



REGA E DRENAGEM

2.2. PROGRAMAÇÃO DA REGA

2.3. CONDUÇÃO DA REGA

- 2.3.1 Conceitos
- 2.3.2 Métodos de condução da rega
 - Baseados no solo
 - Baseados na planta
 - Balanço hídrico
 - Combinação de métodos

2.2.1. CONCEITOS

Programação da rega = planeamento

- Projecto de rega
 - dimensionamento de reservatórios
 - dimensionamento do sistema de distribuição
 - dimensionamento do sistema rega
- Determinação das necessidades de rega anuais no início da campanha de rega
 - que culturas regar?
 - que áreas cultivar?
- Determinação das necessidades de ponta
 - Haverá caudais suficientes no período de ponta?

Séries climáticas

Séries climáticas
Previsões climáticas

2.3.1. CONCEITOS

Condução da rega = fornecer a água ao solo na **quantidade** e no **tempo** determinado para atingir o **objectivo** proposto (quanto e quando)

estão interligados

- Maximizar a produção (sem stress hídrico)
- Maximizar produção/unidade de água (= produtividade da água) (rega deficitária)
- Maximizar lucro

Conjugação de informação da

- Solo – RU, RFU, capacidade de infiltração
- Clima – consumo (ET_o)
- Planta – necessidades hídricas, sistema radicular, sensibilidade e resposta ao stress
- Sistema de rega – condiciona a dotação de rega
- Mão de obra – só poder regar em certos dias, técnica da mão de obra disponível/requerida
- Disponibilidade de água do perímetro de rega – a pedido, rotação

Quando regar – implica a definição de um limiar que desencadeia a rega

Quanto regar – depende do grau de esgotamento da RU admitido, do sistema de rega, ...

Rega a menos

Perdas de produção

- Stress hídrico
- Menor resistência a pragas e doenças

Perdas de qualidade

- Calibre
- Aspecto (rachaduras, forma, ...)
- Composição química

Rega a mais

Perdas de produção

- Encharcamento
- Perdas de nutrientes (nitratos)
- Problemas sanitários

Perdas de qualidade

- Composição química

Diminuição do lucro

- Maiores custos com água
- Maiores custos com bombagem
- Maiores custos com fertilizantes
- Maiores custos com mão de obra

Problemas ambientais

- Maior consumo de água
- Maior consumo de energia
- Poluição dos aquíferos e águas superficiais (drenagem, escoamento superficial)
- Erosão do solo

Opções comuns

1. Fixar a dotação (e variar o intervalo entre regas $\Rightarrow \Delta t = D_u / ET_{c \text{ méd diária}}^{(*)}$) – determinado pelo solo, cultura e sistema de rega (**MAD**)
 - rega sob pressão: dotações de rega mais flexíveis
 - rega de superfície: não permite dotações de rega pequenas

2. Fixar o intervalo entre regas (e variar a dotação $\Rightarrow ET_{c \text{ média diária}} \times \Delta t$)
 - perímetro de rega com fornecimento por rotação
 - limitações de mão de obra

(*) relembrar que, na ausência de outras fontes de água (precipitação, ascensão capilar, variação do armazenamento do solo) ou perdas de água (drenagem profunda, escoamento superficial), necessidades de rega = necessidades hídricas

2.3.2. MÉTODOS DE CONDUÇÃO DA REGA

- Baseados na observação da água do solo
- Baseados na planta
- Baseados no clima

Escolha do método a utilizar deve ter em conta factores

- científicos
- económicos
- pessoais



Tem que ser fácil de pôr em prática senão o agricultor abandona o seu uso

2.3.2.1 MÉTODOS BASEADOS NA ÁGUA DO SOLO

Os métodos de condução da rega baseados na água do solo permitem também:

- determinar a quantidade de água de rega infiltrada
- determinar a quantidade de água retirada pelas raízes e o padrão de extracção de água
- determinar quando a rega deve cessar para evitar perdas por percolação profunda
- ajudar a manter o teor de água no solo dentro de limites adequados para as plantas

Permitem responder quer ao **quando** quer ao **quanto** regar

Problemas

Seleccção da localização da medição:

- dentro da parcela: variabilidade espacial das características do solo
- dentro da zona radicular: profundidade /localização que seja representativa

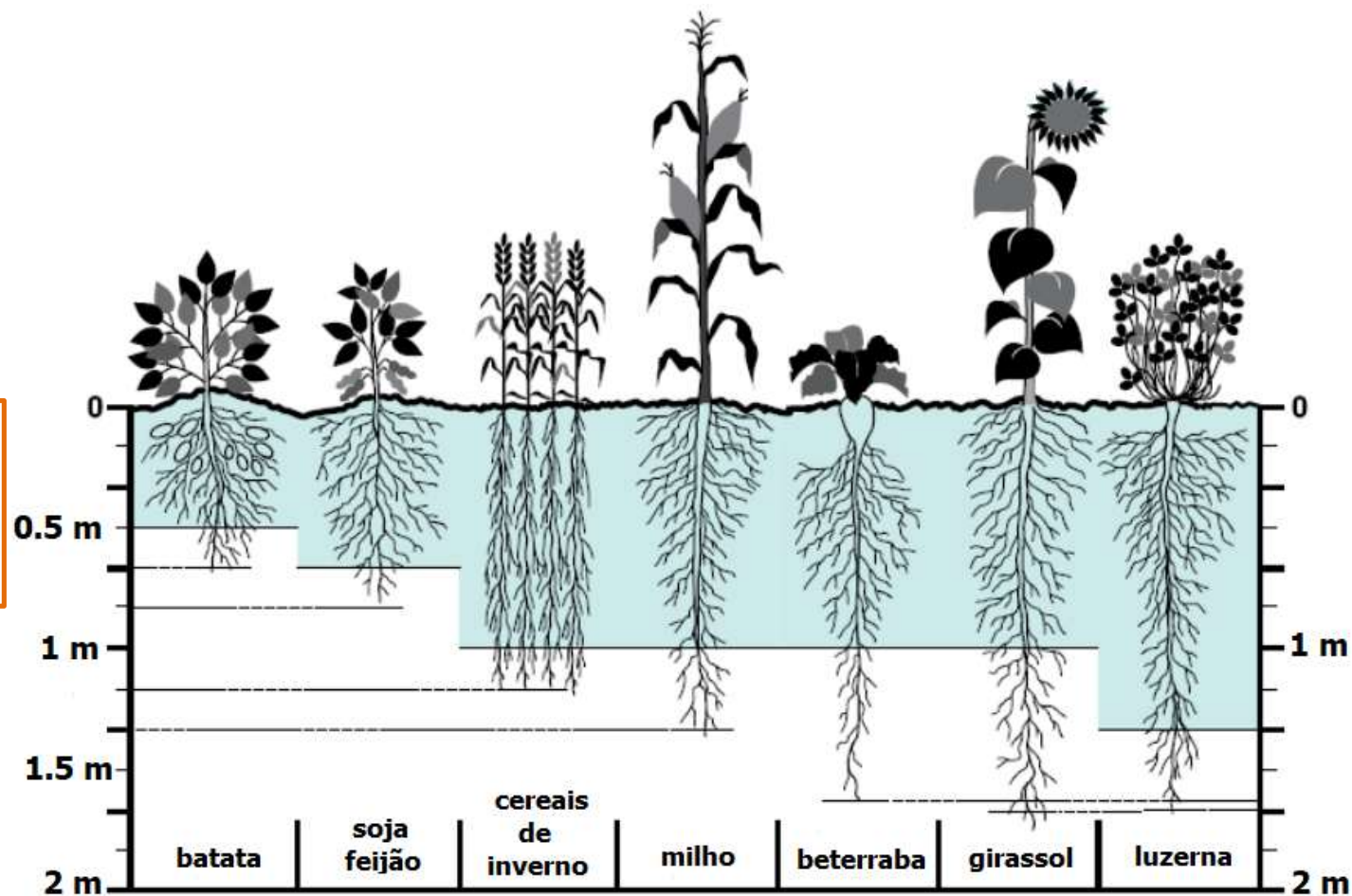
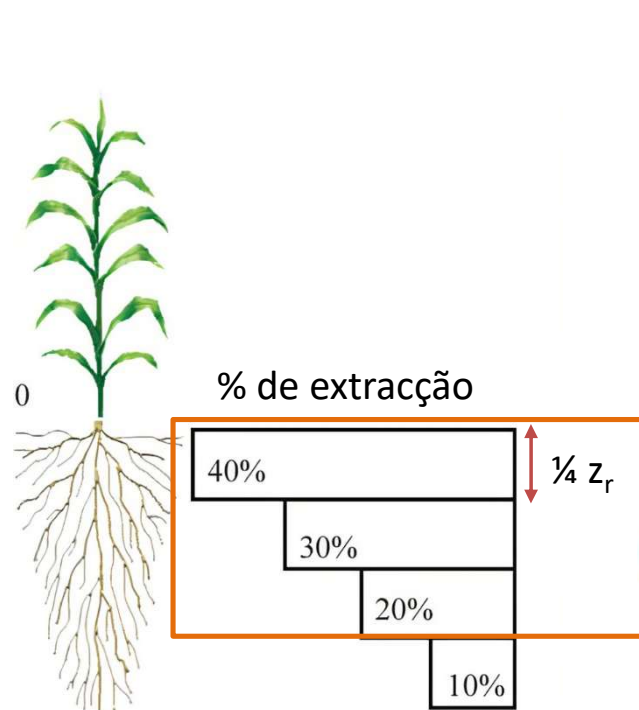
Profundidade radicular efectiva

Espessura da camada de solo donde as plantas extraem 80-90% das suas necessidades hídricas $\Rightarrow$ é esta a profundidade de solo que deve ser considerada para a condução da rega e não a totalidade da espessura de solo explorada pelas raízes

É nesta camada que a densidade radicular é mais elevada

A profundidade radicular depende de:

- planta
- tipo de solo
- tipo de rega



Secção de Engenharia Rural

Aparência e consistência do solo



Também permite avaliar:

- a profundidade radicular
- a frente de humedecimento



Sandy loam and fine sandy loam soils



25-50% available moisture



50-75% available moisture



75-100% available moisture

Sandy clay loam, loam and silt loam soils



25-50% available moisture



50-75% available moisture



75-100% available moisture

Clay, clay loam



25-50% available moisture



50-75% available moisture



75-100% available moisture

Medição da tensão de água no solo

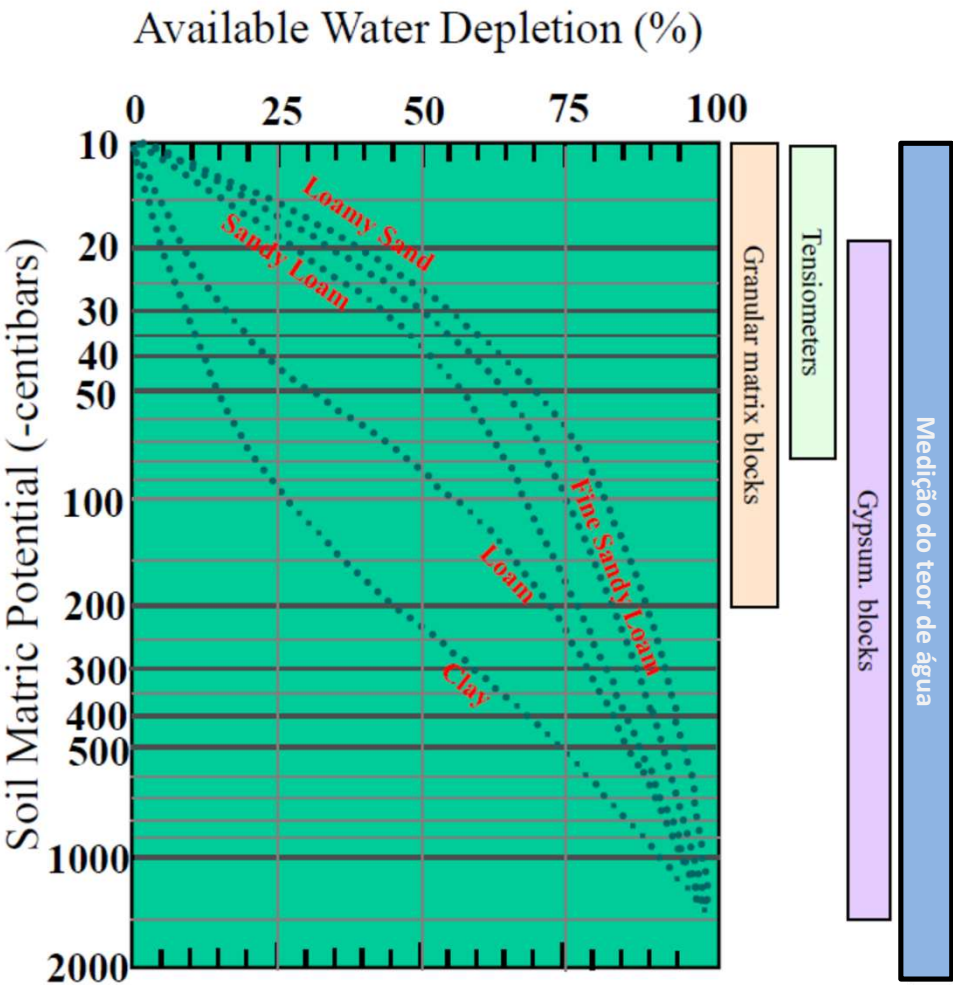
- tensiômetros
- blocos de gesso / GMS (granular matrix sensors)

