



UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

Aula 5

3. Necessidades de rega das culturas

3.1 Dotação útil de rega, eficiência de rega e dotação total de rega;

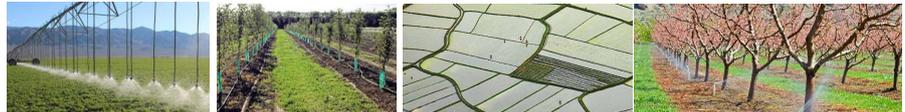
3.2 Balanço hídrico para a condução da rega;

3.2.1 Conceitos

3.2.2 BH em situação de conforto hídrico

3.2.3 BH em condições de stress hídrico

3.3 As necessidades de rega para projeto vs as necessidades de rega para condução da rega



3.2.3 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.

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

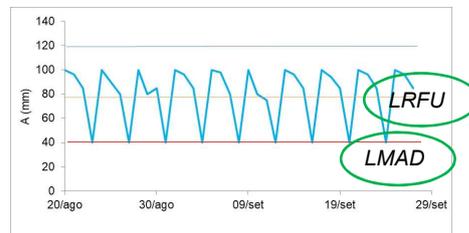
$$ET_{adj} = ET_c K_s$$

P_{inf} é a parte da precipitação que se infiltra no solo $\Leftrightarrow P_e$ ou precipitação efetiva

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)
LMAD – limite do MAD*

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agrónomica / M.ª Rosário Caneira / Instituto Superior de Agronomia

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

3

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agrónomica / M.ª Rosário Caneira / Instituto Superior de Agronomia



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

Produção económica = °Brix × produção de fruto / ha






4/48

Exercício 14

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

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

a) 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. Comente.

b) Quais os limites correspondentes? Represente-os graficamente

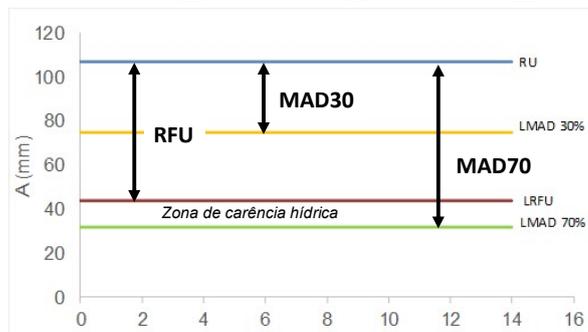
a)

RFU	MAD 70	MAD 30
(mm)		
64,1	74,8	32,0

↑ Stress hídrico ↑ Conforto hídrico

b)

RU	RFU	RFU	MAD 70	LMAD 70	MAD 30	LMAD 30
(mm)						
106,8	64,08	42,72	74,8	32,0	32,0	74,8



Exercício 15 (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:

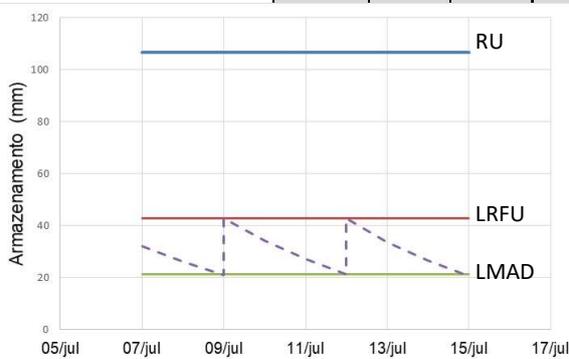
- Precipitação durante a fase intermédia do ciclo = 0;
- $K_{cmid} = 1.15$ (tabela 12 da FAO)
- HR mínima durante a fase intermedia = 45 %;
- velocidade média do vento durante a fase intermedia = 2 m s^{-1}
- armazenamento inicial de água no solo é 30 % RU
- Rega por aspersão

Determine a próxima data de rega e as suas dotações útil e de rega, 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 15

Datas	ET _o	P	K _c	ET _c	A (mm)		D _p	D _u	K _s	ET _{adj}
	(mm)				(mm)	com rega				
07/07/2023	6.80	0.00	1.15	7.80	32.00		74.80		0.75	5.86
08/07/2023	7.10	0.00	1.15	8.20	26.14		80.66		0.61	5.00
09/07/2023	7.50	0.00	1.15	8.60	21.14	42.70	64.10	21.56	1.00	8.63
10/07/2023	7.50	0.00	1.15	8.60	34.08		72.73		0.80	6.88
11/07/2023	8.00	0.00	1.15	9.20	27.19		79.61		0.64	5.86
12/07/2023	7.90	0.00	1.15	9.10	21.33	42.70	64.10	21.37	1.00	9.09
13/07/2023	8.00	0.00	1.15	9.20	33.62		73.19		0.79	7.24
				9.20	26.37		80.43		0.62	5.68
				9.20	20.69	42.70	64.10	22.01	1.00	9.20
				8.60	33.50		73.30		0.78	6.77



Exercício 16

Estime para cada dia do período de 10 dias apresentado o armazenamento e a depleção de água no solo, considerando que no início, devido às precipitações, o solo estava à CC e que no fim do 8º dia é efetuada uma rega de 27 mm (Dotação bruta). Considere os seguintes dados adicionais:

$$\theta_{CC} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \quad \theta_{CE} = 0.08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \quad z_r = 0.4 \text{ m} \quad p = 0.3$$

Dia	ET _c mm	Pe mm	I mm	DP mm	A mm	Dep mm	K _s -	ET _{c,adj} mm
1	5.3	0	0					
2	5.0	15	0					
3	5.3	0	0					
4	5.5	0	0					
5	5.4	0	0					
6	5.6	0	0					
7	5.8	0	0					
8	6.3	0	27					
9	5.7	0	0					
10	5.5	0	0					

3.3 As necessidades de rega para projeto vs as necessidades de rega para condução da rega

- 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.

