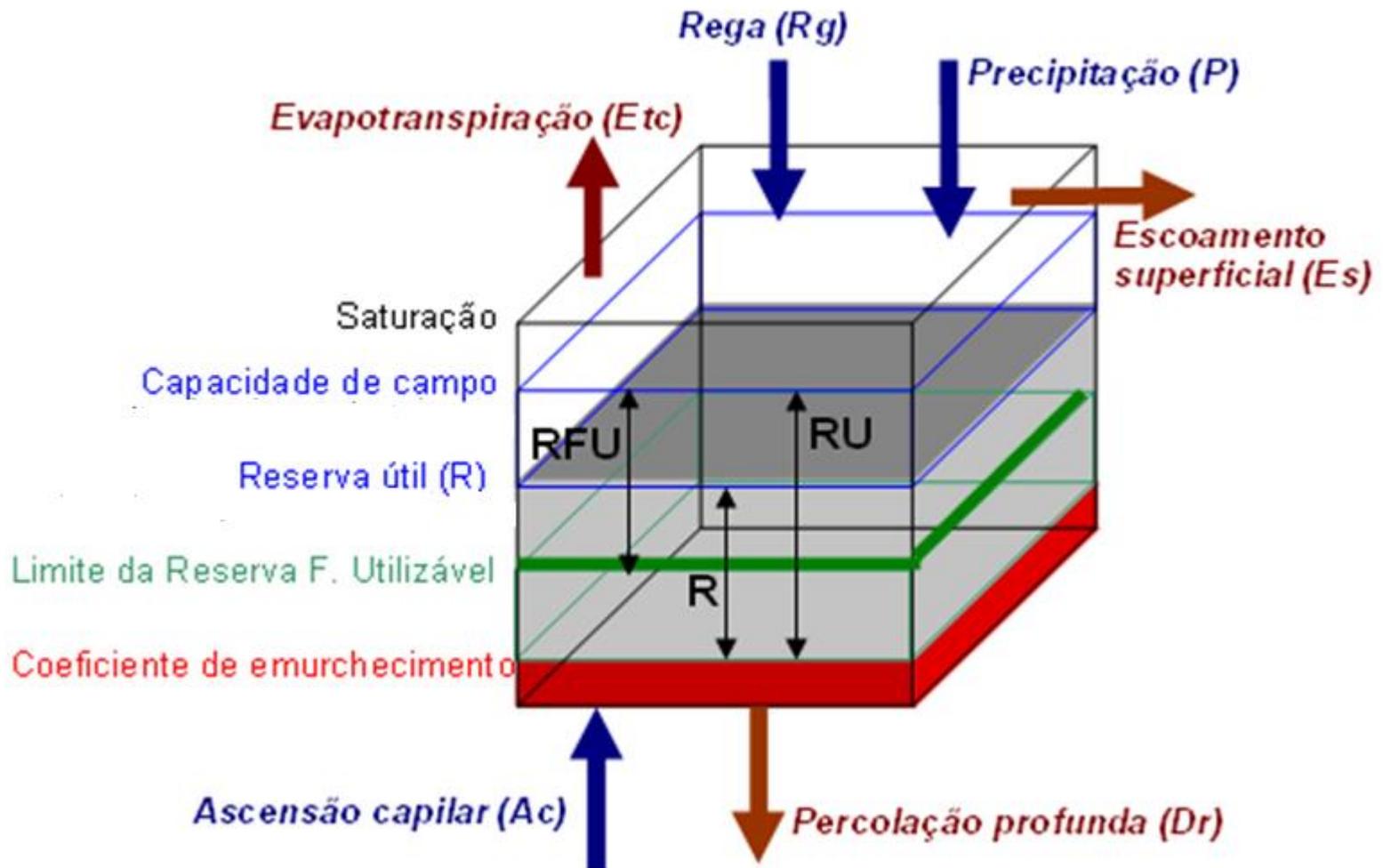


# Balanço hídrico do solo com rega

O cálculo das necessidades hídricas é baseado numa aproximação simplificada do balanço hídrico do solo, considerando este um reservatório que recebe água através da precipitação, da rega ou da ascensão capilar e que perde água através da evapotranspiração das culturas, do escoamento superficial ou da drenagem profunda.