CC →

Soil Tension	Sand/Loamy Sand	Sandy Loam	Loam/Silt Loam	Clay Loam/Clay
(centibars)	Depletion of the Plant Available Water (%)			
10	0	0	Not fully drained	Not fully drained
30	40	25	0	0
50	65	55	10	10
70	75	60	25	20
90	80	65	35	25
110	85	68	40	32
130	87	70	47	38
150	90	73	52	43
170	95	76	55	46
190	98	79	58	49

CE →

Gamas de medição



Medição da tensão de água no solo - tensiómetros

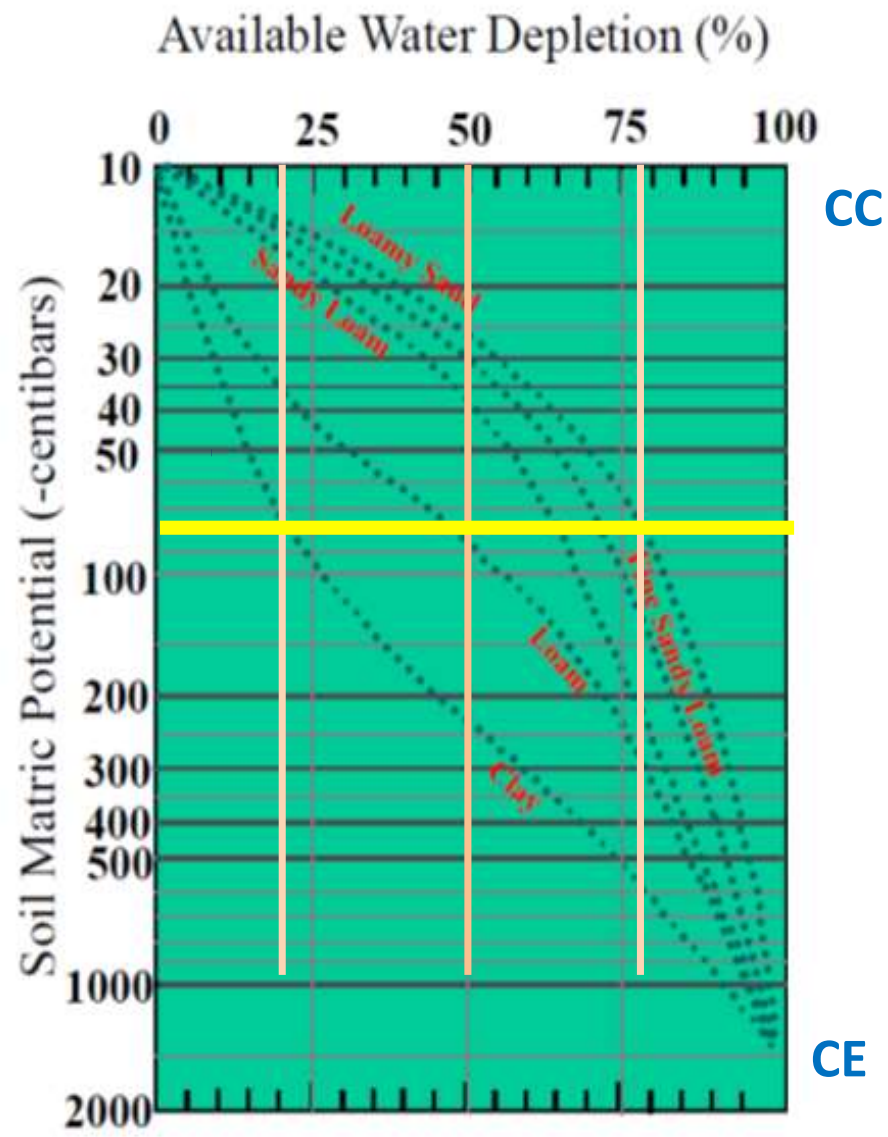


Vantagens

- baratos
- medem a tensão de água no solo → variável mais ligada à disponibilidade de água no solo para as plantas que o teor de água *per se*
- leitura rápida e simples
- causam perturbação mínima do perfil do solo
- podem ser ligados a *dataloggers*
- não são afectados pela salinidade
- resposta rápida

Desvantagens

- intervalo de funcionamento apenas dos 0 aos 80 cbar
→ mais adequados para solos ligeiros e médios que solos pesados
→ mais adequados a regas frequentes (localizada, pivot)
- cuidado na instalação (contacto com o solo)
- exigem manutenção (encher, retirar bolhas de ar ...)
- medição é pontual – só no local e profundidade a que estão instalados → é preciso vários para monitorizar toda a parcela / zona radicular



Preparação dum tensiómetro

- Saturar a cápsula
- Retirar o ar



- Encher a cana

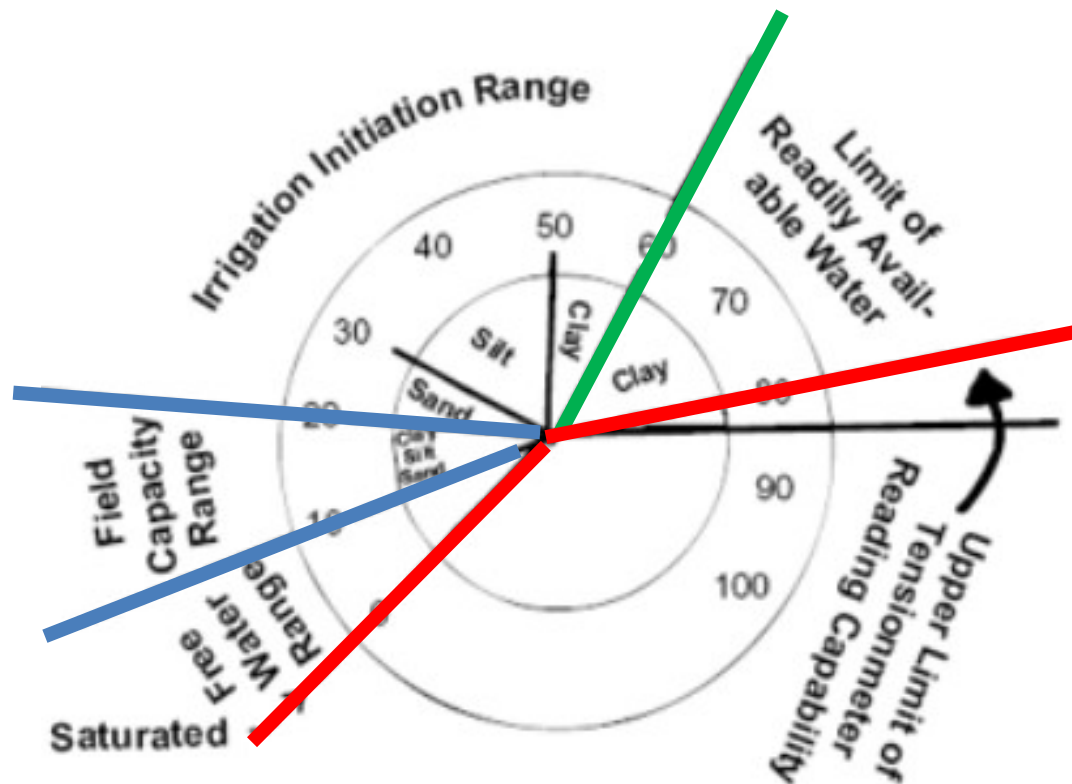


Secção de Engenharia Rural

Instalação dum tensiómetro

- Abrir um orifício
- Preparar e colocar um pouco de “papa” de solo antes da instalação





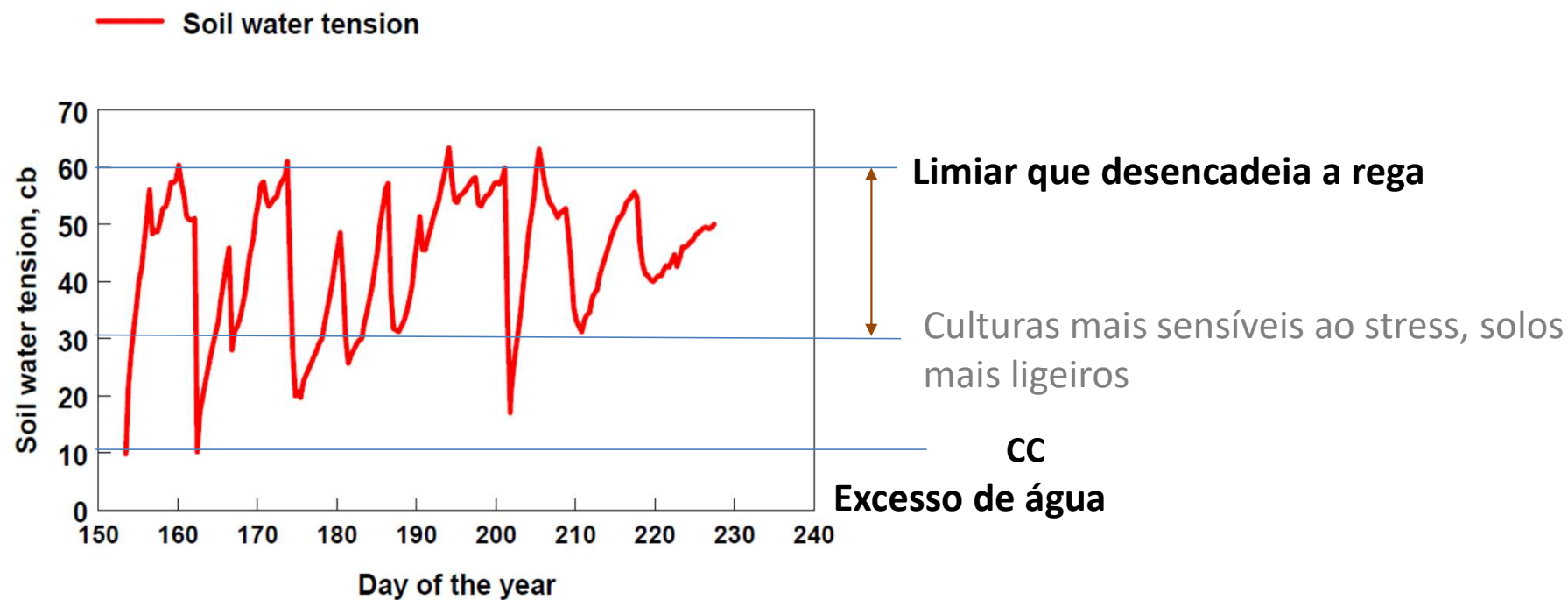
Tipo de solo	Limiar que desencadeia a rega
Arenoso	30 – 40 cbar
Franco	50 – 70 cbar
Argilo-limoso e argiloso	70 – 80 cbar

Table 13.5. Recommended soil moisture tensions for various crops (after Taylor, 1965)

Crop	Tension (centibars) *	Crop	Tension (centibars) *
Alfalfa	80–150	Corn (sweet)	50–80
Alfalfa seed		Deciduous tree	50–80
Pre-bloom	200	Grain (small)	
Bloom	400–800	Vegetative	40–50
Ripening	800–600	Ripening	70–80
Broccoli		Grapes	
Early	45–55	Early	40–50
Post-bud	60–70	Mature	100
Cabbage	60–70	Lettuce	40–60
Cantaloupe	35–40	Onion	45–65
Carrot	55–65	Potato	30–50
Cauliflower	60–70	Strawberry	20-30
Celery	20–30	Tomato	60-150
Citrus	50–70		

* The smaller values are recommended for a warm, dry climate and the larger values for a cool, humid climate. Intermediate cli

Condução da rega com tensiómetros



Onde colocar os sensores?

