

Ricardo Miguel Borges Sá e Silva

Sistema de Gestão Técnica Aplicado aos Sistemas de Rega

Orientador: Professor Adriano Almeida Santos



Mestrado em Gestão Industrial
Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
2014

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de
Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Gestão Industrial

Candidato: Ricardo Miguel Borges Sá e Silva, Nº 1110053, 1110053@isep.ipp.pt

Orientação: Adriano Almeida Santos, ads@isep.ipp.pt



Mestrado em Gestão Industrial
Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia do Porto

11 de dezembro de 2014

Dedico este trabalho à minha mãe, avó e irmã Inês.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao Eng.º Adriano Santos pela orientação e disponibilidade da informação que foi necessária.

Agradeço também ao Eng.º Barrote Dias pelos dados fornecidos.

Agradeço ao Hélder Moreira pelo apoio e paciência no desenvolvimento deste trabalho e à minha Madrinha pela motivação transmitida.

Um agradecimento também aos meus colegas de trabalho Júlio Almeida e Helena Paulino, à minha colega Cátia Vilaça e ao camarada Miguel Ferraz que, de uma forma ou de outra, se mostraram disponíveis e deram o seu contributo na elaboração do trabalho.

A todos o meu muito obrigado.

Resumo

A cidade do Porto é uma das regiões do país onde é importante uma gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos. A (re) utilização de água surge neste contexto como uma possível resposta na sua utilização como um recurso hídrico passível de ser usado beneficemente, permitindo a poupança de fontes de água convencionais e aumentando a disponibilidade dos recursos hídricos existentes para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes.

O potencial desta prática no nosso país é enorme, considerando que o volume de água tratada descarregada no ano 2000 era suficiente para suprir 10% das necessidades em água para rega num ano seco, sem necessidade de armazenamento sazonal. Por outro lado, um sistema de rega, quando devidamente projetado e funcionando adequadamente, permite que a água seja aplicada com um caudal, duração e frequência que maximizam o consumo da água e nutrientes pela planta.

Este projeto consiste no desenvolvimento de um Sistema de Gestão Técnica para o controlo do sistema de rega dos jardins do ISEP – Instituto Politécnico de Engenharia do Porto com recurso a um autómato programável (PLC).

Pretende-se otimizar os consumos energéticos do sistema de rega tendo em conta os parâmetros de humidade, temperatura e velocidade do vento característicos do local a regar.

Outros dos objetivos é controlar o processo de enchimento e de rega. Esta operação consiste no controlo das bombas e respetivos débitos e conhecimento dos caudais necessários.

Pretende-se, igualmente, definir e colocar em marcha todo o equipamento necessário para a realização do projeto.

Os dados coletados devem ser tratados de tal modo que possam ser realizadas análises diárias, mensais e/ou anuais.

Neste trabalho foram efetuados os cálculos de dimensionamentos relativamente às necessidades hídricas da planta e necessidades de rega, entre outros.

Palavras-Chave

Rega, Controlo, PLC, Sistema de Gestão Técnica, Sistemas de Gestão de Rega

Abstract

The city of Porto is one of the regions where it is important to have a sustainable and integrated management of water resources. A (re) use of water arises in this context as a possible response in its use as a subject to be used beneficially water source, permitting the saving of conventional sources of water and increasing the availability of existing water resources for purposes that require quality standards more demanding.

The potential of this practice in our country is huge, considering that the volume of treated water discharged in 2000 was sufficient to meet 10% of water needs for irrigation in dry years without the need for seasonal storage. Furthermore, an irrigation system, if well properly designed and functioning properly, allows water to be applied at a rate, duration, and frequency that will maximize consumption of water and nutrients by the plant.

This project consists of the development of a Building Management System to control the watering of gardens in ISEP – Instituto Politécnico de Engenharia do Porto system using a programmable controller (PLC).

It is intended to optimize the energy consumption of the irrigation system taking into account the parameters of humidity, temperature and wind speed characteristic of the local watering.

Another goal is to control the process of filling and watering. This operation consists in controlling the pumps and respective debits and knowledge of flows necessary.

It is also intended to define and set in motion everything needed to carry out the project equipment.

The data collected should be treated in such a way that daily, monthly and / or annual reviews may be conducted.

In this paper sizing calculations regarding water needs of the plant and watering needs, among others, were made.

Keywords

Irrigation Control, PLC, Technical Management System, Management of irrigation system

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
SIGLAS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. CONTRIBUTOS	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	5
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.2. A ÁGUA NA ORIGEM DAS PRIMEIRAS CIVILIZAÇÕES	7
2.3. CONTRIBUIÇÃO DOS ROMANOS E DOS ÁRABES NO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA HIDRÁULICA 8	
2.4. A ÁGUA COMO ELEMENTO DE VALOR ECOLÓGICO: DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL À ATUALIDADE ...	10
3. ESTADO DA ARTE E CRITÉRIOS DE PLANEAMENTO DA REGA	13
3.1. ASPETOS AMBIENTAIS	13
3.2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REGA	33
3.3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE REGA – A ADAPTABILIDADE DOS SISTEMAS DE REGA	42
3.4. MEDIDAS COM VISTA À EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO E À UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO NOS SISTEMAS DE REGA	44
4. GESTÃO, IMPLEMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DA REGA	49
4.1. GESTÃO	49
4.2. IMPLEMENTAÇÃO	52
4.3. PROGRAMAÇÃO DA REGA	55
4.4. MONITORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA REGA	58
5. PROBLEMÁTICA	65
5.1. LOCALIZAÇÃO	65

5.2.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL	70
5.3.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	76
5.4.	OBJETIVOS	76
6.	DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	77
6.1.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	77
6.2.	PLANEAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	78
6.3.	EQUIPAMENTOS.....	103
7.	CONCLUSÕES	107
8.	TRABALHOS FUTUROS.....	111
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	113
	ANEXO A. TABELAS A1, A2, A3 E A4.....	117
	ANEXO B. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ASPERSORES INSTALADOS NO ISEP	119
	ANEXO C. MAPA HIDROGEOLÓGICO DA REGIÃO DE VILA DO CONDE – PORTO – OVAR	121
	ANEXO D. PROGRAMAÇÃO LADDER.....	123
	ANEXO E. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO CAUDALIMETRO DO TIPO JORRO MÚLTIPLO.	133

