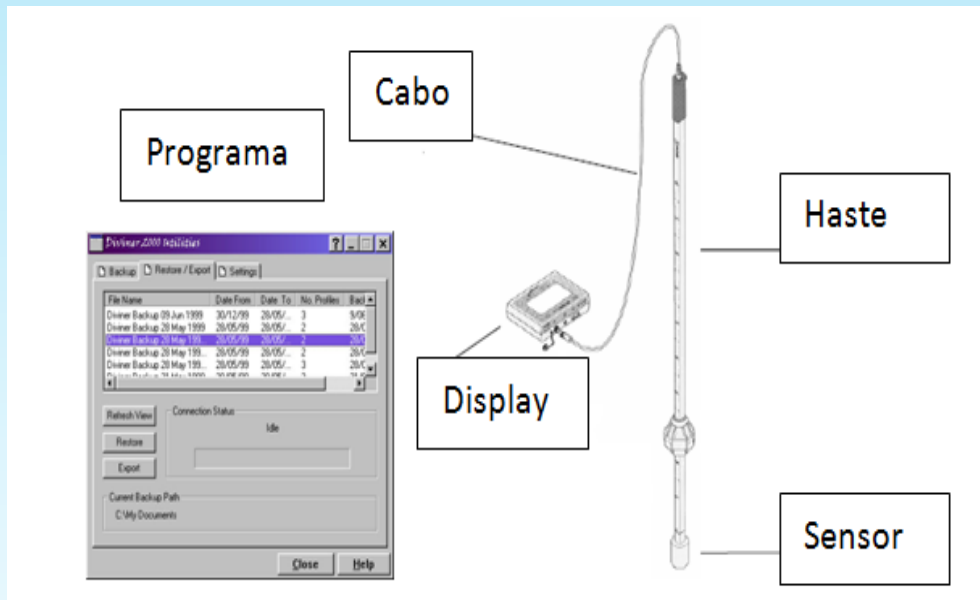


# Sonda FDR modelo DIVINER

Capacitância elétrica para medir a umidade do solo, onde é criado um campo elétrico de alta frequência ao redor de cada sensor, partindo do tubo de acesso e penetrando pelo solo.

O instrumento FDR têm maior flexibilidade do que os equipamentos do tipo TDR no que se refere à forma e frequência de operação dos mesmos, admitindo a construção de sondas multisensores. Pode coletar e estocar informações de até 99 perfis do solo.

# Sonda FDR modelo DIVINER



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118884/1/CircularTecnica-109-Onde-posicionar-sensores.pdf>

[http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/10775/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Calibra%C3%A7%C3%A3o%20de%20sensores%20de%20capacit%C3%A2ncia%20%28FDR%29%20para%20estimativa%20da%20umidade%20em%20diferentes%20solos.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/10775/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Calibra%C3%A7%C3%A3o%20de%20sensores%20de%20capacit%C3%A2ncia%20%28FDR%29%20para%20estimativa%20da%20umidade%20em%20diferentes%20solos.pdf)



Silva, 2005

19 4 2006



# Bloco de Gesso

- blocos de resistência elétrica: elementos porosos com eletrodos inseridos.
- Apresenta a vantagem de ser um sensor de baixo custo, ser de fácil fabricação e possuir uma ampla faixa de resposta (50 a 1500 kPa). No entanto, a deterioração da resposta no tempo, e a necessidade de calibração individualizada dos sensores são suas desvantagens.



[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fflabdegaragem.com%2Fmain%2Findex%2Fdetail%3Fid%3D6223006%3Acomment%3A683092%26&psig=AOvVaw1KulvefLNVFbDSrRglLecl&ust=1620755472430000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPIPjOXWv\\_ACFQAAAAAdAAAAABAK](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fflabdegaragem.com%2Fmain%2Findex%2Fdetail%3Fid%3D6223006%3Acomment%3A683092%26&psig=AOvVaw1KulvefLNVFbDSrRglLecl&ust=1620755472430000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPIPjOXWv_ACFQAAAAAdAAAAABAK)



# TRACON - Watermark

Dispositivo de detecção de resistência elétrica utilizado para medir a tensão da água no solo.