11

Determinação da dotação e do caudal de projeto : Metodologia

- 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 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

Ex:
se $p = 80\%$ => $Pr = 5$ anos
se $p = 90\%$ => $Pr = 10$ anos

12

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

13

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.

14

Exercício 17

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		

Ano	D (mm)	R	P
1967	204.8	1	3.1
1983	204.8	2	6.3
1972	205.9	3	9.4
1978	206.2	4	12.5
1974	206.3	5	15.6
1962	211.1	6	18.8
1968	211.5	7	21.9
1984	211.5	8	25.0
1977	214.6	9	28.1
1990	214.6	10	31.3
1979	218.8	11	34.4
1975	220.1	12	37.5
1988	220.1	13	40.6
1966	221.2	14	43.8
1982	221.2	15	46.9
1963	236.4	16	50.0
1970	241.6	17	53.1
1986	241.6	18	56.3
1965	243.8	19	59.4
1981	243.8	20	62.5

1981	243.8	20	62.5
1960	254.4	21	65.6
1973	257.8	22	68.8
1961	260.1	23	71.9
1964	260.8	24	75.0
1980	260.8	25	78.1
1971	262.6	26	81.3
1987	262.6	27	84.4
1969	269.7	28	87.5
1985	269.7	29	90.6
1976	276.1	30	93.8
1989	276.1	31	96.9

(R: 262.6 e 269.7 mm)

15

Caudal teórico de dimensionamento ou de projeto

$$Q_d = 2.78 \frac{D_p \cdot A}{T_d \cdot N}$$

Sendo

- Q_d** o caudal de dimensionamento em L s⁻¹;
- D_p** a dotação de rega de ponta diária em mm
- A** a área a regar em ha
- T_d** o tempo de rega, em horas por dia de rega
- N** o nº de dias de rega por semana

- Caudal específico **q** (L s⁻¹ ha⁻¹): caudal de dimensionamento expresso por unidade de área

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

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

16

16

Exercício 18

Pretende regar-se uma área de 3 ha cultivada com milho grão localizada no Minho. A dotação de ponta obtida por análise de frequência de uma série de 31 anos é a calculada no exercício 17. Sabendo que i) a disponibilidade horária para a rega é de 8 h e que ii) o intervalo mínimo entre regas pretendido é de três dias, determine:

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

Soluções:

- $Q_d = 2.9 \text{ L s}^{-1}$
- $q = 0.97 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$
- $Q_{fc} = 0.42 \text{ L s}^{-1}$

17

Exercício 19 (exame 2022-2023)

Considere os seguintes dados relativos à cultura de milho na fase intermédia do desenvolvimento, ao solo onde está instalada e ainda os valores de ET_0 e K_c de 1 a 9 de de agosto:

$\theta_{CC} \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)}$	22%
$\theta_{CE} \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)}$	12%
$z \text{ (m)}$	0.75
ρ	0.55
MAD	0.6
$K_{c \text{ mid}}$	1.15
K_y	1.10

Data	ET_0
	mm dia ⁻¹
01/ ago	8.5
02/ ago	8.3
03/ ago	8.3
04/ ago	8.4
05/ ago	8.2
06/ ago	7.9
07/ ago	7.7
08/ ago	7.4
09/ago	8.0

- Quais os valores das reservas utilizável e facilmente utilizável de água no solo e do limite da reserva facilmente utilizável?

18

- b) Se a reserva utilizável estiver a 70% de RU no início do dia 01/08, determine a data da próxima rega (ao início do dia) para que não ocorra stress hídrico e a correspondente dotação útil de modo a preencher a RU (faça o balanço até esse dia no quadro em anexo e apresente todos os cálculos na folha de teste).
- c) Qual a correspondente dotação bruta de rega sendo o sistema de rega por aspersão fixa?
- d) O sistema de rega avariou e não foi possível realizar mais nenhuma rega até ao dia 09/08. Calcule a quebra de produção a esperar, se a produção máxima atingida no local for de 16 t ha⁻¹. Admita que a relação ET/ET_c para todo o ciclo é igual à ET/ET_c média verificada no período em estudo.
- e) Apresente o gráfico com os limites da reserva de água no solo e a evolução do armazenamento ao longo do período em estudo

19

Resolução do exercício 19

	(mm)
a) RU	75.00
RFU	41.25
LRFU	33.75

- b) $D_u = 32.28$ mm;
 c) $D = 40.35$ mm (para uma $E_f = 80\%$)
 d) $Y_a = 9$ ton ha⁻¹

Datas	ET _o	P	K _c	ET _c	A (mm)		D _p	D _u	K _s	ET _{adj}
	(mm)						(mm)			
01/08/2023	8.50	0.00	1.15	9.78	52.50		22.50		1.00	9.78
02/08/2023	8.30	0.00	1.15	9.55	42.73	75.00	0.00	32.28	1.00	9.55
03/08/2023	8.30	0.00	1.15	9.55	65.46		9.55		1.00	9.55
04/08/2023	8.40	0.00	1.15	9.66	55.91		19.09		1.00	9.66
05/08/2023	8.20	0.00	1.15	9.43	46.25		28.75		1.00	9.43
06/08/2023	7.90	0.00	1.15	9.09	36.82		38.18		1.00	9.09
07/08/2023	7.7	0	1.15	8.86	27.7		47.3		0.82	7.28
08/08/2023	7.4	0	1.15	8.51	20.5		54.5		0.61	5.16
09/08/2023	8.0	0	1.15	9.20	15.3		59.7		0.45	4.17

20

e)