Índice de Figuras

Figura 1: Logótipo de ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP, s.d.).....	2
Figura 2: Vista aérea das instalações do ISEP	2
Figura 3: Exemplo de infiltração da água para diferentes tipos de solo (Amwua, 2005).	21
Figura 4: Movimento da água consoante a textura do solo (Irrisoft Inc., 2004).	22
Figura 5: Condições do Solo (adaptado de: Afonso, 2007).....	24
Figura 6: Sugestão de profundidade a que o solo deve ser molhado (adaptado de Amwua, 2005). 28	
Figura 7: Colocação adequada dos emissores de acordo com o raio da copa da árvore (Amwua, 2005).	29
Figura 8: Variações das necessidades de água das plantas ao longo do ano para a cidade do Porto (Amwua, 2005).....	31
Figura 9: Válvula de controlo remoto de funcionamento hidráulico (Teles, 1996).	37
Figura 10: Válvula de controlo remoto de funcionamento elétrico (Teles, 1996).	37
Figura 11: Disposição triangular e quadrada (Beard, 2002).	40
Figura 12: Tipos de bolbos originados pela rega gota-a-gota (Raposo J. , 1994a).	43
Figura 13: Distribuição da água pelo aspersor (Pacheco, 2009).	45
Figura 14: Espaçamento entre aspersores (Pacheco, 2009).....	45
Figura 15: Aplicação da água (Pacheco, 2009).....	46
Figura 16: Aproximação da aplicação da água (Pacheco, 2009).....	46
Figura 17: Controladores nos anos 80 (Carlson, 2009).	53
Figura 18: Controladores na atualidade (Hunter Industries, 2014).	54
Figura 19: Recetor de condições climáticas. (Irrisoft Inc., 2004)	55
Figura 20: Localização do Concelho do Porto (Google Earth).	66
Figura 21: Área de intervenção. (Google Earth).	67
Figura 22: Vista virtual do Campus do ISEP (ISEP, s.d.).....	67
Figura 23: Planta do sistema de rega atual do ISEP.....	68
Figura 24: Demonstração de algumas áreas de intervenção.....	69
Figura 25: Localização do furo e dos dois fossos dos elevadores.....	70
Figura 26: Furo de água.	71
Figura 27: Reservatórios de água e bombas de extração de água dos fossos dos elevadores.	71
Figura 28: Quatro reservatórios de água	72
Figura 29: Bombas de incêndio.....	72
Figura 30: Exemplo de um dos fossos dos elevadores.....	73
Figura 31: Bombas para o sistema de rega.....	73
Figura 32: Aspersor da Rain Bird, tipo 5000, existente na Zona F.....	74

Figura 33: Especificações técnicas dos aspersores instalados (Anexo B). (Catálogos Rain Bird, 2007).....	74
Figura 34: Estação meteorológica instalada no ISEP.....	75
Figura 35: Dados da estação meteorológica (The Weather Channel, 2014).	75
Figura 36: Esquematização da tina de Evaporométrica Classe A (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998).....	81
Figura 37: Necessidades em água da relva e disponível de água residual tratada ao longo do ano. 85	
Figura 38: GRAFCET para o sistema de rega.....	92
Figura 39: GRAFCET para utilização das bombas relativamente ao fosso elevador 1.....	93
Figura 40: GRAFCET para utilização das bombas relativamente ao fosso elevador 2.....	94
Figura 41: GRAFCET de controlo dos caudais à entrada do reservatório.	95
Figura 42: GRAFCET de controlo dos caudais à saída do reservatório.....	95
Figura 43: GRAFCET para utilização da água do furo.....	96
Figura 44: GRAFCET emergência.....	97
Figura 45: Interface do STEP 7-Micro/WIN, da SIEMENS.	98
Figura 46: Tabela de símbolos inseridas no programa STEP 7-Micro/WIN da SIEMENS.....	99
Figura 47: Medição dos sensores de humidade.....	99
Figura 48: Exemplo de temporização.....	100
Figura 49: Simulação feita nos programas S7-200-SIMU e o PC-SIMU.	101
Figura 50: Escalonamento unipolar, relação medição de humidade/tensão.....	101
Figura 51: Relação medição da humidade/contagem.....	102
Figura 52: Autómato programável S7-1200 (Siemens, 2014).....	103
Figura 53: Dois modelos da sonda EasyAG®, 50 (A) e 80 (B). (Catálogo Aquagri, 2014)	104
Figura 54: Caudalímetro do tipo jorro múltiplo. (Catálogo Rain Bird, 2013).....	105
Figura 55: Plano de rega.....	108

Índice de Tabelas

Tabela 1: Consumos de água no Mundo nos anos 1967 e 2000 (Palomo, 2003).....	6
Tabela 2: Extensão de água na superfície, em cm, necessária para molhar o solo a uma determinada profundidade (Landphair & Klatt, 1988).	21
Tabela 3: Taxa máxima de aplicação de água de acordo com o declive, perfil e textura do solo (Pacheco, 2009).....	23
Tabela 4: Relação entre as características do solo e os seus usos (Palomo, 2003).	25
Tabela 5: Número de horas de Sol consoante os diferentes tipos de plantas (Brízida, 2010).	27
Tabela 6: Resistência de alguns relvados à secura e ao frio (adaptado de Brochard, 1999).	30
Tabela 7: Evapotranspiração nos meses de pico de crescimento para diferentes tipos de plantas, em zonas temperadas e em zonas quentes (Landphair & Klatt, 1988).....	32
Tabela 8: Comparação entre os objetivos dos planos de gestão de rega em Jardins e na Agricultura (Silva J. S., 2011).	51
Tabela 9: Duração de diferentes elementos de instalações de rega (Lion, 1991).....	61
Tabela 10: Áreas dos espaços verdes do Campus.	69
Tabela 11: Dados atuais relativo ao número e tipo de aspersores utilizados	74
Tabela 12: Principais características hidrogeológicas s da área urbana do Porto (adaptado de Afonso, et al., 2004).	78
Tabela 13: Valores de Coeficientes Culturais.	79
Tabela 14: Valores de Epan.	81
Tabela 15: Valores de evapotranspiração de referência.	82
Tabela 16: Valores de evapotranspiração.....	82
Tabela 17: Determinação da dotação de rega e da quantidade de água necessária para rega para cada área considerada.....	83
Tabela 18: Determinação da evapotranspiração dos espaços verdes para cada área considerada....	84
Tabela 19: Dados fornecidos pelo ISEP e cálculo da Taxa de Aplicação.....	86
Tabela 20: Valores de taxa de aplicação em mm/dia	86
Tabela 21: Valores de tempo de rega em cada zona.	87
Tabela 22: Valores de eficiência do sistema.	88
Tabela 23: Valor do caudal por Zona.....	89
Tabela 24: Valores de caudal por aspersor.....	89
Tabela 25: Equipamentos do sistema de rega instalados no ISEP.	90
Tabela 26: Símbolos e respetivas descrições.	91

Siglas

- Csb – Clima temperado húmido com Verão seco e temperado
- Dur_{qmin} – Volume de água recebido pelo solo no quartil mínimo
- Dur_{med} – Volume de água aplicada em toda a parcela
- Dw – Diâmetro do círculo molhado
- ET – Evapotranspiração
- ET_C – Evapotranspiração Cultural
- ET₀ – Evapotranspiração de Referência
- ET_L – Evapotranspiração dos Espaços Verdes
- Epan – Evaporação na tina de classe A. Representa a perda de água por evaporação na superfície de uma tina, em mm/dia ou mm/período
- EA – Eficiência da Aplicação
- FAO – *Food And Agriculture Organization*
- FET – Altura Média da Cultura
- h – Dotação da rega
- htr – Dotação total da rega
- ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto
- IR – Intervalo entre Regas
- K_C – Coeficiente Cultural
- K_L – Coeficiente de Paisagem Específico