Uma corrente é aplicada ao sensor para obter um valor de resistência e correlacionada à tensão da água no solo.

Sensor permanente, colocado no solo para ser monitorado



WATERMARK Sensors



<https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec783.pdf>

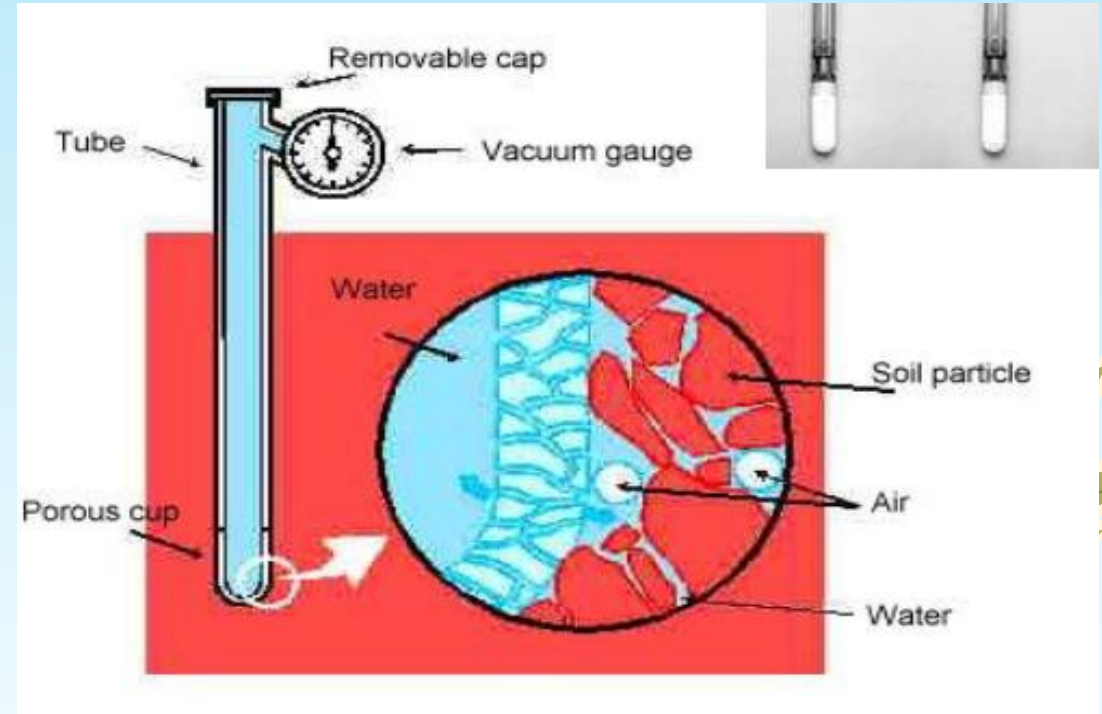
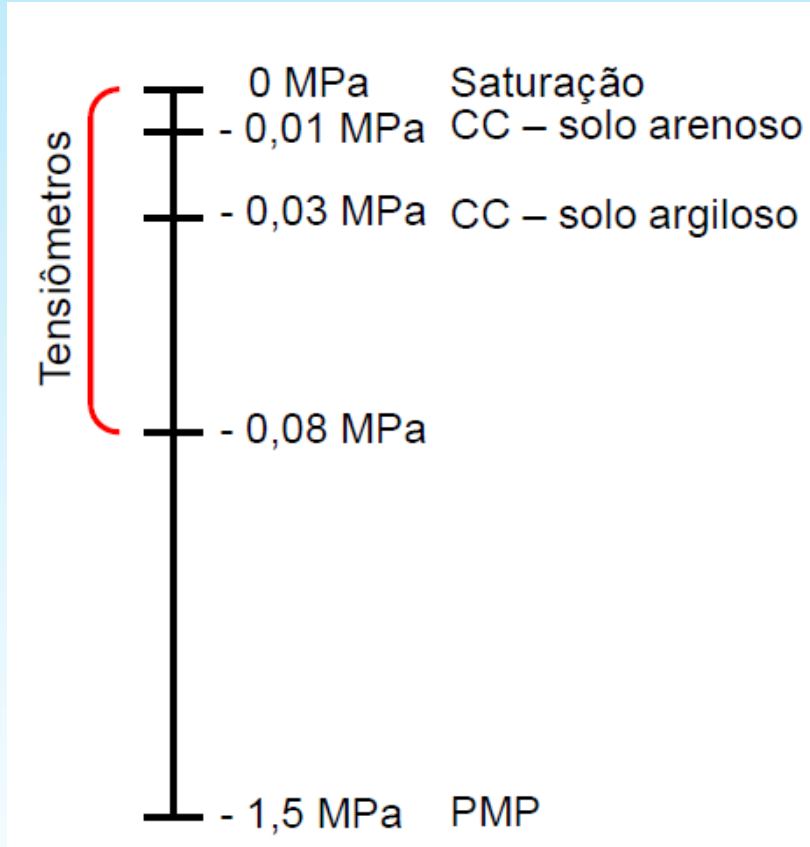
# Tensiômetro