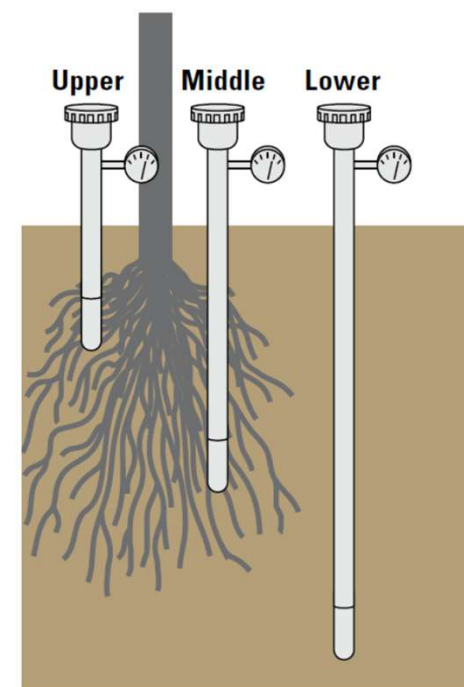
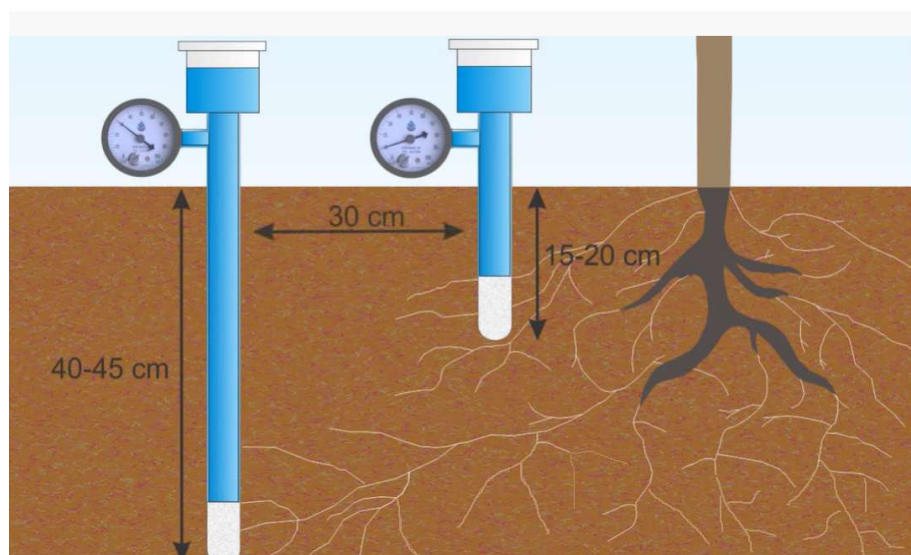
2 ou 3 profundidades

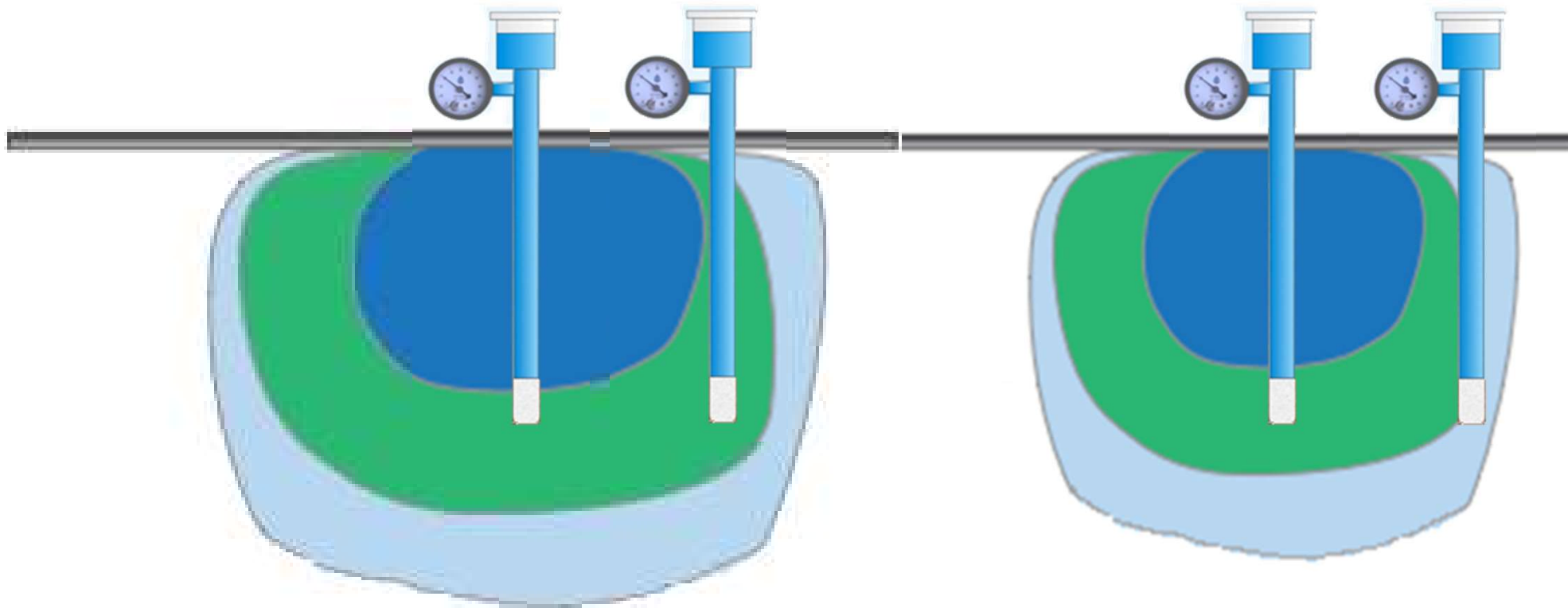
- Na camada superficial, onde há maior quantidade de raízes ($1/4$ a $1/3 z_r$) (0 – 30 cm)
- Na camada inferior do sistema radicular ($3/4 z_r$)
- Abaixo da zona radicular

→ desencadeia a rega, evolução do bolbo molhado

→ pára a rega

→ permite ver se há percolação (rega a mais)





Secção de Engenharia Rural

Medição da tensão de água no solo – blocos de gesso e Granular Matrix Sensors (Watermark)

Vantagens

- mais baratos que tensiómetros – pode-se usar mais sensores
- maior gama de leitura
- podem ligar-se a dataloggers (→ monitorização contínua, transmissão de dados)

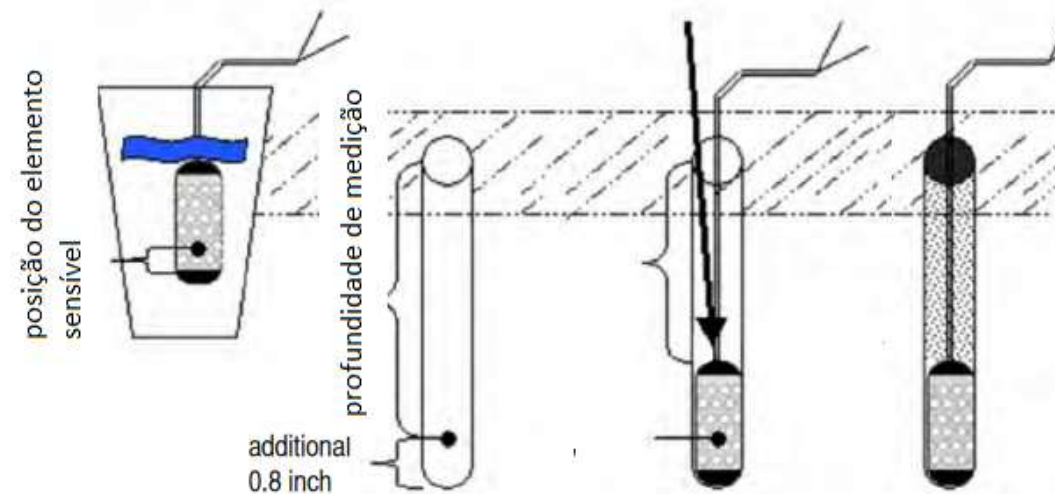


Desvantagens

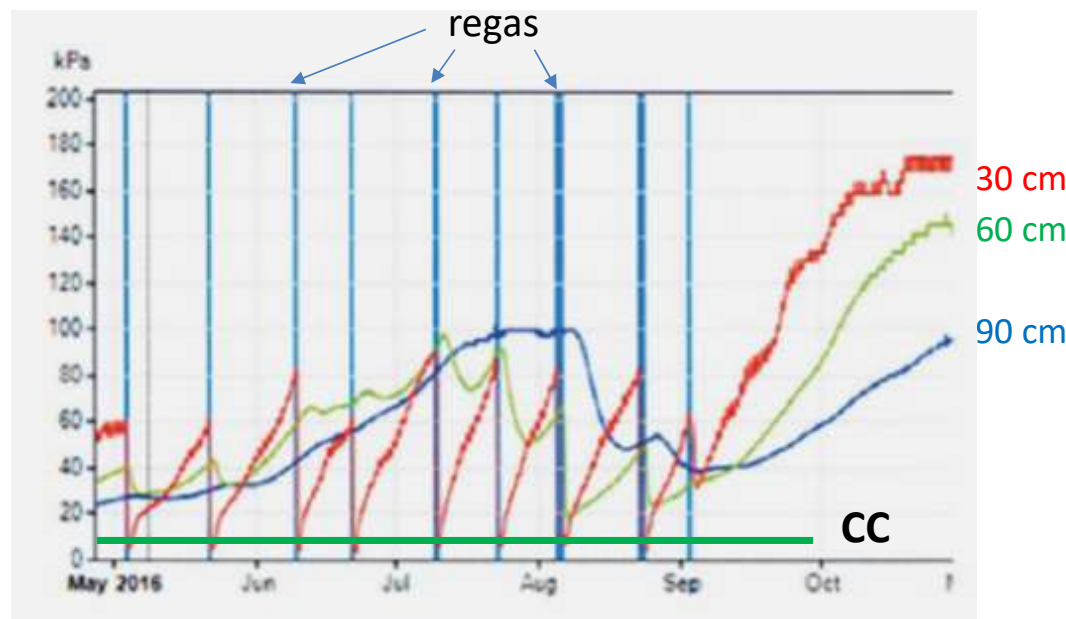
- mais lentos na resposta
- pouco responsivos nas zonas de humidade mais elevada
- blocos de gesso têm vida útil reduzida (vão-se dissolvendo)
- salinidade elevada afecta os valores
- temperatura afecta os valores
- sujeitos a histerese
- medição pontual