K_V	–	Coeficiente de Vegetação
K_{MC}	–	Coeficiente Microclimático
K_D	–	Coeficiente de Densidade da Vegetação
K_{SM}	–	Coeficiente de Stress Admitido
K_p	–	Coeficiente específico relativo à tina de classe A.
NA	–	Normalmente Aberto
NF	–	Normalmente Fechado
PLC	–	<i>Power Line Communication</i>
P_e	–	Precipitação Efetiva
ppm	–	Partes por milhão
P	–	Pressão
Q	–	Caudal
RA	–	Quantidade de Água
RH_{min}	–	Humidade Relativa
R	–	Alcance
Tr	–	Tempo de Rega
UD	–	Uniformidade de Distribuição
V	–	Velocidade
VD	–	Velocidade Média Diária

1. INTRODUÇÃO

Neste competitivo e complexo ambiente tecnológico em que vivemos, os computadores assumem um papel importante no tratamento, distribuição e controlo da informação, permitindo um acesso rápido e fácil a esta informação e possibilitando, ainda, a execução de outras funcionalidades mais complexas.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta Tese de Mestrado em Gestão Industrial, do Departamento de Engenharia Mecânica, foi elaborada no âmbito de um estudo e implementação de um sistema de gestão técnica para a gestão da rega do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto é uma instituição de ensino público fundada em 1852, no período de ascensão do liberalismo português, pela força de uma ideia de progresso: Portugal, país com uma estrutura predominantemente rural e de serviços, precisava de dar um passo em frente. Foi Fontes Pereira de Melo, ministro das Obras Públicas, do Comércio e da Indústria, quem lançou o primeiro sistema público de ensino industrial, assente na ideia de educação para o desenvolvimento. A nossa matriz, a Escola Industrial do Porto, foi uma das duas primeiras, em confronto com a Academia Politécnica, cuja referência era o modelo elitista, academista e retórico da Universidade de Coimbra que, incapaz de responder às necessidades emergentes, vinha sendo contestado pelos intelectuais mais esclarecidos.



Figura 1: Logótipo de ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP, s.d.).

Em 2008, Aníbal Cavaco Silva, Presidente da República Portuguesa, enaltece a qualidade do trabalho desenvolvido no ISEP, durante o Roteiro para a Ciência. A passagem pelo ISEP constitui a primeira visita oficial de um chefe de Estado português a um instituto politécnico. O ISEP atribui o primeiro grau de mestre pós-Bolonha. Perpetua-se o lema "*Saber Fazer*" (ISEP, s.d.).



Figura 2: Vista aérea das instalações do ISEP

Este projeto surgiu no contexto da solicitação por parte do cliente para se efetuar o estudo da problemática da rega do ISEP.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é a elaboração de um sistema de gestão técnica o controlo da rega do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto com as seguintes características:

1. Realizar a Interface Homem Máquina (HMI). A interação deverá ser feita com um PLC de forma a permitir a visualização/alteração de variáveis internas do PLC, de acordo com as necessidades do utilizador.
2. Controlar o processo de rega e do enchimento dos respetivos reservatórios. Esta operação consiste no controlo das bombas e respetivos débitos.
3. Definir e colocar em marcha todo o equipamento necessário para a realização do projeto e estabelecer uma análise económica do mesmo.
4. Controlar em tempo real os consumos energéticos correlacionando-os com os ganhos efetivos do SGT.
5. Os dados coletados devem ser tratados de tal modo que possam ser realizadas análises diárias, mensais e/ou anuais.

1.3. CONTRIBUTOS

Desenvolvimento, validação e instalação de um sistema de gestão otimizando os consumos energéticos do sistema de rega e tendo em conta os parâmetros de humidade, temperatura e velocidade do vento característicos do local a controlar.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório está organizado da seguinte forma:

Neste Capítulo 1 é feita uma introdução ao trabalho a realizar no ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, onde são apresentados os objetivos a alcançar e os contributos.

No Capítulo 2, é demonstrada a importância da água e desenvolvimentos feitos ao redor deste recurso.

No Capítulo 3, é apresentada a história e a evolução dos sistemas de rega.

Seguidamente, Capítulo 4, é descrita informação sobre a gestão e implementação de um sistema de rega

No Capítulo 5, é abordada a problemática existente no ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto.

No Capítulo 6, é apresentado o trabalho desenvolvido no âmbito do estudo e implementação do sistema de gestão técnica de acordo com a problemática apresentada no capítulo 5.

No Capítulo 7, são reunidas as principais conclusões sobre o desenvolvimento deste trabalho.

Por último, no Capítulo 8, são apresentadas perspectivas de desenvolvimentos futuros desta Tese/Dissertação.

2. A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A história da civilização humana está entrelaçada com a história das formas através das quais aprendemos a manipular os recursos de água. Ao longo dos séculos foram-se verificando progressos no âmbito da hidrologia, que possibilitaram melhorias no modo de vida das populações e que se materializaram em gastos de água cada vez maiores.

Em termos gerais, a disponibilidade da água é praticamente constante; no entanto, nas últimas décadas, o aumento da utilização dos recursos hídricos fez com que a água se transformasse num bem cada vez mais caro e importante, tendência que, dadas as projeções feitas, certamente irá continuar no futuro.

Tendo como base a Tabela 1 pode concluir-se que o uso doméstico e urbano da água tem vindo a aumentar significativamente e o consumo total da água aumentou para mais do dobro, principalmente nas cidades, onde a água é utilizada, maioritariamente, na rega de projetos de arquitetura paisagística. A água é um recurso fundamental, provavelmente ao mesmo nível da energia e tão vulnerável como esta, sempre que haja ameaça de escassez.

Assim, é necessário proceder a uma utilização sustentável dos recursos hídricos, isto é, a uma utilização que não coloque em risco o seu uso por parte das gerações futuras, que

deverá passar pela noção de que a água tem valor nos mais variados sectores, nomeadamente a nível social, ambiental e económico. O valor social “reconhece que a água é um bem de consumo essencial, ao qual todos devemos ter acesso” (Avillez & Silva, 2011).

Tabela 1: Consumos de água no Mundo nos anos 1967 e 2000 (Palomo, 2003).

	Total 1967 (milhões de m ³)	Total 2000 (milhões de m ³)	% de crescimento anual projetado	1957 (%)	2000 (%)
Agricultura					
Regas	1.400.000	2.800.000	2.1	70	51
Pecuária	58.800	102.200	1.7	3	2
Uso doméstico e rural	19.800	38.800	2.0	1	1
Outros					
Uso doméstico e urbano	73.300	278.900	4.1	4	5
Indústria e minas	437.700	2.231.000	5.0	22	41
Total	1.989.300	5.450.000	3.1	100	100

A água é um elemento fulcral na valorização dos espaços verdes. Tal como refere a Arquitecta Paisagista Kathryn Gustafson (2011) in *The Sky is Mine*, as duas primeiras questões com as quais se depara num novo projeto são: “Onde está a água?”, “Há água?”.

A qualidade estética de um espaço verde pode estar muito dependente da sua manutenção e gestão e por conseguinte da rega. É através desta que se consegue aumentar a capacidade de carga dos sistemas verdes ao desgaste imposto pelos utentes.

