

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Projecto de um sistema de rega para uma exploração agrícola na Beira Interior

SARA LEITÃO FERREIRA DIAS VICENTE
(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho de Projecto de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador:

Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogal:

Doutora Sandra Maria Carvalho Martins

Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Dezembro de 2015



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

**Projecto de um sistema de rega para uma exploração
agrícola na Beira Interior**

SARA LEITÃO FERREIRA DIAS VICENTE
(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho de Projecto de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador:
Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Júri:
Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogal:
Doutora Sandra Maria Carvalho Martins
Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Dezembro de 2015

Agradecimentos

Ao Professor Alexandre Borga por ter aceite orientar a minha tese num tema pouco comum para os alunos de Hidráulica, pelo apoio, motivação, disponibilidade e contínua orientação dispensados ao longo da realização desta tese;

Ao Professor Doutor Gonçalo Rodrigues, professor convidado do Instituto Superior de Agronomia, pela motivação e apoio prestado em todas as questões que me eram desconhecidas no campo da Engenharia Agronómica e Rural, pela disponibilização e ensinamentos sobre a utilização do programa WinISAREG;

Ao Eng.º Diogo Botelho, da Associação de Regantes do Ladoeiro, pelas informações dispensadas relativamente às questões relacionadas com a origem e o transporte da água para rega na propriedade agrícola a que se destina o projecto objecto desta tese.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa por ter proporcionado um ambiente saudável para a minha instrução;

Aos meus colegas e amigos do ISEL por me terem apoiado nesta longa caminhada;

Às minhas amigas Filipa Vahia, Mariana Santos, Catarina Gonçalves, Helena Lages e os demais amigos que não mencionei, pelos maravilhosos momentos da minha vida social por eles proporcionados.

Ao Pedro Moutinho que sempre me incentivou e apoiou neste percurso.

Aos meus pais, irmão, tia Gracinha, avó Lourdes, avô Xico e tia-avó Babi por todo o apoio e por serem quem são.

Muito obrigada!

RESUMO

Este projecto consistiu no dimensionamento de um modelo estático de uma rede de rega de um prado de 27 ha de cultura consociada de trevo branco (*Trifolium repens* L.) e festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb), a instalar numa exploração agrícola no distrito de Castelo Branco, concelho de Idanha-a-Nova. A metodologia seguida para o dimensionamento da rede assentou na caracterização dos consumos através do balanço hídrico do solo e das necessidades hídricas da cultura, usando o modelo matemático ISAREG. Este modelo baseia-se no procedimento aconselhado pela FAO (Food and Agriculture Organization), em que a definição da estrutura física da rede de rega é feita em função dos principais componentes do sistema (e.g. bombas, tubagens e válvulas) e do estabelecimento de regras de operação que garantam o correcto funcionamento da instalação.

O terreno foi dividido em 8 sectores e optou-se pela rega por aspersão, com uma dotação de 25 mm, com intervalo entre regas de 4 dias. Assim, serão regados diariamente 2 sectores, com a duração de 4 h cada rega. Os aspersores foram dispostos em quadrado e a estação de bombagem foi colocada a cota mais elevada (220,5 m).

Palavras-Chave

Aspersores, campos agrícolas, dimensionamento, evapotranspiração, necessidades hídricas, rede ramificada, rega.

ABSTRACT

This project consists of the sizing of a static model of an irrigation network to be used to water 27 ha grazing pasture of white clover (*Trifolium repens* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb), to be installed in a farm in the centre-interior of Portugal (Castelo Branco; Idanha-a-Nova). The methodology followed for sizing the irrigation network was based on the characterization of water consumption, calculated by a soil water balance considering the water needs for the crop, and using the mathematic model ISAREG. This model is based on the procedure dictated by FAO (Food and Agriculture Organization), where the definition of the physical structure of the irrigation network is made according to the principal components of the system (e.g. pumps, pipes and valves) and the establishment of operating rules to ensure the correct operation of the installation.

The land was divided into 8 sectors. Sprinkler irrigation of 25 mm with the time interval between successive irrigation of four days was selected. Therefore, two sectors will be irrigated daily, for 4 h each irrigation. Square patterned sprinklers were chosen and the pumping station was located at the highest elevation (220.5 m).

Keywords

Branching network, crop water needs, evapotranspiration, farm, irrigation, sizing, sprinkler.

ÍNDICE GERAL

	Pág.
<i>AGRADECIMENTOS</i>	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE GERAL	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE QUADROS	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XXI
1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do tema.....	3
1.2. Objectivos	4
1.3. Estrutura do trabalho	4
2. CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO GERAL	7
2.1. Enquadramento territorial	9
2.2. Origem e transporte da água.....	10
2.3. Tipo de solo.....	11
2.4. Tipo de cultura	12
3. CAPÍTULO 3 – PARÂMETROS DE REGA E NECESSIDADES HÍDRICAS DAS PLANTAS	17
3.1. Evapotranspiração	19
3.1.1. Evaporação	19

3.1.2.	Transpiração	19
3.2.	Evapotranspiração de referência	20
3.3.	Evapotranspiração cultural em condições padrão	24
3.4.	Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega	26
3.4.1.	Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo	28
3.4.2.	Necessidades hídricas das plantas	30
3.4.3.	Precipitação efectiva	31
3.4.4.	Caudal de projecto.....	32
3.4.5.	Infiltração	32
3.5.	Indicadores de desempenho dos sistemas de rega.....	33
3.5.1.	Uniformidade	34
3.5.2.	Eficiência de rega.....	35
4.	CAPÍTULO 4 – MODELO DE CÁLCULO AUTOMÁTICO WINISAREG.....	37
4.1.	O modelo WinISAREG para a simulação e calendarização da rega.....	39
4.2.	Cálculo da evapotranspiração de referência.....	43
4.3.	Cálculo do balanço hídrico.....	44
5.	CAPÍTULO 5 – SISTEMA DE REGA.....	53
5.1.	Finalidade de um sistema de rega.....	55
5.2.	Classificação dos sistemas de rega.....	56
5.3.	Principais componentes de um sistema de rega por aspersão	59
5.3.1.	Sistema de bombagem.....	59

5.3.2.	Aspersores	61
5.4.	Tipos de instalação	66
5.4.1.	Instalações Estacionárias	66
5.4.2.	Instalações Semoventes	70
5.5.	Disposição dos aspersores	71
5.5.1.	Disposição em quadrado	71
5.5.2.	Disposição em rectângulo	72
5.5.3.	Disposição em triângulo	73
5.5.4.	Taxa de aplicação	74
5.5.5.	Problema do vento	76
6.	CAPÍTULO 6 – CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE REGA	77
6.1.	Introdução	79
6.2.	Carga hidráulica	79
6.3.	Diâmetros das tubagens	80
6.4.	Cálculo de perdas de carga	81
6.5.	Dimensionamento das rampas (linhas laterais)	82
6.6.	Energia e pressão nos nós	83
6.6.1.	Cálculo da energia nos nós	83
6.6.2.	Cálculo da pressão nos nós	84
6.7.	Altura de elevação	84
6.8.	Grupo motor-bomba	85

6.8.1.	Curvas características.....	86
6.8.2.	Potência do grupo motor-bomba.....	87
6.9.	Dimensionamento da rede.....	88
6.9.1.	Cálculo da dotação total (D_t), taxa de aplicação (I_a) e caudal do aspersor (q_u)... ..	88
6.9.2.	Implantação da rede.....	90
6.9.3.	Dimensionamento das linhas laterais (rampas).....	91
6.9.4.	Dimensionamento das linhas de derivação.....	93
6.9.5.	Dimensionamento da linha principal e da linha de sucção.....	94
6.9.6.	Determinação das energias e das pressões nos nós.....	95
6.9.7.	Dimensionamento do grupo motor-bomba.....	96
7.	CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	99
	BIBLIOGRAFIA.....	103
	CIBERGRAFIA.....	104
	ANEXOS	
	Anexo I – Desenho 1: Implantação geral do sistema	
	Anexo II – Registos meteorológicos da estação meteorológica de Castelo Branco	
	Anexo III – Determinação da D_t , I_a , q_u e alcance do jacto	
	Anexo IV – Catálogo do aspersor - Plasbene	
	Anexo V – Desenhos 2 e 3 da rede de rega	
	Anexo VI – Tabela de diâmetros das tubagens - Politejo	
	Anexo VII – Dimensionamento da rede de rega	
	Anexo VIII – Catálogo da bomba – KSB Etanorm	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 – Enquadramento territorial.	9
Figura 2.2 – Unidades Pedológicas do Concelho de Idanha-a-Nova	11
Figura 2.3 - Porte de uma planta jovem: 1- erecto; 2- sub-prostrado (cresce a fazer um ângulo inferior a 45° com o solo); 3- prostrado (cresce alongando-se sobre o solo)	14
Figura 2.4 – Caule estolhoso, prostrado.	14
Figura 3.1 – Representação esquemática do estoma.	20
Figura 3.2 – Evolução do coeficiente cultural (K_C) ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura.....	25
Figura 3.3 - Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes.....	27
Figura 3.4 – Modo de irrigação para evitar stress hídrico das culturas.....	29
Figura 3.5 – Gráfico típico da infiltração de água no solo em função do tempo.	33
Figura 4.1 – Introdução de dados climáticos necessários ao cálculo da ET_0	40
Figura 4.2 – Introdução de dados culturais a fornecer.	41
Figura 4.3 – Introdução de dados sobre as características pedológicas.	41
Figura 4.4 – Introdução de dados sobre as opções de rega.	42
Figura 4.5 – Introdução de dados relativos à ascensão capilar e à percolação.....	42
Figura 4.6 – Introdução de dados sobre a restrição de água.....	43
Figura 4.7 – Colocação dos dados necessários ao cálculo da ET_0	44
Figura 4.8 – Cálculo das necessidades de rega.	48
Figura 4.9 – Colecção de dados necessários ao cálculo do balanço hídrico.	48

Figura 4.10 – Simulação do balanço hídrico.....	49
Figura 4.11 – Simulação das necessidades de rega do ano 1991, visando o seu rendimento máximo.....	50
Figura 4.12 – Modelo de irrigação sem ocorrência de stress hídrico com base no ano mais seco.	50
Figura 4.13 – Definição dos intervalos entre regas e das dotações.....	51
Figura 4.14 – Definição da fracção de depleção sem que ocorra stress hídrico.....	51
Figura 4.15 – Fixação da dotação de rega de 20 mm.	52
Figura 4.16 - Modelo de irrigação sem ocorrência de stress hídrico para uma dotação de 20 mm.	52
Figura 5.1 – Difusores em funcionamento a 360°	62
Figura 5.2 - Aspersion de tubo perfurado	62
Figura 5.3 – Padrão de distribuição da água por um aspersor.....	63
Figura 5.4 – Aspersion de impacto.	63
Figura 5.5 – Aspersores rotativos de turbina.....	64
Figura 5.6 – Aspersion de prato rotativo.....	64
Figura 5.7 – Sobreposição das áreas molhadas por aspersores.	65
Figura 5.8 – Esquema de uma instalação de rega completamente móvel.	67
Figura 5.9 – Esquema de uma instalação parcialmente móvel.....	67
Figura 5.10 – Esquema de uma instalação semi-fixa.	68
Figura 5.11 – Esquema de uma instalação temporariamente fixa.	68
Figura 5.12 – Esquema de uma instalação permanentemente fixa.....	69

Figura 5.13 – Exemplo de uma instalação semovente – Rampa rotativa	70
Figura 5.14 – Disposição dos aspersores em quadrado.....	72
Figura 5.15 - Disposição dos aspersores em rectângulo	73
Figura 5.16 – Disposição dos aspersores em triângulo.	74
Figura 5.17 – Variação da velocidade média do vento durante as 24 horas do dia.....	76
Figura 6.1 – Linha lateral (rampa).	82
Figura 6.2 – Conduta genérica definida pelos nós i e j.	84
Figura 6.3 – Aspiração positiva e negativa	85
Figura 6.4 - Curvas características de uma bomba.....	86

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
Quadro 4.I – Características típicas da água no solo para diferentes tipos de solo (REW = água facilmente evaporável; TEW = total de água evaporável).	46
Quadro 4.II – Gamas de profundidade radicular (Z_r) e de fracção de depleção (p) de água no solo sem que ocorra stress hídrico.....	47
Quadro 4.III - Tabela gerada pelo programa onde os anos são ordenados do mais húmido ao mais seco.	49
Quadro 5.I – Classificação dos sistemas de rega.....	57
Quadro 5.II – Classificação dos aspersores rotativos.....	65
Quadro 5.III – Tipos de instalações de rega por aspersão.....	66
Quadro 6.I - Dimensionamento das rampas do sector 1.....	92
Quadro 6.II - Dimensionamento das linhas de derivação do sector 1.....	94
Quadro 6.III - Dimensionamento da linha principal.	95
Quadro 7.I – Resumo das principais opções escolhidas e resultados obtidos no projecto.	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Símbolo	Definição
A	Área da secção interna da tubagem
A_m	Área da malha ou área molhada por um aspersor
a	Compasso
b	Entrelinha
C_C	Teor de água do solo à capacidade de campo
C_e	Teor de água do solo ao coeficiente de emurchecimento
C_i	Caudal externo do nó i
c_p	Calor específico do ar
CU	Coeficiente de uniformidade
d	Altura de deslocamento do plano nulo do perfil do vento
D	Diâmetro da tubagem
DP	Fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação
DN	Diâmetro interno da tubagem
ET	Evapotranspiração
ET_O	Evapotranspiração de referência
ET_C	Evapotranspiração de uma cultura em condições padrão
e_s	Pressão de saturação de vapor
e_a	Pressão de vapor actual
$(e_s - e_a)$	Défice de pressão de vapor
E_S	Eficiência do sistema de rega
FAO	Food and Agriculture Organization
f_m	Factor de majoração
G	Densidade do fluxo de calor do solo
GW	Fluxo acumulado de ascensão capilar no período ΔT
H	Energia total por unidade de peso escoado
H_C	Altura cinética
H_e	Cota piezométrica
H_{elev}	Altura de elevação
H_i	Cota piezométrica do nó i (a montante)
H_j	Cota piezométrica do nó j (a jusante)
H_p	Altura piezométrica
H_z	Energia potencial de posição por unidade de peso escoado

ΔH_C	Perda de carga contínua
ΔH_{ij}	Perda de carga total no troço ij
ΔH_{Loc}	Perda de carga localizada
ΔH_T	Perda de carga total
I_n	Dotação de rega
I_a	Taxa de aplicação
J	Perda de carga unitária
J_m	Perda de carga unitária de montante
k	Constante de von Karman
K_C	Coefficiente cultural
k_e	Coefficiente de retenção efectiva
K_S	Coefficiente que depende da rugosidade das paredes da conduta
L	Comprimento da conduta
LAI	Leaf Area Index (Índice de área foliar)
LAI_{activo}	Índice de área foliar
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
N	Número de aspersores numa rampa
n	Número de troços convergentes no nó i
NUT	Nomenclatura das Unidades Territoriais
p	Pressão; Factor de água do solo extraível sem afectar a produção
P	Precipitação
P_B	Potência consumida pela bomba
P_e	Precipitação efectiva
P_H	Potência hidráulica
P_M	Potência do motor
Q	Caudal que passa por uma tubagem
Q_{ij}	Caudal que circula no troço que liga o nó i ao nó j
Q_m	Caudal de montante
Q_p	Caudal de projecto
Q_r	Escoamento superficial no período ΔT
q_u	Caudal de um aspersor
R	Raio hidráulico
RAW	Água facilmente disponível no solo na zona radicular
r	Alcance do jacto

r_a	Resistência aerodinâmica
REW	Água facilmente evaporável
R_n	Radiação líquida à superfície da cultura
r_s	Resistência de superfície
r_l	Resistência estomática da folha bem iluminada
ΔS	Varição do armazenamento de água no solo
TAW	Água total disponível na zona radicular
TEW	Total de água evaporável
T	Temperatura média do ar a 2 m de altura
t_r	Tempo disponível para rega
U	Velocidade média do escoamento
U_s	Coefficiente de uniformidade estatística
UD	Uniformidade de distribuição
u_z	Velocidade do vento à altura z
U_2	Velocidade do vento a 2 m de altura
V	Velocidade de uma partícula
Z_a	Altura geométrica de aspiração
Z_e	Altura geométrica de elevação
z_h	Altura da medição da humidade
z_m	Altura da medição do vento
z_{oh}	Parâmetro de rugosidade para o calor e vapor de água
z_{om}	Parâmetro de rugosidade para a quantidade de movimento
Z_r	Profundidade radicular
Z_0	Altura dos aspersores acima do solo
Δ	Inclinação da curva de pressão
γ	Peso específico; Constante psicrométrica
λET	Fluxo de calor latente
ρ_a	Densidade do ar a pressão constante
η_B	Rendimento da bomba

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

SUMÁRIO: Neste capítulo será feito um enquadramento do tema e uma descrição dos capítulos que compõem o trabalho.

ÍNDICE

1.1. Enquadramento do tema.....	3
1.2. Objectivos	4
1.3. Estrutura do trabalho	4

1.1. Enquadramento do tema

O presente documento enquadra-se no âmbito do trabalho final de mestrado (TFM) do curso de Engenharia Civil, na área de especialização de Hidráulica, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

As culturas agrícolas precisam de água ao longo do seu ciclo de produção para poderem sobreviver e poderem produzir-se em quantidade e qualidade. A água disponível nos terrenos nem sempre é suficiente para satisfazer as necessidades hídricas das culturas.

Assim, fazendo uma análise de um balanço hídrico típico do clima de Portugal Continental, verifica-se que os períodos de maior escassez de água da chuva são os de primavera e verão, altura em que as culturas precisam de mais água. Para combater esta escassez de água, é fundamental a instalação de sistemas de rega bem adaptados ao tipo de cultura.

Um sistema de rega tem como objectivo fornecer o volume de água necessário para satisfazer as necessidades hídricas das plantas, ou seja o bom desenvolvimento das culturas, quando a quantidade de água disponibilizada através da precipitação é insuficiente para satisfazer essas necessidades.

É importante ter presente que qualquer sistema de rega deve ser projectado e gerido correctamente, de maneira a que a aplicação da água no solo seja eficiente, uniforme e conservativa para permitir que as plantas fiquem em perfeito conforto hídrico, o qual depende dos objectivos de cada cultura, para além de assegurar a protecção e conservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

Um projecto deve fazer a ligação das diferentes partes que compõem o sistema, de maneira a alcançar a uniformidade na distribuição de água e fertilizantes na fase de exploração (solução técnica), com custos de exploração e instalação adequados à solução adoptada (solução económica).

De modo a satisfazer estes requisitos, um projecto de rega tem que ser uma peça completa, com a informação necessária e suficiente sobre todas as componentes que o constituem, de maneira a sustentar um projecto de desenvolvimento agrícola, economicamente viável, adequado ao local e aos objectivos em causa.

Um projecto de rega tem como finalidade proporcionar ao seu utilizador um documento com informação específica adequada aos objectivos pretendidos, adequado à zona de implantação e com as justificações, cálculos e especificações de todas as soluções apresentadas. (Oliveira *et al.*, 2004).

1.2. Objectivos

O objectivo do presente trabalho consiste em elaborar um projecto de um sistema de rega de um prado de cultura consociado de trevo branco e festuca alta a instalar numa exploração agrícola na Beira Interior.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em 7 capítulos.

No capítulo 1 enquadra-se e justifica-se o tema do presente trabalho, apresentando-se o objectivo do trabalho e define-se a organização do texto.

No capítulo 2 é feito um enquadramento geral do trabalho, onde se descreve a zona onde se vai implementar a rede de rega, fala-se um pouco sobre a origem da água para a rega, o tipo de solo da região e o tipo de cultura mais adequada.

O capítulo 3 dedica-se aos parâmetros de rega e às necessidades hídricas das plantas, onde se explicam os conceitos essenciais que influenciam as necessidades de água para as plantas, como por exemplo a evapotranspiração, a precipitação e a infiltração. O capítulo termina com os indicadores de desempenho de um sistema de rega.

O capítulo 4 incide sobre o modelo de cálculo automático utilizado para o estudo da evapotranspiração e do balanço hídrico do solo. É explicado o modo de funcionamento desse modelo, o que se consegue retirar dele e o que se obteve para o estudo em causa.

No capítulo 5 resume-se a recolha de informação sobre as finalidades de um sistema de rega, como se classificam os sistemas e os seus principais componentes. É constituído pela descrição do sistema de bombagem e apresenta informação relativamente às tubagens, válvulas e

aspersores típicos. Por fim, aborda-se o sistema de controlo que permite a gestão de toda a instalação através de programadores de rega.

No capítulo 6 aplicam-se os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores para a projecção de um caso prático, no qual se define a estrutura física da rede e se dimensiona essa rede para as necessidades calculadas no capítulo 4.

No capítulo 7 apresentam-se as conclusões finais acerca do trabalho desenvolvido e os aspectos mais importantes a ter em conta quando se projectam sistemas de rega.

Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas que serviram de base ao desenvolvimento do presente trabalho e apresentam-se, em anexo, quadros com dados e resultados dos cálculos e os desenhos com a implantação da rede.

CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO GERAL

SUMÁRIO: Este capítulo descreve o local onde se vai implementar a rede de rega, a origem da água, o tipo de solo da região e o tipo de cultura mais adequada.

ÍNDICE

2.1. Enquadramento territorial	9
2.2. Origem e transporte da água.....	10
2.3. Tipo de solo.....	11
2.4. Tipo de cultura	12

2.1. Enquadramento territorial

O plano de rega vai incidir nos campos do concelho de Idanha-a-Nova, Tapada da Figueira, situado no distrito de Castelo Branco (Figura 2.1), na NUT III (Nomenclatura das Unidades Territoriais) da Beira Interior Sul. Confina com os concelhos de Castelo Branco e Fundão a Oeste, Penamacor a Norte e Espanha a Leste e Sul. É um dos concelhos mais despovoados do país, com uma densidade demográfica, em 2009, de 7,0 habitantes/km² e apresenta uma área de 1412,7 km².

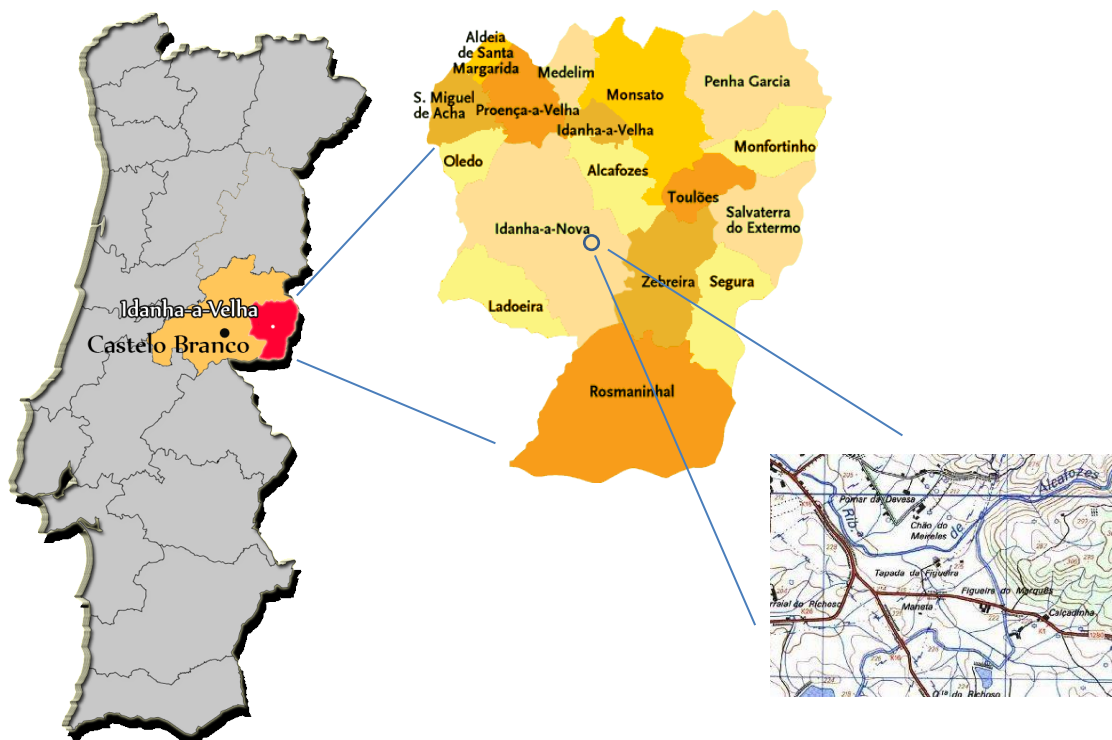


Figura 2.1 – Enquadramento territorial (Fonte: Google).