A capacidade máxima é a sua **Reserva Utilizável** (mm), calculada quando a humidade à capacidade de campo (CC) e ao coeficiente de emurchecimento (CE) são expressos pela sua % em volume, através da expressão:

$$RU = (CC - CE) \times 10 \times z$$

em que  $z$  (m) é a profundidade do sistema radicular

Como apenas uma parte desta água é utilizada em situação de conforto hídrico das culturas, estabelece-se uma **Reserva Facilmente Utilizável** calculada como um fracção da Reserva Utilizável.

Esta fracção denomina-se **fracção facilmente utilizável**,  $p$ .

$$RFU = RU \times p$$

.Pode então definir-se o **Imite da reserva facilmente utilizável** (Lrfu) como o valor mínimo da água útil no solo,  $R$ , abaixo do qual a planta entra em situação de carência hídrica, e calcula-se pela expressão:

CC=22%

CE=10%

$p=0.4$

Z=0.9 m

$$RU = (CC - CE) \times 10 \times z = (22 - 10) * 10 * 0.9 = 108 \text{ mm}$$

$$RFU = RU \times p = 108 \times 0.4 = 43.2 \text{ mm}$$



## ÁGUA UTILIZÁVEL DO SOLO



Ficam assim delimitadas:

- a) uma *zona de saturação*, em que a água não é imediatamente utilizável, acima da capacidade de campo,
- b) uma *zona de conforto hídrico* entre a capacidade de campo e o  $L_{rfu}$ , onde se considera que a cultura se desenvolve em condições ótimas,
- c) uma *zona de carência hídrica* entre este limite e o coeficiente de emurchecimento, em que se reduz a evapotranspiração cultural de acordo com a diminuição do teor de água no solo, e uma *zona de água não utilizável* abaixo deste valor.

A variável  $R$  (*reserva útil do solo*) mostrada na 1ª Figura, representa o valor da água armazenada no solo a uma tensão superior à do coeficiente de emurchecimento permanente.

**Considerando apenas o conforto hídrico das culturas a rega deveria ser feita para que a água no solo se mantivesse sempre na zona de conforto hídrico (entre a reserva utilizável do solo, correspondente ao valor de água útil armazenado à capacidade de campo) e o limite da reserva facilmente utilizável.**

Para um determinado intervalo de tempo  $t$  (dias) a equação de balanço pode escrever-se do seguinte modo:

$$\Delta R = (P - ET_c + R_g - E_s + A_c - D_r) \times \Delta t$$

Com  $P$ ,  $ET_c$ ,  $R_g$ ,  $E_s$ ,  $A_c$  e  $D_r$  expressos em mm/dia

Considerando que a precipitação efectiva ( $Pe$ ) pode ser definida por:

$$Pe = P - E_s$$

$$\Delta R = (Pe - ET_c + R_g + A_c - D_r) \times \Delta t$$

## a) Na zona de conforto hídrico

Nesta zona é:  $D_r=0$ , porque se está abaixo da capacidade de campo; A evapotranspiração  $ET_c$  é constante e igual ao seu valor máximo, visto que a cultura está numa situação de conforto hídrico; e  $A_c=0$ , porque não se estabelece o gradiente necessário para provocar a ascensão capilar. Assim, a equação simplifica-se:

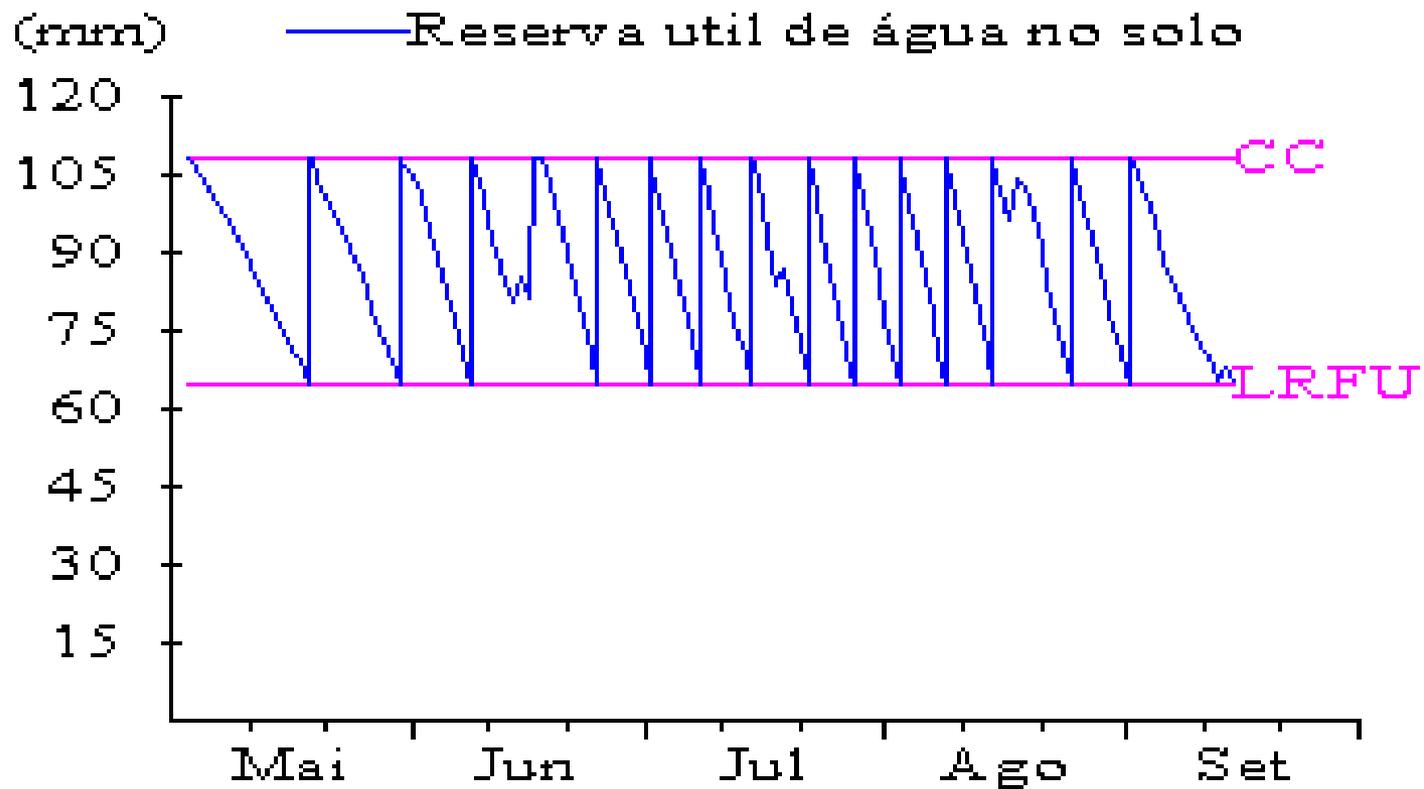
$$\Delta R = (P_e - ET_c) \times \Delta t$$

Tomando diferenciais e integrando em ordem ao tempo, considerando as condições limites enunciadas para a zona de rendimento máximo, fica:

$$R(t) = R_i + (P_e - ET_c) \times t$$

em que  $R_i$  representa o volume de água utilizável armazenado pelo solo no início do intervalo e  $R(t)$  é o volume de água utilizável ao fim de um instante  $t$ .