É assim que, neste contexto de preocupações relativas à escassez de recursos hídricos e perante a constatação da importância da água como elemento de valorização do espaço exterior, se comprova a importância da implementação de planos de gestão de rega em espaços verdes. Pode pois dizer-se que, nos dias de hoje, os planos de gestão de rega devem ser considerados um dos componentes fundamentais de qualquer projeto de espaço verde. Assim, é indispensável que o plano de gestão de rega seja elaborado de modo a fornecer todas as diretrizes relativas à rega necessárias para a adequada conservação do espaço verde projetado. Por outro lado, é também importante que o plano de gestão de rega sensibilize o cliente, ou as entidades a quem compete a manutenção destes espaços, para as medidas que devem ser tomadas com vista a uma correta gestão do processo de rega.

2.2. A ÁGUA NA ORIGEM DAS PRIMEIRAS CIVILIZAÇÕES

A história da civilização humana está interligada com a história da utilização dos recursos hídricos. Tal como com os animais e as plantas, o Homem teve de aprender a controlar a água livre e selvagem. O acesso à água é, assim, um fator essencial no crescimento de uma civilização e a história dá-nos evidência disto: civilizações como a egípcia ou a romana foram crescendo em torno do seu acesso à água, sendo esta uma fonte de sobrevivência e expansão.

As primeiras comunidades agrícolas emergiram onde as plantações podiam ser cultivadas, dependentes das chuvas e dos rios perenes. As mais antigas civilizações de que há conhecimento surgiram em “regiões mais ou menos áridas fertilizadas por cheias de grandes rios; eram as chamadas civilizações hidráulicas”. Nestas, “o Homem tirava partido de três fatores fundamentais: a terra, a água e a radiação solar” (Raposo J. R., 1996).

Consideram-se civilizações hidráulicas, entre outras as civilizações, a Suméria, a Babilónica e a Assíria (na Mesopotâmia) que se desenvolveram graças aos Rios Tigre e Eufrates; a civilização Egípcia, apoiada pelo Vale do Nilo, e a civilização Chinesa, fomentada pelo Rio Amarelo.

Houve, assim, uma passagem de uma “longa noite” de caçador-recolector para as fases seguintes de agricultura pluvial, hidro agricultura e agricultura hidráulica.

Estima-se que o Homem se tenha iniciado nas práticas de rega cerca de 5500 a.C. Os vestígios encontram-se em vários pontos do Crescente Fértil, nomeadamente na região do Cusistão e a Norte do Golfo Pérsico. Nestes locais, as ruínas que indicam a ocorrência de agricultura apontam também para a existência de práticas de rega, uma vez que, por se tratar de regiões áridas, há necessidade de rega para que a agricultura se possa desenvolver. Numa primeira fase das civilizações hidráulicas não havia propriamente rega; os agricultores limitavam-se a semear diretamente nas terras de boa qualidade deixadas pelas cheias dos rios, sem recorrerem a quaisquer dispositivos para elevar a água.

Mais tarde, o Homem aprendeu a conviver com as cheias e a dominar e tirar partido das águas através da realização de grandes empreendimentos, como diques, reservatórios, canais, etc., criando tarefas relacionadas com o aproveitamento das águas que envolviam toda a comunidade.

Refira-se que muitos dos atuais sistemas de rega são utilizados pelo Homem há muitos séculos, como por exemplo “o processo de canteiros pelos egípcios e chineses, a rega subterrânea pelos astecas e birmaneses, as regadeiras de nível pelos celtas e lusitanos e,

possivelmente, a rega por aspersão pelos babilónios, nos Jardins Suspensos” (Raposo J. R., 1996).

Portanto, a manipulação da água proporcionou o surgimento e desenvolvimento das civilizações e conseqüentemente deu origem a um novo tipo de paisagem, em que o fator antropogénico se fazia sentir com mais intensidade. Mas, nesta fase inicial toda a paisagem estava ainda fortemente dependente das disponibilidades hídricas do local.

2.3. CONTRIBUIÇÃO DOS ROMANOS E DOS ÁRABES NO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA HIDRÁULICA

Na maioria dos casos, os desenvolvimentos no âmbito da rega que se verificaram nas civilizações hidráulicas difundiram-se por todo o globo, num processo relativamente lento. “Este atraso deveu-se, em grande parte, ao facto de, nas regiões húmidas, a rega ter levado muito mais tempo para ser praticada, só se tendo processado já nos últimos séculos, quando o homem verificou as suas vantagens como complemento das precipitações naturais, dando origem às chamadas regas de complemento” (Raposo J. R., 1996).

À medida que as cidades se foram expandindo gradualmente, a água foi sendo trazida de locais cada vez mais remotos, sendo produzidos sofisticados trabalhos de engenharia, tais como barragens e aquedutos. No tempo do Império Romano, nove grandes sistemas, com traçados inovadores de tubagens e esgotos bem construídos, forneciam aos habitantes de Roma tanta água por pessoa como aquela que é hoje facultada em muitas partes do mundo industrial. Os romanos, para além de utilizarem a água para fins agrícolas e domésticos, “regavam também com o maior cuidado os pequenos jardins com que embelezavam as suas *villas urbanas*” (Raposo J. R., 1994b).

Em Portugal, a retenção de água em barragens para servir populações e para a agricultura começou na época romana. A maioria das barragens e comportas existentes datam provavelmente deste tempo. Mas estes não foram os únicos aproveitamentos hidráulicos realizados; o uso de aquedutos para transportar água para assentamentos começou também neste período, e vestígios destas construções foram encontrados em Lisboa, Évora, Coimbra, Alcácer do Sal, Chaves e Idanha-a-Velha. O aqueduto romano mais conhecido em Portugal é o de Conímbriga, que data dos dias do Imperador Augustus.

Para além das barragens, comportas e aquedutos, os romanos destacaram-se também pela realização de outras obras como por exemplo açudes, poços, tanques, cisternas e canais. Estes empreendimentos, cuja tecnologia, segundo parece, teriam em parte aprendido com os gregos, tinham em vista quer a rega quer o abastecimento de água às vilas.

No território português, a ação dos romanos refletiu-se, ainda, na introdução e desenvolvimento de variados tipos de dispositivos para a elevação da água, tanto para a rega, como para abastecimento doméstico. “Então neste caso, a picota (ou cegonha) que, segundo parece, já era utilizada no reino Tartéssico e conhecida no Algarve (tal como a nora) desde o tempo dos cartagineses, as rodas hidráulicas e as rodas de tirar água movidas pelo homem, alguns tipos de nora, os engenhos de buchas, etc.” (Raposo J. R., 1994b).

Assim, os romanos, como resultado do incremento na manipulação dos recursos hídricos que introduziram na região, provocaram grandes alterações na paisagem. A agricultura expandiu-se por toda a Península Ibérica e passou a ser parte integrante do território.

