



INSTITUTO  
SUPERIOR DE  
AGRONOMIA  
*Universidade de Lisboa*

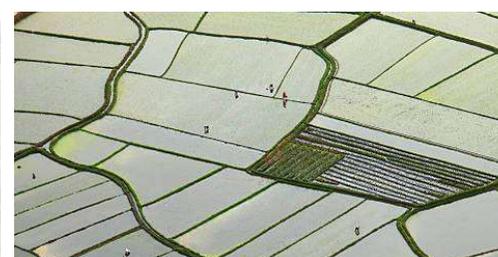
Departamento de Ciências e  
Engenharia de Biosistemas

# Recursos Hídricos

## MÓDULO 2 NECESSIDADES DE REGA DAS CULTURAS

---

### Aula 5 Necessidades de rega (continuação)



- 2.4 Equação do BH em carência hídrica
  - 2.4.1 Sem presença de toalha freática
  - 2.4.2 Com presença de uma toalha freática
- 3. Dotação útil de rega e dotação total de rega.
  - 3.1 Eficiência do sistema de rega
  - 3.2 Fração de lixiviação
- 4. Utilização dos dados das necessidades de rega no dimensionamento da rede de distribuição de água – Balanço hídrico para programação da rega com recurso a dados históricos
  - 4.1 Conceitos;
  - 4.2 Análise de frequência
  - 4.3 Caudal de dimensionamento ou de projeto

## 2.4. Equação do BH em carência hídrica

### Na zona de carência hídrica

a planta diminui o seu poder evapotranspirante à medida que o solo vai perdendo água.

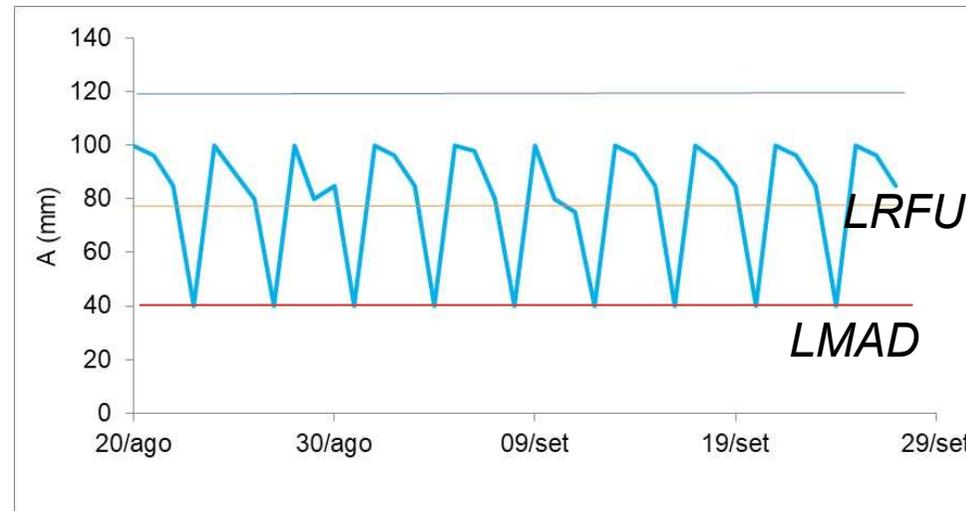
$$ET_{adj} = ET_c K_s$$

Eq. Balanço Hídrico:  $P_{inf} + R_g + AC - ET_{adj} = \Delta A$

### Exemplos de BH com carência hídrica



Deixou de se regar no final do ciclo, mas ocorreram precipitações diárias de baixa intensidade