O clima no concelho de Idanha-a-Nova apresenta características continentais que advêm de forma conjugada do efeito das formas do relevo (impedem ou facilitam a circulação de massas de ar, cujas características se modificam ao longo do seu trajecto) e da continentalidade que confere ao clima um forte gradiente W-E que se traduz na diminuição da intensidade da entrada de massas de ar atlânticas.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o concelho de Idanha-a-Nova apresenta um clima do tipo Csa, ou seja, é um clima temperado, sem quedas regulares de neve, apresenta

um verão quente e seco, onde a precipitação do mês mais seco do semestre de Verão é inferior a 40 mm e também inferior a 1/3 da precipitação do mês mais chuvoso do semestre de Inverno.

Outra característica importante desta região é a ocorrência esporádica de chuvadas fortes, contrastando com um total pluviométrico moderado. O mês de precipitação mais elevada é Fevereiro, seguido de Janeiro e Novembro. Os três meses mais secos são Julho, Agosto e Setembro.

2.2. Origem e transporte da água

Para abastecer um regadio é preciso dispor de água em quantidade suficiente e com qualidade adequada para o fim em vista. A água de rega pode ser obtida à custa da realização de obras de rega de carácter individual ou de empreendimentos hidroagrícolas colectivos (particulares ou estatais). Nos regadios individuais, as disponibilidades hídricas a empregar nas regas podem ser conseguidas por meio do aproveitamento de águas superficiais ou de águas subterrâneas. Os regadios colectivos particulares incluem-se nos chamados regadios tradicionais e são sistemas hidráulicos que aproveitam água de rios ou ribeiras, quer por meio de aberturas feitas nas margens das ribeiras, quer à custa de açudes de derivação.

Os regadios colectivos estatais, que é o caso da zona onde vai ser implantado o sistema de rega em estudo, são os regadios correspondentes aos empreendimentos hidroagrícolas realizados pelo Estado e explorados pelas respectivas associações de regantes. (Raposo, 1996). Neste caso, os regadios são explorados pela Associação de Regantes do Ladoeiro.

A água é transportada por um canal de rega, com origem na barragem Marechal Carmona (Idanha-a-Nova), que foram dimensionados para garantir o fornecimento de água por hectare. A distribuição da água é gerida pela associação e a sua gestão é feita diariamente pelos serviços técnicos, e no campo por cantoneiros que fazem a gestão de zonas específicas. São eles que decidem para onde enviam a água, ou por pedido ou porque verificaram o estado dos reservatórios. Os utilizadores não têm limitações de caudais nem de tempo e o pagamento da água é feito em função da área regada, ou seja, por hectare regado.

Em anexo é possível ver o desenvolvimento do canal de rega desde a barragem Marechal Carmona até à zona de implantação do sistema de rega (Anexo I).

2.3. Tipo de solo

Para escolher o tipo de cultura que melhor se adapta à região, é necessário saber o tipo de solo. Através do esquema da FAO (Food and Agriculture Organization) para a Carta de Solos da Europa (European Soil Portal), é possível identificar cinco unidades pedológicas no Concelho de Idanha-a-Nova, nomeadamente litossolos êutricos (associados a luvisolos), cambissolos dístricos, cambissolos êutricos (derivados de xistos e quartezitos), luvisolos órticos e luvisolos férricos (Figura 2.2). No entanto, na zona onde irá ser feito o projecto da rede de rega identificam-se apenas cambissolos dístricos.

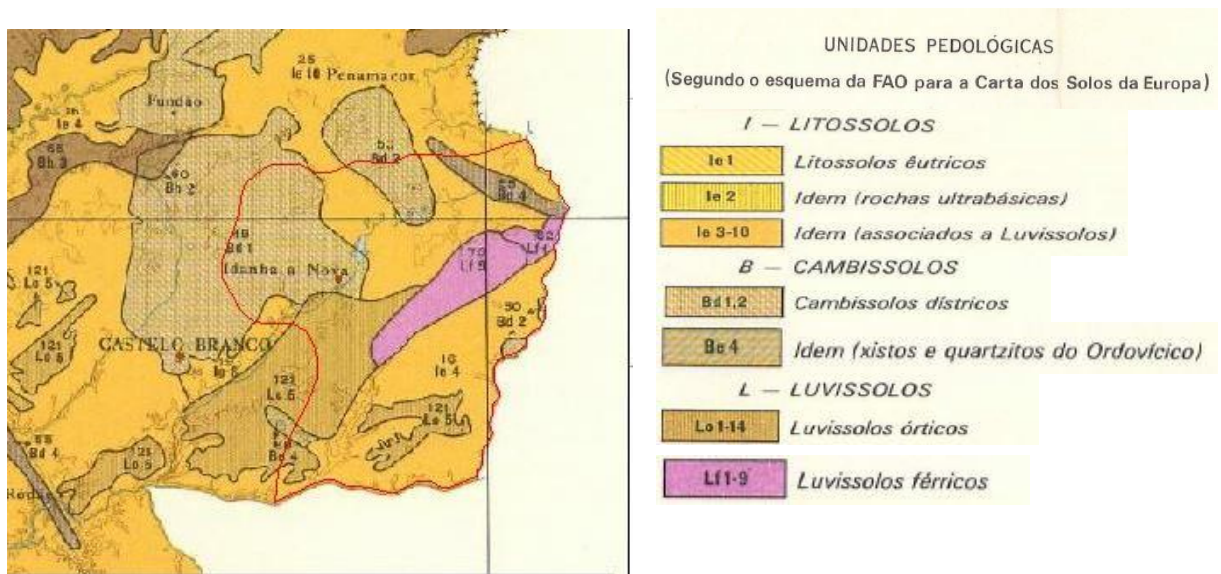


Figura 2.2 – Unidades Pedológicas do Concelho de Idanha-a-Nova (Fonte: European Soil Portal).

Os cambissolos são solos pouco evoluídos que apresentam uma pequena diferença de horizontes, expressa pela existência de um horizonte superficial A e de um horizonte B. Entende-se por horizontes do solo, porções de limites irregulares geralmente paralelas à superfície do terreno. Em geral, um horizonte distingue-se de outro adjacente devido a características observáveis no campo como a textura, a cor e a estrutura, resultantes do efeito de agentes atmosféricos e de soluções formadas pela água das chuvas (Botelho da Costa, 1979).

O horizonte A caracteriza-se por apresentar alguma matéria orgânica bastante ácida e uma relação carbono-azoto muito elevada (horizonte úmbrico). Este horizonte é um horizonte de máxima actividade biológica e é o que está mais sujeito às influências do clima, das plantas, dos animais e outras acções do meio ambiente. O horizonte B caracteriza-se pela acumulação de

minerais de argila, ferro ou alumínio e/ou matéria orgânica, resultantes da destruição das características estruturais dos materiais provenientes da rocha mãe (horizonte câmbrico) (Botelho da Costa, 1979). O horizonte superficial A pode ter uma profundidade entre 20 e 50 cm enquanto o horizonte B apresenta uma profundidade superior a 50 cm (Martins e Lourenço, 2012).

Uma das principais características dos cambissolos é serem pouco profundos e muitas vezes ricos em cascalho. São solos jovens e muito pouco permeáveis. Devido à baixa permeabilidade do solo, são facilmente formados sulcos pelas cheias. Os cambissolos dístricos são de origem granítica e são solos com uma textura franco-arenosa.

2.4. Tipo de cultura

Nos sistemas de produção animal com ruminantes, o objectivo principal das pastagens é o fornecimento de alimento. As pastagens são importantes como elementos fundamentais para a ocupação e ordenamento do território e defendem os solos da erosão ao manterem um coberto vegetal permanente. Ao estarem na base da produção de alimentos, as pastagens permitem actividades que contribuem para a fixação da população e o combate à desertificação (Freixial e Barros, 2012).

As culturas pratenses, prados ou pastagens, são culturas ou comunidades de plantas, geralmente herbáceas (gramíneas e leguminosas), e são constituídas por plantas de estrutura baixa, porte prostrado a sub-prostrado, com resistência ao pastoreio e pisoteio dos animais.

As pastagens podem ser naturais ou espontâneas quando são constituídas por espécies que asseguram a sua presença e vegetam sem terem sido semeadas pelo Homem. Quando as pastagens ocupam o terreno durante longos períodos de tempo, ou seja, durante tantos anos que garantam o seu bom potencial quantitativo, qualitativo e capacidade de persistência, denominam-se por pastagens permanentes. Estas pastagens não possuem portanto uma duração fixa em termos de número de anos e não estão em rotação com outras culturas. As pastagens temporárias são normalmente incluídas em rotações com outras culturas, tendo por isso uma duração mais curta e variável.

No que diz respeito ao regime hídrico, as pastagens podem ser classificadas como pastagens de sequeiro e pastagens de regadio.

As pastagens de sequeiro beneficiam para a sua produção apenas da água proveniente da precipitação que ocorre. Através do fornecimento de água às plantas, o regadio permite a constituição de pastagens que, utilizando espécies distintas das utilizadas nas pastagens de sequeiro, garantem uma oferta alimentar quantitativamente superior e mais regular ao longo dos anos.

Uma vez que na zona em estudo se vai implementar um sistema de rega, o tipo de pastagem a escolher é a pastagem de regadio. Estas pastagens são constituídas por misturas de gramíneas e leguminosas vivazes, com elevada capacidade de produção de pastagem de qualidade e boa persistência. A consorciação de gramíneas com leguminosas é muito importante, uma vez que numa pastagem rica em leguminosas estas são capazes de fixar elevadas quantidades de azoto atmosférico realizada por bactérias do género *Rhizobium* nas suas raízes. Esta bactéria infecta as raízes das leguminosas, levando à formação de nódulos onde ocorre a fixação do azoto. Trata-se de uma relação simbiótica, visto que o sistema enzimático bacteriano fornece azoto reduzido (NH_3) à planta, que por sua vez disponibiliza nutrientes para o metabolismo bacteriano (Schuller, 2004).

Deste modo, as leguminosas assumem uma grande importância, uma vez que a fixação simbiótica de azoto substitui, com grande vantagem, as quantidades de adubos azotados que, de outro modo, teriam que ser aplicados para alcançar níveis de produção idênticos.

As leguminosas mais usadas na instalação de pastagens de regadio são o trevo branco (*Trifolium repens* L.), o trevo morango (*Trifolium fragiferum* L.) e o trevo violeta (*Trifolium pratense* L.).

O trevo branco (*Trifolium repens* L.), originário da região Mediterrânica, é considerado a leguminosa mais importante para a utilização em pastagens. É uma espécie vivaz, de porte prostrado (Figura 2.3), caules rastejantes e propagando-se por estolhos (Figura 2.4) ou regenerando através de semente. Os estolhos são caules prostrados rastejantes que enraízam nos nós e caracterizam e definem a planta como sendo a leguminosa vivaz que melhor se adapta ao pastoreio. Tem uma elevada capacidade de fixação simbiótica do azoto e quando misturado com gramíneas há uma contribuição para a produção de matéria orgânica (MO) e azoto (N). A implantação do trevo branco é mais fácil quando misturado com festuca e/ou dactilo.

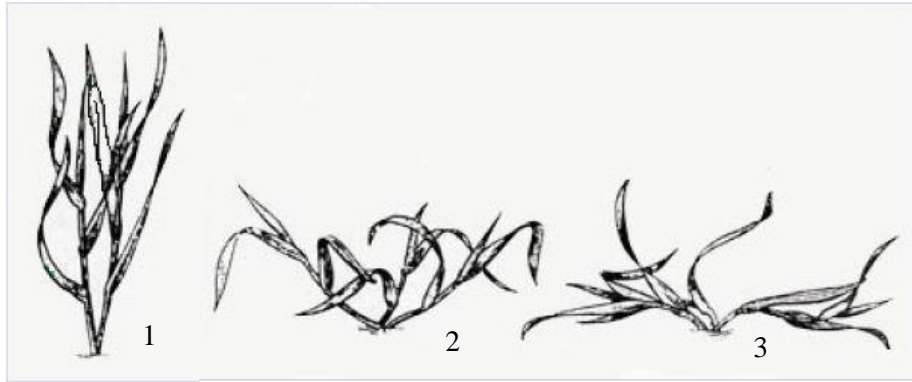


Figura 2.3 - Porte de uma planta jovem: 1- erecto; 2- sub-prostrado (cresce a fazer um ângulo inferior a 45° com o solo); 3- prostrado (cresce alongando-se sobre o solo) (Fonte: Séneca, 2001).



Figura 2.4 – Caule estolhoso, prostrado (Fonte: Séneca, 2001).

O trevo morango (*Trifolium fragiferum* L.) é uma leguminosa vivaz de porte prostrado e o seu crescimento é muito semelhante ao do trevo branco. A diferença morfológica fundamental entre o trevo morango e o trevo branco é que o trevo branco possui uma raiz principal relativamente profunda, o que lhe permite resistir melhor ao stress hídrico. O trevo morango adapta-se muito bem a solos mal drenados ou que passam o inverno encharcados (saturados).

O trevo violeta (*Trifolium pratense* L.) é uma leguminosa vivaz de curta duração, podendo comportar-se como anual com ciclos superiores a 2-3 anos, em determinadas condições. Se o ambiente for favorável, pode persistir durante 6 ou 7 anos com crescimento predominantemente desde o outono até à primavera.

As gramíneas vivazes mais usadas na instalação de pastagens de regadio são o panasco ou pé-de-galo (*Dactylis glomerata* L.), o azevém perene (*Lolium perenne* L.), a festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) e a alpista tuberosa (*Phalaris tuberosa* L.).

O panasco (*Dactylis glomerata* L.) é uma planta perene, alta, erecta, cresce em tufos e distingue-se bem das outras gramíneas através da folha que é glabra (inexistência de pêlos) e tem a nervura central bastante marcada. Adapta-se bem a uma vasta gama de condições climáticas, especialmente secas e quentes de verão.

O azevém perene (*Lolium perenne* L.) é uma planta perene, glabra, cespitosa¹, com colmos² erectos ou ascendentes, possui uma grande capacidade de afilhamento e cresce em tufos densos com um elevado número de caules. Suporta bem as baixas temperaturas de Inverno mas é sensível a períodos longos com geada. As temperaturas elevadas durante a Primavera-Verão reduzem ou paralisam o seu crescimento. No entanto, este aspecto é atenuado nas regiões do Litoral.

A festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb) é uma planta perene, glabra, cespitosa, possui uma grande capacidade de afilhamento e cresce em tufos densos com um elevado número de caules. É muito resistente ao encharcamento, mesmo prolongado, e tolerante à salinidade. Esta gramínea é a espécie que tem maior estabilidade de produção ao longo do ano. No Sul da Península Ibérica consocia-se com luzerna e, no Centro e Norte, com trevo branco.

A alpista tuberosa (*Phalaris tuberosa* L.) é a gramínea vivaz temperada que melhor se adapta às condições Mediterrânicas com Invernos suaves e húmidos e Verões quentes e secos. A alpista tuberosa tem também uma grande persistência em situações de *secura extrema* no verão.

De acordo com o que foi apresentado acima, e com base nas características do solo e no clima da região em estudo, a leguminosa que melhor se adapta é o trevo branco (*Trifolium repens* L.) e a gramínea é a festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb).

A consorciação de trevo branco com festuca alta tem um potencial de produção de biomassa de 10 a 12 toneladas de matéria seca por hectare.

¹ Crescimento cespitoso é um termo botânico que se refere ao modo como algumas plantas crescem, lançando novos rebentos ou caules de modo aglomerado, formando um espesso tapete.

² Colmo é um tipo de caule onde os nós e os entrenós são bem visíveis e podem ser ocos ou cheios. Os entrenós são revestidos pela bainha das folhas. Este tipo de caule encontra-se muito nas gramíneas.

CAPÍTULO 3 – PARÂMETROS DE REGA E NECESSIDADES HÍDRICAS DAS PLANTAS

SUMÁRIO: Este capítulo explica os conceitos essenciais inerentes ao balanço hídrico do solo.

ÍNDICE

3.1.	Evapotranspiração	19
3.1.1.	Evaporação	19
3.1.2.	Transpiração	19
3.2.	Evapotranspiração de referência	20
3.3.	Evapotranspiração cultural em condições padrão	24
3.4.	Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega	26
3.4.1.	Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo	28
3.4.2.	Necessidades hídricas das plantas	30
3.4.3.	Precipitação efectiva	31
3.4.4.	Caudal de projecto.....	32
3.4.5.	Infiltração	32
3.5.	Indicadores de desempenho dos sistemas de rega.....	33
3.5.1.	Uniformidade	34
3.5.2.	Eficiência de rega	35

3.1. Evapotranspiração

A evapotranspiração é a combinação de dois processos distintos onde a água é perdida através da superfície do solo por evaporação e através da transpiração das plantas.

A evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente e não há uma maneira fácil de distinguir estes dois processos. A evaporação a partir de um solo cultivado é determinada pela fracção da radiação solar que atinge a superfície do solo. Ao longo do período de crescimento da planta, esta fracção vai diminuindo uma vez que a cultura se desenvolve e as suas folhas vão cobrindo cada vez mais área do solo. Enquanto a cultura é pequena, a água é maioritariamente perdida por evaporação, mas quando a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração torna-se o processo principal (Allen *et al.*, 1998).

3.1.1. Evaporação

A evaporação é o processo pelo qual a água passa do estado líquido para o estado de vapor e é removido a partir da superfície de evaporação. A água evapora através de diversas superfícies, tais como lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação molhada.

Para alterar o estado das moléculas de água do estado líquido para o estado de vapor é necessária uma determinada energia. Esta energia é proveniente da radiação solar directa e do calor do ar ambiente. A força motriz que remove o vapor de água a partir da superfície de evaporação é a diferença entre a pressão de vapor de água na superfície de evaporação e a pressão da água na atmosfera circundante.

A substituição do ar saturado depende muito da velocidade do vento. Assim, a radiação solar, temperatura do ar, humidade do ar e velocidade do vento são parâmetros climatológicos que se têm que considerar ao avaliar o processo de evaporação (Allen *et al.*, 1998).

3.1.2. Transpiração

A transpiração é o processo pelo qual se dá a transferência do vapor de água das plantas para a atmosfera. Esta perda de água das plantas dá-se através dos estomas, que são poros microscópicos na folha da planta, pelos quais passam gases e vapor de água (Figura 3.1).

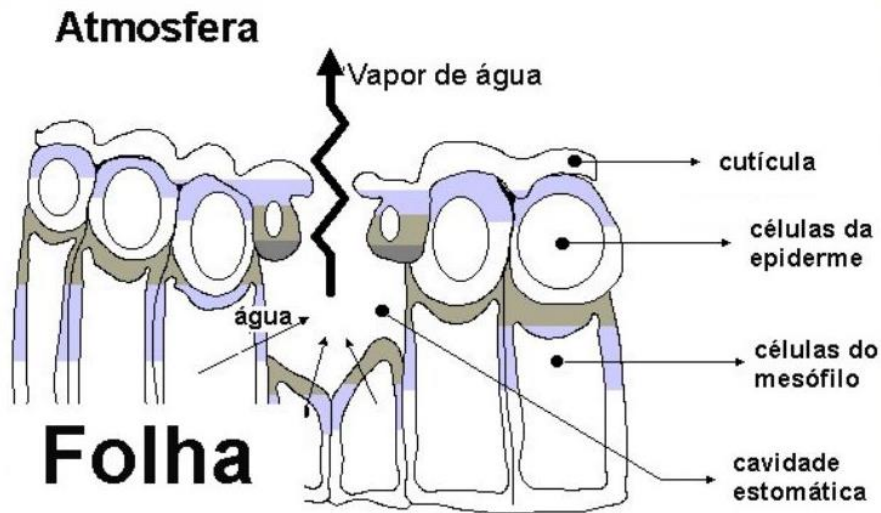


Figura 3.1 – Representação esquemática do estoma (Fonte: Santos Pereira, 2005).

A água, juntamente com alguns nutrientes, é absorvida pelas raízes e transportada através da planta. A vaporização ocorre nos espaços intercelulares e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomática.

A transpiração depende do fornecimento de energia, do gradiente de pressão de vapor e do vento. Assim, a radiação, a temperatura do ar, a humidade do ar e o vento devem ser tidos em conta quando se faz a avaliação da transpiração. A velocidade de transpiração é também influenciada por características da cultura, aspectos ambientais e práticas de cultivo. Esta velocidade pode ser diferente de cultura para cultura (Allen *et al.*, 1998).

3.2. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência ou potencial (ET_0) representa a quantidade de água que pode passar para a atmosfera, directamente ou através das plantas, admitindo que o solo se encontra sempre completamente saturado e coberto de vegetação, em condições padronizadas (com relva).

A evapotranspiração pode ser estimada de várias maneiras. Pode ser estimada por métodos directos utilizando evaporímetros ou evapotranspirómetros (lisímetros), ou por estimativa através de informações climáticas utilizando fórmulas teóricas e empíricas, nomeadamente as

fórmulas de Penman (1948), Thornthwaite (1948), Blaney-Criddle (1950), Turc (1961), Penman-Monteith (1965), Priestly e Taylor (1972) e Hargreaves (1977).

Segundo Allen et al. (1998), a estimativa da ET_0 obtida através da equação de Penman-Monteith (equação 3.1) é a mais fiável, uma vez que é um método com uma grande probabilidade de prever correctamente a ET_0 numa grande variedade de locais e climas e pode ser aplicada em situações com poucos dados.

Esta equação foi primeiro desenvolvida por Penman, em 1948, onde combinava o balanço de energia com o método de transferência de massa. Em 1965, Monteith incorporou o termo aerodinâmico na equação de Penman, que combina a resistência aerodinâmica (r_a) (equação 3.2) com a resistência de superfície (r_s) (equação 3.3).

Da combinação da fórmula de Penman com o termo aerodinâmico de Monteith, resulta a equação seguinte, designada por Penman-Monteith:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (3.1)$$

Onde,	λ	Calor latente de vaporização [MJ kg ⁻¹];
	ET	Evapotranspiração [kg m ⁻² d ⁻¹];
	R_n	Radiação líquida à superfície da cultura [MJ m ⁻² d ⁻¹];
	G	Fluxo de calor no solo [MJ m ⁻² d ⁻¹];
	($e_s - e_a$)	Défice de pressão de vapor [kPa];
	ρ_a	Massa volúmica média do ar a pressão constante [kg m ⁻³];
	c_p	Calor específico do ar [MJ kg ⁻¹ K ⁻¹];
	Δ	Declive da curva de pressão de vapor na saturação em função da temperatura [kPa K ⁻¹];
	γ	Constante psicrométrica [kPa K ⁻¹];
	r_s	Resistência de superfície [s m ⁻¹];
	r_a	Resistência aerodinâmica [s m ⁻¹].

A resistência aerodinâmica (r_a) é determinada através da transferência de calor e de vapor de água a partir da superfície de evaporação para o ar acima da copa das folhas, segundo a equação (3.2) seguinte:

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z} \quad (3.2)$$

Onde,	r_a	Resistência aerodinâmica [$s\ m^{-1}$];
	z_m	Altura da medição do vento [m];
	z_h	Altura da medição da humidade [m];
	d	Altura de deslocamento do plano nulo do perfil do vento [m];
	z_{om}	Parâmetro de rugosidade para a quantidade de movimento [m];
	z_{oh}	Parâmetro de rugosidade para o calor e vapor de água [m];
	k	Constante de von Karman = 0,41 [-];
	u_z	Velocidade do vento à altura z [$m\ s^{-1}$].

Esta equação é aplicável apenas para condições de estabilidade neutras, onde as distribuições de temperatura, pressão atmosférica e velocidade do vento seguem condições quase adiabáticas (sem trocas de calor com o exterior). Se esta equação for usada para curtos períodos de tempo (por hora ou menos) pode ser necessário fazer correções para a estabilidade. No entanto, quando se está a prever a ET_0 na superfície de referência bem irrigada, a troca de calor é pequena e portanto, a correção de estabilidade é normalmente desnecessária.

A resistência de superfície (r_s) descreve a resistência do fluxo de vapor gerado pela transpiração da cultura e por evaporação da superfície do solo. Nos sítios onde a vegetação não cobre completamente o solo, o factor de resistência deve incluir os efeitos da evaporação a partir da superfície do solo.