Mais tarde, a crise no Império Romano possibilitou a entrada na Península Ibérica dos bárbaros, assim chamados pelos romanos devido ao seu primitivismo. Durante este período não houve evoluções nas técnicas de regadio e aproveitamento hidráulico. Só mais tarde, no século VIII, quando o exército árabe ocupou todo o território português se voltaram a registar desenvolvimentos a esse nível”. “Os árabes foram, pois, notáveis no campo do regadio, cuja tecnologia tiveram que desenvolver para poderem incrementar as áreas regadas. Começavam por ser especialistas na arte de abrir poços”, e a partir deles constituíam os seus regadios. Para equipar os regadios, os árabes introduziram na Península Ibérica alguns dispositivos de elevação de água, como por exemplo “as noras de eixo curto, que são as mais indicadas para instalar nos poços, que exploravam em larga escala no território português. Além disso, difundiram muitíssimo outros tipos de aparelhos elevatórios já existentes na Península; estão neste caso as picotas, as noras de eixo comprido, as rodas de elevar a água, etc.”. Durante os cerca de 500 anos seguintes em que teve lugar a reconquista cristã, não se verificaram desenvolvimentos na utilização de recursos hídricos, e toda a paisagem agrícola foi destruída como consequência do facto de o território se ter transformado num campo de batalha; só mais tarde, no século XIII, se recuperaram os princípios de regadio herdados dos romanos e árabes e a população se voltou a focar na agricultura. O aproveitamento de recursos hídricos era feito em regime comunitário, através “de uma poça (reservatório mais ou menos rudimentar), quase sempre ligado a uma nascente ou uma mina, e por uma série de levadas (constituídas por canais normalmente não revestidos), dispostas nas encostas aproximadamente segundo as curvas de nível” (Raposo J. R., 1994b).

Após este período de prosperidade “seguiu-se, a partir de cerca de 1310, uma crise na agricultura portuguesa que se manteve durante a fase final do reinado do rei Lavrador e praticamente passou para os séculos seguintes” (Raposo J. R., 1994b).

Não se registaram desenvolvimentos de maior destaque ao nível da utilização dos recursos hídricos até ao século XIX, período em que teve lugar a revolução industrial e um grande aumento populacional. Assim, como já foi referido anteriormente, os princípios da Antiguidade mantiveram-se, em muitos aspetos até aos dias de hoje.

Contudo, o Homem não se limitou à construção de elementos para beber, captar, transportar, controlar e utilizar a água; também criou estruturas para exibição da água, permitindo que a possamos apreciar do ponto de vista estético.

2.4. A ÁGUA COMO ELEMENTO DE VALOR ECOLÓGICO: DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL À ATUALIDADE

No período da Revolução Industrial, as obras de rega adquiriram uma nova dimensão, pois, com a explosão da população nos séculos XIX e XX, a necessidade de água aumentou dramaticamente. Foram desenhadas milhares de construções sem precedentes, de projetos monumentais de engenharia, para controlar os movimentos de água, proteger os suplementos de água limpa e providenciar a água para rega.

Este poder sobre a água trouxe benefícios a centenas de milhares de pessoas (Gleick, 2001). Em Portugal, este desenvolvimento das obras hidráulicas também se fez sentir, e o uso de água para rega deixou de ser uma preocupação a nível unicamente local. “É através do decreto de 5 de Dezembro de 1892 que, pela primeira vez, são definidas de maneira muito precisa as condições de participação do Estado nas obras de rega. Até lá, somente os proprietários de direitos de água e as administrações locais tinham possibilidade de exercer controlo sobre o funcionamento da rega” (Conac, 2000).

Contudo, este aumento da acessibilidade da água não se verificou à escala mundial: apesar do progresso, metade da população mundial continua a sofrer com serviços de água inferiores aos disponíveis na Grécia e Roma Antiga (Gleick, 2001).

O crescimento das populações no mundo em desenvolvimento intensifica a pressão nos poucos suplementos de água. E, mesmo nos países desenvolvidos, nas últimas décadas os problemas relativos aos recursos hídricos fazem-se sentir: “os problemas dos recursos hídricos na Europa mudaram drasticamente nas últimas décadas, pois muitas regiões passaram de uma situação de abundância e baixo custo dos recursos, para outra situação

em que estes começam a escassear, com o seu preço a aumentar rapidamente e a poluição a desenvolver-se de forma preocupante.” Relativamente a Portugal, “prevê-se que a escassez de água seja maior na região mediterrânica, devido a Verões mais secos e quentes. A humidade do solo poderá diminuir de 20 a 50% no Sul da Europa e aumentar em regiões de latitude média ou elevada” (Ribeiro D. , 2009).

Os problemas dos recursos hídricos podem ser considerados sob duas perspetivas diferentes: a dos danos ocasionados pela água ou, mais especificamente, pela falta dela, e a dos danos causados à água relacionados, mais precisamente, com a sua poluição (Ribeiro T. , 1994).

As preocupações relativas aos recursos hídricos têm vindo a crescer e a mudar de conteúdo nos últimos séculos. “Até meados dos anos sessenta, as principais preocupações relacionavam-se com a quantidade de água, pretendendo-se que a água estivesse disponível em quantidade suficiente, onde e quando fosse necessária. Durante a década que se seguiu, a qualidade da água passou a constituir a preocupação principal. Por fim, nos anos oitenta, a atenção focou-se no desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, o que implica que a água tenha de ser preservada e, se necessário, recuperada” (Ribeiro T. , 1994).

Nos últimos dois séculos as preocupações passaram de um nível puramente local para um nível regional ou, em certos casos, global. Na verdade, hoje em dia, os problemas dos recursos hídricos podem ocorrer em diferentes escalas: “à escala local (fenómenos localizados em sistemas de recursos hídricos); à escala regional (poluição das águas superficiais ou subterrâneas, cheias, secas); à escala continental (chuvas ácidas) ou à escala mundial (consequências do aquecimento global e das alterações climáticas nos recursos hídricos). Na generalidade, pode afirmar-se que a escala regional é a mais apropriada para abordar os problemas dos recursos hídricos, tendo em conta que as bacias fluviais são a unidade básica natural para a gestão desses recursos” (Ribeiro T. , 1994).

Assim, os problemas relativos à gestão dos recursos hídricos têm sido a causa de preocupações crescentes para os responsáveis pelas decisões e para os planeadores, cientistas e técnicos dos diversos domínios relevantes para o estudo dos problemas da água, e também para a população em geral. Deste modo, o foco tem mudado lentamente para as necessidades básicas humanas e ambientais, sendo esta a primeira prioridade, assegurando “alguma para todos – em vez de alguma para alguns “, tal como disse Kader Asmal, antigo ministro para os assuntos da água e da floresta na África do Sul (Gleick, 2001).

Este cenário “cria uma grande pressão e responsabilidade sobre as atividades dependentes do uso de água.” (Jellicoe & Jellicoe, 1995). No caso da rega em espaços verdes isso manifesta-se não só pela necessidade de assegurar o abastecimento e minimizar o consumo da água, mas também pela necessidade de preservar a sua qualidade e controlar os gastos (Ribeiro D. , 2009).

Na verdade, o apelo subconsciente para retornar à água parece aumentar quanto mais o dia-a-dia se afasta dos nossos primórdios (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994). Isto faz com que em vez de prosseguir novos e distantes recursos de água, os planeadores estejam a começar a explorar o uso de tipos alternativos de água para responder a certas necessidades, como por exemplo a implementação de elementos captadores de águas de chuva nos espaços verdes, que irão conduzir esta água para os sistemas de rega (Gleick, 2001).

Hoje em dia, é universalmente reconhecida a importância da água a nível ambiental, social e económico. “Na verdade, as utilizações da água - tais como as relacionadas com as utilizações domésticas, a rega, a produção de energia, a navegação, a pesca, as atividades de recreio, a proteção do ambiente e a eliminação de resíduos – são essenciais para o desenvolvimento económico e social” (Ribeiro T. , 1994).