- Tensão da água no solo (Potencial matricial)
- + usado no manejo da irrigação

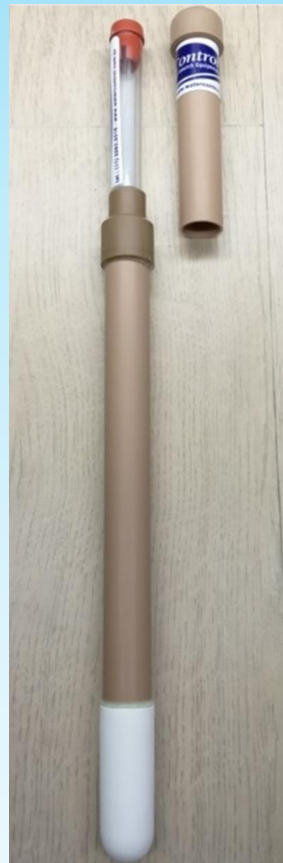
Potencial de água no solo define o estado de energia em que a água se encontra no solo em relação ao potencial padrão

Padrão: água pura isenta de sais, submetida a condições normais de pressão (pressão relativa = 0) e sobre a superfície do solo.

- Amplitude de potencial mátrico de aproximadamente 0 a -80 kPa, além do qual pode romper o contato da água do solo com a água na cápsula do tensiômetro e ocorrer a formação de bolhas de ar no seu interior.
- Solo está saturado, haverá equilíbrio entre a água dentro do tensiômetro e a água do solo → leitura igual à zero.
- Solo não está saturado a água tenderá a se movimentar do tensiômetro para o solo, indicando que o potencial da água dentro do tensiômetro é maior que o potencial da água no solo. Nestas condições o vacuômetro indicará uma subpressão que é a medida direta do potencial hidráulico da água no solo.







Tensiômetros de punção com leitura por tensímetros



# Tensiômetro analógico



## INTERPRETAÇÃO DAS LEITURAS DOS TENSIÔMETROS

### Interpretação geral

- Leituras próximas de 0,8 bar (0,08 MPa) indicam baixo teor de água no solo e leituras menores que 0,1 bar (0,01MPa) indicam solo saturado.
- Leituras entre 0,1 e 0,3 bar indicam umidades próximas da capacidade de campo.
- Leituras entre 0,3 e 0,8 bar indicam o momento de iniciar a irrigação para a maioria das culturas

## Interpretação específica

### Potencial mátrico crítico para produtividade máxima

1 bar = 0,987 atm

Culturas	Potencial mátrico crítico (bar)	Culturas	Potencial mátrico crítico (bar)
Repolho	0,30-0,50	Pimenta	0,20-0,40
Ervilha verde	0,20-0,30	Feijão grão	0,50-0,75
Milho verde	0,40-0,60	Soja	0,50-0,80
Milho grão	0,50-0,70	Melão	0,30-0,50
Cebola	0,40-0,60	Citros	0,50-0,70
Batata	0,30-0,50	Uva	0,40-0,60
Alface	0,20-0,30	Banana	0,30-0,50
Tomate	0,10-0,25	Melancia	0,30-0,50
Pimentão	0,30-0,50	Maçã	0,50-0,80

As unidades de medidas utilizadas nos tensiômetros são bastante variadas. Elas podem vir expressas em unidades como kilopascal (kPa), atmosfera (atm), bária (bar), centímetros de água (cmH<sub>2</sub>O), centibária (cbar), centímetros de mercúrio (cmHg), milímetros de mercúrio (mmHg). Essas unidades de pressão podem ser relacionadas entre si utilizando a Tabela 1.