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{activo}} \quad (3.3)$$

Onde,	r_s	Resistência de superfície [$s\ m^{-1}$];
	r_l	Resistência estomática da folha bem iluminada [$s\ m^{-1}$];
	LAI_{activo}	Índice de área foliar [$m^2\ m^{-2}$].

A resistência estomática (r_l) é a resistência média de uma folha individual. O índice de área foliar (LAI), grandeza adimensional, é a área da folha (apenas o lado superior) por unidade de área de solo abaixo dela. O LAI activo é o índice de área foliar que contribui para a transferência de vapor e de calor da superfície.

De acordo com Allen et al. (1998), a partir da equação de Penman-Monteith (equação 3.1) e das equações de resistência aerodinâmica (equação 3.2) e de resistência de superfície (equação 3.3), obtém-se a equação (3.4) para estimar a ET_0 . Este método é conhecido por FAO Penman-Monteith.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (3.4)$$

Onde,	ET_0	Evapotranspiração de referência [mm d^{-1}];
	R_n	Radiação líquida à superfície da cultura [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];
	G	Fluxo de calor do solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];
	T	Temperatura média do ar a 2 m de altura [$^{\circ}\text{C}$];
	U_2	Velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}];
	e_s	Pressão de saturação de vapor [kPa];
	e_a	Pressão de vapor real [kPa];
	$(e_s - e_a)$	Défice de pressão de vapor [kPa];
	Δ	Declive da curva de pressão de vapor na saturação em função da temperatura [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$];
	γ	Constante psicrométrica [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$].

O método da FAO Peman-Monteith foi desenvolvido admitindo que a ET_0 se define como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0,12 m, uma resistência de superfície constante de 70 s m^{-1} e um albedo (coeficiente de reflexão) de 0,23, semelhante à evapotranspiração de um relvado verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água (Allen *et al.*, 1998).

Esta equação utiliza registos climáticos de radiação solar, temperatura do ar, humidade do ar e velocidade do vento. De maneira a garantir a integridade dos cálculos, as medições meteorológicas devem ser feitas a 2 m de altura (ou convertidas para esta altura), acima de uma extensa superfície de relva verde protegendo o solo e não havendo falta de água.

3.3. Evapotranspiração cultural em condições padrão

Na avaliação da evapotranspiração das culturas instaladas em grandes campos, o tipo de cultura, a sua variedade e estágio de desenvolvimento devem ser considerados. As diferenças na altura da cultura, reflexão, cobertura do solo, resistência à transpiração e características de enraizamento originam diferentes valores de ET, em diferentes tipos de culturas sob condições ambientais idênticas.

A evapotranspiração cultural sob condições padrão (ET_C), refere-se à evaporação de uma determinada cultura, quando esta se encontra nas seguintes condições (Allen *et al.*, 1998):

- Cultura saudável;
- Campos de grandes dimensões e bem fertilizados;
- Condições ótimas de água no solo;
- Atingir a plena produção para as condições climáticas da região.

Segundo o método de Penman-Monteith, a evapotranspiração cultural (ET_C) é obtida através da multiplicação da ET_0 por um coeficiente, designado por coeficiente cultural (K_C) (equação 3.5). Este coeficiente tem um valor inferior a 1 para culturas que necessitam de menos água do que a relva e superior a 1, para culturas que necessitam de mais água. Este depende principalmente das características da cultura e está sujeito apenas a um pequeno impacto do clima.

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (3.5)$$

Onde,

ET_C	Evapotranspiração cultural [mm d ⁻¹];
K_C	Coeficiente da cultura [-];
ET_0	Evapotranspiração de referência [mm d ⁻¹].

Os factores que determinam este coeficiente são (Allen *et al.*, 1998):

- **Estado vegetativo da cultura:**

O aumento da capacidade de transpiração depende do aumento da superfície estomática e portanto do desenvolvimento da área foliar. O aumento do grau de cobertura do solo implica diminuição da evaporação.

- **Teor de humidade no solo:**

Na fase inicial, quando a cobertura do solo é pequena, uma grande parcela da evapotranspiração é a evaporação directa a partir do solo. Quando existe défice de água no solo, a planta entra em situação de stress hídrico e diminui a sua actividade estomática.

As necessidades hídricas das plantas não são constantes ao longo do seu ciclo de crescimento e, além disso, apresentam diferentes fases de crescimento (inicial, crescimento rápido, pleno desenvolvimento e final) (Figura 3.2). Enquanto as plantas não ocupam a totalidade do solo, o seu K_C é pequeno (fase inicial). À medida que vão crescendo e passam a ocupar mais de $\frac{3}{4}$ da superfície do solo, o seu K_C aumenta e atinge um máximo (altura da floração). O valor de K_C mantém-se no seu máximo na fase inicial da formação dos frutos e começa a diminuir rapidamente, à medida que a cultura entra em senescência (Shahidian, 2012).

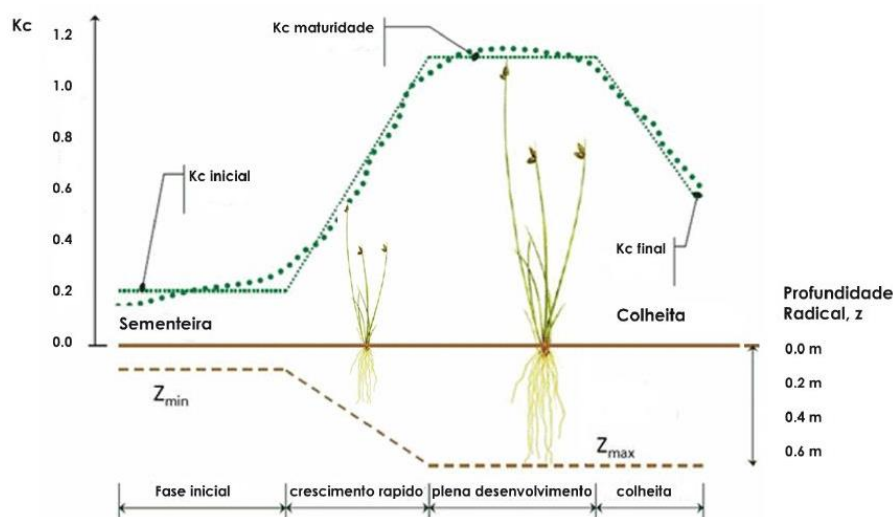


Figura 3.2 – Evolução do coeficiente cultural (K_C) ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura

(Fonte: Shahidian, 2012).

Depois de determinada a ET_C , o agricultor deve repor a água perdida pela cultura. Esta reposição pode ser diária (especialmente quando as plantas são pequenas) ou ter um intervalo maior à medida que as culturas crescem. O intervalo entre regas deve aumentar à medida que as raízes vão penetrando as camadas mais profundas do solo (Shahidian, 2012).

Quando se opta por fazer a rega de uma cultura, deve-se tentar conseguir humedecer toda a zona radicular das plantas sem que haja perdas por lixiviação, ou seja, em cada rega pretende-se levar

água a toda a zona explorada pela planta e encorajar o seu crescimento ou realizar alguma lavagem dos sais (Shahidian, 2012).

3.4. Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega

Conhecer o balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é essencial para uma boa gestão da água em regadio. Quando se pensa em regar uma cultura, é necessário responder a três questões fundamentais: quando, como e quanto regar.

As necessidades hídricas das culturas podem ser vistas de uma maneira directa, através da medição ou avaliação do teor de água no solo, e através das manifestações fisiológicas das plantas devidas à carência hídrica, que devem servir como indicadores padrão para determinar quando regar. Estes indicadores podem ser de carácter empírico, como por exemplo a cor e o enrolamento das folhas, ou constituir métodos científicos, como os relativos ao potencial da água nas folhas e à temperatura do copado (Pereira, 2007). Estes métodos proporcionam ao agricultor uma ferramenta muito precisa para acompanhar as necessidades de rega das culturas, uma vez que permitem saber a tensão efectiva que as raízes precisam de superar para retirar água do solo (Shahidian, 2012).

Em alternativa à medição directa, e especialmente na fase de concepção dos sistemas de rega, é habitual fazer-se um balanço hídrico da água no solo para determinar as necessidades de água para rega. O cálculo destas necessidades é baseado numa aproximação simplificada do balanço hídrico do solo, onde se considera que parte das necessidades de água são satisfeitas pela precipitação, rega, reserva de água no solo e pela ascensão capilar, e que as saídas de água correspondem à evapotranspiração, à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo, como se pode observar na Figura 3.3 (Pereira, 2007).

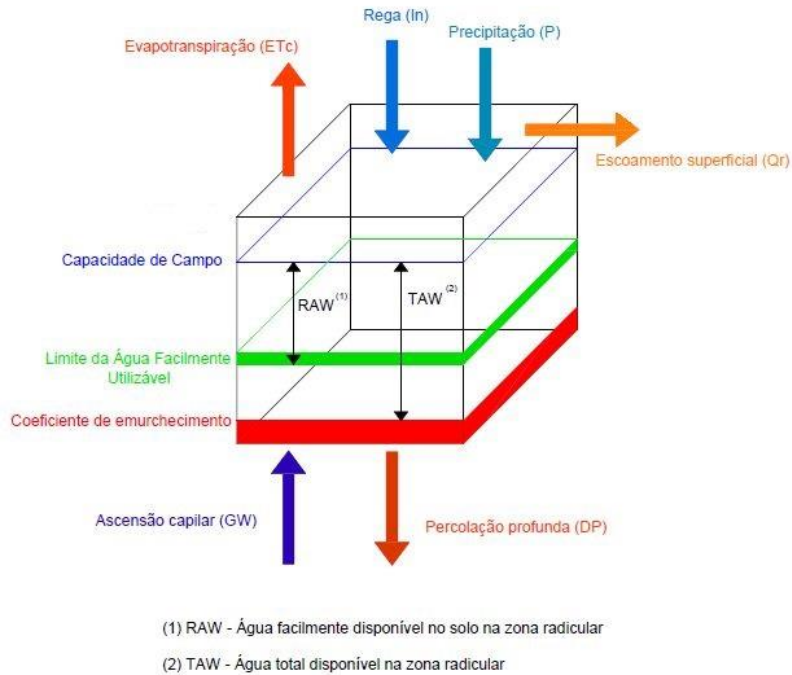


Figura 3.3 - Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes (Fonte: Allen et al., 1998).

A equação geral do balanço hídrico na zona radicular de espessura Δz (m) e para um intervalo de tempo Δt (dias), é dada pela equação (3.6):

$$\Delta S = (P + I_n + GW) - (Q_r + DP + ET_C) \quad (3.6)$$

Onde,	ΔS	Varição do armazenamento de água no solo [mm];
	P	Precipitação [mm];
	I_n	Dotação de rega [mm];
	GW	Fluxo acumulado de ascensão capilar [mm];
	Q_r	Escoamento superficial [mm];
	DP	Fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação [mm];
	ET_C	Evapotranspiração da cultura [mm].

A equação (3.6) aplica-se entre a superfície do solo e uma profundidade Z_r abaixo da zona radicular. Todas as variáveis da equação do balanço hídrico do solo são expressas em mm e são relativos ao período Δt (Pereira, 2007).

3.4.1. Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo

Saber como se movimenta a água que é retida pelo solo e a forma como essa água é retida, é de grande importância para uma gestão de rega eficaz e eficiente. O solo armazena água e as plantas usam-na dentro de determinados limites: o limite superior do teor de água do solo, designado por capacidade de campo (C_C), e o limite inferior do teor de água no solo, designado por coeficiente de emurchecimento (C_e).

A capacidade de campo (C_C) corresponde à quantidade de água que fica retida no solo, depois de uma rega abundante ou de uma grande chuvada, quando cessa a infiltração da água em profundidade, ou seja, representa a água higroscópica e capilar que o solo retém depois de se ter escoado a água gravitacional (Raposo, 1994).

O coeficiente de emurchecimento (C_e) é a quantidade de água retida no solo, abaixo da qual as plantas não conseguem realizar a absorção radicular. Quando as plantas já não conseguem extrair água do solo começam a emurcheçar e morrem (Raposo, 1994).

Teoricamente a água do solo encontra-se disponível até ao coeficiente de emurchecimento permanente. No entanto, a extracção de água pela planta sofre uma redução antes do nível de humidade no solo atingir o coeficiente de emurchecimento permanente. À medida que as plantas vão consumindo água, as partículas do solo tendem a reter o resto da água com uma tensão maior, tornando-se cada vez mais difícil para as plantas extraí-la, resultando assim num aumento de stress hídrico (Whiters e Vipond, 1974). Ou seja, o stress hídrico ocorre quando não existe água suficiente para a planta absorver de modo a substituir a perda de água por evapotranspiração, afectando assim o crescimento da planta.

A fracção de água disponível no solo que a cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer stress hídrico é a água no solo facilmente disponível (RAW) (Figura 3.4).

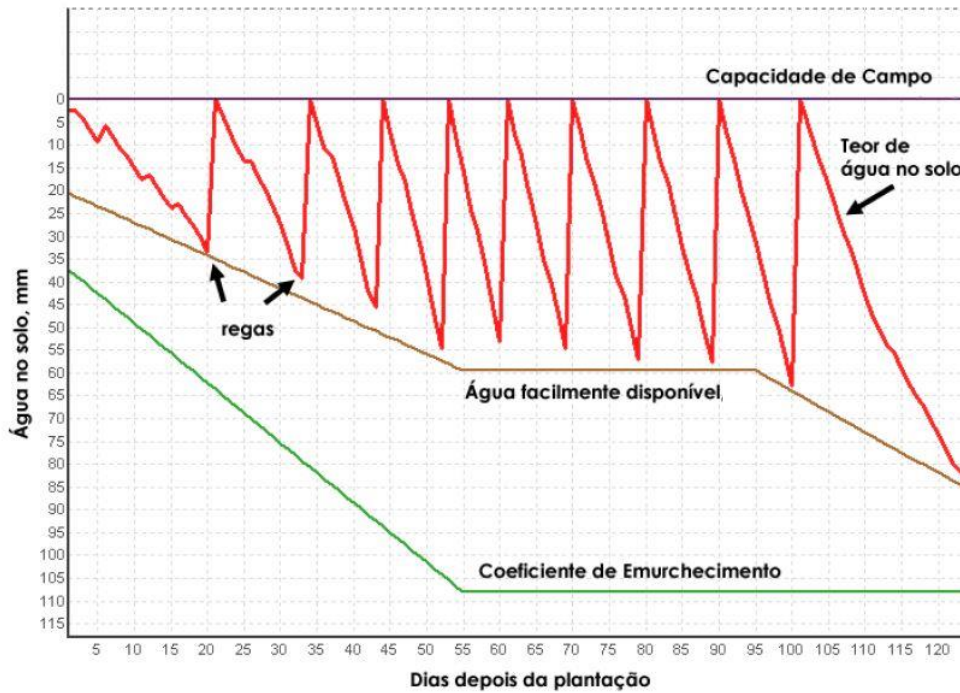


Figura 3.4 – Modo de irrigação para evitar stress hídrico das culturas (Fonte: Shahidian, 2012).

A figura acima representa um balanço hídrico do solo com o método da FAO. O teor de água no solo (linha encarnada) deve ser mantido entre a água facilmente disponível e a capacidade de campo (C_c). O teor de água desce devido à ET_0 e é depois repostado pelas regas (linhas verticais).

A água facilmente disponível pode ser calculada pela equação (3.7) (Allen *et al.*, 1998):

$$RAW = p \times TAW \quad (3.7)$$

Onde,

RAW	Água facilmente disponível no solo na zona radicular [mm];
TAW	Água total disponível na zona radicular [mm];
p	Fracção média do total de água disponível no solo (TAW) que pode ser esgotada a partir da zona da raiz antes de ocorrer stress hídrico.

A água gravitacional, isto é, a humidade acima da capacidade de campo só se encontra temporariamente à disposição das plantas, o que faz com que estas só possam utilizar a humidade existente entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento.

A capacidade utilizável, ou seja, a percentagem de água disponível para a planta é a quantidade de água disponível na zona radicular entre os limites da capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento, que representa a reserva de água no solo. Abaixo desta reserva as plantas

começam a ser afectadas no seu desenvolvimento pela falta de humidade do solo. Isto significa que, em geral, quando a humidade do solo se encontra (Raposo, 1994):

- a) Abaixo do coeficiente de emurchecimento – As plantas morrem por secura;
- b) Entre o coeficiente de emurchecimento e o limite da água facilmente utilizável – As plantas vegetam em más condições;
- c) Entre o limite de água facilmente utilizável e a capacidade de campo – As plantas vegetam em boas condições;
- d) Acima da capacidade de campo - As plantas são prejudicadas pelo excesso de água que podem originar a respectiva morte por asfixia radicular.

De acordo com Allen *et al.* (1998), a quantidade de água total disponível no solo (TAW) é a quantidade de água que uma cultura pode extrair do solo, a partir da sua zona de raiz sem que ocorra stress hídrico e é dada pela equação (3.8):

$$TAW = 1000(C_c - C_e)Z_r \quad (3.8)$$

Onde,	TAW	Água total disponível na zona radicular [mm];
	C_c	Teor de água do solo à capacidade de campo [$m^3 m^{-3}$];
	C_e	Teor de água do solo ao coeficiente de emurchecimento [$m^3 m^{-3}$];
	Z_r	Profundidade radicular [m].

3.4.2. Necessidades hídricas das plantas

A quantidade de água que é necessária fornecer às plantas para compensar a perda de água por evapotranspiração das culturas instaladas é definida como a necessidade hídrica das plantas (NH). Esta necessidade representa a quantidade de água que as plantas precisam para se manterem saudáveis e poderem realizar as suas funções normais. Os valores das necessidades hídricas das plantas são, pois, idênticos aos valores da evapotranspiração cultural (Allen *et al.*, 1998).

As necessidades hídricas de uma cultura podem ser analisadas de duas perspectivas:

- A nível de projecto dos sistemas de rega, onde se pretende efectuar uma estimativa das necessidades para dimensionar as diversas partes constituintes do sistema;

- A nível da gestão de rega, onde se procura avaliar as necessidades reais da cultura de modo a otimizar os consumos de água da instalação.

No âmbito deste trabalho serão exploradas as necessidades hídricas a nível do projecto de sistemas de rega, uma vez que será essencial para a determinação do caudal de projecto.

A nível de projecto, é importante conhecer as necessidades hídricas anuais e as necessidades hídricas de ponta. As necessidades hídricas anuais consistem na estimativa do consumo anual. A partir de balanços hídricos efectuados com base nos valores médios mensais de precipitação e de evapotranspiração, obtêm-se valores médios pouco representativos, devido à variabilidade de uns anos para os outros. Por este motivo, torna-se geralmente necessário elaborar os balanços hídricos do solo relativos a cada ano com base nos respectivos valores pluviométricos, evapotranspiração cultural e precipitação (Raposo, 1994).

O problema da determinação das necessidades hídricas de ponta, ou seja, das regas a realizar nos meses mais críticos, está de uma maneira geral mais facilitado do que o caso das necessidades anuais. Esta facilidade deve-se às seguintes razões:

1. Nos meses mais críticos (Julho e Agosto), em Portugal Continental, a precipitação efectiva é quase nula;
2. A evapotranspiração potencial e a evapotranspiração cultural variam pouco de uns anos para os outros.

Por estas razões, muitas vezes não é necessário elaborar qualquer balanço hídrico, pois o caudal de projecto pode ser obtido directamente a partir dos parâmetros de rega.

3.4.3. Precipitação efectiva

Uma parte da precipitação perde-se por escoamento superficial, percolação profunda e por evapotranspiração. Apenas a parte restante fica no solo em condições de ser utilizada pelas plantas. A esta quantidade de água da precipitação total que fica retida na espessura do solo onde se efectua a absorção radical, dá-se o nome de precipitação efectiva (P_e). Na impossibilidade de se poder avaliar directamente este valor, pode-se determinar o valor aproximado da precipitação efectiva a partir da equação (3.9):

$$P_e = P k_e \quad (3.9)$$

Onde,	P_e	Precipitação efectiva [mm];
	P	Precipitação total [mm];
	k_e	Coeficiente de retenção efectiva [-].

3.4.4. Caudal de projecto

O caudal teórico de projecto (Q_p) a fornecer pela instalação é dado pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{A_i \times D_t}{t_r} \quad (3.10)$$

Onde,	Q_p	Caudal de projecto [m^3/h];
	A_i	Área do sector a regar [m^2];
	D_t	Dotação total de rega [m];
	t_r	Tempo disponível para rega [h].

A selecção do tempo de rega mais adequado é extremamente importante. De acordo com Raposo (1994), o tempo de rega aconselhado é de 8 horas.

3.4.5. Infiltração

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de muita importância prática, uma vez que afecta directamente o escoamento superficial. A infiltração tem duas grandes grandezas características, sendo elas (Carvalho e Silva, 2006):

- Capacidade de infiltração;
- Taxa de infiltração.

A capacidade de infiltração, expressa geralmente em $mm.h^{-1}$, é definida como a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, num dado intervalo de tempo. Pode ser dividida em dois grandes regimes. Inicialmente, a absorção da água ocorre segundo um regime transitório onde a taxa de infiltração é elevada mas tende a diminuir até atingir o regime estacionário, onde a taxa de infiltração se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo (Figura 3.5).

A taxa de infiltração, também expressa em mm.h^{-1} , é entendida como o volume de água, por unidade de área, que efectivamente atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Ou seja, é a velocidade com que a água se infiltra no solo e depende da quantidade de água disponível (precipitação) e da sua variação anterior.

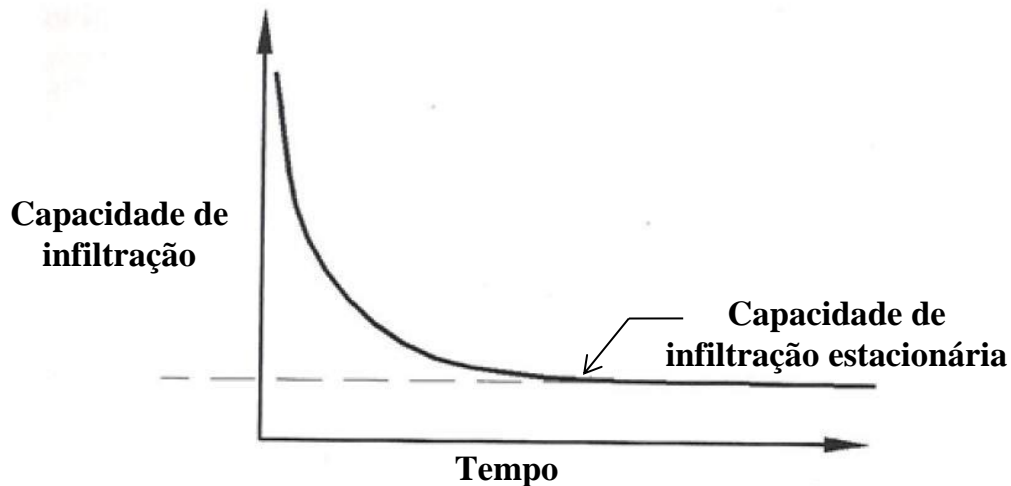


Figura 3.5 – Gráfico típico da infiltração de água no solo em função do tempo (Adaptado de: Barrett et al., 2003).

No caso da irrigação, é fundamental conhecer o comportamento do solo em regime estacionário, pois idealmente, um sistema de rega nunca deve fornecer uma quantidade de água superior à que pode ser absorvida pelo solo. Se estes requisitos não forem cumpridos, resultam impactos negativos na eficiência da rega.

3.5. Indicadores de desempenho dos sistemas de rega

A análise do desempenho dos sistemas de rega tem vindo a ter cada vez mais atenção. Os indicadores de desempenho são usados para avaliar (Pereira, 2004):

- Qualidade do projecto;
- Qualidade da gestão de um sistema;
- Qualidade do serviço ou funcionamento do sistema;
- Qualidade ambiental.

O desempenho da rega pode ser avaliado através de vários indicadores mas os mais importantes são relativos à uniformidade de distribuição e à eficiência de aplicação.

3.5.1. Uniformidade

A uniformidade da rega tem como indicadores a uniformidade de distribuição (DU), o coeficiente de uniformidade (CU) e a uniformidade estatística (U_s). No caso da rega agrícola e dos espaços verdes, o que tem mais interesse em ter em conta é a uniformidade de distribuição (DU) e o coeficiente de uniformidade (CU) (Pereira, 2004).