A equação anterior é a equação de uma reta que passa pela valor de  $R_i$  e tem um declive positivo quando  $P > ET_c$ , isto é, quando a entrada de água no solo é superior à saída.



## b) Na zona de carência hídrica

Na zona de carência hídrica, a planta diminui o seu poder evapotranspirante, diminuindo  $ET_L$  à medida que o solo vai perdendo água.

Assim, introduzindo a hipótese de linearidade é:

$$ET_{c_{aj}} = \frac{ET_c}{R_{min}} R$$

Em que  $ET_{c_{aj}}$  é o valor ajustado da evapotranspiração cultural num determinado instante considerando situações de stress hídrico e  $R_{min}$  é o ponto da linha Limite da Reserva Facilmente Utilizável nesse instante (dia). Então de acordo com a definição de coeficiente cultural ( $K_c$ ), o coeficiente de stress  $K_s$  calcula-se por:

$$K_s = \frac{R}{R_{min}} \quad ET_{c_{aj}} = k_s \times ET_c$$

Nota:  $R_{min}$  é o valor mínimo da água utilizável em que a planta ainda não está em stress, sendo portanto igual, em cada dia, ao valor que nesse dia tem o Limite da Reserva Facilmente Utilizável

**a) Na ausência de uma toalha freática próximo da superfície**

$$A_c=0$$

E a equação do balanço passa a ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta R = \left( Pe - \frac{ET_c}{R_{\min}} R \right) \Delta t = (Pe - k_s \times ET_c) \Delta t$$

$$R = R_0 + (Pe - k_s \times ET_c) \Delta t$$

Como agora  $K_s$  é uma função da variável  $R$  a equação diferencial não é de variáveis separáveis e tem que ser integrada doutro modo.

A forma mais simples de a resolver é fazer integração dia a dia considerando  $K_s$  constante em cada dia ( $i$ ), calculado a partir do valor da reserva de água no solo obtido para o final do dia anterior ( $i-1$ ).

$$R_i = R_{i-1} + Pe_i - k_s \times ET_{c_i} \quad k_s = \frac{R_{i-1}}{R_{\min}}$$

1° dia

2° dia

3° dia

4° dia

$R_{ini}=67$  mm

$Pe=0$

$ETc=7$  mm

$Pe=0$  mm

$ETc=6$  mm

$Pe=2$  mm

$ETc=5$  mm

$Pe=0$  mm

$ETc=6$  mm

CC=108 mm

R=67

R=60

R=54.4

R= 52.2

LRFU=Rmin=64.8 mm

$k_s=1$

$k_s=60/64.8=0.926$

$k_s=54.4/64.8=0.840$

$k_s=52.2/64.8=0.806$

$ks*ETc = ETc$   
 $=7$

$ks*ETc = ETc*ks$   
 $=5.6$

$ks*ETc=5*0.840$   
 $=4.2$

$ks*ETc=6*0.806$   
 $=4.83$

$$R_i = R_{i-1} + Pe_i - ks \times ETc_i$$

$R=67-7+0=60$

$R=60-5.6+0=54.4$

$R=54.4-4.2+2=52.2$

$R=52.2-4.83+0=47.37$

**Resultado ao fim  
de 4 dias**

$R_{ini}= 67.00$  mm

$R_{fin}= 47.37$  mm

**b) Quando está presente uma toalha freática próximo da superfície**

Na zona de carência hídrica  $A_c$  é inversamente proporcional ao teor de água no solo, atingindo o seu valor máximo (*potencial de ascensão capilar*  $G$  quando  $R=0$ , ou seja, quando o teor de humidade do solo é igual ao coeficiente de emurchecimento permanente ( $CE$ ).