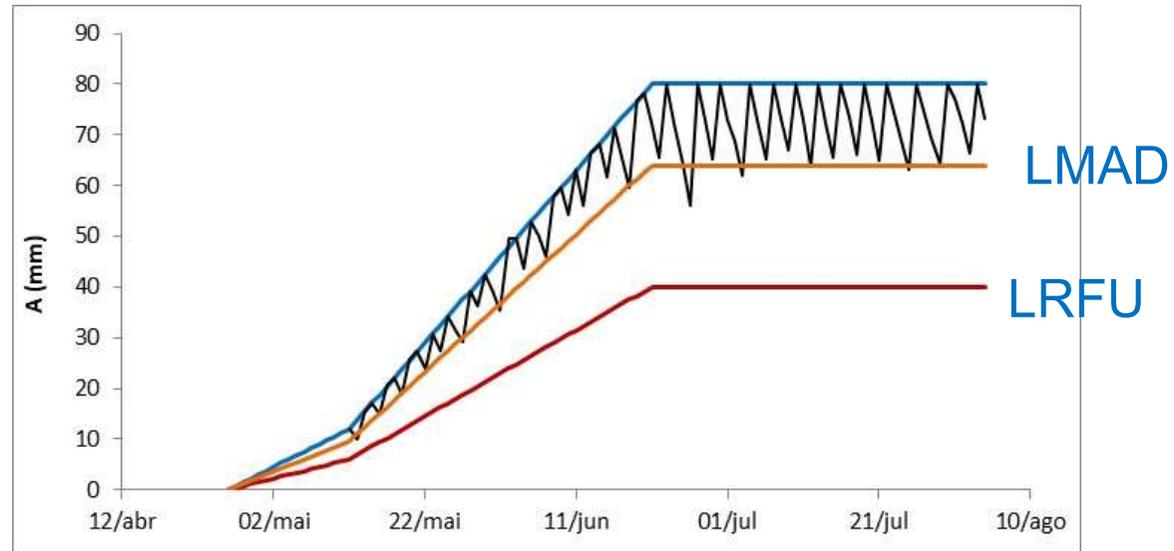


Induziu-se stress hídrico controlado na fase final do ciclo

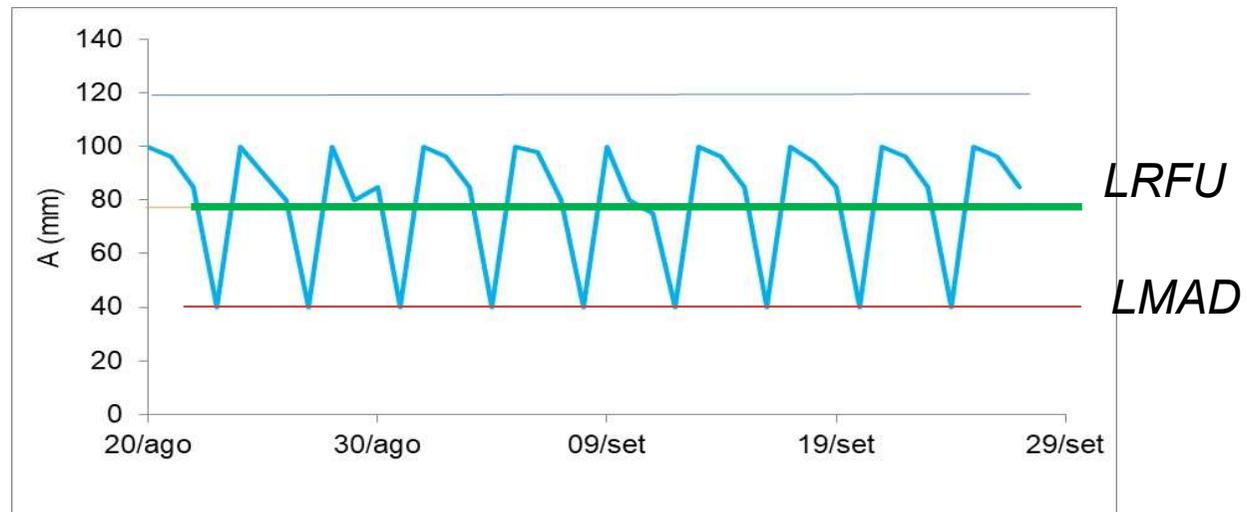
**MAD** (maximum allowed depletion)– depleção de gestão admitida

**MAD < RFU** - a cultura é mantida em conforto hídrico

Ex: condução da rega gota-a-gota com alta frequência e pequenas dotações



**MAD > RFU** - a cultura é sujeita intencionalmente a stress hídrico





- Fase vegetativa  $K_y = 0.4$
- Floração  $K_y = 1.1$
- Formação do fruto  $K_y = 0.8$
- Maturação  $K_y = 0.4$