Preparação e instalação dum Watermark



1	2	3	4
colocar em água até atingir a saturação	abrir um buraco no solo com uma sonda até à profundidade desejada + distância do elemento sensível à extremidade	inserir o sensor no solo	recolocar o solo, evitando a formação de bolsas de ar



Exemplo de condução da rega com Watermarks

- O sensor dos 30 cm respondeu à rega e mostra que a camada superficial foi levada à CC em todas as regas
- O sensor dos 60 cm acusou a rega mas a camada não foi preenchida até à CC (excepto com a rega no início de Agosto). Também existe uma tendência de aumento progressivo da tensão de água no solo
- O sensor dos 90 cm mostra que há extracção a essa profundidade e que não houve reposição de água até ao mês de Agosto

} **rega insuficiente**

Medição do teor de água no solo

Método gravimétrico

Amostra é seca em estufa a 105°C até peso constante

$$\theta_p = (\text{massa de solo húmido} - \text{massa de solo seco}) / \text{massa de solo seco}$$

Vantagens

- simples
- barato

Desvantagens

- trabalhoso
- resultados não são imediatos
- não permite medições sempre no mesmo local
- necessário conhecer d_{ap}

Métodos baseados na constante dielétrica do solo

	Constante dielétrica
Ar	1
Quartzo	3.8
Água	80



A constante dielétrica do solo é função do teor de água

Secção de Engenharia Rural



Medição do teor de água no solo com base nas propriedades dieléctricas

Tipos

- **Time domain reflectometry (TDR)** medem a velocidade de propagação de um impulso eléctrico no solo
- **Frequency domain reflectometry (FDR)** medem a frequência do impulso eléctrico alterado pelo meio dieléctrico
 - ✓ **Sondas capacitivas:** medem o tempo que um condensador leva a carregar, servindo o solo como meio isolante. O tempo de carga é função da constante dieléctrica do solo (que por sua vez é função do teor de humidade)

Vantagens

- resposta rápida
- boa resolução vertical, dada a pequena esfera de influência
- podem fazer medição em contínuo
- boa sensibilidade a pequenas mudanças de humidade
- não afectada pela salinidade (sondas capacitivas)

Desvantagens

- esfera de influência reduzida (3 cm)
- contacto entre o tubo/sensor deve ser perfeito, sem bolhas de ar
- leituras são influenciadas pela temperatura
- preço
- embora venham com curvas de calibração de fábrica, é sempre bom confirmar os valores/fazer calibração

Sondas TDR

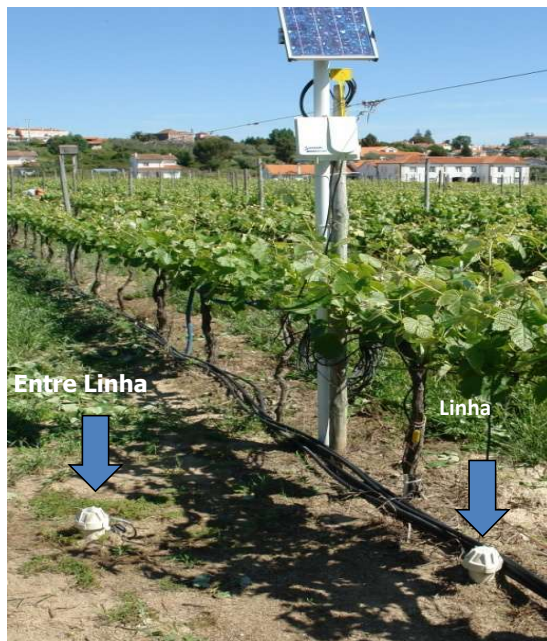
Os sensores são normalmente constituídos por 2 ou 3 guias metálicas paralelas, que funcionam como linhas de transmissão. Uma corrente eléctrica é gerada pelo sensor, desloca-se ao longo das sondas e quando chega à extremidade é reflectida de volta ao sensor. O tempo que a corrente demora a fazer o percurso (e, consequentemente a velocidade da corrente eléctrica ao longo da guia) é função do teor de água do solo



Secção de Engenharia Rural

Sondas capacitivas

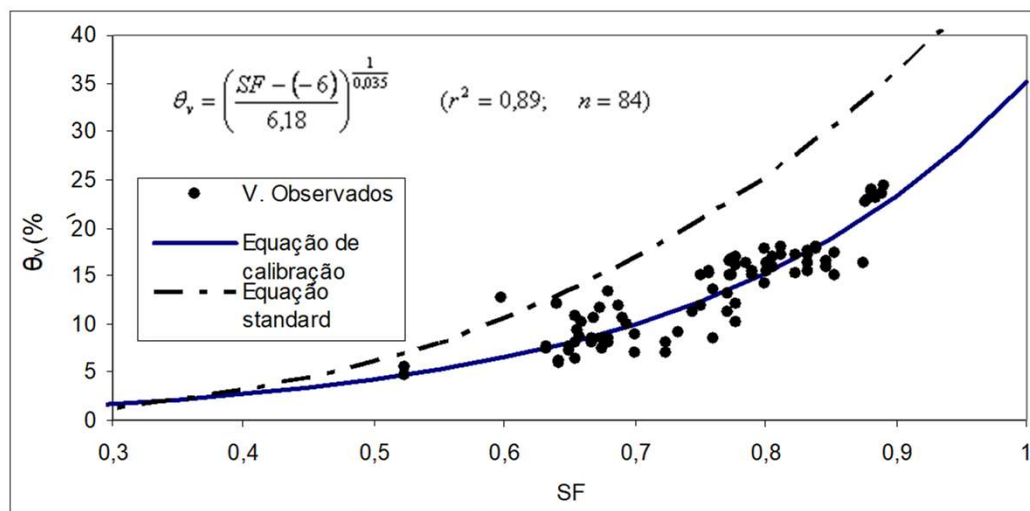
EnviroScan



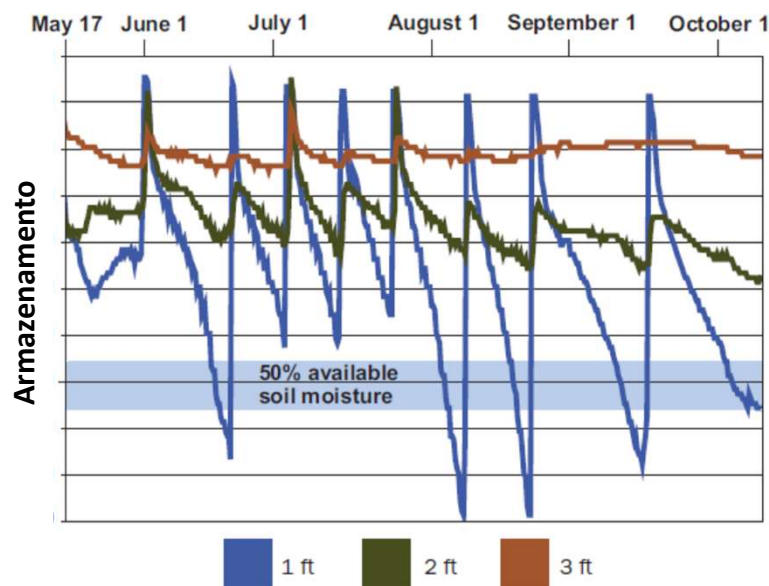
Diviner



Calibração da sonda capacitiva



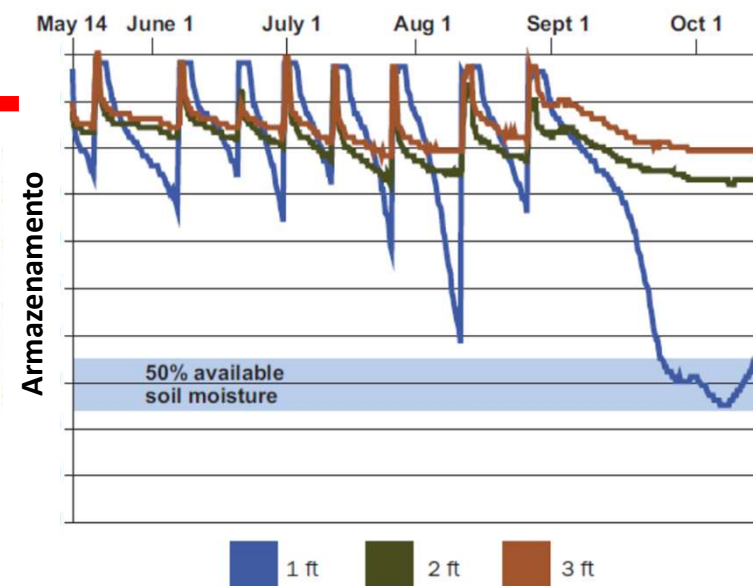
Utilização das leituras das sondas de humidade para monitorizar as regas



→ nível $\pm$ constante → quantidade de rega foi adequada

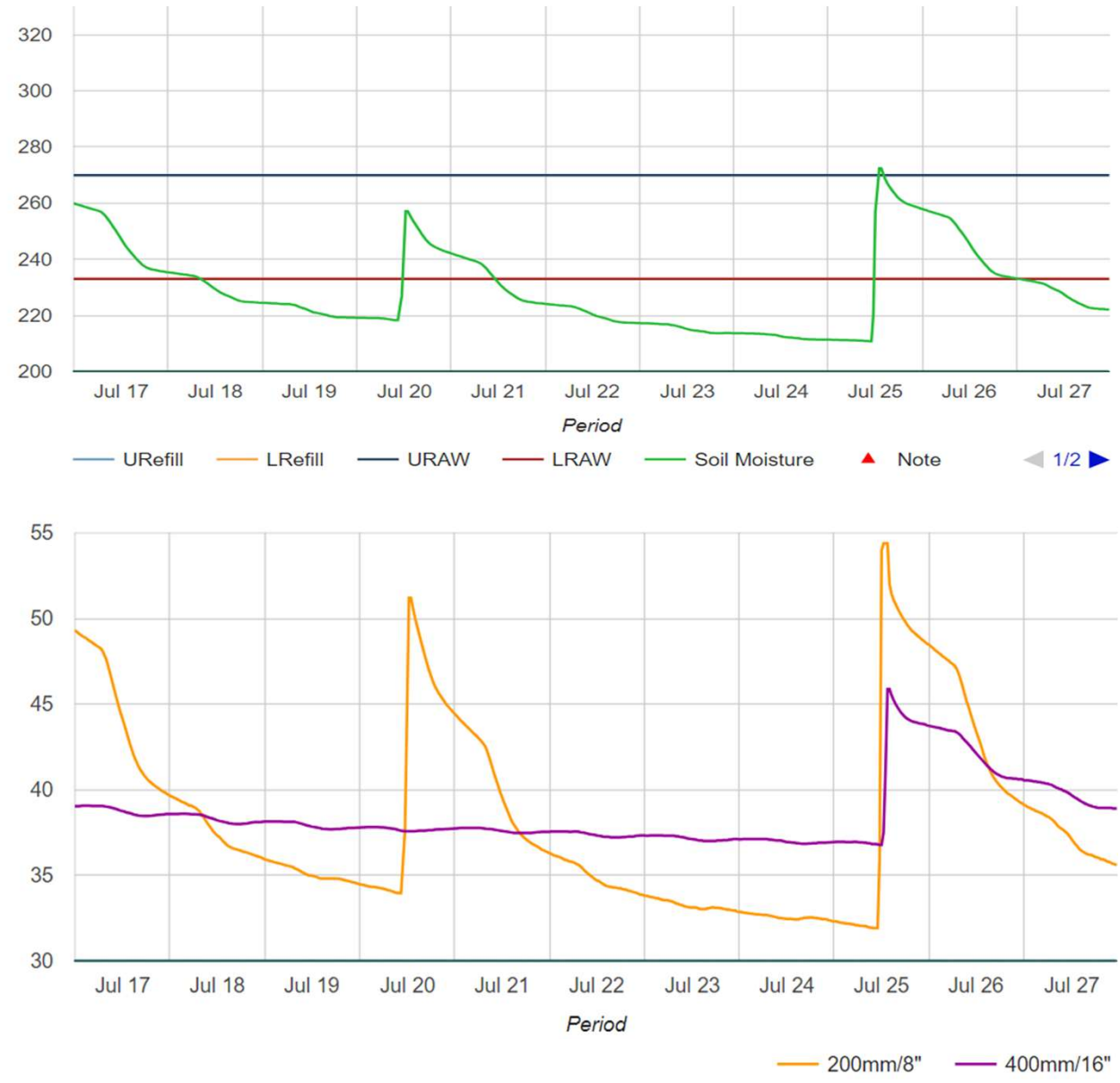
→ camada superficial secou muito mas havia água suficiente na camada seguinte