Nestas condições, a equação que permite, em cada instante, calcular  $A_c$  em função de  $R$ , é:

$$A_c = G - \frac{G}{R_{\min}} R = G - k_s \times G$$

A equação do balanço hídrico passa agora a ter a seguinte expressão:

$$\Delta R = \left( Pe - \frac{R}{R_{\min}} ETC + G - \frac{R}{R_{\min}} G \right) \times \Delta t$$

$$\Delta R = \left( Pe - k_s \times ETC + G - k_s \times G \right) \times \Delta t$$

Como a  $ETC$  e a  $A_c$  dependem do valor de  $R$ , a equação pode ser resolvida como no caso anterior, fazendo intervalos de tempo pequenos (1 dia) e considerando que o valor de  $ETC$  e de  $A_c$  a utilizar nesse dia ( $i$ ) são função do valor de  $R$  obtido no final do dia anterior ( $i-1$ ).

$$R_i = R_{i-1} - k_s \times ETC_i + Pe_i + G_i - k_s \times G_i \quad k_s = \frac{R_{i-1}}{R_{\min}}$$

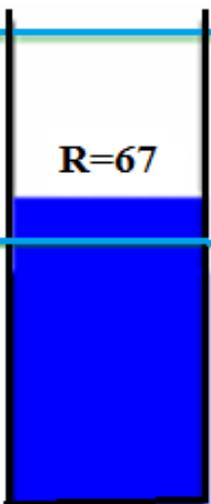
1º dia

G=4 mm

R<sub>ini</sub>=67 mm

Pe=0

ETc=7 mm



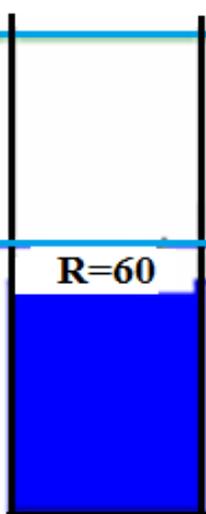
R=67

2º dia

G=4 mm

Pe=0 mm

ETc=6 mm