**TABELA 1. Fatores para conversão de unidades de medida de tensão.**

1 atm	= 1 bar x 1,0133	1 bar	= 1 atm x 0,9868
1 atm	= 1 cm H <sub>2</sub> O x 1033,3	1 bar	= 1 cm H <sub>2</sub> O x 1019,91
1 atm	= 1 cm de Hg x 76	1 bar	= 1 cm Hg x 75,01
1 cm H <sub>2</sub> O	= 1 cm de Hg x 0,0736	1 cm de Hg	= 1 cm H <sub>2</sub> O x 13,6
1 cbar	= 0,01 bar	1 bar	= 100 cbar
1 cbar	= 1 kPa	1 bar	= 100 kPa



Exemplo 1: Um tensiômetro está instalado a uma profundidade de 50 cm em relação a superfície do solo ( $z_1$ ) e a leitura é realizada a 15 cm ( $z_2$ ). Em um dado momento a leitura obtida foi de 0,5 bar. Qual o potencial mátrico a 50 cm de profundidade (ponto A)?

$$|P_m| = L - 0,098 \cdot h$$

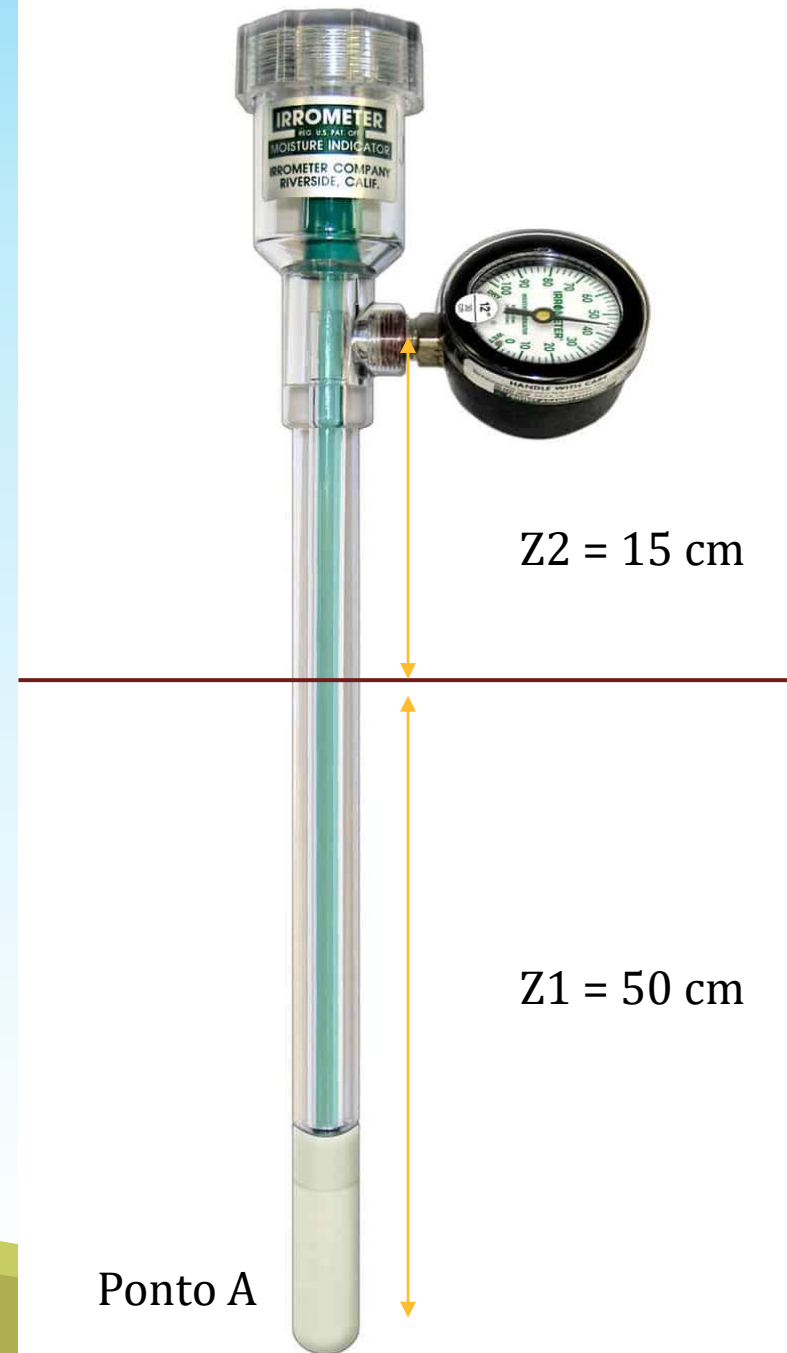
$P_m$  = potencial matricial (cbar ou kPa)