A uniformidade de distribuição (DU) é muito influenciada pela selecção e espaçamento dos aspersores, assim como a pressão da água, a velocidade e a direcção do vento. Na rega por aspersão, a uniformidade de distribuição é medida a partir de testes de pluviometria e é dada pela seguinte equação (3.11):

$$DU = 100 \left(\frac{Z_{lq}}{Z_{avg}} \right) \quad (3.11)$$

Onde,	DU	Uniformidade de distribuição [%];
	Z_{lq}	Quantidade média infiltrada no menor quartil da área regada (1/4 dos valores mais baixos recolhidos) [mm];
	Z_{avg}	Quantidade média infiltrada na parcela [mm].

O coeficiente de uniformidade (CU) dá a ideia da regularidade de distribuição da precipitação no terreno beneficiado por uma dada instalação de rega. O conhecimento do diagrama pluviométrico só interessa para se estudar a melhor solução a adoptar para a disposição dos aspersores e as respectivas distâncias entre aparelhos consecutivos, uma vez que o diagrama pluviométrico traduz o modo como se distribui a água caída na superfície circular teoricamente coberta pelo aspersor. Enquanto o diagrama pluviométrico caracteriza o aspersor, o coeficiente de uniformidade caracteriza a instalação.

Existem algumas fórmulas para definir o CU e, entre todas, a mais conhecida é a de Christiansen que é dada pela equação (3.12).

$$CU = 100 \left(1 - \frac{sd}{m} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{0,5} \right) \quad (3.12)$$

Em que,	sd	Desvio padrão das observações [mm];
	m	Média das observações [mm].

Com as disposições habitualmente recomendadas para os aspersores, a uniformidade de distribuição e o coeficiente de uniformidade podem ser relacionados aproximadamente pela seguinte relação:

$$CU = 100 - 0,63(100 - UD) \quad (3.13)$$

Elevados valores de uniformidade significam que a maior parte da área recebeu igual quantidade de água; baixas uniformidades indicam condições de excesso ou de défice de infiltração de água nalgumas zonas da parcela.

3.5.2. Eficiência de rega

A eficiência de rega (E_s) é considerada como a fracção de água que, partindo do sistema abastecedor, chega à planta e depende principalmente da qualidade do projecto do sistema de rega e do modo como este é mantido e operado (Pereira, 2004).

A perda de água por fugas no sistema de transporte e distribuição está relacionada com a concepção e manutenção dos sistemas, devendo ser monitorizada e corrigida no âmbito do trabalho de gestão de rega.

A eficiência de aplicação da água está directamente relacionada com a uniformidade de aplicação. A aplicação da água de maneira não uniforme, para além de aumentar a quantidade de água utilizada, origina problemas de saturação do solo, lixiviação de fertilizantes e erosão.

De acordo com Raposo (1996), a gama de eficiência de rega por aspersão está compreendida entre 70% e 90%, sendo habitual considerar o valor médio para os cálculos.

A realização de regas a horas de muito calor, em zonas onde a radiação solar é muito intensa e a humidade relativa muito baixa, diminui a eficiência de rega e também a dotação de rega. Nestas circunstâncias, é preferível realizar as regas de manhã ou durante a noite.

CAPÍTULO 4 – MODELO DE CÁLCULO AUTOMÁTICO WINISAREG

SUMÁRIO: Neste capítulo explica-se o modelo de cálculo utilizado para o estudo da evapotranspiração e do balanço hídrico.

ÍNDICE

4.1.	O modelo WinISAREG para a simulação e calendarização da rega.....	39
4.2.	Cálculo da evapotranspiração de referência.....	43
4.3.	Cálculo do balanço hídrico.....	44

4.1. O modelo WinISAREG para a simulação e calendarização da rega

Actualmente existem modelos de cálculo capazes de determinar as necessidades de água das culturas e as necessidades de rega através da simulação do balanço hídrico do solo.

O modelo WinISAREG, versão Windows do modelo ISAREG, descrito por Pereira *et al.* (2003), foi desenvolvido no Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. É composto pelo programa EVAP56, que calcula a evapotranspiração de referência (ET_0) utilizando o método FAO-PM, que inclui também a estimativa de parâmetros no caso de variáveis meteorológicas em falta, e por um método de simulação do balanço hídrico de um solo regado. Este modelo permite calcular as necessidades de água e de rega das culturas com diversos intervalos de tempo e diversas opções de entrada de dados climáticos, de solos e da cultura, permitindo a obtenção de calendários de rega adequados a uma cultura e uma região (Pereira, 2004).

O modelo WinISAREG inclui um algoritmo que estima os impactos da salinidade do solo e da água sobre a ET_C e um algoritmo para calcular a contribuição das águas subterrâneas (GW) e a percolação. A percolação, que resulta do excesso de água na zona radicular, é estimada por uma equação paramétrica que é função das características do solo e da quantidade de água em excesso relativamente à capacidade de campo.

O modelo WinISAREG admite uma grande variedade de aplicações relativamente a um sistema cultura-solo-clima, tais como:

- a) A programação da rega em condições de conforto hídrico, visando atingir a produção máxima;
- b) A avaliação de calendários de rega onde são conhecidas as dotações e as datas;
- c) A realização do balanço hídrico em condições de sequeiro;
- d) Cálculo das necessidades de rega das culturas, recorrendo a longas séries de dados.

Este modelo exige um conjunto de dados de entrada, que podem ser inseridos directamente através do teclado do computador ou através de ficheiros do tipo ASCII pré-definidos. Estes dados incluem:

- i. **Dados meteorológicos:** Estes dados podem ser relativos à precipitação efectiva, P_e [mm], e evapotranspiração de referência, ET_0 [mm], ou relativos a dados climáticos necessários ao cálculo da ET_0 utilizando o método de cálculo da FAO-Penman-

Monteith, incluindo dados em falta. Os dados que habitualmente se fornecem ao programa são os dados climáticos necessários ao cálculo da ET_0 (Figura 4.1), sendo eles:

- Temperaturas máxima e mínima;
- Humidades relativas máxima e mínima;
- Velocidade do vento;
- Insolação.

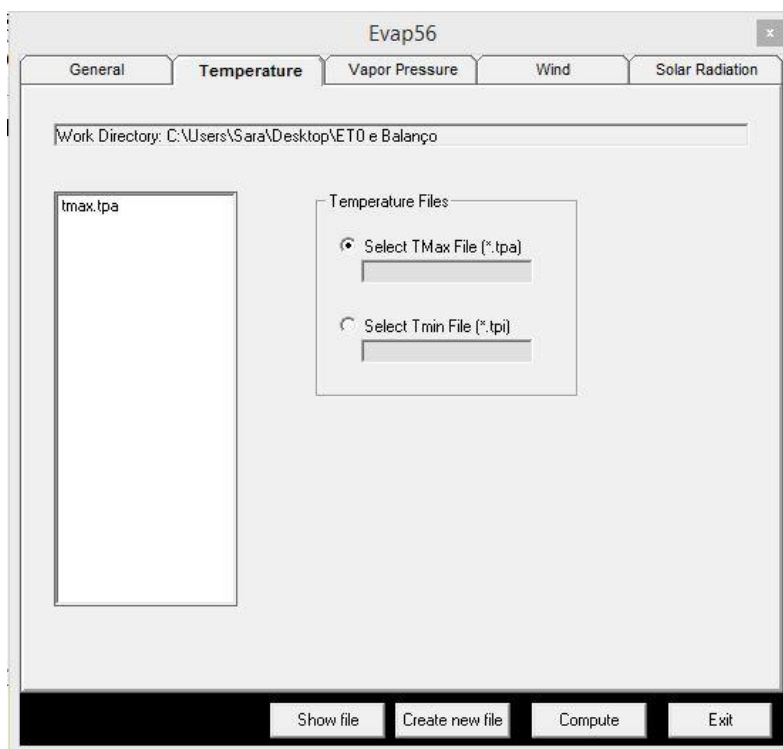


Figura 4.1 – Introdução de dados climáticos necessários ao cálculo da ET_0 .

- ii. **Dados culturais:** Dados relativos às datas das fases do ciclo da cultura a instalar e respectivos coeficientes culturais (K_C), profundidade radicular, Z_r [m] e a fracção da água do solo que se pode usar sem que ocorra stress hídrico (p) (Figura 4.2);

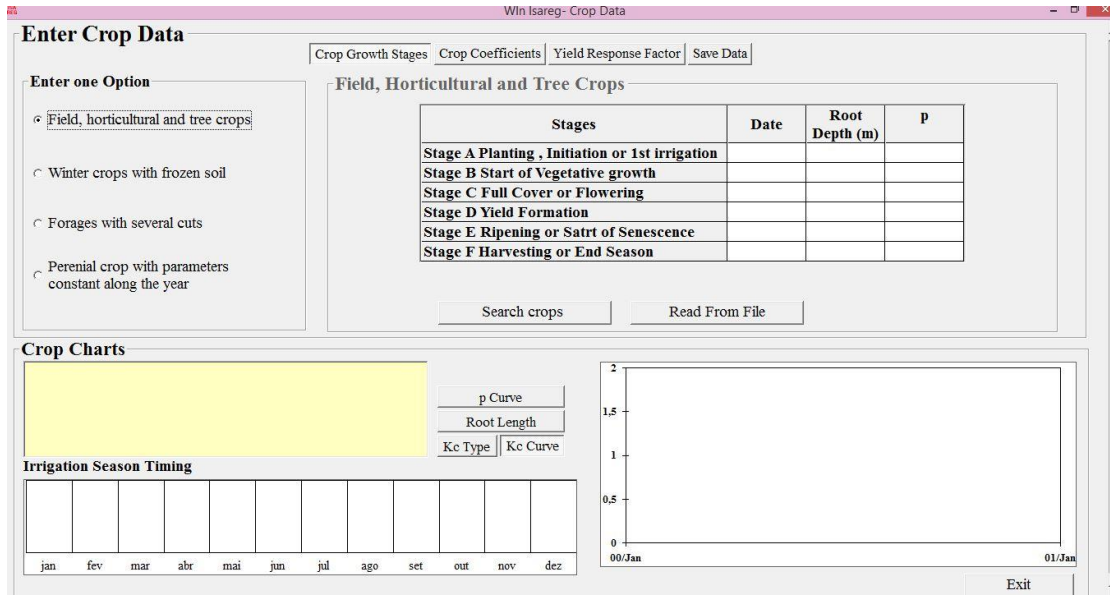


Figura 4.2 – Introdução de dados culturais a fornecer.

iii. **Dados das características pedológicas:** Dados referentes às diferentes camadas do solo (Figura 4.3):

- Profundidade do solo [m];
- Quantidade de água total disponível no solo, TAW [mm];
- Total de água evaporável, TEW [mm]
- Quantidade de água facilmente evaporável, REW [mm];

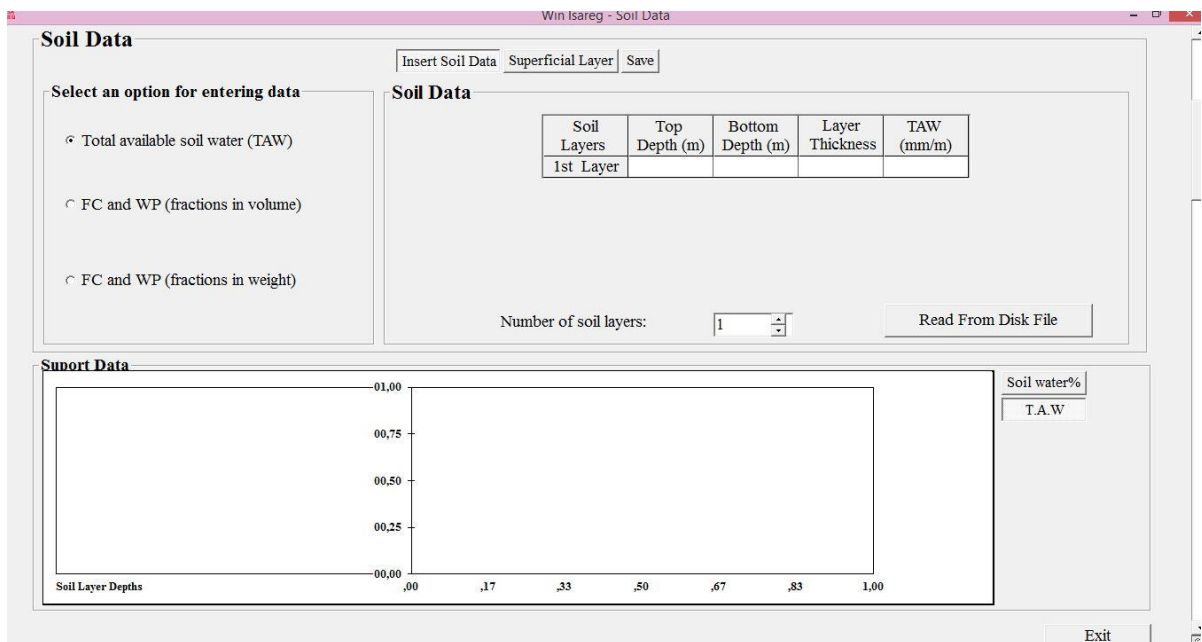


Figura 4.3 – Introdução de dados sobre as características pedológicas.

- iv. **Dados sobre as opções de rega:** Dados que correspondem às várias opções de simulação da rega (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Introdução de dados sobre as opções de rega.

- v. **Dados relativos à ascensão capilar e à percolação:** Dados a utilizar para o cálculo da contribuição da água que ascende por capilaridade, GW [mm dia⁻¹] e da percolação profunda, DP [mm dia⁻¹], através de métodos paramétricos (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Introdução de dados relativos à ascensão capilar e à percolação.

- vi. **Dados sobre a restrição de água:** Dados referentes às restrições impostas aos esquemas simulados relativamente aos volumes de água disponíveis e aos períodos em que estes estão disponíveis (Figura 4.6).

Figura 4.6 – Introdução de dados sobre a restrição de água.

4.2. Cálculo da evapotranspiração de referência

Uma vez que as estações meteorológicas mais próximas da zona em estudo, Ladoeiro (14N/02UG) e Cabeço Monteiro (14N/01C), não têm todos os dados meteorológicos necessários ao cálculo da ET_0 , foram usados dados da estação meteorológica de Castelo Branco (15M/01UG), cuja localização é a seguinte (Figura 4.7):

- Latitude Norte no Sistema sexagesimal: 39°49'00''
- Altitude: 386 metros
- Altura do Anemómetro: 10 metros

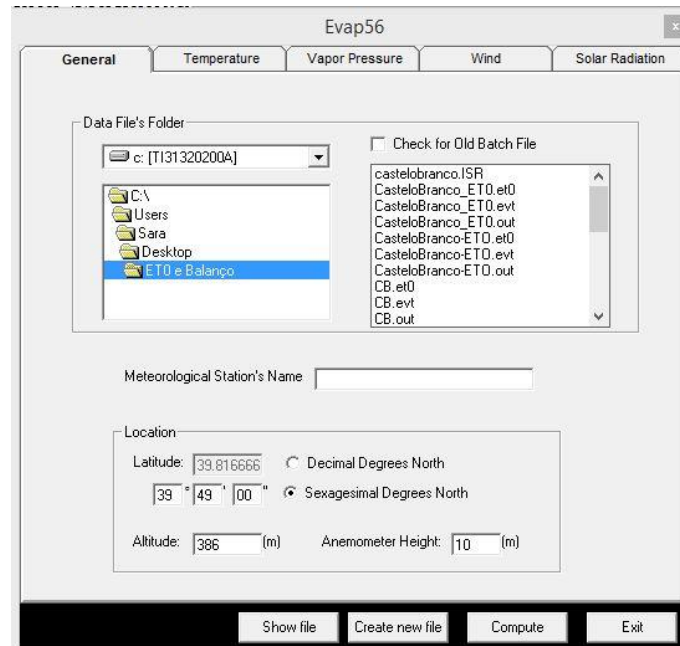


Figura 4.7 – Colocação dos dados necessários ao cálculo da ET_0 .

Os registos foram fornecidos pela Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco. Os registos fornecidos encontram-se apresentados em anexo (Anexo II).

Foram considerados registos mensais de temperaturas do ar máximas e mínimas, humidades relativas máxima e mínima, insolação e velocidade do vento, num período de 1986 a 2005 (20 anos). Não foi possível ter acesso a dados meteorológicos mais recentes.

Depois de introduzidos no programa os registos meteorológicos fornecidos e os dados da localização da estação meteorológica, o modelo winISAREG, a partir do programa EVAP56, estima a evapotranspiração de referência (ET_0) para a região em estudo. Uma vez estimado este valor, pode-se então proceder ao cálculo do balanço hídrico.

4.3. Cálculo do balanço hídrico

De acordo com Doorenbos e Pruitt (1977), as necessidades hídricas das culturas são definidas como a quantidade de água, expressa em altura [mm], que é necessária fornecer à cultura para fazer face à água perdida através da evapotranspiração cultural em condições padrão (ET_C).

Para determinar as necessidades hídricas de uma cultura é necessário conhecer o consumo de água ao longo do tempo, de uma parcela de terreno com essa cultura num determinado clima. Estas necessidades hídricas são determinadas através de um simples balanço de água no solo.

Para a determinação do balanço hídrico através do modelo winISAREG, são necessários os seguintes dados de entrada:

1) Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados para o cálculo do balanço hídrico foram os seguintes dados mensais:

- Precipitação;
- Humidade relativa mínima;
- Velocidade do vento;
- ET_0 (calculada pelo programa).

2) Dados sobre as características do solo

A partir da Carta de Solos de Portugal, foi possível identificar o tipo de solo onde vai incidir o estudo da rede de rega. O solo é do tipo cambissolo dístrico e tem uma textura franco-arenosa (cf. 2.3).

Com base nesta informação, pode-se saber a quantidade de água disponível no solo pela equação (3.8).

Através da tabela 19 da FAO (Allen *et al.*, 1998) (Quadro 4.I), obtêm-se os valores referentes à capacidade de campo (C_C) e coeficiente de emurchecimento (C_e). O valor da profundidade da raiz é obtido através da tabela 22 da FAO (Allen *et al.*, 1998).

Quadro 4.I – Características típicas da água no solo para diferentes tipos de solo (Adaptado de: Allen *et al.*, 1998) (REW = água facilmente evaporável; TEW = total de água evaporável).

Tipo de solo	Características da água no solo			Parâmetros de evaporação	
	C _C	C _e	(C _C - C _e)	Quantidade de água que pode ser perdida por evaporação	
				REW	TEW
	[m ³ m ⁻³]	[m ³ m ⁻³]	[m ³ m ⁻³]	[mm]	[mm]
Franco-Arenoso	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16	0,11 - 0,15	6 - 10	15 - 20

Visto que na tabela se apresentam intervalos de valores, foram considerados os seguintes valores:

$$C_C = 0,18$$

$$C_e = 0,06$$

$$Z_r = 1 \text{ m}$$

Substituindo na equação (3.8), obtém-se:

$$TAW = 1000 \times (0,18 - 0,06) \times 1,00 = 120 \text{ mm}$$

O total de água evaporável (TEW) e a água facilmente evaporável (REW) são também dados necessários a fornecer ao programa. Estes valores são retirados da tabela 19 da FAO (Allen *et al.*, 1998) (Quadro 4.I).

Foram considerados os seguintes valores:

$$REW = 7 \text{ mm}$$

$$TEW = 16 \text{ mm}$$

3) Dados sobre a cultura

Para se inserirem os dados referentes à cultura que se vai instalar é necessário saber que tipo de pastagem a usar. Como foi referido no Capítulo 2, vai ser instalada uma combinação de leguminosas e gramíneas sendo elas trevo branco (*Trifolium repens* L.) e festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb), respectivamente.

Os dados a fornecer ao programa, referentes à cultura, são os valores relativos aos coeficientes culturais inicial, médio e final, a profundidade radicular e o valor da fracção de depleção (p).

A partir da tabela 12 da FAO (Allen *et al.*, 1998), obtiveram-se os valores dos coeficientes da cultura ($K_{c,inc}$, $K_{c,med}$, $K_{c,fin}$), sendo eles:

$$k_{C,inc} = 0,40$$

$$k_{C,med} = 0,85$$

$$k_{C,fin} = 0,85$$

Uma vez que o valor de $K_{c,med}$ e $K_{c,fin}$ são iguais, a forragem desenvolve-se até ao período intermédio e mantém as suas características até ao fim do ciclo cultural.

Os valores da profundidade da raiz e da fracção de depleção são obtidos através da tabela 22 da FAO (Allen *et al.*, 1998) (Quadro 4.II).

Quadro 4.II – Gamas de profundidade radicular (Zr) e de fracção de depleção (p) de água no solo sem que ocorra stress hídrico (Adaptado de: Allen *et al.*, 1998).

Culturas	Profundidade da raiz (Zr) [m]	Fracção de depleção (p)
Trevo branco	0,50 a 1,50	0,50
Pastagem	0,50 a 1,50	0,60
Valor usado	1,00	0,55

Uma vez que não se obtiveram os valores da profundidade da raiz e da fracção de depleção para a festuca, considerou-se que estes valores estavam entre os valores do trevo branco e da pastagem apresentada na tabela 22 da FAO, ou seja, 1,00 e 0,55, respectivamente (Quadro 4.II).

4) Opções de irrigação

Nas opções de rega, foi apenas criado um ficheiro onde se pede ao programa para calcular as necessidades de rega (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Cálculo das necessidades de rega.

Ao inserir todos os dados recolhidos e calculados nos ficheiros correspondentes (Figura 4.9), pode-se então pedir para o programa calcular o balanço hídrico do solo e assim saber qual o ano mais crítico, ou seja, o ano mais seco.

Figura 4.9 – Coleção de dados necessários ao cálculo do balanço hídrico.

Para o programa fornecer o ano mais seco, é necessário pedir para simular o balanço hídrico desde o 1986 até 2005 (Figura 4.10).



Figura 4.10 – Simulação do balanço hídrico.

Com base nesta informação vai ser gerada uma tabela onde estão indicados todos os anos em estudo e estão ordenados (na última coluna) por ordem crescente, ou seja, desde o ano menos seco ao mais seco. (Quadro 4.III).

Quadro 4.III - Tabela gerada pelo programa onde os anos são ordenados do mais húmido ao mais seco.

Frequency (%)	Peak Use		Annual use	
	Qfc	Year	Requirements	Year
4,8	0,31	1988	39	1988
9,5	0,45	1997	88	2000
14,3	0,56	1987	135	1993
19	0,57	2000	154	1998
23,8	0,58	1999	159	1996
28,6	0,58	2001	199	1997
33,3	0,58	2003	227	1989
38,1	0,59	1994	231	1987
42,9	0,6	1991	241	1994
47,6	0,6	1995	249	2001
52,4	0,61	1992	252	2002
57,1	0,61	2005	269	2003
61,9	0,62	1989	272	1999
66,7	0,64	1986	280	1992
71,4	0,64	1990	296	1990
76,2	0,64	1998	311	1986
81	0,64	2004	313	2004
85,7	0,65	1996	321	2005
90,5	0,65	2002	339	1995
95,2	0,67	1993	354	1991

De acordo com os dados gerados pelo programa, o ano mais seco é o ano de 1991. Em seguida, com esta informação, faz-se uma nova colecção de dados, mas apenas dos dados referentes às opções de rega, onde se pede para calcular as necessidades de rega nesse ano, visando o seu rendimento máximo (Figura 4.11).

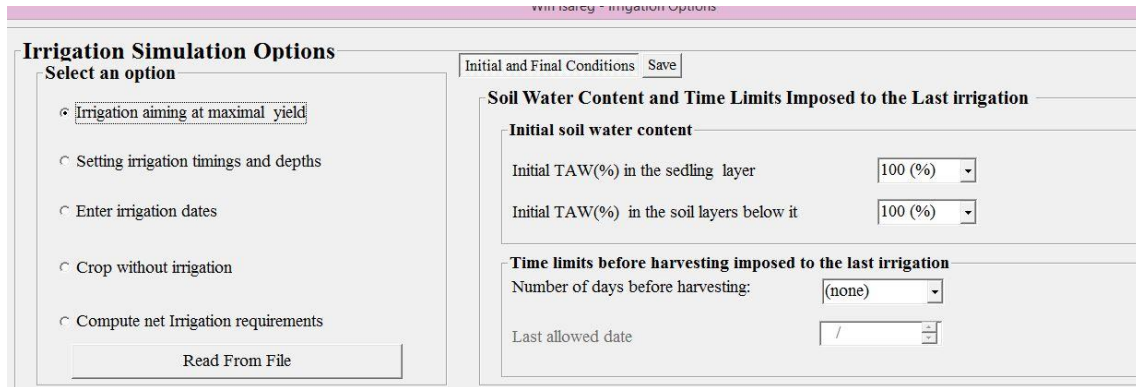


Figura 4.11 – Simulação das necessidades de rega do ano 1991, visando o seu rendimento máximo.