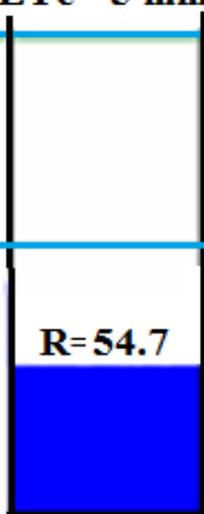
R=60

3º dia

G=4 mm

Pe=2 mm

ETc= 5 mm



R= 54.7

4º dia

G=4 mm

Pe=0 mm

ETc=6 mm



R=52.9

CC=108 mm

LRFU=Rmin=64.8 mm

Resultado ao fim de 4 dias

Rini=67 mm

Rfin= 48.8 mm

$$k_s=1$$

$$k_s \times ETc = ETc = 7$$

$$Ac = G - G \times k_s = 0$$

$$k_s = 60 / 64.8 = 0.926$$

$$k_s \times ETc = 6 \times 0.926 = 5.6$$

$$Ac = 4 - 4 \times k_s = 0.3$$

$$K_s = 54.7 / 64.8 = 0.844$$

$$k_s \times ETc = 5 \times 0.844 = 4.2$$

$$Ac = 4 - 4 \times k_s = 0.4$$

$$k_s = 52.9 / 64.8 = 0.816$$

$$k_s \times ETc = 6 \times 0.816 = 4.9$$

$$Ac = 4 - 4 \times k_s = 0.8$$

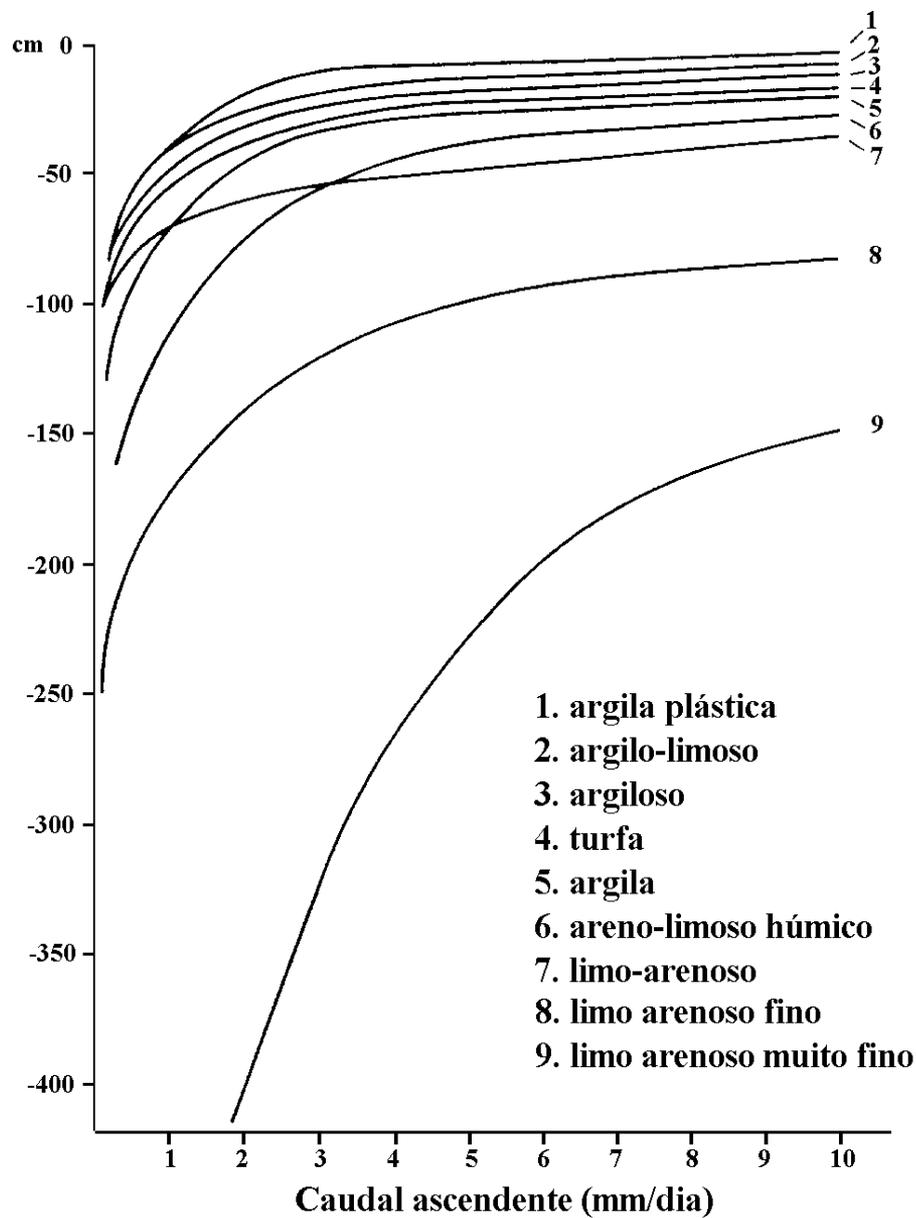
$$R_i = R_{i-1} - k_s \times ETc_i + Pe_i + G_i - k_s \times G_i$$

$$R = 67 - 7 + 0 = 60$$

$$R = 60 - 5.6 + 0 + 0.3 = 54.7$$

$$R = 54.7 - 4.2 + 2 + 0.4 = 52.9$$

$$R = 52.9 - 4.9 + 0 + 0.8 = 48.8$$



Potencial de ascensão capilar em função do tipo de solo e da profundidade da toalha freática (Extraído de Doorenbos e Pruitt, 1977).