Rega a mais



Armazenamento por camadas

Armazenamento total na zona radicular



2.3.2.2 MÉTODOS BASEADOS NAS PLANTAS

- ☐ O objectivo primário da rega é fornecer água de modo a cobrir as necessidades hídricas das plantas
- ☐ A monitorização das plantas é o método mais directo de condução da rega
- ☐ A resposta das plantas reflecte a disponibilidade de água no solo e a demanda evaporativa da atmosfera
- ☐ É preciso relacionar os valores obtidos nas plantas como teor de água no solo para determinar o **quanto** regar

Métodos baseados nas plantas – aparência

- ☐ aparência
- ☐ condutância estomática (porometria)
- ☐ potencial hídrico (foliar, do ramo; de base, ao meio dia)
- ☐ fluxo de seiva (ET)
- ☐ variação do diâmetro (do tronco, dos frutos)
- ☐ turgescência
- ☐ temperatura do coberto

Prof^a TP

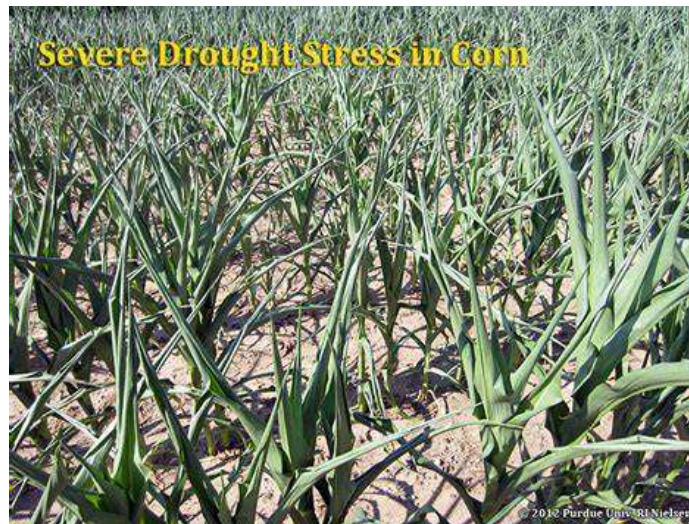


Métodos baseados nas plantas – aparência

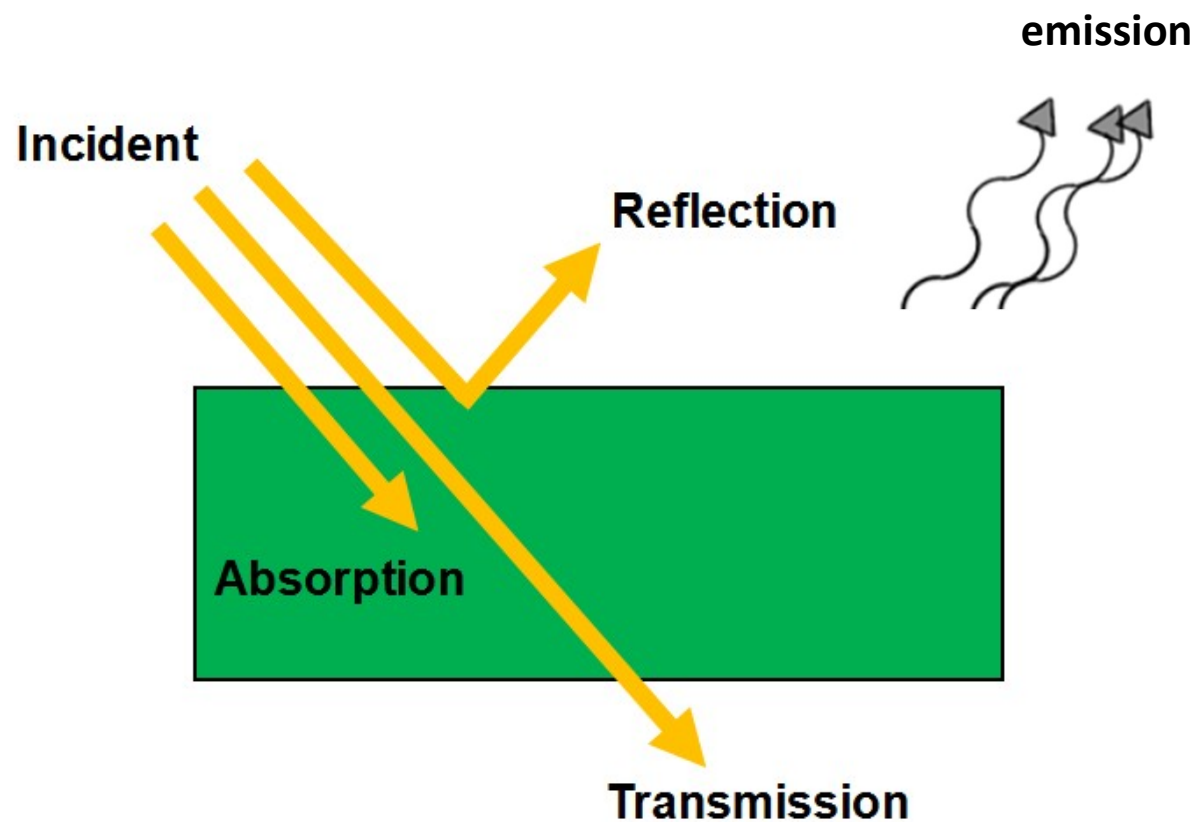
- cor
- enrolamento das folhas
- emurchecimento

❑ método fácil e rápido mas

❑ quando os sinais de stress se tornam evidentes, o nível de stress hídrico é já demasiado elevado e a perda de produção é inevitável



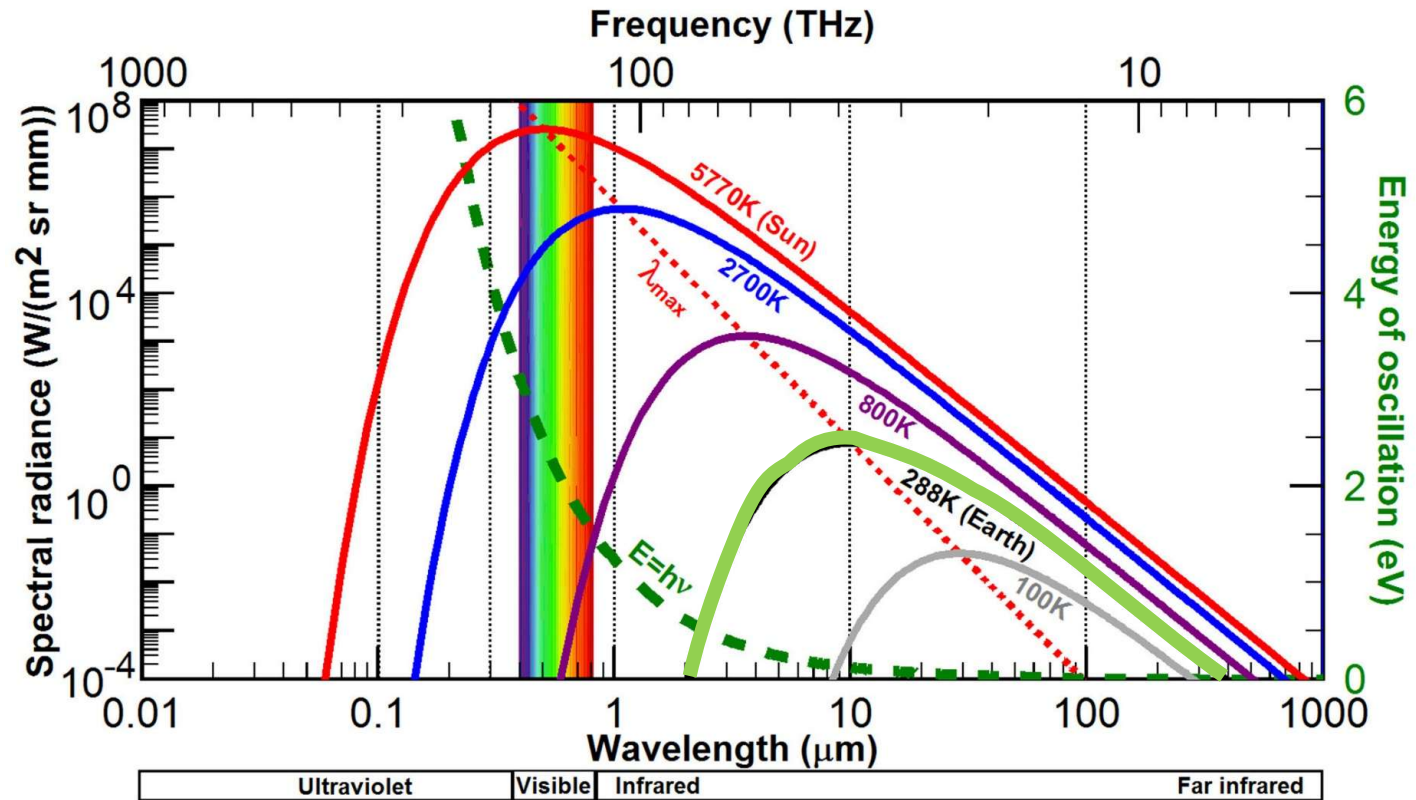
Métodos baseados nas plantas – temperatura do coberto