Depois de guardada esta nova colecção de dados, volta-se a pedir para o programa simular o balanço hídrico do solo, mas agora apenas para o ano de 1991. Com esta simulação obtém-se um calendário de rega que indica de quanto em quanto tempo é preciso regar e fornece também um modelo de irrigação (Figura 4.12).

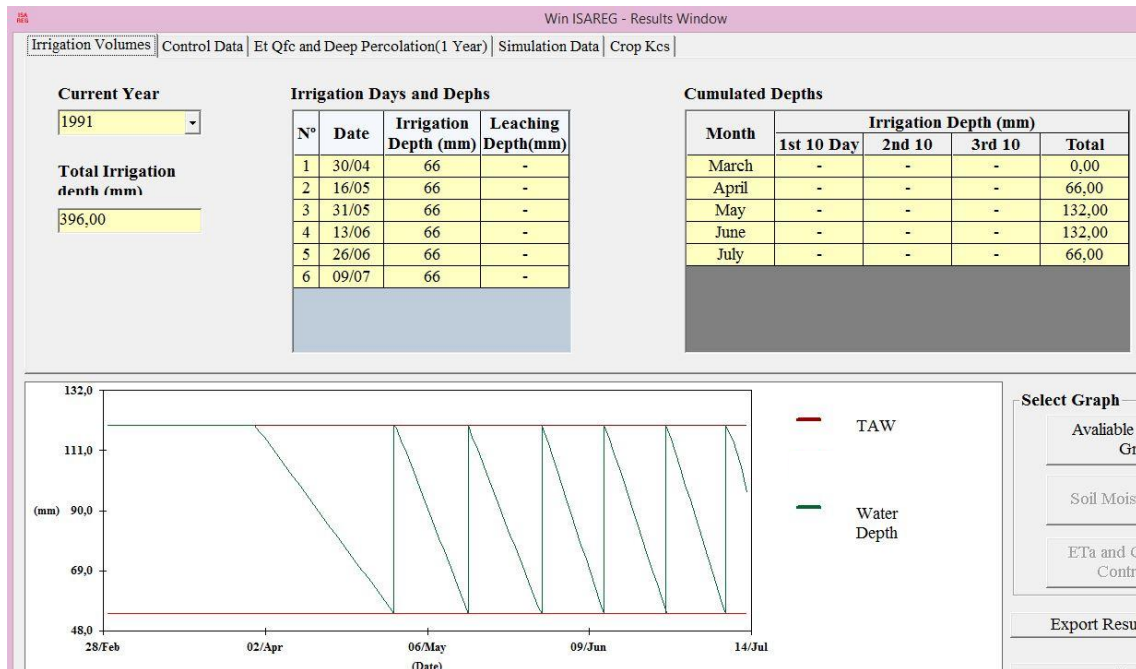


Figura 4.12 – Modelo de irrigação sem ocorrência de stress hídrico com base no ano mais seco.

O modelo de irrigação apresentado na figura acima representa o balanço hídrico do solo. O teor de água no solo (linha verde) deve ser mantido entre a água facilmente disponível e a capacidade de campo (C_C). O teor de água desce devido à ET_0 e é depois repostado pelas regas (linhas verticais). No entanto, não é obrigatório que as regas reponham o teor de água no solo até à capacidade de campo. Pode ser feita uma redução do intervalo entre regas e assim reduzir os valores das dotações de rega. Nesta primeira simulação, obteve-se um intervalo entre regas muito grande, de 13 dias, e dotações de rega de 60 mm. Por isso, optou-se por fazer outra simulação de balanço hídrico onde foi imposta uma dotação de 20 mm.

Para que seja feita uma nova simulação, onde o programa admita que a dotação de rega é de 20 mm, é preciso voltar a fazer uma nova colecção de dados relativamente às opções de irrigação. Neste caso, pede-se para definir os intervalos entre regas e as dotações (Figura 4.13), a fracção de depleção sem que ocorra stress hídrico (Figura 4.14) e a dotação de 20 mm (Figura 4.15).

Figura 4.13 – Definição dos intervalos entre regas e das dotações.

Figura 4.14 – Definição da fracção de depleção sem que ocorra stress hídrico.

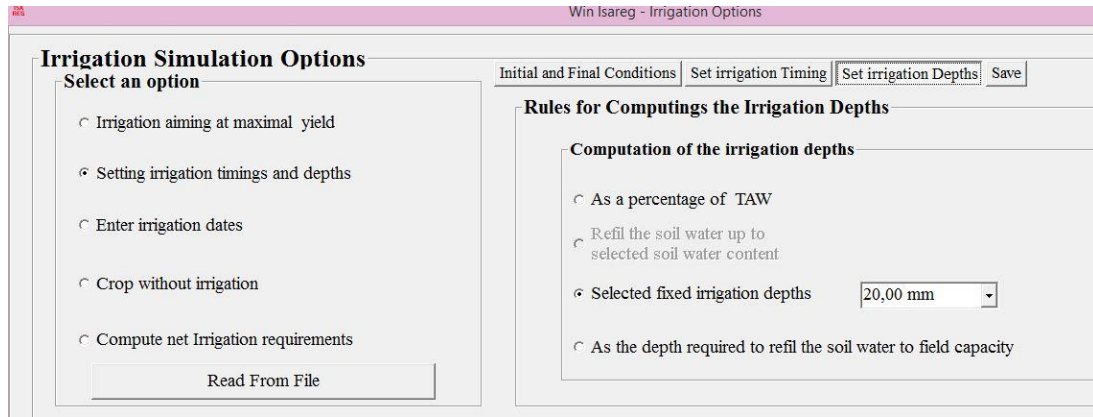


Figura 4.15 – Fixação da dotação de rega de 20 mm.

Definindo a nova colecção de dados sobre as opções de rega, faz-se nova simulação do balanço hídrico do solo para o ano de 1991. Com esta simulação obtém-se um novo calendário de rega que indica o intervalo entre regas correspondente a uma dotação de 20 mm, e um novo modelo de irrigação (Figura 4.16). Para a dotação definida obtém-se um intervalo entre regas de 4 dias.

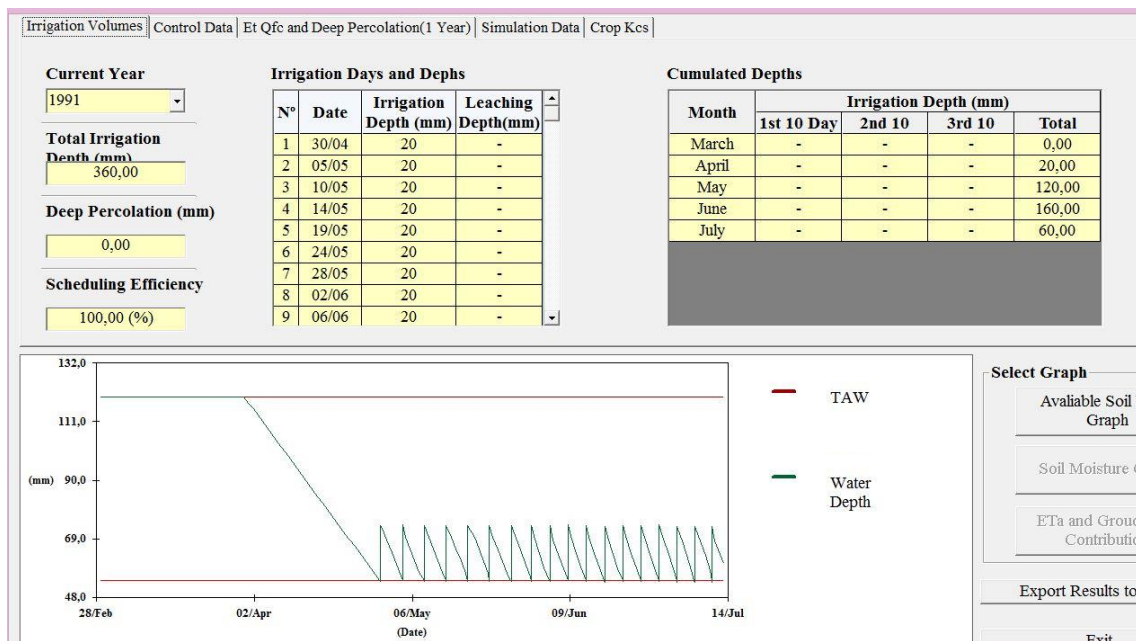


Figura 4.16 - Modelo de irrigação sem ocorrência de stress hídrico para uma dotação de 20 mm.

Com base na informação obtida pelo programa - dotação de rega e intervalo entre regas – pode-se proceder ao dimensionamento da rede de rega. O dimensionamento irá ser abordado no capítulo 6.

CAPÍTULO 5 – SISTEMA DE REGA

SUMÁRIO: Neste capítulo fala-se sobre as finalidades de um sistema de rega, como se classifica um sistema, os seus principais equipamentos e disposição da instalação.

ÍNDICE

5.1.	Finalidade de um sistema de rega.....	55
5.2.	Classificação dos sistemas de rega.....	56
5.3.	Principais componentes de um sistema de rega por aspersão	59
5.3.1.	Sistema de bombagem.....	59
5.3.2.	Aspersores	61
5.4.	Tipos de instalação.....	66
5.4.1.	Instalações Estacionárias.....	66
5.4.2.	Instalações Semoventes.....	70
5.5.	Disposição dos aspersores.....	71
5.5.1.	Disposição em quadrado	71
5.5.2.	Disposição em rectângulo	72
5.5.3.	Disposição em triângulo.....	73
5.5.4.	Taxa de aplicação.....	74
5.5.5.	Problema do vento.....	76

5.1. Finalidade de um sistema de rega

A rega é um processo de fornecimento de água ao solo com o objectivo de melhorar as condições de vegetação das plantas cultivadas. O aumento da escassez de água, dos problemas de poluição e da excessiva procura de água levou à tomada de consciência da necessidade de efectuar a sua utilização de uma forma mais racional. Apesar de um sistema de rega ter sempre o mesmo objectivo, pode ser usado para vários fins, tais como (Domingos Almeida, 2004):

- Regas de humedecimento;
- Regas de protecção;
- Regas de fertilização;
- Regas de distribuição de pesticidas e herbicidas;
- Regas para lavagem de sais.

As regas de humedecimento são normalmente conhecidas apenas por regas e têm como objectivo compensar a insuficiência da chuva, fornecendo ao solo a quantidade de água necessária para repor os níveis de humidade do solo dentro dos valores indicados para o bom desenvolvimento da cultura.

As regas de protecção são normalmente utilizadas para combater os efeitos das condições climáticas desfavoráveis, em especial as baixas temperaturas e as geadas.

As regas de fertilização, denominadas por fertirregas, consistem na adição de adubos na água de rega. Estas regas são especialmente eficientes na distribuição de adubos azotados e potássicos, nutrientes tais como o magnésio e o enxofre, e alguns micronutrientes como o boro, zinco e ferro. As regas de distribuição de pesticidas e herbicidas baseiam-se no mesmo princípio das regas de fertilização.

Quando as plantas absorvem a água do solo, vão acumulando alguns sais nas proximidades das suas raízes. Com o tempo os níveis de salinidade aumentam e podem tornar-se tóxicos para a planta. Para combater este problema são aplicadas regas para a lavagem dos sais em excesso no solo.

5.2. Classificação dos sistemas de rega

Há muitos séculos que o homem pratica a rega sem cuidados de maior, sem se preocupar em fornecer ao solo as dotações mais apropriadas. À medida que se vai verificando que as disponibilidades de água doce à superfície terrestre se tornam cada vez mais insuficientes, torna-se cada vez mais importante realizar as regas de forma racional, ou seja, de maneira a que se forneçam as quantidades exactas de água doce às plantas cultivadas. Actualmente existem vários processos de fornecimento de água ao solo sendo a sua selecção efectuada em função de diversos factores como a natureza das culturas, o investimento, a topografia e a textura do terreno, o clima e a mão-de-obra.

Em rigor, devido às características de cada processo de rega, não existe nenhuma classificação dos sistemas que seja perfeita. Na realidade existem várias classificações desenvolvidas por vários autores que tentam agrupar os sistemas de rega de acordo com as suas características comuns.

Para a realização deste trabalho optou-se por considerar a classificação descrita por Raposo (1994) onde divide em dois grandes grupos os sistemas de rega (Quadro 5.I):

- Rega por gravidade;
- Rega sob pressão.

Quadro 5.1 – Classificação dos sistemas de rega (Fonte: Raposo, 1994).

	Métodos	Processos	
Rega por superficial	Escorrimento	Regadeiras de nível	
		Regadeiras inclinadas	
		Planos inclinados	
		Cavaletes	
	Faixas		
	Submersão	Canteiros (alagamentos)	
Caldeiras			
Rega sob pressão	Infiltração	Sulcos	
		Rega subterrânea	
		Rega localizada	Gota-a-gota
	Miniaspersão		
	Aspersão		

Na *rega por escorrimento*, a água corre sobre o terreno sob a forma de lençol, com uma espessura mais ou menos regular, infiltrando-se no solo enquanto dura esse escorrimento. Dentro da rega por escorrimento o processo mais empregue em Portugal é o das regadeiras de nível, que é utilizado quase exclusivamente nas zonas acidentadas do Norte do País. A rega por faixas é, no entanto, dentro da rega por escorrimento, o único processo que tem verdadeiro interesse para a agricultura moderna, uma vez que permite a integral mecanização das operações culturais.

Na *rega por submersão* a água mantém-se parada ou escorre muito lentamente sobre o terreno enquanto se verifica a infiltração no solo. O processo dos canteiros, também muito conhecido por alagamentos, utiliza-se quase apenas no caso da cultura do arroz. O processo das caldeiras, que em rigor é um caso particular dos canteiros, emprega-se na rega de árvores de fruta. Actualmente, este processo é cada vez menos usado uma vez que a rega localizada (rega gota-a-gota e miniaspersão) lhe faz concorrência.

No método de *rega por infiltração* a água chega às raízes das plantas depois de atravessar o terreno, deslocando-se sobretudo lateralmente. Este método inclui três processos de rega (os dois últimos são processos de rega sob pressão), sendo eles:

- *Processo dos sulcos*: Neste processo, as plantas são cultivadas em leiras, limitadas por sulcos, através dos quais se faz correr a água que, por infiltração lateral e vertical, se

distribuí pela zona onde se encontram as raízes das plantas cultivadas. É o processo mais empregue no continente e utiliza-se em plantas semeadas ou plantadas em linhas, como é o caso do milho e de praticamente todas as culturas hortícolas (feijão, batata, tomate, etc);

- *Rega subterrânea*: Consiste em fornecer água ao solo a uma certa profundidade através de tubagens perfurada. A água distribui-se, por capilaridade, pela espessura do solo ocupada pelas raízes das plantas. Na teoria, é o melhor sistema de rega, no entanto, além dos elevados custos das respectivas instalações, este processo de rega só é prático em terrenos de textura uniforme e permeabilidade apropriada para que a água se desloque, tanto horizontal como verticalmente, a toda a zona do solo que interessa à absorção radicular. Este facto geralmente só se verifica em terrenos turfosos³ que são muito ricos em matéria orgânica;
- *Rega localizada*: Humedece apenas uma parte do solo, correspondente à zona ocupada pelas raízes das plantas. A água é distribuída ao terreno através de emissores instalados nas tubagens de distribuição (rampas) com intervalos regulares.

A *rega por aspersão (sprinkler irrigation)* consiste em distribuir a água pelo solo sob a forma de chuva, com aparelhos designados por aspersores. De acordo com Raposo (1996), é o método de rega mais racional, completo e perfeito e com maior divulgação em quase todo o mundo.

Na rega por aspersão, como em todos os outros métodos de rega, existem vantagens e alguns inconvenientes na utilização deste método. No entanto, continua a ser o método que melhor se adequa à rega de muitas culturas.

Vantagens da rega por aspersão:

- É dispensada a preparação do terreno, ou seja, a nivelção e armação;
- Permite regular com bastante rigor a quantidade de água fornecida ao solo em cada rega;
- Permite uma boa uniformidade de distribuição de água ao terreno;
- Permite uma considerável economia de água e um menor impacto na erosão do solo provocada pela rega;
- Possibilita um melhor aproveitamento do terreno;
- Economia na mão-de-obra;
- Polivalência das instalações (permite regas de defesa contra as geadas, tratamentos

³ Os terrenos turfosos contêm uma substância formada pela decomposição de vegetais acumulados em terrenos alagadiços (turfa). Têm um elevado teor de matéria orgânica.

fitossanitários, aplicação de fertilizantes minerais ou orgânicos e protecção das plantas a altas temperaturas).

Desvantagens da rega por aspersão:

- Custo das instalações e despesas de funcionamento relativamente elevados;
- Apresenta problemas de uniformidade de distribuição de água em situações de vento forte;
- Favorece o desenvolvimento de algumas doenças nas plantas;
- Contribui para a compactação do solo;
- Impossibilidade de usar águas com elevados teores salinos.

5.3. Principais componentes de um sistema de rega por aspersão

Uma instalação de rega por aspersão é normalmente constituída por uma estação de bombagem (com grupo motor-bomba, respectiva aspiração e dispositivos complementares), tubagens (fixas ou móveis), aspersores e acessórios (ligações, curvas, reduções, válvulas, tampões, etc.) e programadores de rega (Pereira, 2004).

Dependendo da topografia do terreno, podem-se ter dois tipos de instalação que podem ser designadas por:

- Aspersão por gravidade;
- Aspersão por bombagem.

Quando a água se encontra a uma cota suficiente para chegar aos aspersores com uma pressão favorável ao funcionamento destes, não é necessário o grupo motor-bomba. Neste caso, a não necessidade de instalação do grupo motor-bomba é sempre favorável à adopção do método de rega por aspersão, uma vez que há um aproveitamento máximo da energia potencial da água. A este tipo de instalação dá-se o nome de *rega por gravidade*. Quando estas condições não se verificam, está-se perante uma instalação de rega designada por *rega por bombagem* (Pereira, 2004).

5.3.1. Sistema de bombagem

O sistema de bombagem é a parte responsável pelo abastecimento do sistema de rega, devendo por isso ser cuidadosamente planeado. É graças a este sistema que a água recebe a energia necessária para percorrer toda a rede hidráulica e fornecer convenientemente todos os

aspersores. Este sistema é constituído não só por bombas, mas também por motores, válvulas, tubagens, sensores e componentes electrónicos de controlo (Raposo, 1994).

5.3.1.1. Motores

Os motores a utilizar no accionamento das bombas das instalações de rega por aspersão podem ser eléctricos ou térmicos (a combustível).

O motor deve ter potência suficiente para fornecer energia ao rotor da bomba, para que a água percorra uma determinada distância e altura e, ao chegar ao aspersor, a pressão seja adequada para o correcto funcionamento do aspersor.

Quando se dispõe de energia eléctrica, é normalmente preferível o motor eléctrico uma vez que, de um modo geral, são mais baratos e duradouros. No entanto, também são muito usados os motores térmicos, de preferência a diesel. Os motores a gasolina só têm justificação para instalações com pequenas potências.

5.3.1.2. Bombas

Num sistema de bombagem, as bombas mais usadas nas instalações de rega por aspersão são as bombas de êmbolo e centrífugas. As bombas de êmbolo, apesar de terem pequenos rendimentos, têm geralmente interesse para pequenos caudais e elevadas alturas manométricas. Por isso, na rega por aspersão utilizam-se quase sempre bombas centrífugas.

5.3.1.3. Filtros

No início do abastecimento da água numa instalação de rega é necessário implementar filtros, para que os detritos sólidos, que a água para rega possa eventualmente conter, fiquem retidos e não entupam os aspersores.

Podem existir diversos filtros numa instalação de rega, dependendo da qualidade da água. Normalmente, nas condutas de aspiração, são instaladas válvulas de pé que possuem uma rede metálica para impedir a entrada de partículas de grandes dimensões. Também é usual a instalação de filtros do tipo “y” em diversos pontos da rede, como por exemplo antes das ventosas.

Para além destes filtros, é necessário estudar a necessidade da implementação de um sistema de filtração na tubagem de compressão das bombas, de maneira a impedir que os detritos provoquem a obstrução de válvulas ou dos aspersores (Nunes, 2009).

5.3.1.4. Programadores de rega

Para uma gestão eficiente dos tempos de rega e da quantidade de água disponível para regar é necessário dividir em sectores a zona a regar. O controlo da rega por sectores é feito através de electroválvulas e de um programa que as controla. A escolha deste programa depende do número de electroválvulas (sectores) e da quantidade de regas por dia que se pretendem fazer.

5.3.2. Aspersores

Os aspersores são a componente mais importante de uma instalação de rega por aspersão, uma vez que são eles que realizam distribuição de água no solo sob a forma de chuva e determinam a eficiência e eficácia de todo o sistema (Pereira, 2004).

De acordo com Pereira (2004), existem diversos tipos de aspersores e de uma maneira geral podem ser classificados como:

i) Aspersores estáticos:

- Aspersores estáticos, ou difusores (Figura 5.1): São muito usados em rampas móveis porque requerem uma pressão muito baixa, onde a água se espalha em círculo devido ao jacto que embate sobre uma placa, plana ou ondulada, fixa ou balançante. Este tipo de aspersor existe numa gama muito variada de características para rega, tanto para rampas móveis como para rampas estacionárias.



Figura 5.1 – Difusores em funcionamento a 360° (Fonte: Sajuan, 2012).

- Tubos perfurados (Figura 5.2): Consistem em tubos com pequenos orifícios colocados ao longo do seu comprimento e pelos quais é lançada água em pequenos jactos. Este tipo de condutas pode ser estacionária ou oscilante e é muito utilizada em horticultura e jardinagem.



Figura 5.2 - Aspersor de tubo perfurado (Fonte: Sajuan, 2012).

ii) Aspersores rotativos:

Nos aspersores rotativos a água que passa nas tubagens sob pressão é obrigada a passar através de um orifício circular, o bico ou bocal do aspersor, para a atmosfera, fazendo o aspersor funcionar. O jacto que resulta da saída de água pelo bocal do aspersor quebra-se gradualmente em pequenas gotas que caem no solo como chuva. O aspersor roda na posição horizontal e produz um padrão de distribuição circular (Figura 5.3). Porém, os aspersores podem possuir dispositivos que permitem regar apenas uma fracção do círculo (aspersores sectoriais) A distância que vai do aspersor até à circunferência exterior do círculo molhado é designada por alcance.

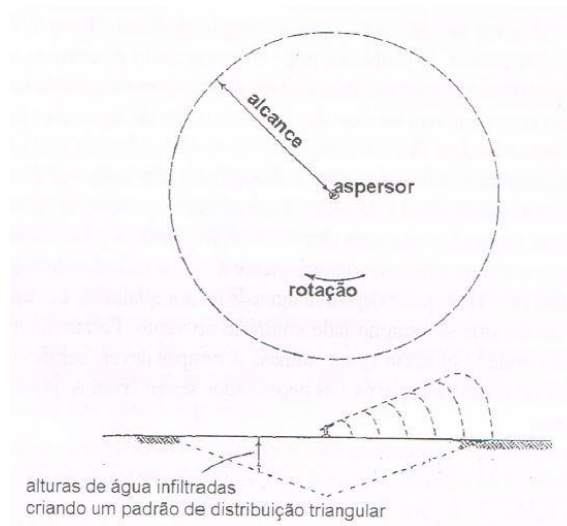


Figura 5.3 – Padrão de distribuição da água por um aspersor (Fonte: Pereira, 2004).

- Aspersores rotativos de impacto (Figura 5.4): O jacto roda por acção mecânica devido ao impacto do próprio jacto sobre um braço cujo movimento faz rodar o aspersor. É importante que o aspersor gire na horizontal e que a velocidade seja constante para que nenhuma área seja deixada sub-regada. Os aspersores rotativos de impacto podem ter dois bocais em direcções opostas, onde o maior se destina a alcances e débitos mais elevados. Este tipo de aspersor é o mais utilizado e existem várias gamas de pressões, caudais e alcances de jacto.



Figura 5.4 – Aspersor de impacto (Fonte: Cudell, 2015).

- Aspersores rotativos de turbina (Figura 5.5): Neste tipo de aspersor, move-se apenas o bocal. Ao accionar uma pequena turbina instalada no aspersor, dá-se a rotação do próprio aspersor. Esta turbina é accionada pela entrada de água sob pressão no aspersor.