(mm)

— Reserva util de água no solo

120

105

90

75

60

45

30

15

CC

LRFU

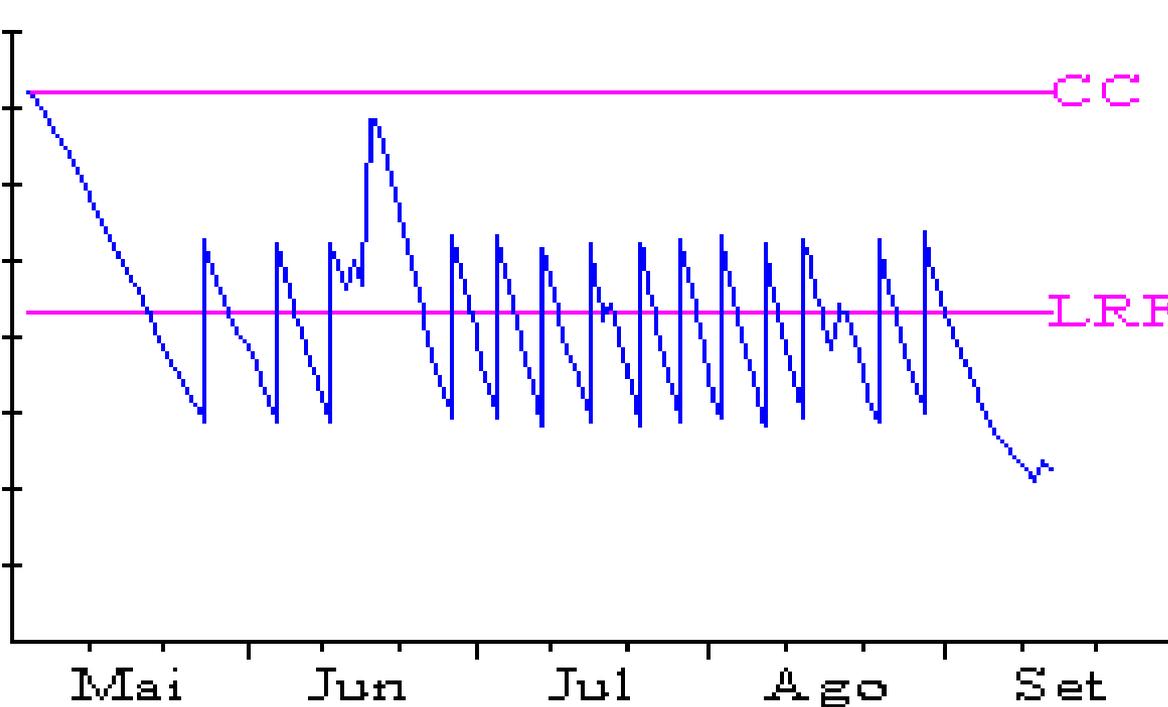
Mai

Jun

Jul

Ago

Set



# Programas de simulação

- **Programa ISAREG** – Faz a simulação da rega com dados meteorológicos históricos. Utiliza-se para planeamento e projecto.
- **Programa RELREG** – Faz a simulação com dados meteorológicos actuais e é utilizado para fazer a condução da rega em tempo real.

Estes programas estão disponíveis em:

<http://home.isa.utl.pt/~jlteixeira/index.htm>

# Dados meteorológicos

## **SEÇÃO DE** **Agricultura** Secção de Agricultura

### Dados Meteorológicos

- [Aguas de Moura.xls](#)
- [Alcacer do Sal.xls](#)
- [Alcobaca.xls](#)
- [Alcobaca\\_Escola Agricola.xls](#)
- [Almeirim.xls](#)
- [Alvalade.xls](#)
- [Alvega.xls](#)
- [Alverca.xls](#)
- [Ameixial.xls](#)
- [ANADIA.XLS](#)
- [Beja.xls](#)
- [Benavila.xls](#)
- [Bigorne.xls](#)
- [Braga.xls](#)
- [Braganca.xls](#)
- [Cabo Carvoeiro.xls](#)
- [Cabo da Roca.xls](#)
- [Caldas da Rainha.xls](#)
- [Campo Maior.xls](#)
- [Caramulo.xls](#)
- [Castelo Branco.xls](#)
- [Castelo Branco\\_1.xls](#)
- [Castelo Branco\\_2.xls](#)
- [Castro Verde.xls](#)