$$\alpha + r + \tau = 1$$

$$\alpha = \varepsilon$$

$$\varepsilon = 1 \rightarrow \text{corpo negro}$$



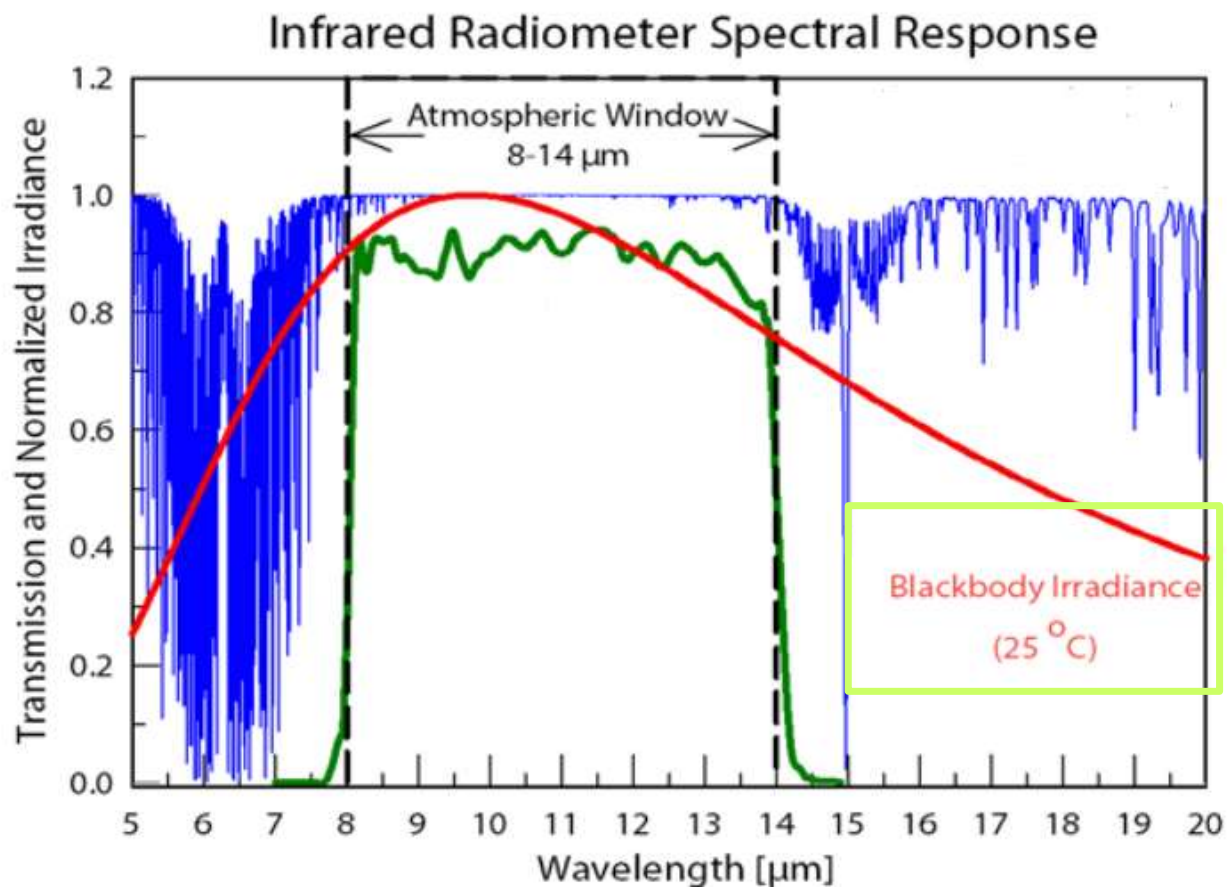
BLACKBODY RADIATION

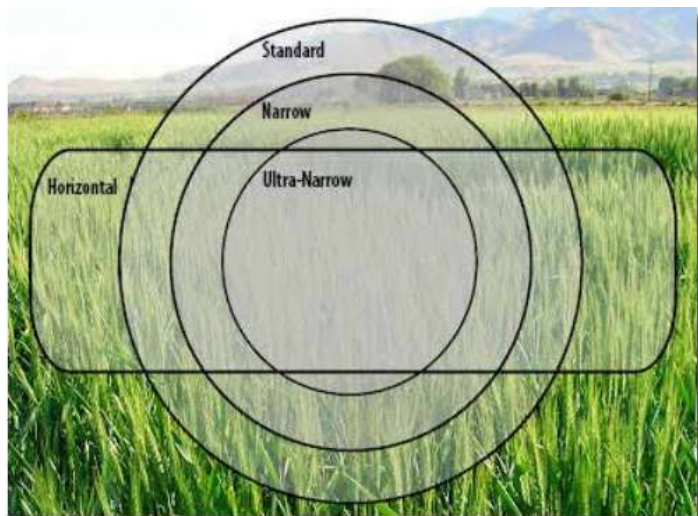
$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$$T = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{\lambda_{max}}$$

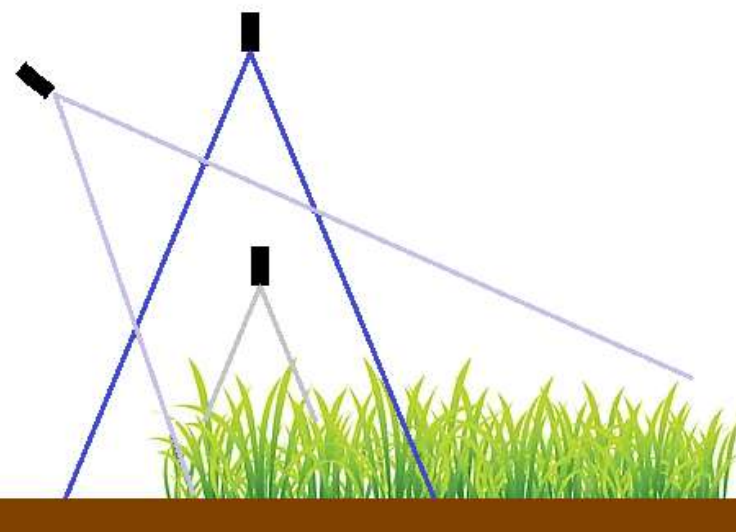
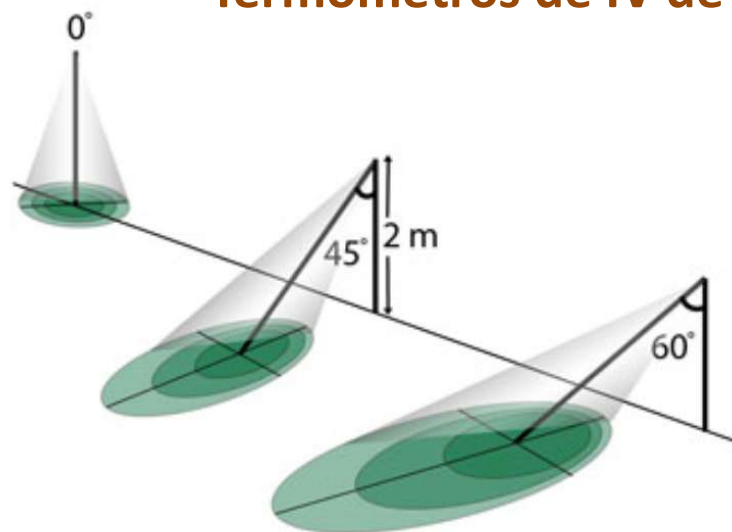
$$\frac{P}{A} = e\sigma T^4$$

A generalidade dos termómetros de infra vermelhos capta a energia emitida na banda de 8 a 14 μm de c.d.o. Razões:





Termómetros de IV de uso agrícola



Secção de En

Vantagens

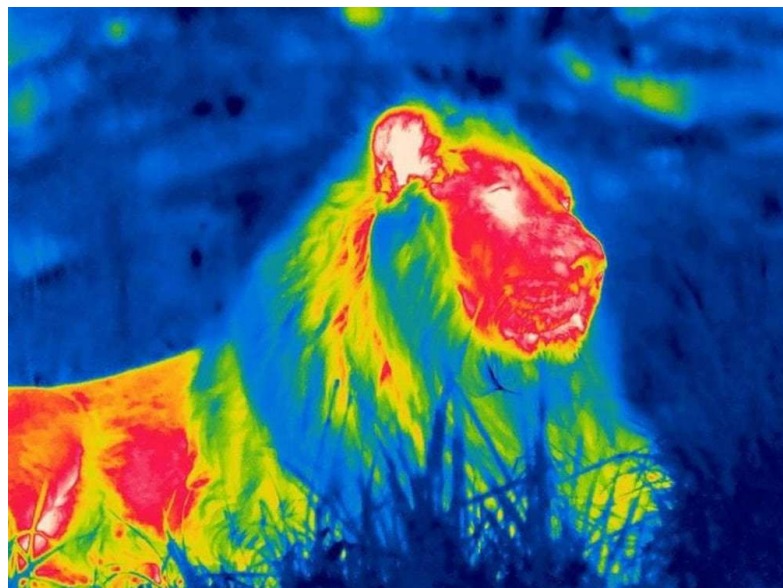
- uso remoto e registo contínuo
- permite monitorizar grandes áreas
- medição inclui várias plantas



Desvantagens

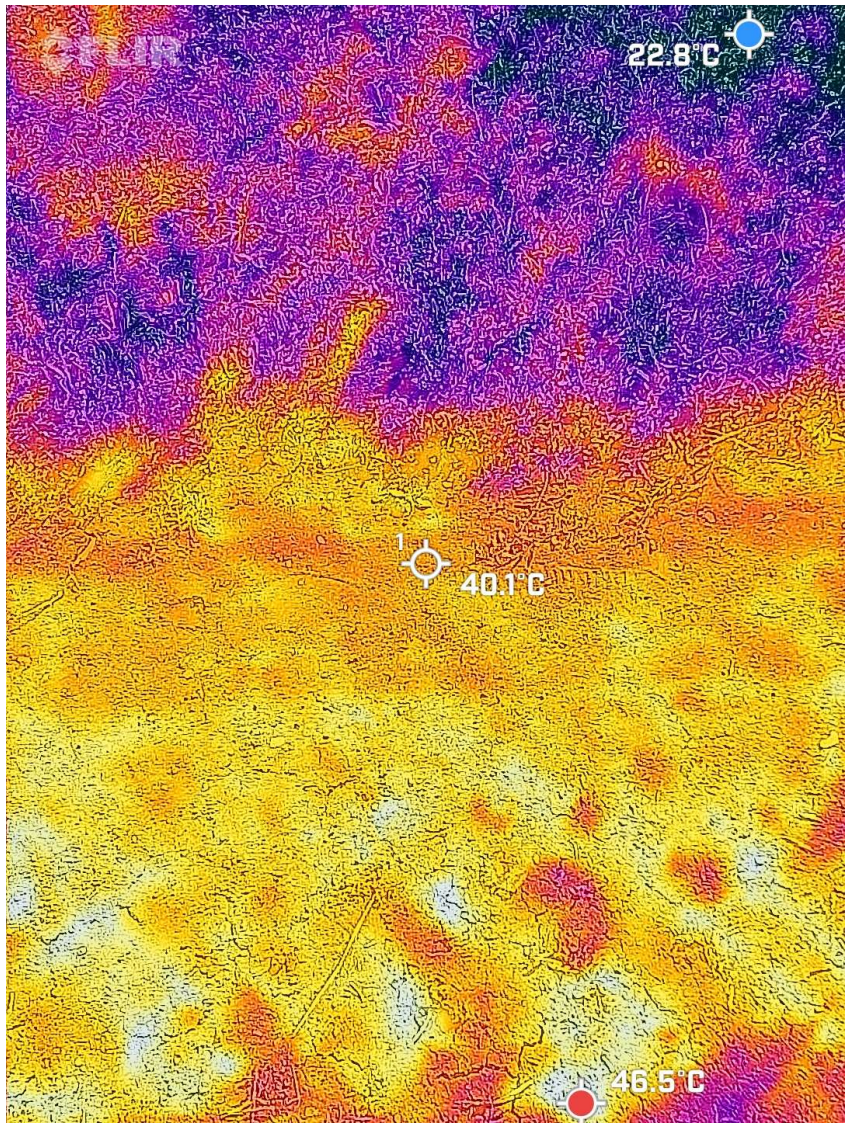
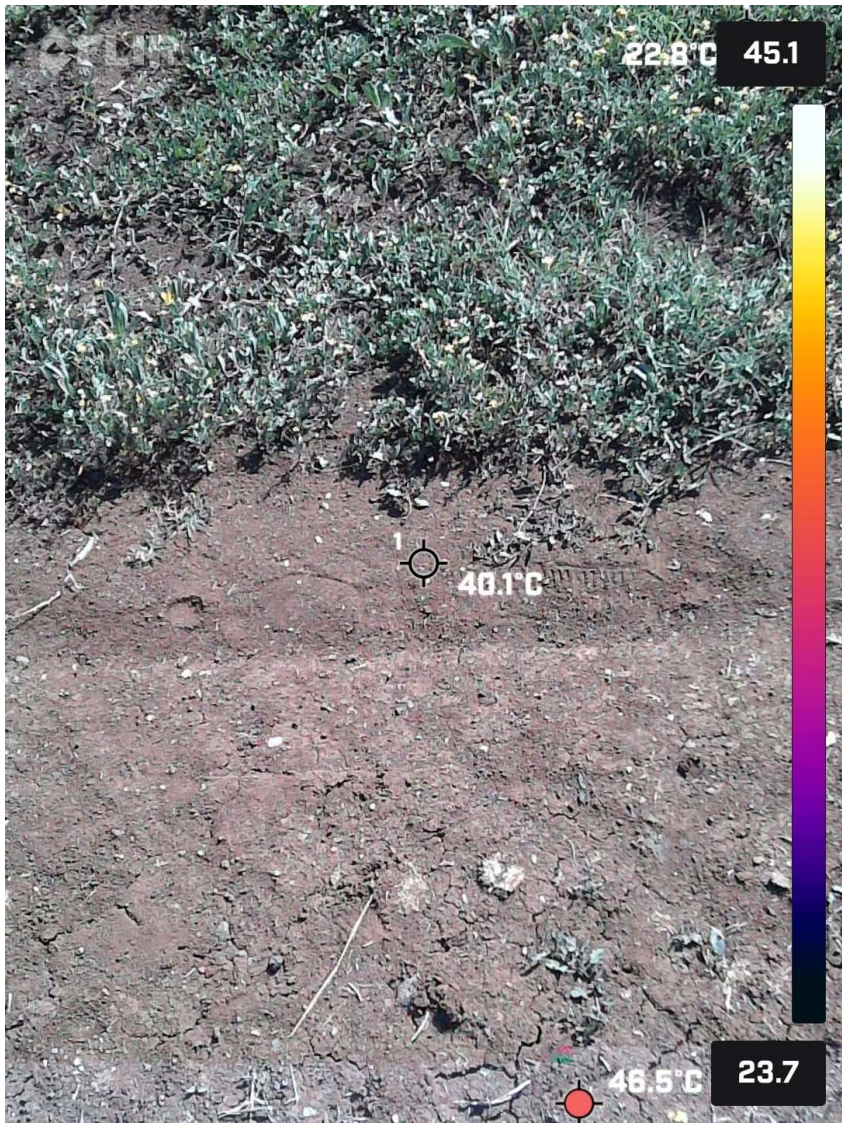
- temperatura depende também de factores ambientais
- necessário garantir que o aparelho só mede a temperatura das folhas transpirantes (evitar solo, bandeiras do milho → jogar com a altura, inclinação e tamanho do alvo do aparelho)