Produção económica = °Brix × produção de fruto / ha



## Exercício

Considere os seguintes dados referentes a uma cultura de batata em solo franco

$\theta_{CC}$	0,276	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
$\theta_{CE}$	0,098	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
Zr	0,6	m
p	0,6	

- Determine os armazenamentos mínimos de água no solo permitidos antes de uma rega para as situações de reserva facilmente utilizável totalmente explorada, MAD = 70 % da reserva utilizável e MAD = 30 % da reserva utilizável
- Quais os limites correspondentes? Represente-os graficamente

### Exercício (condução da rega com stress hídrico e sem toalha freática):

Considere a cultura da batata do exemplo anterior, na fase intermédia do ciclo, com início no dia 7 de Julho. Tenha em conta as seguintes informações:

- Precipitação durante a fase intermédia do ciclo = 0;
- $K_{\text{cmid}} = 1.15$  (tabela 12 da FAO)
- HR mínima durante a fase intermedia = 45 %;
- velocidade média do vento durante a fase intermedia =  $2 \text{ m s}^{-1}$
- armazenamento inicial de água no solo é 30 % RU

Determine a próxima data de rega e a sua dotação útil, para a seguinte situação: Stress hídrico com **MAD = 80% RU** e reposição do armazenamento até 40% da RU (=LRFU)

Nota: considere que se rega no início do dia.

### Solução do exercício 14

RU	RFU	LRFU	MAD80	LMAD 80
(mm)				
106,8	64,08	42,72	85,44	21,36

Datas	ETo (mm)	P (mm)	Kc	ETc (mm)	A (mm)	Dp (mm)	Rg (mm)	Ks	ET adj (mm)
07/jul	6.8	0	1.15						
08/jul	7.1	0	1.15						
09/jul	7.5	0	1.15						
10/jul	7.5	0	1.15						
11/jul	8	0	1.15						
12/jul	7.9	0	1.15						
13/jul	8	0	1.15						
14/jul	8	0	1.15						
15/jul	8	0	1.15						
16/jul	7.5	0	1.15						