Para que se possa responder a estas novas questões ambientais relativas aos recursos hídricos, mas fazendo com que estes não impeçam o desenvolvimento económico e social, é importante tentar avaliar as consequências das variações climáticas para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos. Isto tem em vista identificar as possíveis dificuldades que os responsáveis pela sua gestão terão de enfrentar e, finalmente, determinar como se deve modificar a atual gestão e os seus planos estratégicos. O objetivo é avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, de forma a auxiliar atempadamente os responsáveis pela sua gestão e planeamento, para que sejam tomadas as medidas que se impõem com vista a limitar as consequências negativas e a melhorar o aproveitamento dos impactos favoráveis.

Este conjunto de ações designa-se por política de gestão dos recursos hídricos, que irá ser aplicada em menor escala nos planos de gestão de rega (Ribeiro T. , 1994).

Assim, é essencial que, na arte de projetar espaços verdes se encontre um equilíbrio entre o desenho sustentável e a criação de jardins em novos locais. É neste âmbito que os planos de gestão de rega podem contribuir com vista à criação de projetos no sentido da sustentabilidade.

3. ESTADO DA ARTE E CRITÉRIOS DE PLANEAMENTO DA REGA

Nesta fase do plano de gestão de rega são dadas respostas às perguntas fundamentais que estão na base da decisão da rega; “Quando regar?”, “Como regar?” e “Quanto regar?”. Estas questões são respondidas, não só, através da análise dos aspetos ambientais, nomeadamente de fatores como a água, o clima, o solo e a planta, que vão contribuir para a definição de hidrozonas, mas também através do estudo das condicionantes para a instalação de sistemas de rega eficientes.

3.1. ASPETOS AMBIENTAIS

3.1.1. FATOR ÁGUA

A água deve ser analisada na perspetiva da sua quantidade e da sua qualidade. A quantidade de água disponível para a planta é o principal fator ambiental a ter em conta para a decisão de rega e todos os restantes fatores estão direta ou indiretamente relacionados com este. As plantas necessitam de água na medida em que é esta que

transporta os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento celular e crescimento. A água no solo disponível à planta vai mover-se desde a sua raiz até às folhas. Quando esta não é suficiente, é necessário manter uma rega saudável para que a planta não entre em escassez hídrica. A vegetação entra em escassez hídrica quando a quantidade de água disponível no solo é inferior à necessária, ou a evaporação através da superfície das folhas excede a taxa a que a água é transportada da raiz às folhas (Irrisoft Inc., 2004). Com esta situação, a vegetação irá apresentar danos que variam de acordo com a espécie, a idade e a profundidade da raiz, entre outros.

Quando se projeta um espaço verde de raiz é importante estimar quais serão as suas necessidades de água anuais e nos meses de ponta.

Os sistemas de rega são utilizados apenas para a vegetação que pode apresentar necessidades hídricas, e estas devem ser calculadas para que não surjam problemas de excesso. “Nestas condições, a humidade do solo torna-se limitante e surge a necessidade de regar. Para que a rega seja eficiente, esta deve repor, tanto quanto possível, apenas a água necessária para que as plantas tenham o desenvolvimento desejado. Esta precisão implica que haja um bom conhecimento da quantidade de água que deve ser aplicada” (Ribeiro D. , 2009).

Para obter uma medida mais exata da quantidade de água a aplicar, os métodos atuais de cálculo das necessidades de rega têm quase sempre em conta o valor da evapotranspiração e da precipitação. A evapotranspiração, denominada por ET, é o fenómeno através do qual a água é perdida por duas formas. Uma das formas é por evaporação a partir do solo ou da superfície da folha, a outra forma é por transpiração da planta, em que a água sobe, é utilizada e depois eliminada através da folhagem.

Em Portugal para calcular as necessidades de rega, utiliza-se geralmente a metodologia publicada pela FAO, no *Irrigation and Drainage Paper n° 56* (Ribeiro D. , 2009). Daqui resulta:

$$h = ET_C - P_e \quad (1)$$

em que:

- h - Dotação da Rega;
- ET_C - Evapotranspiração Cultural;
- Pe - Precipitação Efetiva;

Esta expressão tem origem no facto de a água no perfil do solo se perder através da evapotranspiração e entrar através da precipitação.

Quanto à precipitação, para calcular as necessidades hídricas da vegetação apenas se tem em conta a precipitação efetiva, pois com efeito, “nem toda a água que resulta da precipitação fica disponível nas plantas; para a estimativa da necessidade de rega terá de ser apenas contabilizada a Precipitação Efetiva (P_e)” (Ribeiro D. , 2009).

A evapotranspiração cultural é influenciada por parâmetros climáticos tais como a humidade relativa, a temperatura do ar, a velocidade do vento, a radiação solar e ainda as características específicas da cultura. Os fatores climáticos e a sua influência no processo de evapotranspiração, juntamente com a precipitação, serão abordados no ponto 3.1.2, Fator Clima

O valor da Evapotranspiração Cultural (ET_C) pode ser obtido através da expressão:

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad (2)$$

em que:

ET_0 - Evapotranspiração de Referência;

K_C - Coeficiente Cultural.

A Evapotranspiração de Referência (ET_0) é a água perdida pelo solo atendendo às condições meteorológicas características, e “define-se como a taxa de evapotranspiração de uma cultura 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 0,23, semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva verde de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água” (Pereira, 2000). Para calcular este valor pode utilizar-se o Método Penman-Monteith, que, por ser demasiado técnico, não será abordado neste trabalho. Se o sistema de controlo da rega for automático ou semi-automático, este irá, muito provavelmente, incluir *software* com um modelo de cálculo do valor da Evapotranspiração de Referência, com base nos dados fornecidos pela estação meteorológica. Por sua vez, o K_C é o fator de correção do ET_0 tendo em conta as características da cultura; “é uma medida que pretende modelar um fenómeno, a perda de água do sistema solo/planta, que varia diariamente e em função de uma grande diversidade de fatores” (Ribeiro D. , 2009). Os valores do Coeficiente Cultural alteram-se de acordo

com as fases de crescimento das plantas; o seu ciclo de vida inclui o estabelecimento, o desenvolvimento e a dormência, e cada uma destas fases possui valores de K_C muito diferentes.

Outro fator importante é a Evapotranspiração de um Espaço Verde (ET_L). Recentemente, para o cálculo de ET_L introduziu-se o conceito de coeficiente de paisagem, K_L , em substituição de K_C . O K_L é um fator de ajustamento adequado a espaços verdes por ter em consideração as características da vegetação, o microclima, a densidade de plantação e a escassez hídrica a que a planta está sujeita (Afonso, 2007). Assim, o K_L pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$K_L = K_V \times K_{MC} \times K_D \times K_{SM} \quad (3)$$

em que:

- K_L - Coeficiente de Paisagem Específico;
- K_V - Coeficiente de Vegetação;
- K_{MC} - Coeficiente Microclimático;
- K_D - Coeficiente de Densidade da Vegetação;
- K_{SM} - Coeficiente de Stress Admitido.