Câmaras térmicas

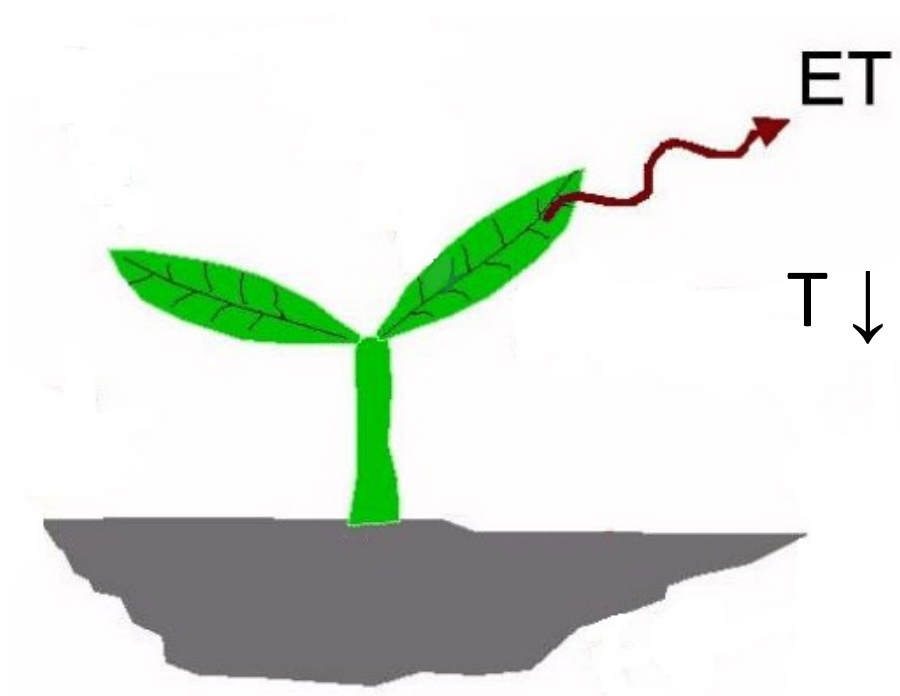




Secção de Engenharia Rural

Índices de stress hídrico baseados na temperatura

- Stress Degree Day (SDD)
- Canopy Temperature Variability (CTV)
- Temperature Stress Day (TSD)
- Time Temperature Threshold (TTT)
- Crop Water Stress Index (CWSI)



Índices de stress hídrico

- **Stress Degree Day (SDD)**

$$\text{SDD} = T_c - T_a$$

- Simples
- Diferença depende das condições climáticas, podendo mesmo ser > 0 para taxas de transpiração pequenas

- **Canopy Temperature Variability (CTV)**

Variabilidade da temperatura entre plantas aumenta à medida que se esgota a RFU

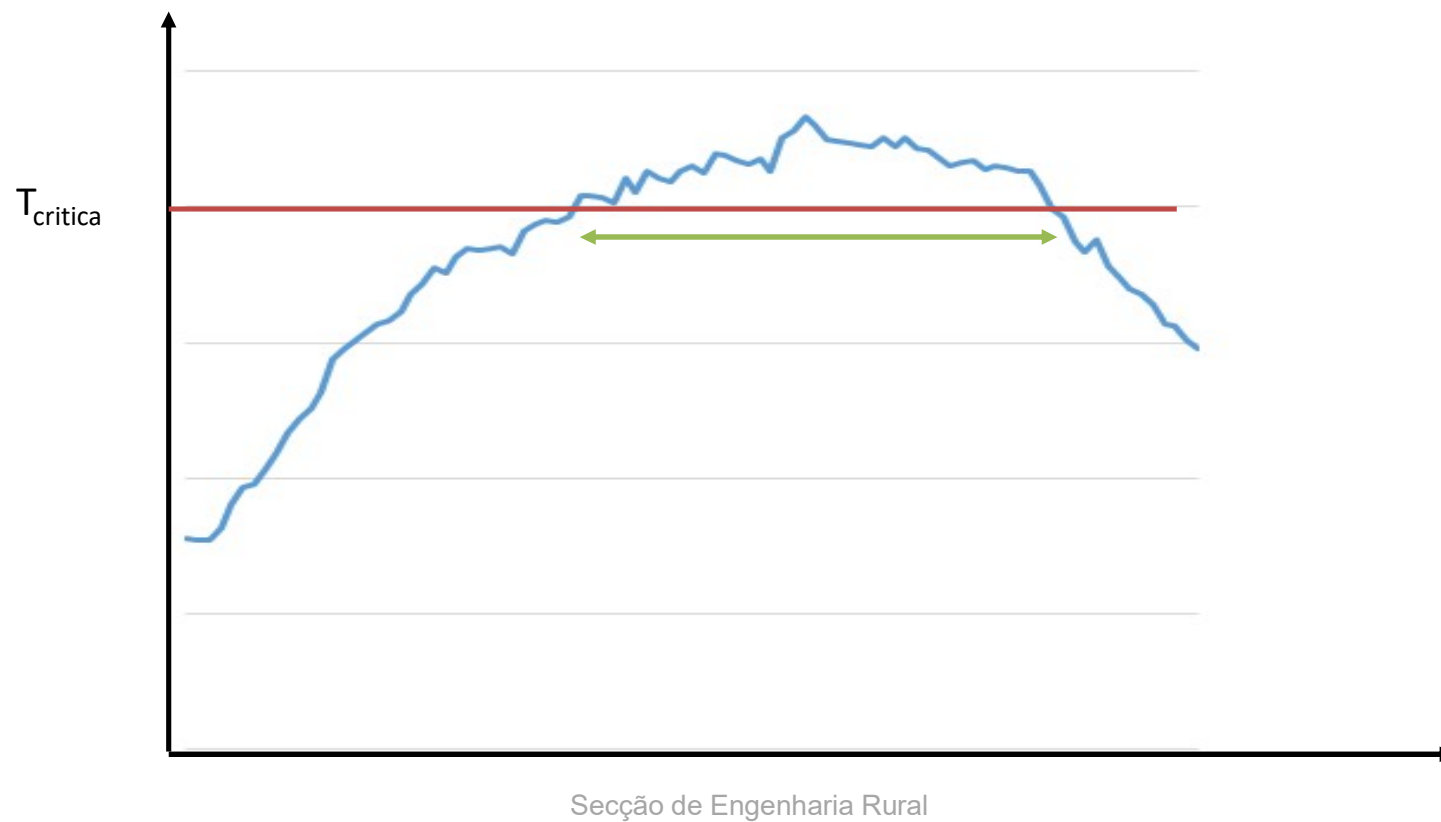
- **Temperature Stress Day (TSD)**

$$\text{TSD} = T_c - T_{c \text{ cult bem regada}}$$

Índices de stress hídrico

- Time Temperature Threshold (TTT)

tempo acumulado quando a T_c ultrapassa o valor crítico

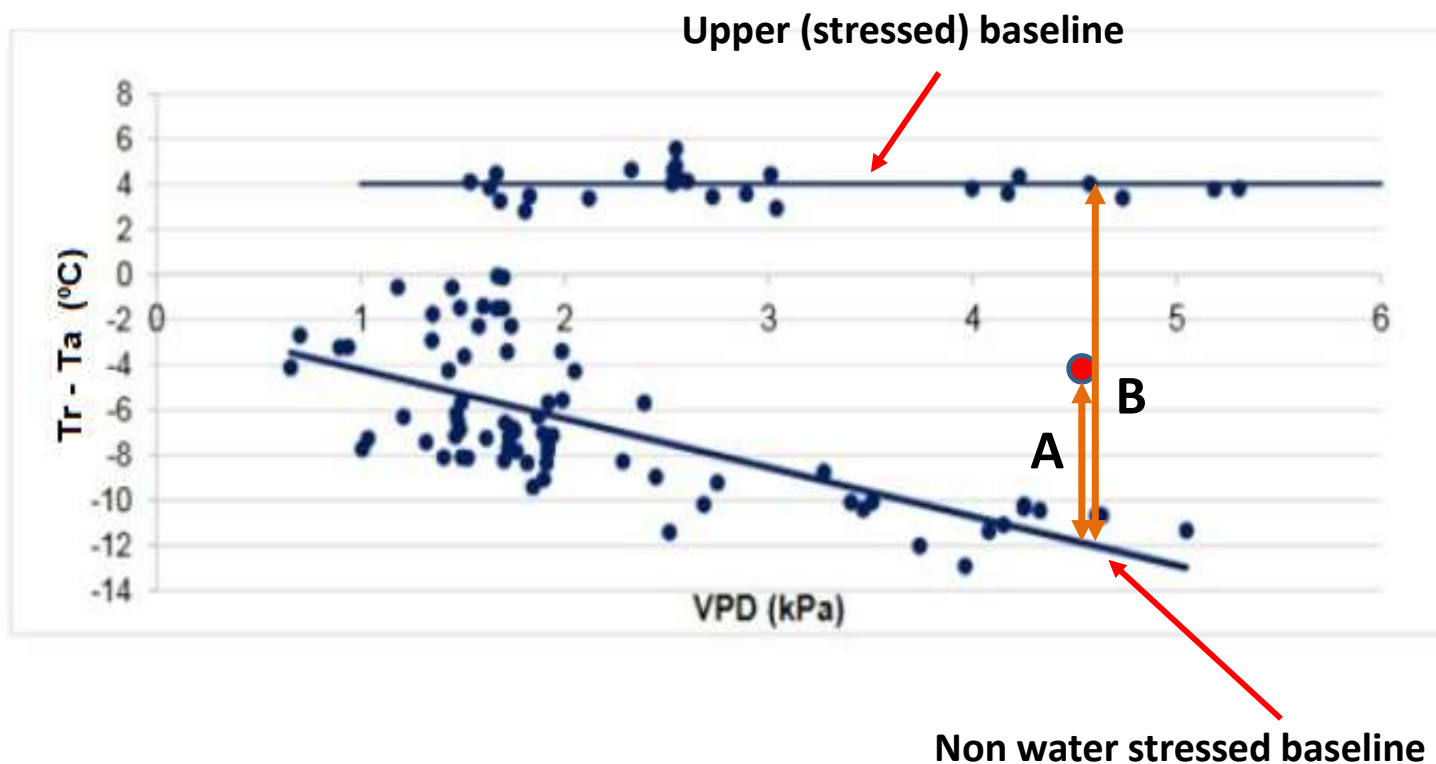


Índices de stress hídrico

- Crop **W**ater **S**tress Index (CWSI)

$$CWSI = \frac{A}{B} = 1 - \frac{ET}{ET_c}$$

$$0 < CWSI < 1$$



Baselines são f (Rn, vento)