Quando está presente uma toalha freática próximo da zona radical

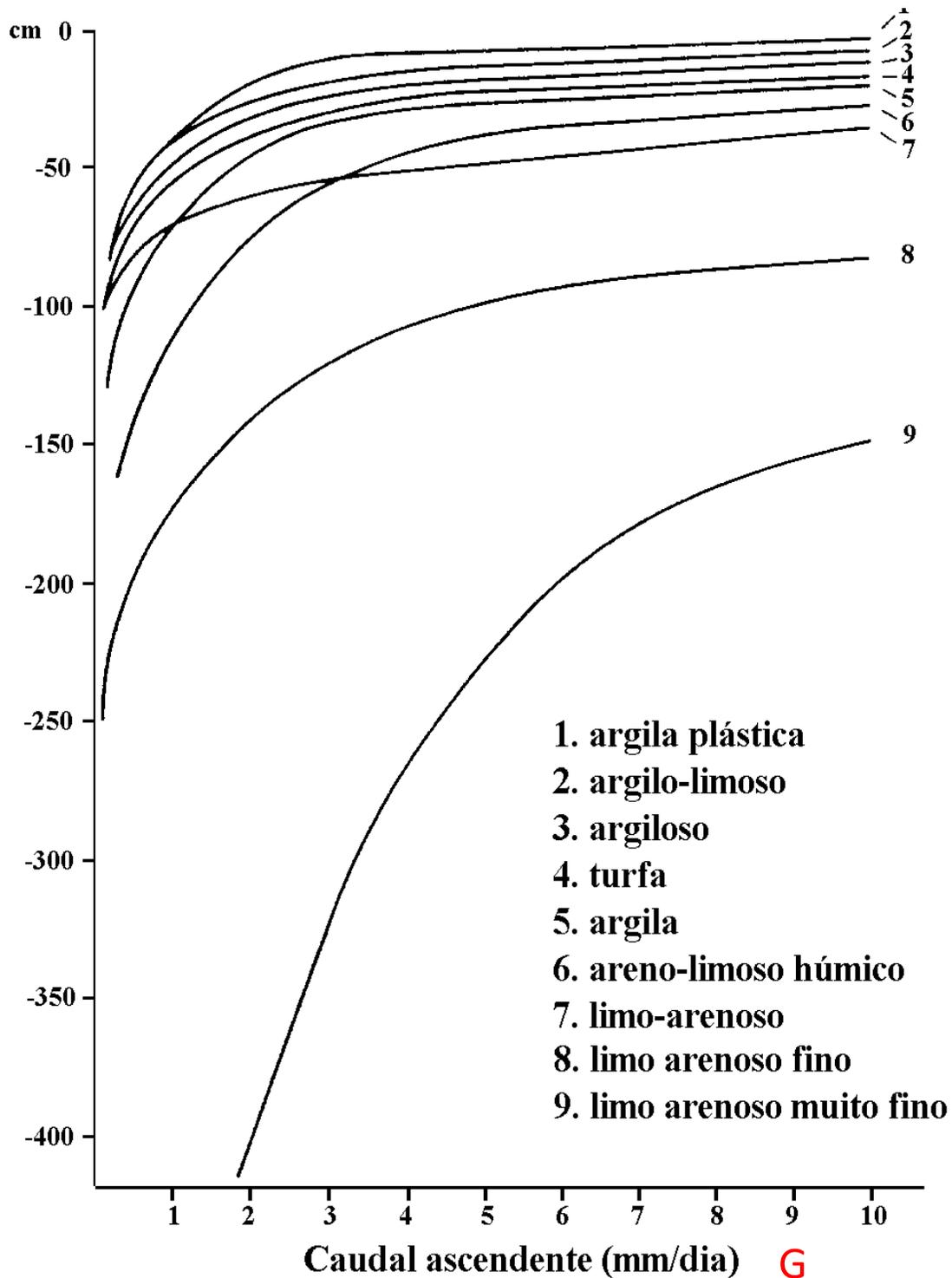
- AC é inversamente proporcional ao teor de água no solo;
- atinge o valor máximo (**G**) quando **A=0**, ou seja  $\theta = \theta_{CE}$

Nestas condições:  $A_c = [G - k_s \times G] \times \Delta t(\text{mm})$

Equação do BH

$$P_{inf} + R_g + (G - K_s G) \times \Delta t - ET_{adj} = \Delta A$$

↓  
AC



G

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

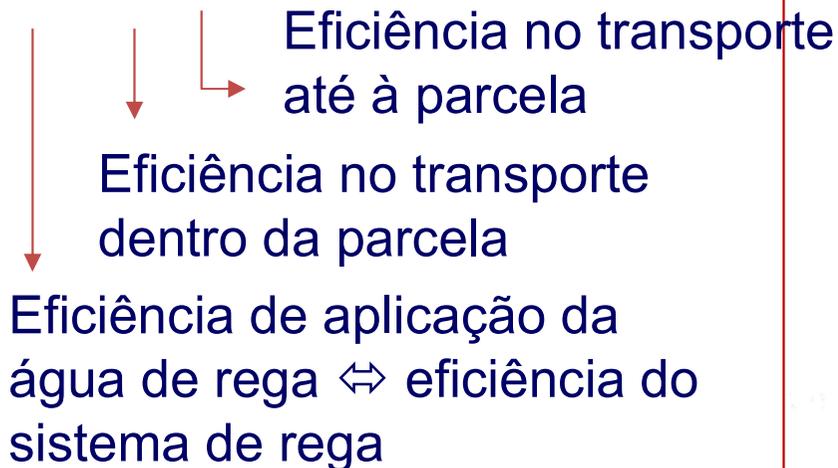
### 3 DOTAÇÃO ÚTIL E DOTAÇÃO TOTAL DE REGA

#### 3.1 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE REGA

Eficiência traduz a fração de água que, partindo do sistema abastecedor, chega até à planta

$$= \begin{matrix} \text{Eficiência no} \\ \text{transporte} \\ \text{(dentro e fora} \\ \text{da exploração)} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Eficiência na} \\ \text{aplicação} \end{matrix}$$