Estão disponíveis numa vasta gama de características e são muito usados para rega de parques, relvados e campos de golfe.



Figura 5.5 – Aspersores rotativos de turbina (Fonte: Hunter, 2014).

- Aspersores de prato rotativo (Figura 5.6): São geralmente de pequeno alcance e baixa pressão, com bocal de baixa deriva (“LDN – low drift nozzles”) e constituem uma moderna geração de aspersores em substituição dos aspersores de turbina em usos agrícolas. São feitos de modo a que o jacto bata num prato que roda devido ao efeito da água. O facto de não haver uma interrupção do jacto de água faz com que o padrão de distribuição se dê de forma elíptica e seja mais uniforme ao longo do raio molhado. Os jactos ficam mais próximos da horizontal, mas com um alcance razoável de maneira a contrariar os efeitos do vento.



Figura 5.6 – Aspersor de prato rotativo (Fonte: Pereira, 2004).

Um aspersor ou difusor não pode conceber uma rega regular sobre todo o círculo molhado uma vez que, normalmente, a altura da água aplicada durante uma rega é maior perto do aspersor. O padrão de aplicação pode ser representado por um triângulo (Figura 5.7).

Para que a aplicação da água seja uniforme, é necessário colocar vários aspersores a funcionar perto uns dos outros para que os seus padrões de aplicação de água se sobreponham (Figura

5.7). Para que seja alcançada uma boa uniformidade é necessário haver uma sobreposição de pelo menos 70%.

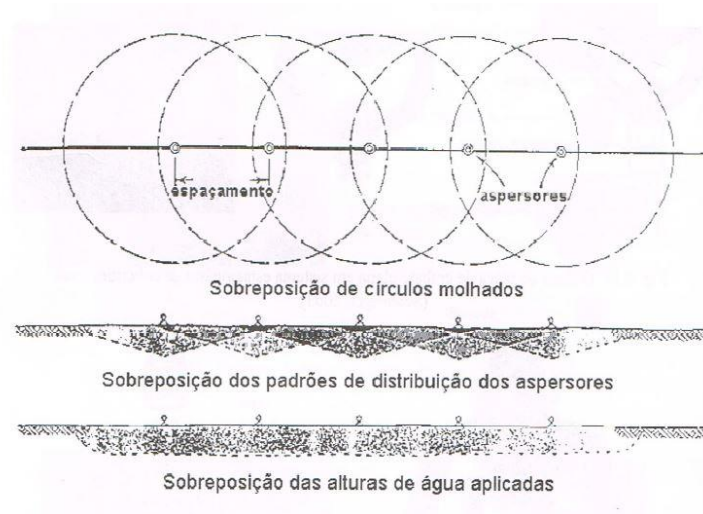


Figura 5.7 – Sobreposição das áreas molhadas por aspersores (Fonte: Pereira, 2004).

De acordo com Raposo (1996), os aspersores rotativos podem apresentar diversas características e podem ser classificados do modo apresentado no Quadro 5.II:

Quadro 5.II – Classificação dos aspersores rotativos (Fonte: Raposo, 1996).

Quanto ao número de jactos:	1 Jacto 2 Jactos Mais de 2 jactos
Quanto à inclinação das agulhetas	Jacto de inclinação normal (27° a 32°) Jacto de inclinação entre 15° e 27° Jacto raso (4° a 15°)
Quanto à pressão de funcionamento	Baixa pressão (menos de 2,5 bares) Média pressão (2,5 a 5 bares) Alta pressão (mais de 5 bares)
Quanto ao alcance do jacto	Pequeno alcance (até 12 m) Médio alcance (12 a 25 m) Longo alcance (mais de 25 m)
Quanto à intensidade de precipitação	Chuva lenta (até 5 mm/h) Média intensidade (5 a 15 mm/h) Grande intensidade (mais de 15 mm/h)

Os aspersores mais usados actualmente são os de um ou dois jactos, de inclinação normal, média pressão, médio alcance e de chuva lenta ou média intensidade de precipitação.

5.4. Tipos de instalação

Os sistemas de rega por aspersão podem ser genericamente divididos em dois grandes sistemas, como se pode observar no Quadro 5.III (Raposo, 1994).

Quadro 5.III – Tipos de instalações de rega por aspersão.

Estacionárias (clássicas)	Com ramais móveis	Móveis	Completamente móveis
			Parcialmente móveis
		Semi-fixas	
	Fixas (sem ramais móveis)	Temporariamente fixas	
Permanentemente fixas			
Semoventes (máquinas de rega)	Com movimento de rotação	Em torno da parte central (aspersores gigantes)	
		Em torno de uma extremidade (rampas pivotantes)	
	Com movimento de translação	Com vários aspersores	
		Com um só aspersor	
Mistas (com movimento de rotação e translação)			

5.4.1. Instalações Estacionárias

Nas instalações estacionárias são englobadas as instalações de rega por aspersão, onde os aspersores ocupam uma posição fixa no terreno e não se deslocam ao longo do terreno enquanto distribuem a dotação de rega (Raposo, 1996).

Estas instalações compreendem as instalações móveis e as instalações fixas. Nas instalações móveis não há qualquer parte de tubagem fixa, ou seja, depois dos aspersores funcionarem durante o tempo necessário à distribuição da dotação de rega, é necessário mudar os ramais de tubagem móvel, e os seus aparelhos, para outra posição. Este tipo de instalação pode ser:

- Completamente móvel – Neste tipo de instalação todo o material é móvel, incluindo o grupo motor-bomba. Podem, portanto, ser mudadas integralmente de um lado para o outro (*Figura 5.8*);

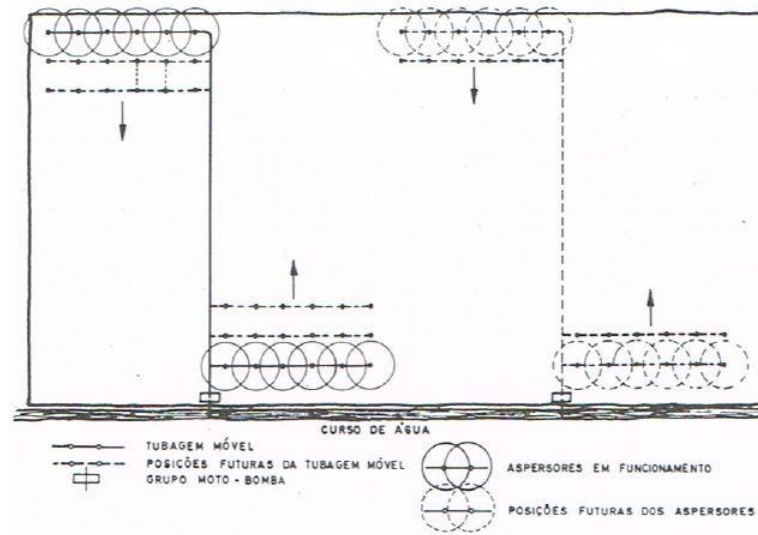


Figura 5.8 – Esquema de uma instalação de rega completamente móvel (Fonte: Raposo, 1996).

- Parcialmente móvel – Esta instalação difere da anterior por ter o grupo motor-bomba fixo (Figura 5.9);

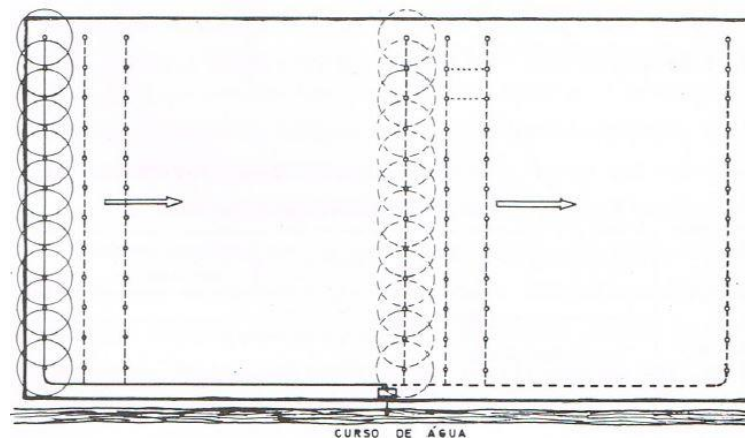


Figura 5.9 – Esquema de uma instalação parcialmente móvel (Fonte: Raposo, 1996).

- Semi-fixa – É a instalação que tem o grupo motor-bomba e a parte da tubagem fixos. Este tipo de instalação tem material suplementar necessário à construção dos ramais de espera (Figura 5.10). Com estes ramais é possível anular totalmente as perdas de tempo durante as mudanças dos ramais móveis com os aspersores de umas posições para outras. Sem estes ramais, muitas vezes é necessário interromper o funcionamento do grupo motor-bomba.

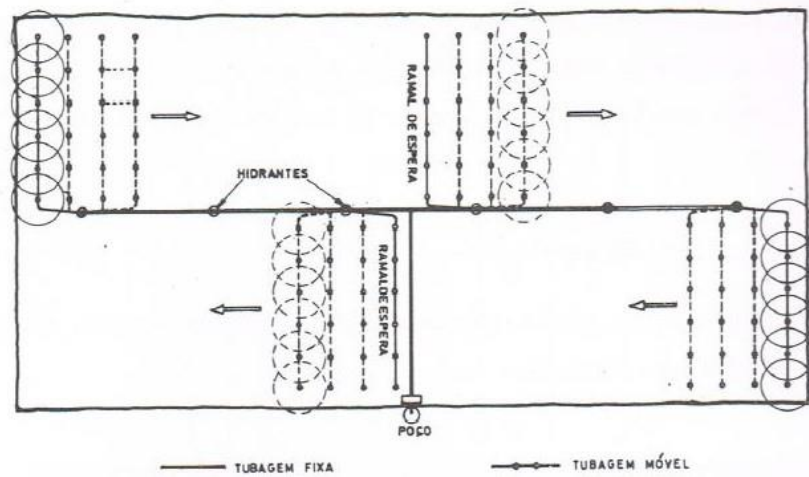


Figura 5.10 – Esquema de uma instalação semi-fixa (Fonte: Raposo, 1996).

Nas instalações fixas, a tubagem ocupa a totalidade do terreno não havendo necessidade de deslocar os ramais móveis. No entanto, pode haver mudanças dos aspersores e respectivos tubos de suporte ou tripés, de umas posições para outras. Estas instalações podem ser:

- Temporariamente fixas – São instalações que, apesar de serem constituídas por material móvel, funcionam como se fossem fixas, com as tubagens colocadas sobre o terreno (Figura 5.11). Estas instalações podem ter duas modalidades de funcionamento:
 - 1) Cobertura total, quando os aspersores são fixos durante toda a época de rega;
 - 2) Cobertura semi-integral, quando os aspersores têm de ser mudados de umas posições para outras.

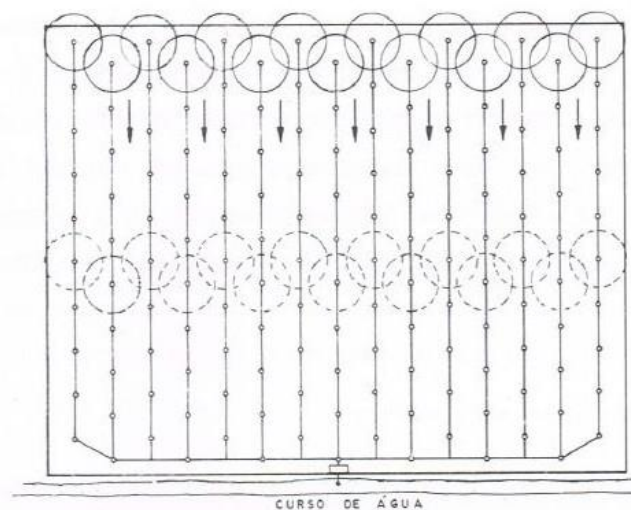


Figura 5.11 – Esquema de uma instalação temporariamente fixa (Fonte: Raposo, 1996).

- Permanentemente fixas – Neste tipo de instalação todo o material é fixo e as tubagens são enterradas (*Figura 5.12*). No entanto, pode haver mudança de aspersores de umas posições para as outras. São instalações mais funcionais mas são também as mais caras, sobretudo devido aos elevados custos de montagem das tubagens enterradas.

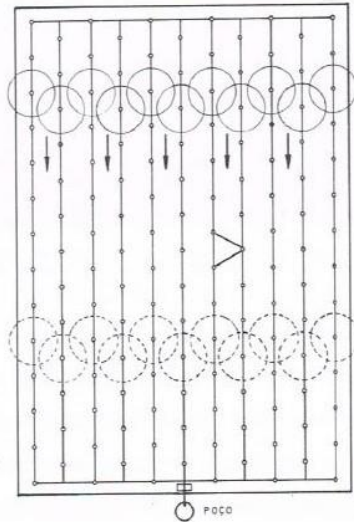


Figura 5.12 – Esquema de uma instalação permanentemente fixa (Fonte: Raposo, 1996).

As instalações fixas necessitam de muito pouca mão-de-obra, especialmente nas instalações permanentemente fixas, onde não há mudança de posição dos aspersores. Adota-se quase sempre a chuva lenta, que nestes casos é a solução mais económica, uma vez que permite a redução dos diâmetros das tubagens e a potência da estação de bombagem. Os aspersores de chuva lenta são muito usados porque, para além de fazerem as regas de humedecimento (regas propriamente ditas), fazem também as regas de protecção das plantas contra a geada, fertirrigação mineral e combate a altas temperaturas.

À custa de válvulas apropriadas (manuais, volumétricas, hidráulicas ou eléctricas), estas instalações funcionam numa das seguintes modalidades:

1.^a - Por sectores – É a hipótese mais frequente e consiste em dividir o terreno em vários sectores, regando-se um sector de cada vez. É a única modalidade onde os aspersores podem mudar de um sector para outro.

2.^a – Por grupos de aspersores – Funciona por grupos de aspersores que são distribuídos regularmente por todos os sectores do terreno. A instalação rega uma pequena área de cada vez,

correspondente a um grupo de aspersores. Este tipo de instalação é muito usada na rega de campos de golfe.

3.^a – Cobrindo simultaneamente toda a área – Esta modalidade consiste em regar simultaneamente todo o terreno. É muito empregue em sistemas de protecção das plantas contra as geadas.

Em qualquer destas modalidades referidas, a instalação pode ser preparada para que os aspersores funcionem em intervalos regulares. Actualmente tem havido uma tendência para abandonar as instalações móveis em favor das fixas, para evitar a mudança de ramais móveis de umas posições para outras.

5.4.2. Instalações Semoventes

As instalações semoventes são como máquinas de rega que se deslocam automaticamente sobre o terreno, enquanto distribuem a dotação de rega (Figura 5.13). São instalações bastante funcionais, uma vez que não é necessário mudar manualmente as tubagens e os aspersores de umas posições para as outras. Têm custos de primeiro investimento reduzido, baixo custo de mão-de-obra e podem regar durante o período nocturno, visto que funcionam automaticamente. No entanto, algumas instalações semoventes obrigam a maiores consumos de energia, em virtude das maiores pressão a que funcionam.

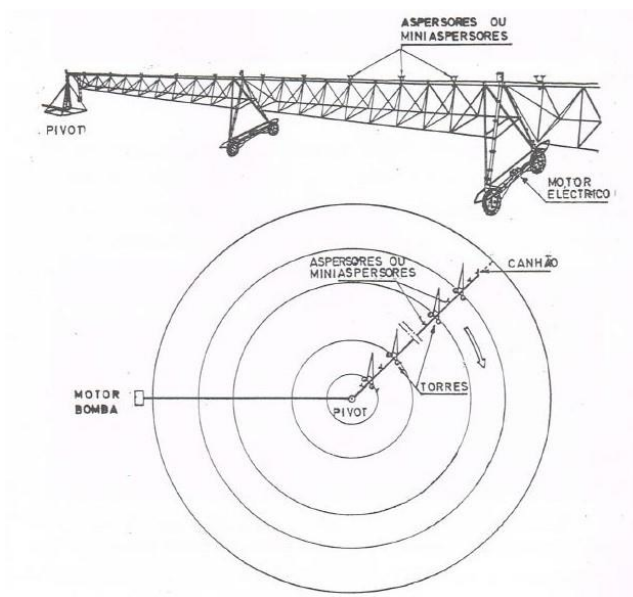


Figura 5.13 – Exemplo de uma instalação semovente – Rampa rotativa (Fonte: Raposo, 1996).

As instalações semoventes são indicadas para parcelas com maiores áreas e terrenos mais ou menos regularizados.

5.5. Disposição dos aspersores

A instalação dos aspersores no terreno pode ser feita com três disposições diferentes: quadrado, retângulo ou triângulo. Estas disposições podem ser caracterizadas por duas distâncias (Raposo, 1994):

- 1) **Compasso (a)** – Distância entre dois aspersores consecutivos de um mesmo ramal;
- 2) **Entrelinha (b)** – Distância entre dois ramais consecutivos com aspersores instalados.

A área útil coberta por cada aspersor em cada posição é designada por área da malha (A_m) e é dada pela equação (5.1):

$$A_m = ab \quad (5.1)$$

Onde,

A_m	Área da malha [m^2];
a	Compasso [m];
b	Entrelinha [m].

A selecção do tipo de dispositivo e os respectivos compasso e entrelinha mais convenientes para cada caso é feita com base em muitos factores: diagrama pluviométrico do aspersor relacionado com a intensidade e direcção do vento, tipo de cultura (porte e densidade de plantas por unidade de área), tipo de instalação (móvel ou fixa) e respectiva finalidade da rega (defesa contra geadas, fertirrigação, etc).

5.5.1. Disposição em quadrado

Na disposição em quadrado (Figura 5.14) tem-se as duas distâncias iguais, ou seja, $a = b$ e a superfície útil coberta em cada posição por um aspersor é, evidentemente, dada pela equação (5.2):

$$A_m = a^2 \quad (5.2)$$

Devendo ser obrigatoriamente:

$$a \leq \sqrt{2} r \quad (5.3)$$

Onde, a Compasso [m];
 r Alcance do jacto [m].

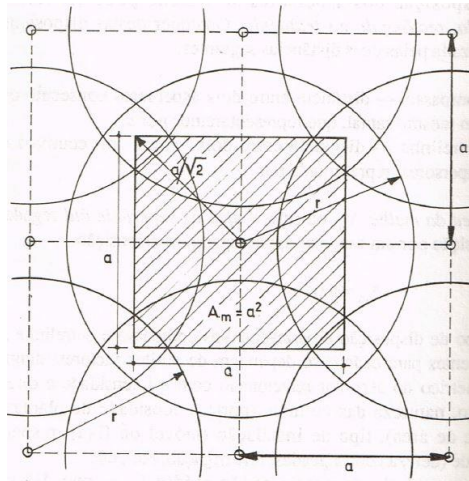


Figura 5.14 – Disposição dos aspersores em quadrado (Fonte: Raposo, 1994).

A disposição dos aspersores em quadrado é a mais frequente por ser, geralmente, considerada a mais prática de todas. As disposições deste tipo mais adoptadas são as de 12 m x 12 m, 18 m x 18 m (a mais utilizada), 24 m x 24 m e 30 m x 30 m. Actualmente são menos frequentes as disposições com distâncias maiores.

5.5.2. Disposição em rectângulo

Na disposição em rectângulo (Figura 5.15) a superfície útil coberta em cada posição por um aspersor é dada pela equação (5.1).

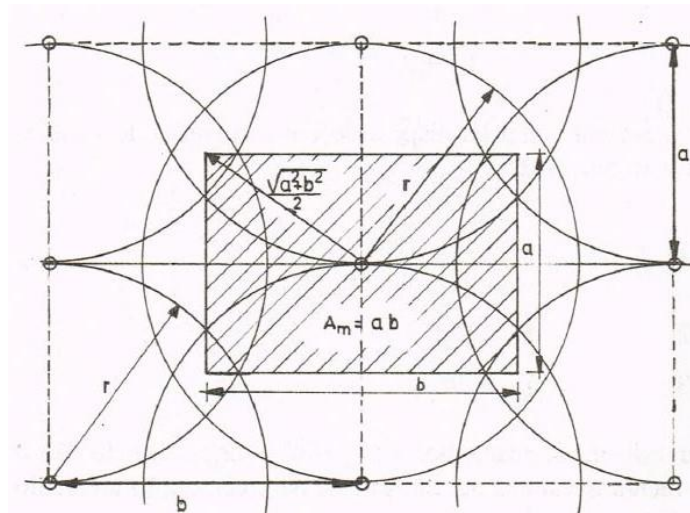


Figura 5.15 - Disposição dos aspersores em retângulo (Fonte: Raposo, 1994).

A disposição dos aspersores em retângulo é também muito usada nas instalações de rega por aspersão. São usados especialmente para corrigir o efeito do vento.

As disposições em retângulo mais frequentes nos dias de hoje são as de 6 m x 12 m, 12 m x 15 m, 12 m x 18 m (a mais empregue), 15 m x 18 m, 18 m x 24 m, etc. A maior distância deve corresponder à entrelinha (b) para se reduzir ao mínimo o comprimento total da tubagem necessária.

5.5.3. Disposição em triângulo

A disposição em triângulo é a disposição mais lógica, sendo muitas vezes adoptada nas instalações sem mudanças de ramais, quer temporária quer permanentemente fixas (Figura 5.16). Para a disposição em triângulo equilátero de base a e altura b , a superfície útil coberta em cada posição por um aspersor a é dada pela equação (5.4):

$$A_m = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 \quad (5.4)$$

Sendo:

$$b = \frac{\sqrt{3}}{2} a \quad (5.5)$$

E obrigatoriamente,

$$a \leq \sqrt{3} r \quad (5.6)$$

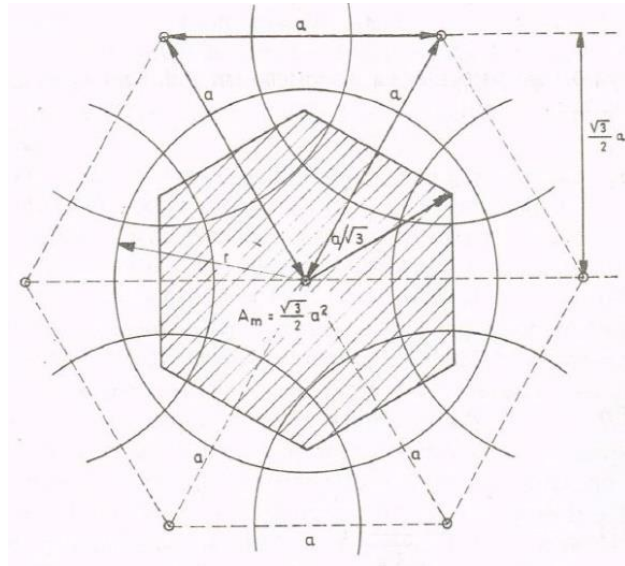


Figura 5.16 – Disposição dos aspersores em triângulo (Fonte: Pereira, 1994).

A disposição em triângulo permite utilizar um menor número de aspersores por unidade de área, o que se reflecte numa redução de todo o material restante, particularmente de tubagens e respectivos acessórios. Esta é a principal razão porque se usa esta disposição nas instalações fixas, muito especialmente nas permanentemente fixas.

5.5.4. Taxa de aplicação

Os aspersores fornecem água a uma determinada taxa quando estão em funcionamento, designada por taxa de aplicação ou pluviometria horária (I_a ; [mm h^{-1}]). Esta taxa de aplicação depende das características do aspersor (diâmetro do bocal (d_n), pressão no aspersor (P), caudal (q), diâmetro molhado (D_w)) e do espaçamento entre aspersores (Pereira, 2004).

A taxa de aplicação (I_a) é dada pela equação (5.7):

$$I_a = 1000 \frac{q_u}{A_m} \quad (5.7)$$

Onde, q_u Caudal do aspersor [$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$];
 A_m Área molhada por cada aspersor [m^2].

A diminuição dos espaçamentos entre aspersores e o aumento do bocal ou da pressão, aumentam a taxa de aplicação. Geralmente, os fabricantes fornecem a informação necessária ao cálculo de I_a para os seus aspersores. No entanto, estas informações não se referem a condições de vento, em que os espaçamentos devem ser reduzidos.

A taxa de aplicação deve ser sempre menor que a taxa de infiltração do solo, para evitar a acumulação de água à superfície, as perdas por escorrimento e a erosão do solo. As condições de infiltração são piores em terrenos com declive acentuado, onde o escoamento tende a formar-se rapidamente, as taxas de aplicação deverão ser menores para tais condições.