- quando determinados empiricamente só devem ser usados no local e hora a que foram determinados
- variam com o grau de cobertura do solo
- variam ao longo do ciclo

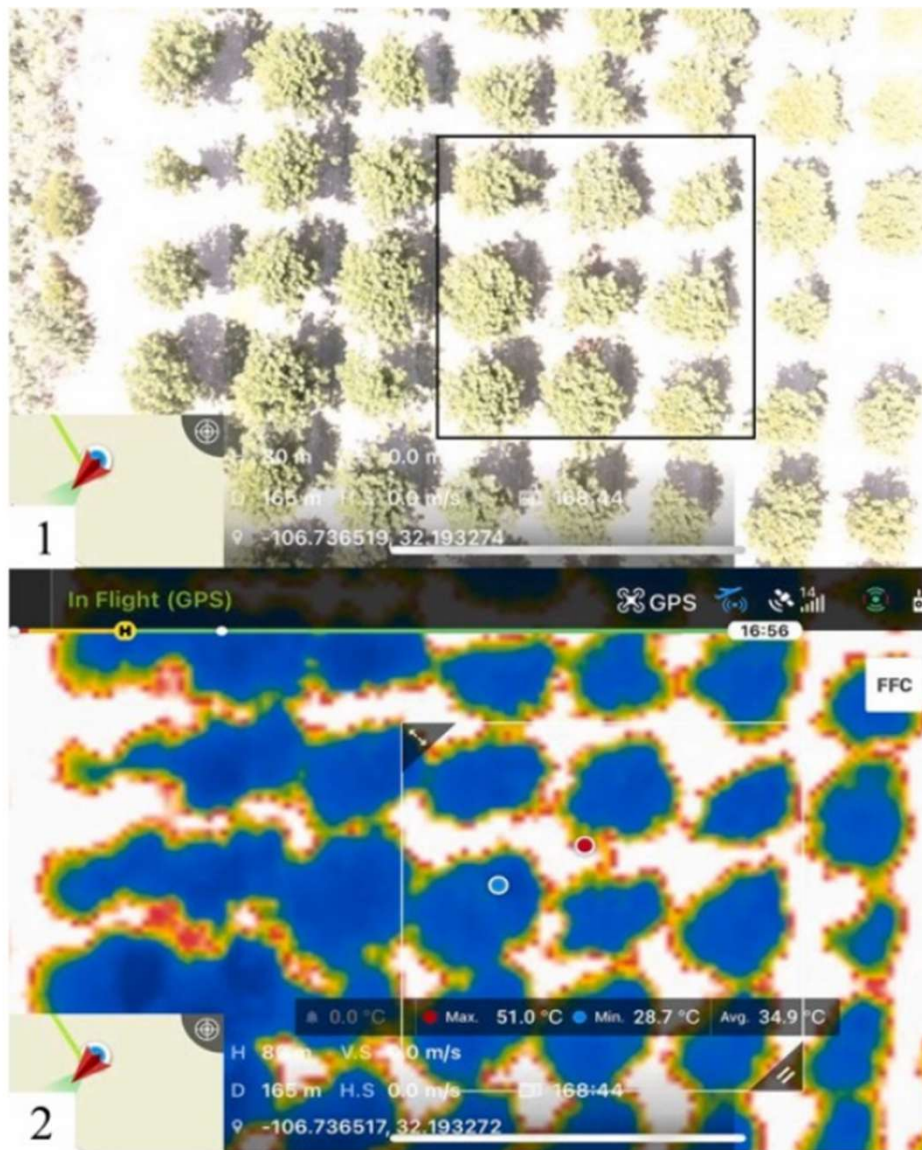


Imagem visível e térmica
tirada a partir de drone



- Índices térmicos (T_{IV})
- Modelos de estimação da ET_c

2.3.2.3 MÉTODOS BASEADOS NA METEOROLOGIA/BH

Soil water balance sheet

Crop Corn Field name SW 23 Emergence date 5/15/18

Table 4 → Pumping capacity 6.0 gpm/ac App. efficiency 85 % Net irrig. 0.27 in/day

Table 2 → Root zone depth 3 ft. AWC in root zone 4.1 in. 50% of AWC 2.05 in.

Alfalfa cut dates: 1st _____ 2nd _____ 3rd _____

Week after emergence	Date	Maximum air temperature	Crop water use	Rainfall	Irrigation	Soil water deficit
5	6/12	72	0.12			0.12
	13	79	0.12			0.24
	14	86	0.15			0.39
	15	85	0.15			0.54
	16	75	0.12	0.19		0.47
	17	70	0.14			0.61
	18	75	0.11			0.75
	19	78	0.14			0.89
	20	79	0.14			1.03
	21	84	0.19			1.22
	22	86	0.19	0.20		1.20
	23	78	0.14			1.35
7	24	76	0.17	0.35		1.17
	25	78	0.17			1.34
	26	82	0.22			1.56
	27	85	0.22			1.78
	28	89	0.22			2.00
	29	80	0.22	0.47		1.75
	30	76	0.17		0.75	1.17
8	7/1	81	0.24		X	1.41
	2	83	0.24		X	1.65
	3	83	0.24	0.42		1.47
	4	77	0.19	0.48		1.18
	5	77	0.19			1.37
	6	82	0.24	0.43		1.18
	7	92	0.30			1.48
	8	84	0.25	0.11		1.62
	9	82	0.25			1.87
	10	86	0.25	4.93		0.0
	11	85	0.25			0.25
	12	81	0.25			0.50
	13	87	0.25			0.75
	14	89	0.25			1.00

Week after emergence → 5

Add 0.61 to 0.14 to get 0.75

Maximum daily air temp is recorded and estimated crop water use is taken from Table 6

Rain amount exceeds previous days deficit plus today's crop water use

Irrigation is started so deficit does not exceed 50% of AWC. The pivot timer is set to apply 0.75 inches in 3 days

Balanço hídrico

Entradas:

- ET_o
- P
- θ_{cc} θ_{ce} e z
- K_c
- regas

Dá-nos o quando e o quanto regar

Determinação de *ET_o* – estações meteorológicas



- radiação solar
- temperatura do ar
- humidade relativa
- velocidade e direcção do vento
- precipitação



Equação de
Penman-Monteith

Secção de Engenharia Rural



Determinação de ET_o – tinas evaporimétricas e evaporímetros



Tina classe A



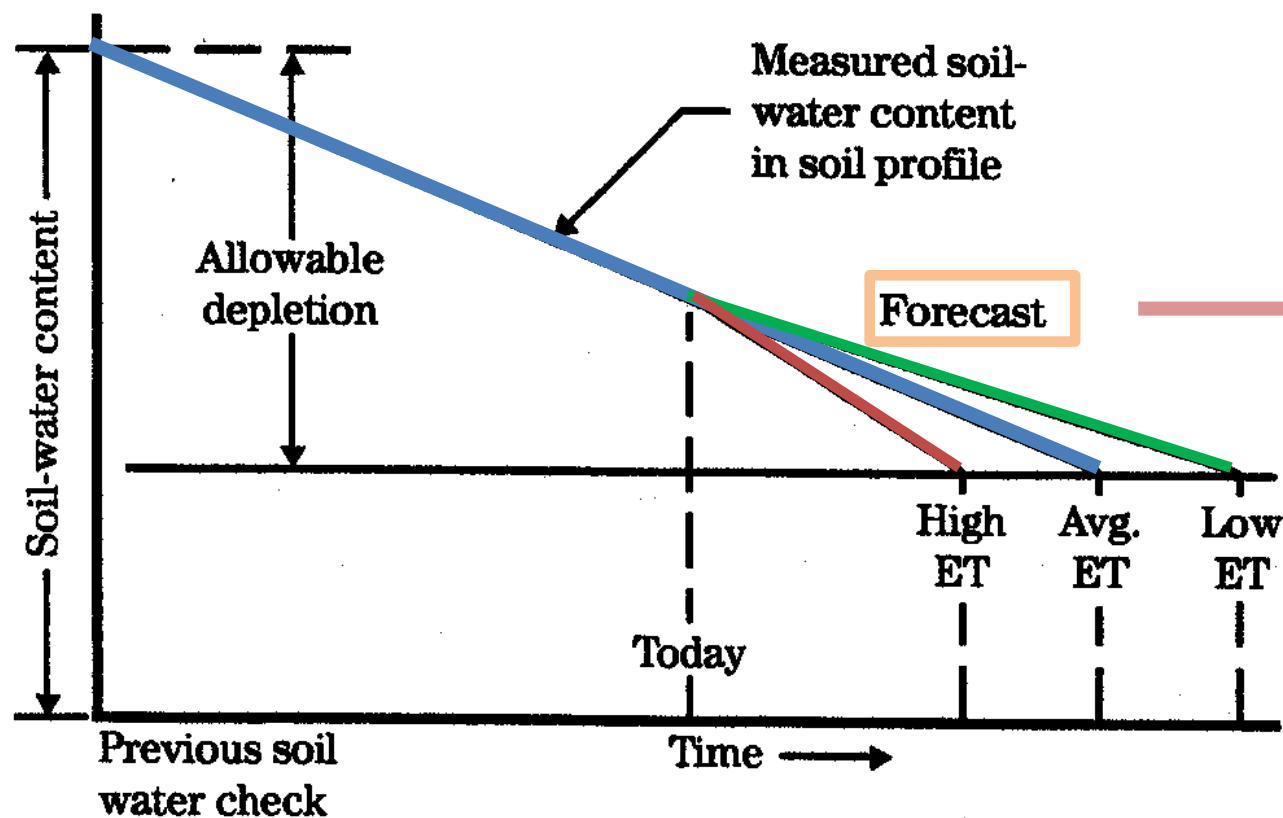
evaporímetro

$$ET_o = E_{tina} \times K_{tina}$$

Medição da precipitação



Previsão do dia de rega com base no teor de água no solo (medido / estimado com o balanço hídrico)



- Extrapolação
- Dados históricos de ET_o / ET_c
- Previsão meteorológica

Vantagens

- fácil aplicação
- permite determinar o quando e o quanto contínuo
- permite prever o dia de rega
- pode ser aplicado a várias parcelas simultaneamente

Desvantagens

- necessita de valores adequados de ETo, Kc, precipitação
- erros são cumulativos pelo que deve ser feita correção através de leituras periódicas da água do solo
- Em rega localizada é necessário uma rede de sensores que monitorize toda a zona radicular dada a variabilidade horizontal do teor de água

Principais causas de erro

- Erro no valor do Kc escolhido (pomares, culturas esparsas, culturas em condições não óptimas)
- Precipitação mal ou não medida
- Valores incorrectos/variabilidade espacial de θ_{cc} e θ_{ce} e z
- Dotações de rega / eficiência de rega mal medidos/avaliados
- Fontes de água não contabilizadas (AC, condensação nocturna)

CONDUÇÃO DA REGA – COMBINAÇÃO DE MÉTODOS