#### Eficiência de rega



$$D = \frac{Du}{Ef}$$

Sendo

**D** a dotação de rega (mm),

**Ef** a eficiência do sistema de rega;

**Du** a dotação útil de rega calculada pelo BH (mm)

Sistemas de rega	Eficiências (%)
<b>Métodos de rega</b>	
• Rega de gravidade com nivelamento de precisão	
Sulcos	65 – 85
Faixas	70 – 85
Bacias	70 – 90
• Rega de gravidade tradicional	
Sulcos	40 – 70
Faixas	45 – 70
Bacias	45 – 70
• Rega de arroz, canteiros em alagamento permanente	25 – 70*
• Rega por aspersão	
Sistemas estacionários de cobertura total	65 – 85
Sistemas estacionários deslocáveis manualmente	65 – 80
rampas com rodas	65 – 80
Aspersores canhão com enrolador ou com cabo	55 – 70
Rampas móveis, com pivot central	65 – 85
• Microrrega (rega localizada)	
Gotejadores, 3 emissores por planta (pomares)	85 – 95
Gotejadores, < 3 emissores por planta	80 – 90
Micro-aspersores e “bubblers” (pomares)	85 – 95
Linha contínua de emissores gota-a-gota	70 – 90

### 3.2 FRAÇÃO DE LAVAGEM OU DE LIXIVIAÇÃO

- O nível de salinidade tende a aumentar com o avanço do ciclo cultural;
- Para evitar esta subida , mantendo o nível de sais solúveis no solo num nível compatível com a tolerância das culturas é necessário fazer a lavagem da zona radical;
- Quantidade de água necessário para a lavagem – **fracção de lavagem- LR**, depende da tolerância da cultura à salinidade e da qualidade da água de rega.

**fracção de lavagem- LR**: quantidade mínima de água que deve passar pelo perfil do solo para manter a salinidade com níveis compatíveis com a tolerância das culturas e com o objectivo da obtenção de um determinado padrão de produção.

$$LR = \frac{1,5 CE_w}{5 CE_{eli} - 1,5 CE_w}$$

Sendo

$CE_w$  a salinidade da água de rega determinada em lab ( $dS m^{-1}$ );

$CE_{lim}$  a salinidade do solo, determinada no extracto de saturação, tolerada pela cultura para que o nível de produção atinja um determinado valor ( $dS m^{-1}$ ) (Quadro FAO)

Dotação total de rega  $D_T = \frac{D}{1 - LR}$

## Exercício 15

Pretende-se regar uma cultura de milho através de rega por sulcos. A cultura está instalada num solo franco, de perfil uniforme e regada com água de uma ribeira com  $EC_W = 1.22 \text{ dS m}^{-1}$ . A evapotranspiração da cultura ao longo da época de rega é 800 mm e a precipitação efectiva é desprezável. A eficiência de aplicação da rega é de 65 %. Determine a fracção de lavagem e a dotação total de rega para 90 e 100 % de produção.

Resolução:

$$EC_{e\lim} = 2.5 \text{ dS m}^{-1} \text{ para produção de 90 \%}$$

$$EC_{e\lim} = 1.7 \text{ dS m}^{-1} \text{ para produção de 100 \%}$$

$$EC_w = 1.22 \text{ dS m}^{-1}$$

$$D_u = ET_c - P_e = 800 - 0 = 800 \text{ mm}$$

$$D = \frac{D_u}{E_f} = \frac{800}{0.65} = 1231 \text{ mm}$$

$$LR = \frac{1.5 EC_w}{5 EC_{e\lim} - 1.5 EC_w} = \frac{1.83}{5 \times 2.5 - 1.83} = 0.17$$

$$D_T = \frac{D}{1 - LR} = \frac{1231}{1 - 0.17} = 1483 \text{ mm} \quad 90 \% \text{ prod}$$