[http://agricultura.isa.utl.pt/agribase\\_temp/soles/default.asp](http://agricultura.isa.utl.pt/agribase_temp/soles/default.asp)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Estação	Ano	Mês	T9	T	Tmax	Tmin	Tamax	Tamin	Vento	HR9	I	R	R01	R1	R10	Geada
2	Bragança	1959	1	4.2	6	9.1	2.9	14.4	-4.6		91	85.3	74.6	18	12	3	0
3	Bragança	1959	2	2.1	5.9	10.9	1	16	-2		86	200.7	26.1	8	5	0	25
4	Bragança	1959	3	6.1	8.3	11.7	5	19.6	-0.2		88	107.4	103	24	15	3	2
5	Bragança	1959	4	5.9	9.8	14.6	5	21	2		86	221.8	86.6	13	8	2	4
6	Bragança	1959	5	8.8	13.4	18.5	8.4	24.6	1.1		90	243.9	83.4	16	12	2	3
7	Bragança	1959	6	12	17.3	23.4	11.2	27	4		87	336.9	71.4	7	4	2	0
8	Bragança	1959	7	15.8	22.7	30.2	15.1	37	10.4		78	397.1	31.1	6	4	1	0
9	Bragança	1959	8	14.2	20.3	27	13.7	32.8	10.1		85	328.6	47.3	7	4	2	0
10	Bragança	1959	9	12.8	17.1	22.1	12.2	26.4	8.4		91	198.5	74.5	15	10	3	0
11	Bragança	1959	10	9.1	12.6	17.4	7.7	23.2	1.2		91	195.3	79.7	17	10	5	0
12	Bragança	1959	11	5	7.2	10.8	3.5	18	0		92	127.4	129.9	20	11	5	4
13	Bragança	1959	12	6.3	5.9	8.8	2.9	13	-1.6		91	87	191.6	28	18	7	3
14	Bragança	1960	1	3.4	5	8.2	1.8	16.3	-5.5		91	126.8	105.2	21	8	6	14
15	Bragança	1960	2	3.2	5.3	8.4	2.2	19.4	-4.8		92	86.6	161.8	22	16	6	7
16	Bragança	1960	3	5.7	8.2	12	4.4	21	1.2		89	132.8	111.8	20	14	3	2
17	Bragança	1960	4	5.8	11.1	17	5.1	23	-0.8		85	281.2	25.4	5	3	1	6
18	Bragança	1960	5	10.1	14.6	20	9.3	29.8	5.4		87	275.8	61.6	10	6	3	0
19	Bragança	1960	6	13.9	19.5	25.9	13.1	33	7.8		80	368.3	39.9	5	3	1	0
20	Bragança	1960	7	13.3	19.6	26.6	12.7	34.6	7.4		77	389.8	21	4	3	0	0
21	Bragança	1960	8	12.2	18	24.6	11.3	30.2	7.4		71	338.1	22.4	6	3	1	0
22	Bragança	1960	9	11.7	17.1	23.4	10.8	32	5		78	225.5	51.5	10	7	2	0
23	Bragança	1960	10	7.7	10.2	13.6	6.7	18	0.8		94	123.6	225.4	23	19	8	2
24	Bragança	1960	11	6.5	7.7	10.8	4.6	14	0		91	102.9	175.8	25	18	6	6
25	Bragança	1960	12	2.5	4	7.1	0.9	11.8	-2.2		88	126.1	77.5	20	11	3	18
26	Bragança	1961	1	2.3	3.8	7.1	0.4	12.6	-5.2		90	110.8	60	26	12	1	15
27	Bragança	1961	2	5.2	8.6	13.5	3.7	17.4	0.7		88	187.3	36.5	11	5	1	10