A taxa de aplicação deve estar de acordo com a dotação total (D_t) a aplicar e o tempo de rega (t_r) desejável à sua aplicação e é dada pela equação (5.8):

$$I_a = \frac{D_t}{t_r} \quad (5.8)$$

Em que, D_t Dotação total [mm];
 t_r Tempo de rega [h].

Onde a dotação total de rega é obtida pela seguinte equação:

$$D_t = \frac{D_u}{E_s} \quad (5.9)$$

Onde, D_u Dotação útil [mm];
 E_s Eficiência de rega [%].

5.5.5. Problema do vento

Actualmente, a rega por aspersão pode ser empregue com bastante êxito mesmo nas zonas bastante ventosas, desde que o problema seja bem estudado (Raposo, 1994).

O vento varia muito de intensidade durante as 24 horas do dia, mesmo nas regiões mais ventosas, havendo algumas horas durante as quais o vento tem uma intensidade muito mais reduzida (Figura 5.17).

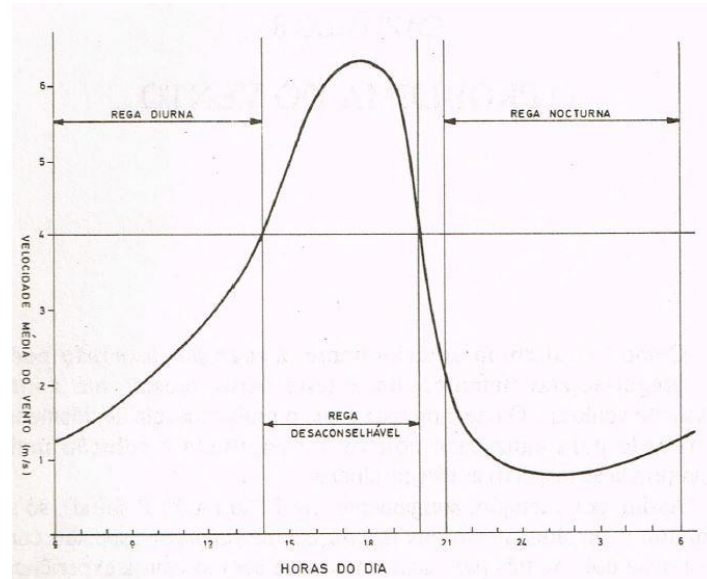


Figura 5.17 – Variação da velocidade média do vento durante as 24 horas do dia (Fonte: Raposo, 1994).

Nas regiões com estas características, as instalações de rega por aspersão devem ser projectadas para funcionarem apenas durante as horas onde o vento tem menor intensidade. Por esta ordem de ideias, uma solução aconselhável é a correspondente a dois tempos de rega por dia, sendo um durante a manhã e outro durante a noite.

A distribuição irregular da água por aspersão, originada pelo vento, pode também ser atenuada pela redução das distâncias entre aspersores no terreno. De acordo com Pereira (2004), em condições de campo com vento entre 0 e 5 km h⁻¹, os diâmetros molhados devem ser encurtados cerca de 10% e por cada 1,6 km h⁻¹ acima da velocidade do vento de 5 km h⁻¹, deve-se reduzir 2,5% do espaçamento. Este procedimento é, no entanto, pouco prático, uma vez que aumenta o número de aspersores no terreno. Por isso, pode-se aumentar a sobreposição entre jactos consecutivos através da utilização de aspersores com um alcance maior, de modo a atenuar o efeito do vento.

CAPÍTULO 6 – CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE REGA

SUMÁRIO: Neste capítulo é definida uma rede de rega e explica-se como se procede ao seu dimensionamento.

ÍNDICE

6.1.	Introdução	79
6.2.	Carga hidráulica	79
6.3.	Diâmetros das tubagens.....	80
6.4.	Cálculo de perdas de carga.....	81
6.5.	Dimensionamento das rampas (linhas laterais).....	82
6.6.	Energia e pressão nos nós.....	83
6.6.1.	Cálculo da energia nos nós.....	83
6.6.2.	Cálculo da pressão nos nós.....	84
6.7.	Altura de elevação.....	84
6.8.	Grupo motor-bomba.....	85
6.8.1.	Curvas características.....	86
6.8.2.	Potência do grupo motor-bomba	87
6.9.	Dimensionamento da rede.....	88
6.9.1.	Cálculo da dotação total (D_t), taxa de aplicação (I_a) e caudal do aspersor (q_u) ...	88
6.9.2.	Implantação da rede	90
6.9.3.	Dimensionamento das linhas laterais (rampas).....	91
6.9.4.	Dimensionamento das linhas de derivação.....	93
6.9.5.	Dimensionamento da linha principal e da linha de sucção.....	94
6.9.6.	Determinação das energias e das pressões nos nós	95
6.9.7.	Dimensionamento do grupo motor-bomba.....	96

6.1. Introdução

Elaborar um projecto de uma rede de rega por aspersão é muitas vezes um problema relativamente complicado, na medida em que se torna bastante difícil encontrar a solução mais vantajosa entre as inúmeras soluções possíveis de adoptar. De seguida, apresenta-se o dimensionamento da solução prevista para a rede de rega.

6.2. Carga hidráulica

Em hidráulica, define-se carga hidráulica como a energia mecânica total por unidade de peso do fluido escoado.

Considere-se uma partícula a uma cota Z , acima de um plano horizontal de referência, que tem, em relação a esse plano, uma energia potencial de posição, H_z , dada por:

$$H_z = Z \quad (6.1)$$

A mesma partícula sujeita a uma pressão p , possui uma energia potencial de pressão por unidade de peso (altura piezométrica), H_p , dada por:

$$H_p = \frac{p}{\gamma} \quad (6.2)$$

A soma destas duas parcelas representa a energia potencial da unidade de peso escoado, designada por cota ou carga piezométrica, H_e , e é dada por:

$$H_e = \frac{p}{\gamma} + Z \quad (6.3)$$

Se uma mesma partícula estiver em movimento com uma velocidade V , a sua energia cinética por unidade de peso (altura cinética), H_c , é dada por:

$$H_c = \frac{V^2}{2g} \quad (6.4)$$

No estudo dos escoamentos, a altura cinética é calculada utilizando a velocidade média do escoamento (U) sendo necessário um coeficiente de correcção α (coeficiente de Coriolis) que é geralmente desprezado (equação (6.5)).

$$U = \frac{Q}{A} \quad (6.5)$$

Onde, Q Caudal que passa por uma tubagem [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$];
 A Área da secção interna da tubagem [m^2];

Estas energias (H_z , H_p , H_c e H_C) exprimem-se em metro e, por terem as dimensões de um comprimento, podem ser chamadas alturas.

A energia total por unidade de peso escoado, ou carga, (H) será dada por:

$$H = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{U^2}{2g} \quad (6.6)$$

6.3. Diâmetros das tubagens

A velocidade média da água dentro das tubagens deve situar-se entre 1 e 2 m/s e pode ser calculada pela equação seguinte (6.7):

A velocidade média da água é:

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (6.7)$$

Onde, Q Caudal que passa por uma tubagem [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$];
 A Área da secção interna da tubagem [m^2];
 D Diâmetro da tubagem [m].

A partir da equação (6.7), pode ser deduzido o diâmetro da tubagem, obtendo-se a equação (6.8)

$$D^2 = \frac{4Q}{\pi U} \Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U}} \quad (6.8)$$

6.4. Cálculo de perdas de carga

Os sistemas hidráulicos sob pressão exigem um conhecimento adequado da avaliação das perdas de carga nas condutas. Quando se estabelece um escoamento no interior de uma conduta, surgem fenómenos que têm como consequência a ocorrência de perdas de energia para o escoamento. Estas perdas de energia resultam das tensões de corte desenvolvidas ao longo da conduta devido ao contacto entre a veia líquida e as paredes dos tubos (Marques e Sousa, 2009).

A perda de carga, ΔH_T , pode ser decomposta em duas parcelas:

$$\Delta H_T = \Delta H_C + \Delta H_{Loc} \quad (6.9)$$

A perda de carga contínua (ΔH_C) representa a energia dissipada ao longo do comprimento da conduta, admitindo-se que, em regime permanente uniforme, é uma função linear desse mesmo comprimento (Equação (6.10)).

$$\Delta H_C = J \times L \quad (6.10)$$

Em que, J Perda de carga unitária [m m^{-1}];
 L Comprimento da conduta [m];

A perda de carga localizada (ΔH_{Loc}) refere-se à perda de carga devida aos acessórios das condutas (curvas, reduções, válvulas, etc). Por norma não se calculam uma a uma e considera-se que são uma percentagem da perda de carga contínua.

Neste trabalho considerou-se que nas rampas dos aspersores a perda de carga localizada é 10% da perda de carga contínua e nas linhas de derivação e distribuição é 20% da perda de carga contínua. Esta diferença nas perdas de carga explica-se porque nas rampas existem menos acessórios.

Para o cálculo da perda de carga contínua, é necessário saber o valor da perda de carga unitária. A perda de carga unitária J, ou seja, perda de energia por unidade de comprimento de tubagem, pode ser determinada por qualquer das fórmulas usuais da hidráulica (Chézy, Bazin, Hazen-Williams, Colebrook-White, Manning-Strickler, etc.).

No dimensionamento da rede de rega em estudo, optou-se por usar a fórmula de Manning-Strickler que é dada pela seguinte equação:

$$Q = K_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (6.11)$$

Onde,	Q	Caudal escoado [m ³ s ⁻¹];
	A	Área da secção interna da tubagem [m ²].
	K _s	Coefficiente que depende da rugosidade das paredes da conduta [m ^{1/3} s ⁻¹];
	R	Raio hidráulico [m];
	J	Perda de carga unitária [m m ⁻¹].

6.5. Dimensionamento das rampas (linhas laterais)

Uma conduta com aspersores instalados ao longo do seu comprimento pode ser equiparada a uma conduta com distribuição uniforme de percurso e caudal de jusante nulo.

Considere-se a Figura 6.1, na qual se representa esquematicamente uma conduta AB, de diâmetro D constante, comprimento L, com N aspersores instalados.

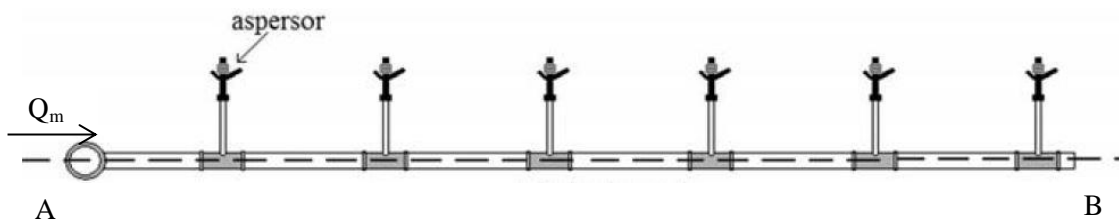


Figura 6.1 – Linha lateral (rampa) (Fonte: Biscaro, 2009).

No ponto A, entram Q_m m³/h, designado por caudal de montante, que é obtido pela seguinte equação:

$$Q_m = q_u \times N \quad (6.12)$$

Onde,	Q _m	Caudal de montante [m ³ h ⁻¹];
	q _u	Caudal de um aspersor [m ³ h ⁻¹];
	N	Número de aspersores numa rampa.

Nestas condições, a perda de carga total é igual a um terço da perda de carga que se verificaria se Q_m se mantivesse constante, ou seja:

$$\Delta H_T = \frac{1}{3} \times J_m \times L \quad (6.13)$$

Em que, ΔH_T Perda de carga total [m];
 J_m Perda de carga unitária de montante [m^{-1}];
 L Comprimento da rampa [m].

6.6. Energia e pressão nos nós

6.6.1. Cálculo da energia nos nós

Com base nas duas leis fundamentais da mecânica dos fluidos, a lei da conservação da massa e a lei da conservação da energia, é possível estabelecer condições de equilíbrio hidráulico. Considerando um troço genérico definido pelos nós i e j (Figura 6.2), em cada nó i de junção de um sistema, a aplicação da lei da conservação da massa resulta numa equação de continuidade que pode ser expressa do seguinte modo:

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij} = C_i \quad (6.14)$$

Em que, Q_{ij} Caudal que circula no troço que liga o nó i ao nó j [$m^3 s^{-1}$];
 n Número de troços convergentes no nó i ;
 C_i Caudal externo do nó i [$m^3 s^{-1}$].

Para cada um dos troços, a carga num nó pode ser traduzida pela equação de Bernoulli e apresentada pela seguinte relação:

$$H_i - H_j = \Delta H_{ij} \quad (6.15)$$

Sendo, H_i Cota piezométrica do nó i (a montante) [m];
 H_j Cota piezométrica do nó j (a jusante) [m];
 ΔH_{ij} Perda de carga total no troço ij [m].

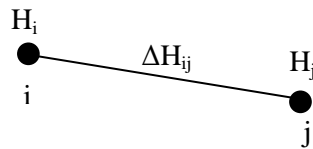


Figura 6.2 – Conduta genérica definida pelos nós i e j.

6.6.2. Cálculo da pressão nos nós

Conhecida a carga nos nós da rede é possível determinar a pressão em cada nó. A partir da equação (6.6), equação que representa a carga total por unidade de peso escoado e desprezando a parcela da energia cinética ($U^2/2g$) por apresentar um valor muito pequeno, obtém-se a seguinte equação:

$$\frac{p}{\gamma} = H - Z \quad (6.16)$$

De acordo com a regra de Christiansen, entre o primeiro e o último aspersor de um mesmo sector em funcionamento simultâneo, não deve haver uma diferença superior a 20% da pressão nominal do aspersor, entre as respectivas pressões máxima e mínima de funcionamento (Raposo, 1996).

6.7. Altura de elevação

A altura de elevação ($H_{elev.}$), ou seja, a carga fornecida pela bomba ao escoamento é a soma das seguintes parcelas:

$$H_{elev} = Z_a + Z_e + Z_0 + \Delta H_T + H_p \quad (6.17)$$

- Onde,
- Z_a - Altura geométrica de aspiração – É a diferença entre as cotas da superfície livre da água e o eixo da bomba [m];
 - Z_e - Altura geométrica de elevação – Desnível entre o eixo da bomba e o ponto do terreno onde se situa o aspersor na posição mais desfavorável [m];
 - Z_0 - Altura dos aspersores acima do solo [m];
 - ΔH_T - Perda de carga total [m];
 - H_p - Altura de água representativa da pressão de funcionamento dos aspersores (altura piezométrica) [m];

6.8. Grupo motor-bomba

O conjunto motor-bomba tem como função sugar a água da fonte de origem e enviá-la sob pressão pelas condutas até aos aspersores.

Um grupo motor-bomba pode funcionar em duas situações distintas: em aspiração positiva e em aspiração negativa (Figura 6.3). Quando o grupo motor-bomba é instalado acima do nível do ponto de captação da água, a aspiração é chamada por aspiração positiva (bomba não afogada). Quando a água é captada de reservatórios, onde o nível da água está acima do nível da bomba, diz-se que a aspiração é negativa (bomba afogada).

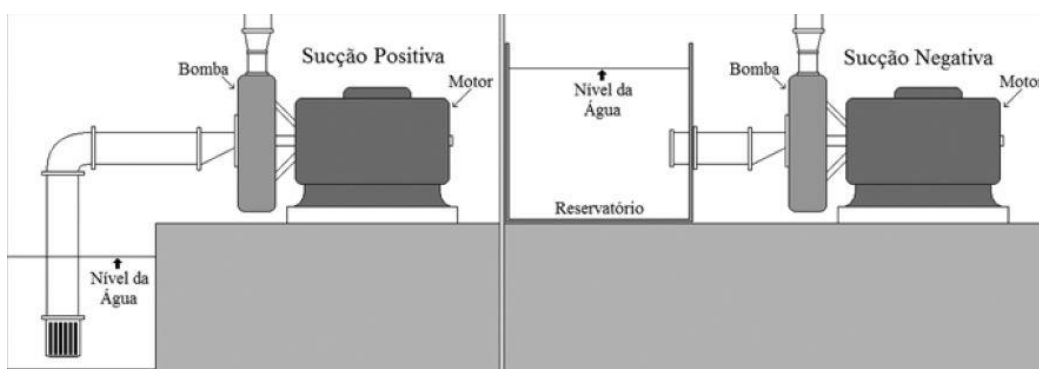


Figura 6.3 – Aspiração positiva e negativa (Fonte: Biscaro, 2009).

Quando o grupo motor-bomba se encontra em aspiração positiva, é necessário realizar periodicamente o escorvamento da bomba, ou seja, o ar contido na bomba e na conduta de aspiração é substituído pelo líquido que se pretende bombear. Deve-se sempre verificar se não existem fugas na conduta de aspiração ou à entrada da bomba.

É essencial colocar uma válvula de pé com crivo à entrada da conduta de aspiração para impedir que a água que é colocada escoe para a fonte de água.

6.8.1. Curvas características

As bombas mais utilizadas na rega por aspersão são, como se referiu no capítulo 5, as bombas centrífugas.

O comportamento das bombas centrífugas é descrito por cinco grandezas:

- Velocidade de rotação;
- Caudal;
- Altura de elevação;
- Rendimento da bomba;
- Potência necessária para accionar a bomba.

As últimas três grandezas podem ser representadas graficamente em função do caudal, dando origem a um conjunto de curvas que traduzem o funcionamento das bombas e são designadas por curvas características (Figura 6.4).

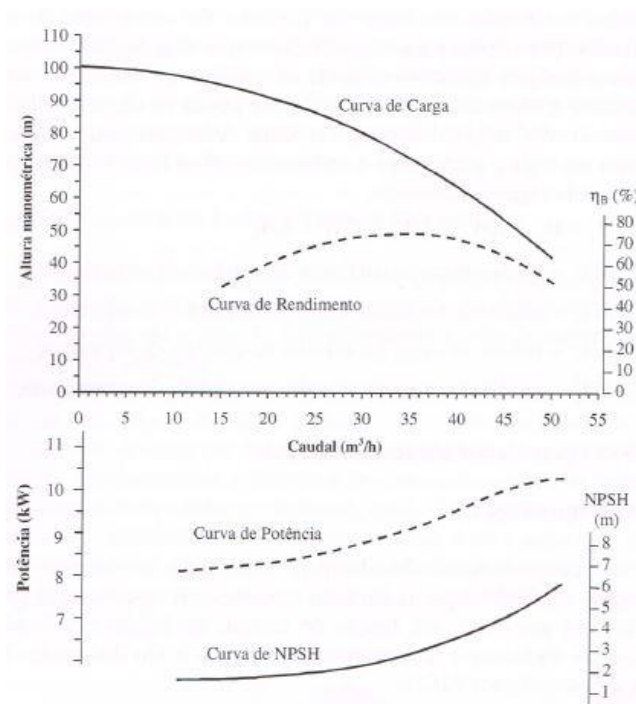


Figura 6.4 - Curvas características de uma bomba (Fonte: Marques e Sousa, 2009).

A escolha da bomba mais adequada a um determinado caso é feita a partir dos valores do caudal a distribuir pela instalação (Q) e da respectiva altura de elevação (H). As curvas características das bombas existentes no mercado, fornecidas pelos fabricantes, permitem escolher uma bomba

que permita distribuir um determinado caudal, com a sua respectiva altura manométrica, com um rendimento razoável.

Para além destas cinco grandezas, existe uma outra grandeza característica de cada bomba, à qual se chama NPSH. O NPSH traduz a diferença entre a carga sobre a tubagem à entrada da bomba e a altura piezométrica correspondente à tensão de saturação do vapor do líquido escoado. O NPSH permite avaliar a possibilidade de ocorrência de fenómenos de cavitação no interior da bomba.

A cavitação é um fenómeno que ocorre quando a pressão no interior do corpo da bomba se reduz e atinge a tensão de vapor do líquido, formando bolhas de vapor. Estas bolhas, ao serem arrastadas pela corrente para zonas de pressão mais elevada, entram em colapso e geram alterações nos campos de velocidades e pressões, tendo como consequência o aparecimento de forças que provocam a erosão de certas componentes da bomba.

6.8.2. Potência do grupo motor-bomba

A potência consumida pela bomba (P_B) corresponde à potência hidráulica corrigida pelo rendimento da bomba, ou seja:

$$P_B = \frac{P_H}{\eta_B} \quad (6.18)$$

Em que, P_H - Potência hidráulica [kW];
 η_B - Rendimento da bomba.

A potência hidráulica, ou seja, a energia cedida pela bomba ao escoamento, pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P_H = \gamma \cdot Q \cdot H_{elev} \quad (6.19)$$

Onde, γ - Peso específico do líquido [kN m⁻³];
 Q - Caudal elevado [m³ s⁻¹];
 H_{elev} - Altura total de elevação [m].

Quando se pretende seleccionar um motor para accionar uma bomba, deve-se adoptar uma potência ligeiramente superior à potência exigida pela bomba (equação (6.20)).

$$P_M \cong (1 + f_m) \cdot P_B \quad (6.20)$$

Onde, P_M - Potência do motor [kW];
 f_m - Factor de majoração.

Os factores de majoração, f_m , a adoptar são (Marques e Sousa, 2009):

- 1) $P_B \leq 4 \text{ kW} \rightarrow f_m = 30\%$
- 2) $4 \text{ kW} < P_B \leq 20 \text{ kW} \rightarrow f_m = 20\%$
- 3) $P_B > 20 \text{ kW} \rightarrow f_m = 10\%$

6.9. Dimensionamento da rede

Para se poder iniciar o dimensionamento da rede de rega, é necessário calcular o valor da dotação total (D_t), da taxa de aplicação (I_a) e do caudal do aspersor (q_u). Com isto, pode-se escolher o tipo de aspersor a usar e depois proceder ao dimensionamento da rede calculando as respectivas perdas de carga, energias e pressões.

6.9.1. Cálculo da dotação total (D_t), taxa de aplicação (I_a) e caudal do aspersor (q_u)

Para a determinação da dotação total é necessário saber a dotação útil (D_u) e a eficiência de rega (E_s). O valor de D_u é dado pelo modelo WinISAREG e toma o valor de 20 mm. A eficiência de rega, como se referiu no capítulo 3, está compreendida entre 70% e 90%, sendo habitual considerar o valor médio para os cálculos. Por isso, o valor usado para a E_s é de 80%.

Com estes dados e a partir da equação (5.9), obtém-se o seguinte valor para a dotação total:

$$D_t = \frac{D_u}{E_s} = \frac{20}{0,80} = 25 \text{ mm} \quad (6.21)$$

A partir da D_t é possível saber o valor da taxa de aplicação usando a equação (5.8). Tem-se então:

$$I_a = \frac{D_t}{t_r} = \frac{25}{4} = 6,25 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \quad (6.22)$$

O valor de t_r (tempo de rega) foi escolhido de maneira a que o caudal do aspersor (q_u) tivesse um valor fácil de encontrar nos catálogos dos aspersores, por isso optou-se por fazer regas com períodos de 4 horas.

Antes de calcular o caudal do aspersor é necessário definir a disposição dos aspersores no terreno e calcular a área da malha (A_m). A disposição adoptada foi a disposição em quadrado de dimensões 18 m x 18 m. A área da malha é:

$$A_m = 18 \times 18 = 324 \text{ m}^2 \quad (6.23)$$

Sabendo o valor de I_a e de A_m , pode-se determinar o caudal do aspersor. Resolvendo a equação (5.7) em ordem a q_u , obtém-se:

$$q_u = A_m \times I_a = 324 \times 6,25 \times 10^{-3} = 2,03 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (6.24)$$

Com o caudal debitado pelo aspersor pode-se proceder à escolha do tipo de aspersor que melhor se adequa. No entanto, é necessário ter em conta o efeito do vento na região. Como a velocidade média do vento na zona de Castelo Branco é de $7,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (média das velocidades do vento nos meses mais quentes – Maio a Setembro), é necessário fazer uma correcção no espaçamento entre os aspersores. Para a obtenção da velocidade média do vento foi feita uma média dos meses mais quentes usando os registos meteorológicos fornecidos pela Escola Agrária de Castelo Branco. Do capítulo 5 sabe-se que para ventos entre 0 e $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, os diâmetros molhados devem ser encurtados cerca de 10%. Por cada $1,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ acima da velocidade do vento de $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, reduz-se 2,5% do diâmetro molhado.