$$D_T = 1696 \text{ mm} \quad 100 \% \text{ prod}$$

Culturas	Produção Potencial									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	$CE_c$	$CE_e$	$CE_c$	$CE_e$	$CE_c$	$CE_e$	$CE_c$	$CE_e$	$CE_c$	$CE_e$
Cevada	8,0	5,3	10,0	6,7	13,0	8,7	18,0	12,0	28,0	19,0
Algodão	7,7	5,1	9,6	6,4	1,3	8,4	17,0	12,0	27,0	18,0
Beterraba	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0	24,0	16,0
Sorgo	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13,0	8,7
Trigo	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13,0	8,7	20,0	13,0
Trigo duro	5,7	3,8	7,6	5,0	10,0	6,9	15,0	10,0	24,0	16,0
Soja	5,0	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5,0	10,0	6,7
Feijão frade	4,9	3,3	5,7	3,8	7,0	4,7	9,1	6,0	13,0	8,8
Amendoim	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3	6,6	4,4
Arroz	3,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11,0	7,6
Cana de açúcar	1,7	1,1	2,4	2,3	5,9	4,0	10,0	6,8	19,0	12,0
Milho	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Linho	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Fava	1,5	1,1	2,6	1,8	4,2	2,0	6,8	4,5	12,0	8,0
Feijão	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
<b>Culturas Hortícolas</b>										
Abóbora	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Beterraba	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15,0	10,0
Abóbora porqueira	3,2	2,1	3,8	2,6	4,8	3,2	6,3	4,2	9,4	6,3
Brócolos	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Tomate	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	8,4
Pepino	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10,0	6,8
Espinafre	2,0	1,3	3,4	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Aipo	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18,0	12,0
Couve	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0	8,1
Batata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Milho doce	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Batata doce	1,5	1,1	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0	11,0	7,1
Pimento	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Alface	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Rabanete	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Cebola	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Cenoura	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Feijão	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Nabo	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12,0	8,0

## 4 UTILIZAÇÃO DOS DADOS DAS NECESSIDADES DE REGA NO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REGA

### 4.1 Conceitos;

- Para além do BH para **condução da rega\*** (que estudámos até aqui) , o BH pode ser realizado com o objetivo de **dimensionar um sistema de rega ou um perímetro de rega.**
- Para dimensionar o transporte de água até à planta é necessário conhecer o volume de água a fornecer no **período de maior consumo;**
- Este volume **varia de ano para ano** em função das condições climáticas;
- As **necessidades hídricas e as dotações de rega** devem ser calculadas com base em dados meteorológicos históricos, recorrendo a um período de dados de **30 anos; programação da rega;**
- É necessário fazer o estudo das **frequências de distribuição dos valores das dotações de rega e conhecer os seus valores para diferentes níveis de probabilidade de ocorrência;**

*\* Condução da rega corresponde à determinação em tempo real, recorrendo a dados meteorológicos do dia, das necessidades de rega para determinar **quando** regar e **quanto** regar. O BH é realizado em tempo real de modo a sabermos se “amanhã” há necessidade de regar.*

- Ao valor de dotação do mês de maior consumo e que apresenta a probabilidade de não excedência escolhida, chama-se valor de ponta, de projeto ou de dimensionamento.
- Conhecido o valor de ponta para o nível de probabilidade escolhido, afectado pela eficiência de rega , poderá determinar-se o caudal unitário a fornecer;
- Este caudal deverá ser fornecido durante um determinado período e com um determinado horário de distribuição, originando o caudal de dimensionamento da rede de distribuição.

## 4.2 Análise de frequência

- Realização do balanço hídrico para uma série de anos o mais longa possível  
Porquê? é necessário ter em conta as flutuações anuais e mensais provocadas pelas condições climáticas
- Realização da análise estatística dos valores calculados  
Escolher, para uma determinada probabilidade de ocorrência, função do objectivo do projeto, a base para o dimensionamento da rede de transporte.

Exemplo: a probabilidade de ocorrência,  $p$ , de um valor é 90 % => esse valor pode não ser excedido em 90 % do tempo, ou pode ser excedido em 10 % do tempo para que foi determinado.