$L$  = leitura (cbar ou kPa)

$h$  = altura da coluna de água no interior do tensiômetro ( $z_1 + z_2$ )

$$|P_m| = 50 \text{ kPa} - 0,098 \cdot (15\text{cm} + 50\text{cm})$$

$$|P_m| = 43,63 \text{ kPa} = 0,0436\text{MPa} = 0,4363 \text{ bar}$$





Se baseiam no balanço hídrico do conjunto solo-planta-atmosfera

## Padrão: Penman-Monteith (FAO)

<http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>

$$ETP = \frac{0,408 s(Rn-G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T+273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

onde:

Rn é a radiação líquida total diária ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ );

G é o fluxo de calor no solo ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ );

$\gamma = 0,063 KPa^{\circ}C^{-1}$  é a constante psicrométrica;

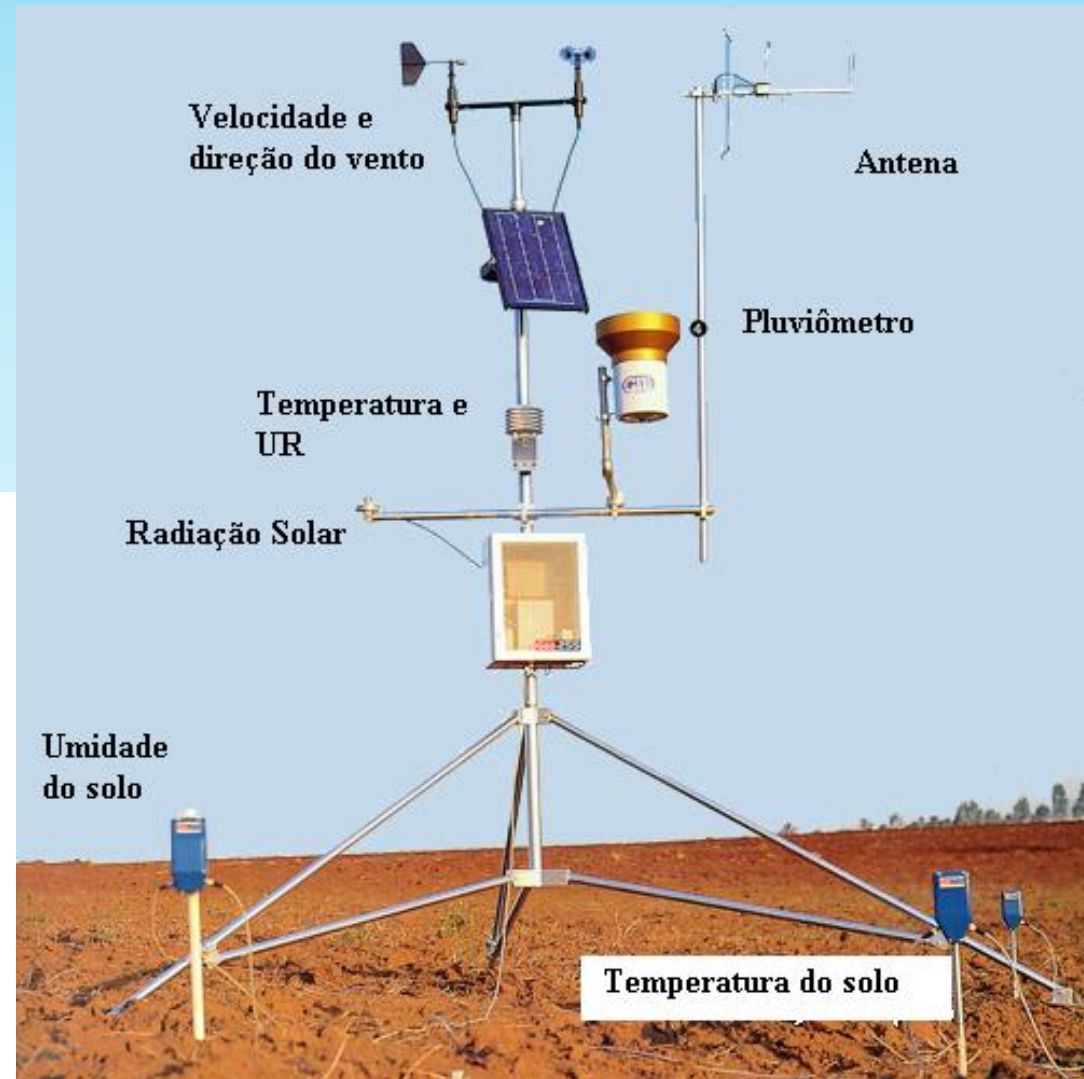
T é a temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ );

$U_2$  é a velocidade do vento a 2 metros de altura ( $ms^{-1}$ );

$e_s$  é a pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$  é a pressão parcial de vapor (kPa);

s é a declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em  $KPa^{\circ}C^{-1}$ .

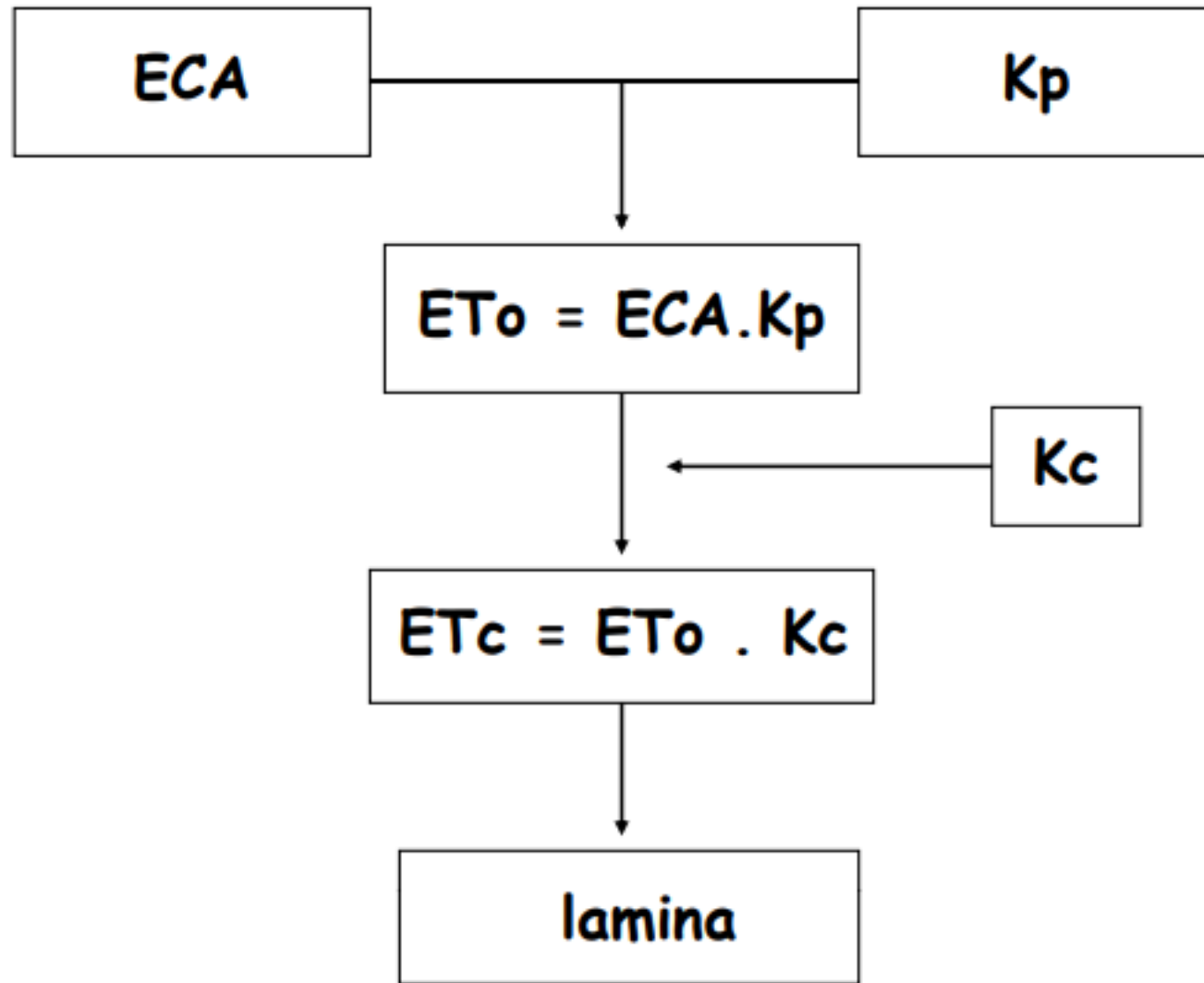


## TANQUE CLASSE A



$$E_{To} = E_{CA} * K_p \text{ (mm)}$$





← velocidade do vento,  
umidade relativa e  
bordadura

## Coeficiente do Tanque Classe A (Kp) para diferentes bordaduras e níveis de umidade relativa e velocidade do vento (Doorenbos & Pruitt, 1997)

		Tanque em Área Gramada			Tanques em Solo Nu		
		Umidade Relativa do Ar (%)					
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Vento (km/dia)	Raio (m)	(< 40)	(40-70)	(>70)	(< 40)	(40-70)	(>70)
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito Forte >700	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