Para evitar o aumento do número de aspersores devido à redução do espaçamento entre os mesmos, optou-se por aumentar o valor do alcance do jacto na mesma percentagem que se obteve para a redução do espaçamento. Inicialmente, admitindo uma sobreposição de jactos de 75%, o alcance do jacto (raio) seria de 13,5 metros (equação (6.25)).

$$\text{Alcance}_i = 75\% \times \text{Dimensão do lado da malha} = 0,75 \times 18 = 13,5 \text{ m} \quad (6.25)$$

Fazendo a correcção devido ao vento, obtém-se um alcance do jacto de 15,3 metros (equação (6.26))

$$Alcance_f = \frac{d_m + 13,4\% \times d_m}{2} = \frac{1,134 \times d_m}{2} = \frac{1,134 \times 27}{2} = 15,3 \text{ m} \quad (6.26)$$

Onde, d_m Diâmetro molhado [m];

Os restantes cálculos necessários à determinação da dotação total (D_t), taxa de aplicação (I_a), caudal do aspersor (q_u) e alcance do jacto encontram-se em anexo (Anexo III).

Por fim, procede-se à escolha do aspersor. A partir do catálogo da Plasbene, Foros de Salvaterra, Portugal, foi escolhido o aspersor rotativo de impacto, modelo PR 24 W, com as seguintes características:

- Pressão de serviço: 3,5 bar;
- Caudal: $2,03 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
- Raio: 15,3 m

A página do catálogo referente a este aspersor apresenta-se em anexo (Anexo IV).

6.9.2. Implantação da rede

Escolhendo o tipo de aspersor a usar, pode-se definir a rede de rega a ser implantada. Como se referiu em 4.3, para a dotação de rega definida (25 mm), obteve-se um intervalo entre regas de 4 dias. Para se conseguir regar 27 hectares em 4 dias, decidiu-se dividir o terreno em 8 sectores, regando duas vezes por dia onde cada rega diária tem uma duração de 4 horas. Uma vez que o terreno é dividido por uma estrada, definiu-se que a zona de terreno acima da estrada era a zona I com os sectores 1, 2, 3 e 4, e a zona abaixo da estrada era a zona II com os sectores 5, 6, 7 e 8.

As duas regas diárias serão feitas no período da noite uma vez que é o período de rega mais vantajoso porque a realização de regas a horas de muito calor, em zonas onde a radiação solar é muito intensa e a humidade relativa muito baixa, diminuem a eficiência de rega. Regar no turno da noite tem também a vantagem da energia ser mais barata.

Uma vez que o terreno onde se vai instalar a rede de rega é muito acidentado, colocou-se a estação de bombagem à cota mais elevada ($Z=220,5 \text{ m}$) e nos sectores 4, 6 e 7 as linhas de

derivação foram colocadas na parte mais alta do terreno de maneira a fazer a alimentação das rampas pelo ponto alto. Esta alimentação é feita para que as perdas de carga compensem o desnível do terreno e se verifiquem as condições das pressões (Regra de Christiansen).

Em anexo encontram-se dois desenhos da rede. O desenho 2 apresenta o esquema da rede de rega a implantar e o desenho 3 apresenta planta da rede com a numeração dos nós considerados para o cálculo e os sentidos de escoamento na rede (Anexo V).

6.9.3. Dimensionamento das linhas laterais (rampas)

Depois de definida a rede de rega, pode-se proceder ao seu dimensionamento.

Nas linhas laterais, também vulgarmente chamadas por rampas, são instalados os aspersores, distribuídos igualmente por toda a sua extensão. Neste projecto, os aspersores estão espaçados de 18 metros entre si.

No dimensionamento das rampas é necessário calcular as perdas de carga com base no caudal total que cada rampa irá transportar e no seu diâmetro. O material a ser usado, tanto nas rampas como em toda a rede, é o polietileno de alta densidade (PEAD) MRS/PE 100, PN10 (Anexo VI).

Como se viu em 6.5 o caudal de cada rampa corresponde à multiplicação do número de aspersores de uma rampa pelo caudal de um aspersor (equação (6.12)).

Aplicando a equação (6.12) a um caso prático, por exemplo rampa 2 – 3 do sector 1, tem-se:

$$Q_m = 2,025 \times 9 = 18,225 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (6.27)$$

Continuando na rampa 2 – 3 do sector 1, procede-se ao cálculo do diâmetro pela equação (6.8).

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \left(\frac{18,225}{3600} \right)}{\pi \times 1,0}} \times 10^3 = 80,29 \text{ mm} \quad (6.28)$$

Como as perdas de carga são calculadas em função da secção interna da tubagem, o valor do diâmetro a usar tem que ser o valor comercial do diâmetro interno da tubagem. Para esta rampa

o diâmetro interno mais próximo do diâmetro obtido, de modo a que a velocidade não seja inferior a 1 m s^{-1} , é $D_{\text{int}} = 70,5 \text{ mm}$.

A perda de carga unitária é calculada pela fórmula de Manning-Strickler, equação (6.11):

$$J = \left(\frac{Q}{K_s \cdot A \cdot R^{2/3}} \right)^2 = 0,0234 \quad (6.29)$$

Sabendo a perda de carga unitária, o comprimento da rampa e que a perda de carga localizada na rampa é 10% da respectiva perda de carga contínua, pode-se calcular a perda de carga total na rampa 2 – 3 pela equação (6.13):

$$\Delta H = 1,1 \times \left(\frac{1}{3} \times J_m \times L \right) = 1,1 \times \left(\frac{1}{3} \times 0,0234 \times 128,5 \right) = 1,103 \text{ m} \quad (6.30)$$

Estes cálculos repetem-se para as restantes rampas do sector 1 (Quadro 6.I) e para os restantes sectores que se encontram apresentados em anexo (Anexo VII).

Quadro 6.I - Dimensionamento das rampas do sector 1.

Linhas Laterais = Rampas										
Sector	Troços	Nº Aspersores	Q _m (m ³ .h ⁻¹)	D _{vmin} (mm)	D _{int} (mm)	L (m)	V < 2 m.s ⁻¹	J (m)	ΔH _T (m)	
1	2 - 3	9	18,225	80,29	70,5	128,5	1,297	Verifica	0,0234	1,103
	4 - 5	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	6 - 7	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	8 - 9	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	10 - 11	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	12 - 13	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	14 - 15	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	16 - 17	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	18 - 19	5	10,125	59,84	59,2	51,5	1,022	Verifica	0,0184	0,347
	20 - 21	3	6,075	46,35	47	87,5	0,973	Verifica	0,0226	0,726
	22 - 23	4	8,1	53,52	59,2	87,5	0,817	Verifica	0,0117	0,377
	24 - 25	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	26 - 27	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	28 - 29	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	30 - 31	5	10,125	59,84	59,2	87,5	1,022	Verifica	0,0184	0,589
	32 - 33	5	10,125	59,84	59,2	81	1,022	Verifica	0,0184	0,545
34 - 35	5	10,125	59,84	59,2	81	1,022	Verifica	0,0184	0,545	

6.9.4. Dimensionamento das linhas de derivação

Antes de dimensionar os diâmetros das linhas de derivação e as respectivas perdas de carga, é necessário verificar qual é o caudal que essa linha de derivação deve conduzir até às rampas. A linha de derivação foi dividida em vários troços, onde cada nó corresponde à derivação da rampa, para facilitar o cálculo das pressões no sector e assim obter-se mais informação sobre o comportamento das pressões no sector.

O caudal da linha de derivação é o somatório dos caudais das rampas (equação(6.31)):

$$Q_{LD} = \sum Q_m \quad (6.31)$$

Onde, Q_{LD} Caudal da linha de derivação [$m^3 \cdot h^{-1}$];
 $\sum Q_m$ Somatório do caudal das rampas [$m^3 \cdot h^{-1}$].

Aplicando a equação (6.31) a um caso prático, por exemplo ao troço 2 – 4 pertencente à linha de derivação do sector 1, obtém-se o seguinte caudal:

$$Q_{LD} = \sum_{4-5}^{18-19} Q_m = 81 m^3 \cdot h^{-1} \quad (6.32)$$

O cálculo do diâmetro da conduta, a verificação da velocidade para o diâmetro interno comercial escolhido e o cálculo da perda de carga unitária é feito da mesma maneira que no dimensionamento das rampas.

A perda de carga total é calculada agora pela equação (6.9). Para este cálculo é necessário calcular a perda de carga contínua na linha de derivação (equação (6.33)) e a perda de carga localizada (equação(6.34)):

$$\Delta H_C = J \times L = 0,0081 \times 18 = 0,146 m \quad (6.33)$$

$$\Delta H_{Loc} = 20\% \times \Delta H_C = 0,20 \times 0,146 = 0,029 m \quad (6.34)$$

A perda de carga total é então:

$$\Delta H_T = \Delta H_C + \Delta H_{Loc} = 0,146 + 0,029 = 0,176 m \quad (6.35)$$

Estes cálculos repetem-se para os restantes troços da linha de derivação do sector 1 (Quadro 6.II) e para os restantes sectores que se encontram apresentados em anexo (Anexo VII).

Quadro 6.II - Dimensionamento das linhas de derivação do sector 1.

Linhas de derivação											
Sector	Troços	Q_{LD} ($m^3 \cdot h^{-1}$)	D_{Vmin} (mm)	D_{int} (mm)	L (m)	$V < 2 m \cdot s^{-1}$	J (m)	ΔH_{Cont} (m)	ΔH_{Loc} (m)	ΔH_T (m)	
1	2 - 4	81	169,26	150,4	18	1,266	Verifica	0,0081	0,146	0,029	0,176
	4 - 6	70,875	158,33	131,6	18	1,447	Verifica	0,0127	0,228	0,046	0,274
	6 - 8	60,75	146,58	131,6	18	1,241	Verifica	0,0093	0,168	0,034	0,201
	8 - 10	50,625	133,81	117,5	18	1,297	Verifica	0,0119	0,213	0,043	0,256
	10 - 12	40,5	119,68	103,4	18	1,340	Verifica	0,0150	0,270	0,054	0,324
	12 - 14	30,375	103,65	84,6	18	1,501	Verifica	0,0246	0,443	0,089	0,531
	14 - 16	20,25	84,63	70,5	18	1,441	Verifica	0,0289	0,520	0,104	0,625
	16 - 18	10,125	59,84	59,2	18	1,022	Verifica	0,0184	0,330	0,066	0,396
	20 - 22	68,85	156,05	131,6	18	1,406	Verifica	0,0120	0,216	0,043	0,259
	22 - 24	60,75	146,58	117,5	18	1,556	Verifica	0,0171	0,307	0,061	0,369
	24 - 26	50,625	133,81	117,5	18	1,297	Verifica	0,0119	0,213	0,043	0,256
	26 - 28	40,5	119,68	103,4	5	1,340	Verifica	0,0150	0,075	0,015	0,090
	28 - 30	30,375	103,65	84,6	18	1,501	Verifica	0,0246	0,443	0,089	0,531
	30 - 32	20,25	84,63	70,5	18	1,441	Verifica	0,0289	0,520	0,104	0,625
	32 - 34	10,125	59,84	59,2	18	1,022	Verifica	0,0184	0,330	0,066	0,396

6.9.5. Dimensionamento da linha principal e da linha de sucção

A função da linha principal é conduzir a água para as linhas de derivação. Por isso, o caudal que passa pela conduta principal é, logicamente, o somatório dos caudais que passam pelas linhas de derivação (equação (6.36)).

$$Q_{LP} = \sum Q_{LD} \quad (6.36)$$

Onde, Q_{LP} Caudal da linha principal [$m^3 \cdot h^{-1}$];
 $\sum Q_{LD}$ Somatório do caudal das linhas de derivação [$m^3 \cdot h^{-1}$].

Aplicando a equação (6.36) a um caso prático, por exemplo ao troço 1 – 150 pertencente à linha de principal do sector 1, obtém-se o seguinte caudal:

$$Q_{LD} = \sum_{2-3}^{34-35} Q_m = 174,15 m^3 \cdot h^{-1} \quad (6.37)$$

O cálculo do diâmetro da conduta, a verificação da velocidade para o diâmetro interno comercial escolhido, o cálculo das perdas de carga unitária, contínuas, localizadas e totais é feito do mesmo modo que no dimensionamento das linhas de derivação (Quadro 6.III). No

entanto há que ter em atenção que para o dimensionamento da linha principal foi considerada uma velocidade maior que no dimensionamento das rampas e das linhas de derivação, tendo sido usada uma velocidade de 1,5 m.s⁻¹. Os cálculos repetem-se para os restantes sectores que se encontram apresentados em anexo (Anexo VII).

Quadro 6.III - Dimensionamento da linha principal.

Linha Principal											
Sector	Troços	Q _{LP} (m ³ .h ⁻¹)	D _{Vmin} (mm)	D _{int} (mm)	L (m)	V < 2 m.s ⁻¹		J (m)	ΔH _{Cont} (m)	ΔH _{Loc} (m)	ΔH _T (m)
1	1 - 150	174,15	202,64	188	312,00	1,743	Verifica	0,0114	3,568	0,714	4,282
	150 - 151	174,15	202,64	188	18	1,743	Verifica	0,0114	0,206	0,041	0,247

6.9.6. Determinação das energias e das pressões nos nós

Depois de determinadas as perdas de carga nas rampas, nas linhas de derivação e nas linhas principais, pode-se determinar a energia em cada nó da rede e as respectivas pressões. Para calcular as energias nos vários nós da rede, foi arbitrada uma energia para a bomba de maneira a que se verificassem posteriormente as pressões nos nós. Arbitrando essa energia para a bomba, podem-se então calcular as energias nos nós. O cálculo das energias é feito através da equação (6.15).

Aplicando a equação (6.15) a um caso prático, por exemplo ao nó 2 e ao nó 3 pertencentes ao sector 1, obtêm-se os seguintes valores de energia:

$$H_2 = H_1 - \Delta H_{1-150} = 260 - 4,282 = 255,718 \text{ m} \quad (6.38)$$

$$H_3 = H_2 - \Delta H_{2-3} = 255,718 - 1,103 = 254,615 \text{ m} \quad (6.39)$$

As energias nos restantes nós do sector 1 e dos outros sectores foram calculadas pelo mesmo processo. Sabendo as energias em cada nó e a cota a que cada nó se encontra calculam-se as respectivas pressões pela equação (6.16).

Aplicando a equação (6.16) ao nó 2 e ao nó 3 pertencentes ao sector 1, obtêm-se os seguintes valores de pressão:

$$P_2 = H_2 - Z_2 = 255,718 - 217,260 = 38,458 \text{ m} \quad (6.40)$$

$$P_3 = H_3 - Z_3 = 254,615 - 218,935 = 35,680 \text{ m} \quad (6.41)$$

As pressões nos restantes nós do sector 1 e dos outros sectores foram calculadas pelo mesmo processo. Como se viu em 6.6.2, entre o primeiro e o último aspersor de um mesmo sector em funcionamento simultâneo, não deve haver uma diferença superior a 20% da pressão nominal do aspersor, entre as respectivas pressões máxima e mínima de funcionamento.

Devido a esta restrição, foi necessário diminuir os diâmetros de algumas tubagens nalguns sectores, de maneira a que a diferença entre as pressões máxima e mínima em cada sector não fosse superior a 20%. Por um lado, ao diminuir os diâmetros das condutas aumentam-se as perdas de carga que diminuem as pressões nos nós. Por outro lado, a diminuição dos diâmetros provoca um aumento na velocidade de escoamento. Para que as velocidades atingidas nas condutas não fossem excessivamente elevadas, a diferença entre as pressões máxima e mínima, nalguns sectores foi ligeiramente superior a 20%. Contudo, para que esta verificação fosse válida, nos troços 104 – 105 e 106 - 107 do sector 3, a velocidade atingiu os $3,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, sendo a velocidade mais elevada na rede. Esta dificuldade em verificar a condição imposta deve-se ao facto do terreno ser bastante acidentado.

Os cálculos dos restantes nós encontram-se apresentados em anexo (Anexo VII).

6.9.7. Dimensionamento do grupo motor-bomba

Para o dimensionamento do grupo é necessário saber qual dos sectores é o mais desfavorável, ou seja, o que tem o maior caudal. Analisando os sectores verificou-se que o sector 6 é o que apresenta o caudal mais elevado, tomando o valor de $Q_{\text{máx},S6} = 251,1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Sabendo que o sector 6 é o mais desfavorável, o valor do caudal a usar nos cálculos da potência da bomba vai ser o caudal da linha principal do sector 6, sendo ele:

$$Q = 251,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,06975 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.42)$$

É também necessário saber a altura total de elevação da bomba. Como para o cálculo das energias e pressões nos nós da rede se arbitrou uma energia à saída da bomba (H_1), e sabendo a cota a que se encontra a água na aspiração (admitindo $Z_1=Z_{\text{terreno}}$) é possível saber a altura de elevação da bomba da seguinte maneira:

$$H_{elev} = H_1 - Z_1 = 260 - 220,5 = 39,5 \text{ m} \quad (6.43)$$

Com esta informação pode-se proceder ao cálculo da potência hidráulica, a partir da equação (6.19).

$$P_H = \gamma \times Q \times H_{elev} = 9800 \times 0,06975 \times 39,5 = 27000,2 \text{ W} = 27 \text{ kW} \quad (6.44)$$

Pela consulta do catálogo KSB Etanorm, Frankenthal, Alemanha, escolheu-se a bomba centrífuga modelo Etanorm 125 – 100 – 200, n = 2900 rpm, ϕ 193 (Anexo VIII).

Esta bomba tem um rendimento de 81%, pelo que sabendo o valor da potência hidráulica, calcula-se o valor da potência da bomba a partir da equação (6.18).

$$P_B = \frac{P_H}{\eta_B} = \frac{27}{0,81} = 33,3 \text{ kW} \quad (6.45)$$

Quando se pretende seleccionar um motor para accionar uma bomba, deve-se adoptar uma potência ligeiramente superior à potência exigida pela bomba. Como a potência da bomba é superior a 20 kW o factor de majoração a adoptar é de 10%, obtendo-se o seguinte valor da potência do motor:

$$P_M = (1 + 0,10) \times 33,3 = 36,6 \text{ kW} \quad (6.46)$$

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objectivo fazer o projecto de um sistema de rega para uma exploração agrícola na Beira Interior, passando por todas as dificuldades a ele inerentes e todas as etapas que compõem o projecto. Estas etapas permitiram-nos aplicar vários conhecimentos adquiridos durante o curso, com especial ênfase nas U.C. de Hidrologia e Hidráulica Urbana, mas também desenvolver um conjunto de competências relacionadas com o conhecimento adquirido noutras áreas da engenharia, especialmente na engenharia agrónómica, mas também no domínio de ferramentas como o Microsoft Office 2015, AutoCAD 2015 e WinISAREG.

É de destacar a contribuição dada pelo programa de cálculo automático, WinISAREG, que facilita muito os cálculos de um projectista. O programa revelou-se uma ferramenta bastante útil na fase de cálculo das necessidades de água das culturas, uma vez que esse cálculo obriga à utilização de elevado número de dados de diferentes naturezas (climáticos, solos e das culturas a instalar).

Na implantação da rede e na atribuição dos diâmetros das tubagens, teve-se em consideração a necessidade de garantir uma pressão o mais uniforme possível, com escoamento no sentido descendente e perda de carga que compensem os desníveis do terreno. Apesar de existirem desníveis bastante elevados nalgumas rampas (*eg.* 8 m em 36 m de rampa), mesmo nas situações mais desfavoráveis, foi possível estabelecer uma diferença entre a pressão máxima e a mínima de 21%, valor muito pouco superior ao máximo imposto pela regra de Christiansen (20%).

O Quadro 7.I apresenta o resumo das principais opções escolhidas para a realização deste projecto de rega e os principais resultados obtidos.

Quadro 7.1 – Resumo das principais opções escolhidas e resultados obtidos no projecto.

Caracterização do local:	
Local:	Idanha-a-Nova, Tapada da Figueira
Área de rega:	27 ha
Cultura:	Pastagem consorciada de trevo branco e festuca alta
Rega:	
Dotação:	25 mm
Intervalo entre regas:	4 dias
Número de regas/dia:	2
Duração de cada rega:	4 h
Divisão do terreno:	8 sectores
Aspersores:	
Disposição:	Quadrado 18 x 18 m
Taxa de aplicação:	6,25 mm h ⁻¹
Caudal do aspersor:	2,03 m ³ h ⁻¹
Alcance do aspersor:	15,3 m
Grupo motor-bomba:	
Localização:	Cota mais elevada (Z = 220,5 m)
Tipo de bomba:	Centrífuga
Caudal máximo:	251,1 m ³ h ⁻¹
Altura de elevação:	39,5 m
Potência hidráulica:	27 kW
Rendimento da bomba:	81%
Potência da bomba:	33,3 kW
Potência do motor:	36,6 kW

BIBLIOGRAFIA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO. Roma.

Almeida, D. (2004). *Principais Técnicas da Produção Agrícola*. Escola Superior de Biotecnologia – Universidade Católica Portuguesa.

Barrett, J., Vinchesi, B., Dobson, R., Roche, P., Zoldoske, D. (2003). *Golf Course Irrigation. Environmental Design and Management Practices*. 1ª edição, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.

Carvalho, D. F., Silva, L. D. B. (2006). *Hidrologia*. Capítulo 5 – Infiltração. Universidade Estadual Paulista, p. 60-80.

Botelho da Costa, J. (1979). *Caracterização e Constituição do Solo*. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 527.

Doorenbos, J., Pruitt, W. O. (1977). *Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO. Roma.

FAO (1974). *Soil Map of the World*. Volume 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations and UNESCO, Paris. 1:5.000,000

Freixial, R. M. C., Barros, J.F.C. (2012). *Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuárias, Noções Básicas de Agricultura e Tecnologia do Solo e das Culturas*. Évora, pp. 38.

Marques, J. A. de S., Sousa, J. J. de O. (2009). *Hidráulica Urbana. Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. 2ª ed. Imprensa da Universidade de Coimbra, p. 389-421.

Martins, A. A. A., Lourenço, J. M. (2012). *Carta dos Solos e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*, Agroconsultores e COBA, 1991, Síntese da Informação contida na Memória Descritiva. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pp. 38.

Paredes, P., Pereira, L.S. (sem data) *Water Balance and Irrigation Scheduling Simulation Model. The WinISAREG Model*, CEER, Instituto Superior de Agronomia, pp. 69.

Pereira, L.S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Mem Martins: Publicações Europa-América, Lda, pp. 312.

Raposo, J. R. (1994). *A Rega por Aspersão*. 2ª ed. Lisboa: Clássica Editora, pp. 358.

Raposo, J. R. (1996). *A Rega. Dos Primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega*. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 469.

Séneca, A. (2001). *Notas de Morfologia Externa de Plantas Vasculares*. Porto, pp. 42.

Schuller, D. (2004). *Interações Microrganismo-Planta: Bactérias do Género Rhizobium e a Fixação de Azoto*. Universidade do Minho, pp. 9.

Shahidian, S. (2012). Gestão da Água no Regadio, Cap. 9, in: *Hidrologia Agrícola*. (S. Shahidian, R. Guimarães, C. Rodrigues, eds.), ICAAM – ECT Universidade de Évora, p. 225-243.

Whiters, B., Vipond, S. (1974). *Irrigation: Design and Practice*. Batsford: London, pp. 304.

CIBERGRAFIA

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/country_maps/metadata.cfm?mycountry=PT/
(consultado dia 12 de Março de 2015)

<http://www.cm-castelobranco.pt/pdf/agendaxxi/agendaxxi.pdf/> (consultado dia 12 de Março de 2015)

<http://www.irrigarte.com.br/index.php/produtos/> (consultado dia 22.Junho.2015)

<http://www.aquagri.com/site/index.php/pt/> (consultado dia 22.Junho.2015)

<http://www.agr.feis.unesp.br/curso1.htm> (consultado dia 22.Junho.2015)

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982009001300012
(consultado dia 22.Junho.2015)

ANEXOS

ANEXOS I

DESENHO 1: IMPLANTAÇÃO GERAL DO SISTEMA.

ANEXOS II

REGISTOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CASTELO BRANCO.

ANEXOS III

DETERMINAÇÃO DA D_t , I_a , q_u E ALCANCE DO JACTO.

ANEXOS IV

CATÁLOGO DO ASPERSOR - PLASBENE.

ANEXOS V

DESENHOS DA REDE DE REGA.

DESENHO 1: ESQUEMA DA REDE

DESENHO 2: PLANTA DA REDE

ANEXOS VI

TABELA DE DIÂMETROS INTERNOS DE TUBAGENS - POLITEJO.

ANEXOS VII

DIMENSIONAMENTO DA REDE.

ANEXOS VIII

CATÁLOGO DA BOMBA – KSB ETANORM.