Estes coeficientes são adimensionais e possuem valores de referência que podem ser consultados em anexo neste trabalho (Anexo A: Tabelas A1, A2, A3 e A4). Tal como o valor de K_C é substituído por K_L nos espaços verdes, também a sigla ET_C deverá ser substituída por ET_L . Assim, e tendo em conta a equação (2), a evapotranspiração dos espaços verdes deve ser obtida através da seguinte expressão:

$$ET_L = ET_0 \times K_L \quad (4)$$

A qualidade da água deve também ser tida em conta, devido à sua influência na planta, no solo e ainda no bom funcionamento do sistema de rega.

Em Portugal são frequentemente utilizadas águas provenientes de ETAR's "o que implica não só a existência de um tratamento terciário, como também um rigoroso controlo da qualidade da água. Para além dos investimentos em infraestruturas, o uso de água reciclada implica uma adaptação das práticas de manutenção" (Ribeiro D. , 2009). Após tratamento e

controle, as águas podem ser utilizadas para os mais variados fins, entre os quais a rega de espaços verdes (Palomo, 2003).

A água para rega na cidade apresenta frequentemente problemas devido a valores extremos de pH, ao excesso de sódio e ao excesso de condutividade. Para além disso, ainda se podem encontrar várias impurezas, tais como sal, gás, óleo, metais pesados, ferro, sulfureto e carbonato de cálcio.

Relativamente à quantidade de sal, quando está presente na água em quantidade igual ou superior a 500 ppm, geralmente essa água não se recomenda para rega. Mas se a acumulação de sal for lavada da zona da raiz por rega periódica forte e as plantas forem resistentes às queimaduras do sal, será possível regar com águas muito salinas, podendo a concentração de sal atingir cerca de 800-900 ppm.

De um modo geral, as impurezas da água podem gerar problemas como descoloração da folhagem, paredes e superfícies pavimentadas, corrosão de partes metálicas no sistema de rega e entupimento dos bicos de aspersão (Landphair & Klatt, 1988).

Portanto, em qualquer projeto de espaços verdes é muito importante saber qual a qualidade da água disponível para a rega. O conhecimento profundo do meio hídrico é bastante necessário, tanto para evitar impactos negativos, como para favorecer as medidas que permitem à cidade ganhar um espaço atrativo, jogando com o papel recreativo que a água pode proporcionar a esse espaço, com todo o acompanhamento ecológico e ambiental que comporta (Palomo, 2003).

3.1.2. FATOR CLIMA

Como se verificou na secção anterior, relativamente ao fator água há várias características climáticas, nomeadamente a precipitação, a humidade na atmosfera, a temperatura do ar e a velocidade do vento, que afetam as necessidades hídricas e por conseguinte a decisão no que diz respeito à rega. Logo, pode-se concluir que, perante diferentes condições climáticas, as necessidades de rega também são diferentes

A quantidade e distribuição anual de precipitação têm grande influência nas variações das necessidades hídricas da vegetação, tal como se pode constatar na equação (2). A precipitação efetiva é a quantidade de água proveniente da precipitação que vai estar disponível para as plantas, e esta irá depender da quantidade, intensidade e duração de cada precipitação, assim como do tipo de solo, da sua capacidade para retenção de água e taxa de infiltração, do tipo de planta, da profundidade da sua raiz e da quantidade de água disponível na zona da raiz antes da chuvada (Irrisoft Inc., 2004).

A humidade atmosférica irá afetar as necessidades hídricas da planta através da sua influência no processo de evapotranspiração. Em locais com uma humidade do ar reduzida, ou seja, em ambientes secos, a evapotranspiração será maior do que em ambientes húmidos, isto porque em condições secas é maior o défice de pressão de vapor.

Relativamente à temperatura do ar, esta irá exercer influência sobre a evapotranspiração, porque o ar aquecido próximo das plantas e do solo transfere energia na forma de fluxo de calor sensível, provocando o aumento da taxa de evapotranspiração. Portanto, quanto maior for a temperatura do ar maior será a taxa de evapotranspiração e, por conseguinte, maiores serão as necessidades hídricas das plantas.

Os danos na vegetação como consequência de uma baixa temperatura ambiente “depende da idade das plantas, variedade, natureza do solo, etc. É necessário ter em conta a sensibilidade das espécies no momento de efetuar as plantações” (Brochard, 1999). Uma vez que um vegetal é, na sua maioria, composto por água, o frio tem uma ação destrutiva sobre ele e pode gelar as suas células sendo a causa da sua morte. Assim, é essencial ter conhecimento de quais são as condições extremas de frio no local, não só para selecionar a vegetação, mas também para selecionar o tipo de sistema de rega, pois este, tal como as plantas, pode sofrer danos irreversíveis devido ao frio, especialmente se for de plástico, pois há partes do sistema que podem congelar e estragar o equipamento. Logo, se estivermos num local onde possam ser alcançados valores de temperatura muito baixos, o material de rega terá de ser bastante resistente ao frio. Obviamente, em situações de frio extremo, a opção deve geralmente recair sobre a interrupção da rega.

Tal como acontece com as baixas temperaturas, as elevadas temperaturas também podem afetar negativamente a vegetação e os sistemas de rega. No caso da vegetação, geralmente uma rega adequada pode resolver o problema; mesmo assim há algumas exceções em que os danos provocados pelo excesso de calor são tais que se tornam irreversíveis. Por exemplo, nas árvores da cidade, “a reverberação do calor produzida pelo asfalto ou por superfícies revestidas produz um efeito sobre a árvore de desfoliações intensas” (Miller, 2006), uma alteração que frequentemente nem a rega poderá reverter. Deve-se também evitar semear em período de secura. Os períodos mais aconselháveis para as plantações e sementeiras são os meses de Primavera e de Outono. No caso específico do relvado, este “deve ser semeado quatro semanas a um mês e meio antes de entrar num período de seca ou de grandes frios” (Brochard, 1999).

Quanto ao sistema de rega, o calor pode afetá-lo ao nível das tubagens; como já foi referido, estas são frequentemente feitas de material plástico, muito sensível à radiação

ultravioleta, podendo expandir dramaticamente com o aumento das temperaturas ou até mesmo derreter, em casos extremos. Por esta razão, muitas tubagens são marcadas para não serem utilizadas à superfície, mas atualmente existem novos polímeros que não apresentam estes problemas e, assim sendo, os tubos podem ser colocados à superfície, à mercê do sol. Assim, é importante ter conhecimentos de quais as temperaturas extremas do local quando se seleciona o material do sistema de rega a implementar (Landphair & Klatt, 1988).

Um efeito importante na evapotranspiração das plantas é a velocidade do vento, pois o deslocamento das parcelas de ar mais húmidas encontradas na camada limite superficial faz com que as plantas percam a água mais rapidamente, aumentando assim a sua taxa de evapotranspiração e, conseqüentemente, aumentando as necessidades hídricas da vegetação sujeita à ação do vento.