L é bordadura em m e UR em %

Para velocidade do vento em m/s:  $\rightarrow K_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(L) - 0,0324864 V + 0,0045 \cdot UR$

## Exemplo 2: bordadura 10m

$$\text{dia 1: } K_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(10) - 0,0324864 \cdot 7,5 + 0,0045 \cdot 78 = 0,64446 = 0,64$$

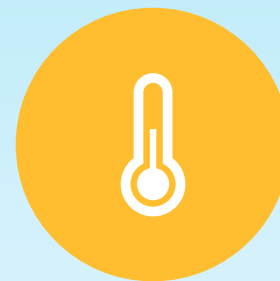
Dia	ECA mm	UR %	V m/s	Kp	Eto mm	Kc	Etm mm
1	6	78	7,5	0,64	3,9	1,1	4,3
2	5,9	69	6	0,65	3,9	1,1	4,2
3	5,4	69	4,4	0,70	3,8	1,1	4,2
4	4,8	70	5	0,69	3,3	1,1	3,6
5	5,9	92	7,2	0,72	4,2	1,1	4,7
6	6	54	6,4	0,57	3,4	1,1	3,8
7	5,7	69	2,9	0,75	4,3	1,1	4,7
8	5,9	57	5,8	0,61	3,6	1,1	3,9
9	6	68	6,5	0,63	3,8	1,1	4,2
10	6,1	63	6,4	0,61	3,7	1,1	4,1
11	4,8	70	6,7	0,63	3,0	1,1	3,4



MÉTODO DA  
FRIGIDEIRA



MÉTODO DO  
ÁLCOOL



MÉTODO DO  
MICROONDAS



Boa semana !