Para além da probabilidade de ocorrência também se usa a noção de período de retorno,  $Pr$ :

$$Pr = \frac{100}{100 - p}$$

Sendo:

**Pr** o período de retorno, em anos e

**p** a probabilidade de ocorrência em percentagem

Relação entre probabilidade de ocorrência (p) e período de retorno (Pr)

p (%)	Pr (anos)
10	1.1
50	2.0
60	2.5
75	4.0
80	5.0
90	10.0
95	20.0
96	25.0
97	33.3
98	50.0
99	100.0
99.8	500.0

Período de retorno de determinado valor = 5 anos



Esse valor será, em média, excedido uma vez em cada cinco anos, embora não haja garantia que isso aconteça

ou

Há 80 % de probabilidade desse valor não ser excedido

Para efectuar a análise de frequência de uma série de valores anuais, mensais, decendiais ou semanais, há que calcular a frequência empírica associada a cada valor

Onde:

$$P = \frac{R}{N+1} 100$$

**P** é a probabilidade de ocorrência em %

**N** é o nº de anos da série considerada

**R** é a posição do valor em análise na série organizada por ordem crescente

Para dimensionamento de sistemas de rega, o estudo deve recair sobre o período de maior consumo – período de ponta. O valor selecionado é baseado numa probabilidade de ocorrência entre os 75 e os 80 % (em 3 a 4 anos há garantias de abastecimento).

Aconselha-se usar os valores seguintes:

- 80 % para as culturas anuais e
- 90 % para os pomares.

## Exercício 16

Com base nas dotações de rega calculadas para um período de 31 anos e apresentadas no Quadro seguinte, determine a dotação de projecto caso se trate de a) uma cultura anual; b) um pomar. Justifique

Ano	D (mm)	Ano	D (mm)
1960	254,4	1976	276,1
1961	260,1	1977	214,8
1962	211,1	1978	206,2
1963	236,4	1979	218,8
1964	260,8	1980	263,8
1965	243,8	1981	243,8
1966	221,2	1982	221,2
1967	204,8	1983	204
1968	212,5	1984	211,5
1969	269,7	1985	270,7
1970	241,6	1986	241,6
1971	262,6	1987	262,6
1972	205,9	1988	220,1
1973	257,8	1989	277,1
1974	206,3	1990	214,6
1975	220,3		

204.0	1
204.8	2
205.9	3
206.2	4
206.3	5
211.1	6
211.5	7
212.5	8
214.6	9
214.8	10
218.8	11
220.1	12
220.3	13
221.2	14
221.2	15
235.4	16
241.6	17
241.6	18
243.8	19
243.8	20
254.4	21
257.8	22
260.1	23
260.8	24
262.6	25
262.6	26
263.8	27
269.7	28
270.7	29
276.1	30
277.1	31

(R: 262.6 e 270.5 mm)

## 4.3 Caudal teórico de dimensionamento ou de projeto

$$Q_d = 2.78 \frac{D \cdot A}{(1 - LR) \cdot T \cdot N}$$

Sendo

- Q<sub>d</sub>** o caudal de dimensionamento em L s<sup>-1</sup>;
- D** a dotação de rega em mm
- A** a área a regar em ha
- T** o tempo de rega, em horas/dia de rega
- N** o n<sup>o</sup> de dias de rega

- Caudal específico **q** (L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>): caudal de dimensionamento expresso por unidade de área

$$q = \frac{Q_d}{A}$$

- Caudal fictício contínuo (L s<sup>-1</sup>): se a rega fosse contínua, ou seja 24 horas por dia, todos os dias

## Exercício 17

Pretende regar-se uma área de 3 ha cultivada com milho grão. A dotação de ponta obtida por análise de frequência de uma série de 31 anos é a calculada no exercício 16. Sabendo que i) a fração de lavagem é 0.2; ii) a disponibilidade horária para a rega é de 8 h e que iii) o intervalo mínimo entre regas pretendido é de três dias, determine:

- O caudal de projeto;
- O caudal unitário;
- O caudal fictício contínuo.

*Soluções:*

- $Q_d = 33.1 \text{ L s}^{-1}$
- $q = 11 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$
- $Q_{f c} = 3.7 \text{ L s}^{-1}$