O efeito do vento pode ser combatido de várias formas; poderá ser amenizado através de barreiras que protejam as zonas mais sensíveis, por diferentes métodos de modelar o terreno e com a própria programação da rega (Ribeiro D. , 2009). A nível da conceção do sistema de rega, também várias medidas podem ser tomadas para compensar as condições ventosas: os espaçamentos podem ser mais próximos; os emissores podem utilizar ângulos de pequenas trajetórias; e podem ser utilizados dispositivos e pressões de operação que possibilitem a formação de gotículas maiores, uma vez que as mais pequenas podem ser facilmente eliminadas (Irrisoft Inc., 2004). Este assunto será mais aprofundado na secção 3.4, relativa à eficiência e uniformidade de distribuição dos sistemas de rega.

A quantidade de radiação solar a que uma planta está exposta tem influência na taxa de evapotranspiração e, conseqüentemente, na quantidade de água de que necessitará. O Sol é a fonte primária de energia para o processo de evaporação, e a incidência da sua radiação irá variar de acordo com a latitude, clima e estação do ano. No entanto, a radiação solar é um fator limitante do processo de transpiração das plantas, uma vez que, durante a insolação, os valores de transpiração serão muito reduzidos nestas horas. Porém, pode dizer-se que quanto maior for a radiação solar a que a planta está exposta, maior será a taxa de evapotranspiração, logo maiores as suas necessidades hídricas.

Os fatores físicos tais como a topografia, o relevo ou a altitude vão influenciar as condições climáticas locais, podendo dar origem a microclimas, “tais como: ensombramentos nas áreas viradas a Norte, criação de bolsas de ar frio, alteração de ventos locais” (Brízida, 2010), entre outros. Portanto, é necessário fazer uma análise profunda do

local do projeto, de modo a prevenir eventuais circunstâncias que possam alterar as necessidades hídricas, por se desviarem das condições climáticas previstas.

3.1.3. FATOR SOLO

Na análise do solo com vista à decisão de rega devem ser consideradas características tais como a sua textura, estrutura, profundidade, arejamento, capacidade de retenção da água, taxa de infiltração; e ainda fatores como o seu pH e salinidade.

O solo pode ser constituído maioritariamente por areia, limo ou argila, resultando numa textura grosseira, média ou fina, respetivamente. A estrutura do solo, por sua vez, é determinada pela forma como as diferentes partículas se arranjam umas em relação às outras, como resultado de fatores de ordem natural, química e humana, podendo a estrutura do solo ser do tipo laminar, prismática, colunar, anisoforme anguloso, anisoforme sub-anguloso, granuloso e grumoso (Costa, 2004).

A profundidade dos solos é um parâmetro muito importante a ter em conta em vários momentos do planeamento de um espaço verde, tal como o da escolha da vegetação, pois, quando a profundidade do solo é muito reduzida e não cumpre os requisitos mínimos, as raízes das plantas não se conseguirão desenvolver convenientemente. No caso dos relvados, “a altura média ideal da terra para obter excelentes resultados deve ser de 15 a 20 *cm*. Se for menos espessa, a camada não permitirá um enraizamento profundo e o relvado ficará bem mais sensível às variações climáticas, ao calor e ao frio” (Brochard, 1999).

Considerando que, no solo, a água e o ar ocupam os mesmos espaços, e ambos são vitais para a sobrevivência da vegetação, é “necessário manter um equilíbrio em que água e ar estejam presentes em quantidades suficientes” (Irrisoft Inc., 2004). Portanto, tem de haver espaço ocupado por oxigénio e espaço ocupado por água. Quando 100% do espaço poroso é ocupado por água e todo o oxigénio é eliminado, estamos perante uma situação de saturação. No sentido oposto, quando a quantidade de água no solo é de tal modo reduzida que a maioria das plantas não pode extrair a água suficiente para prevenir danos, a maioria do espaço poroso é ocupado por ar (Irrisoft Inc., 2004).

O solo, enquanto reservatório de água, tem uma capacidade de armazenamento que obriga a conhecer o potencial de retenção de água. A sua textura é importante para determinar a quantidade de água que pode ser armazenada, na medida em que o solo absorve a água como uma esponja, e diferentes tipos retêm diferentes quantidades de água. Assim, os solos de textura fina são, geralmente, os que armazenam uma maior quantidade de água, e os de textura grosseira são os que retêm menos água (Amwua, 2005). Outros fatores

afetam a capacidade que um solo tem de reter água: quando o solo apresenta conteúdo orgânico, a capacidade de retenção aumenta em 10%; quando há condições rochosas a capacidade de retenção diminui em 70%; e, ainda, quando há compactação as capacidades de retenção diminuem em 20% (Irrisoft Inc., 2004)

A textura do solo também influencia a infiltração de água, nomeadamente a duração da infiltração e a forma como esta se infiltra, tal como é exemplificado na figura seguinte.

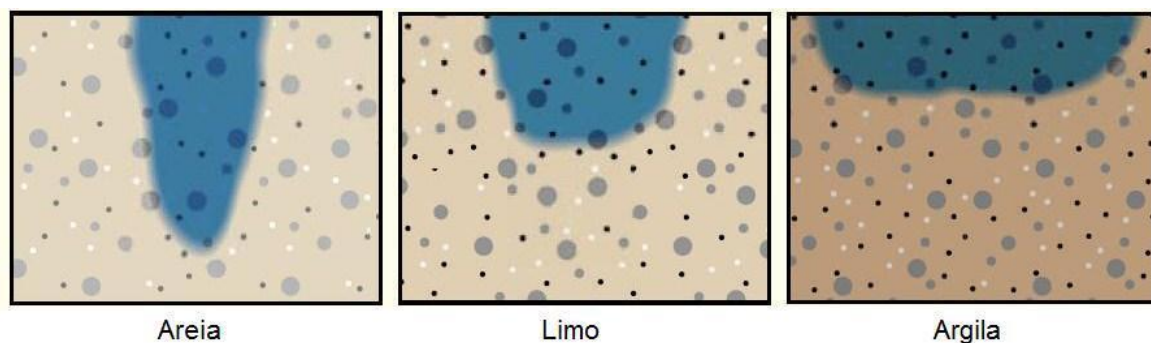


Figura 3: Exemplo de infiltração da água para diferentes tipos de solo (Amwua, 2005).

A tabela seguinte fornece valores concretos que relacionam a extensão de água à superfície com a profundidade do perfil molhado.

Tabela 2: Extensão de água na superfície, em cm, necessária para molhar o solo a uma determinada profundidade (Landphair & Klatt, 1988).

Profundidade do perfil regado (cm)	Extensão de água necessária por tipo de solo		
	Areia	Limo	Argila
15	1,00	2,30	3,30
30	2,30	4,60	6,60
45	3,30	7,10	10,20
60	4,30	8,90	13,00
75	5,10	10,70	16,00
90	6,10	12,40	18,50

Pode constatar-se que, nos solos arenosos, a água infiltra-se facilmente, logo estes solos requerem menos água para irrigar a área da raiz. Contudo, a água não será retida durante muito tempo. Assim, nos solos arenosos será fornecida menos água por rega, mas as regas serão mais frequentes.

No caso dos solos argilosos, a taxa de infiltração é menor, portanto estes solos requerem mais água para irrigar a zona da raiz, mas retêm-na durante mais tempo. Logo, estamos perante uma situação contrária à anterior, em que a quantidade de água aplicada por rega será maior, mas as regas menos frequentes. No caso de solos limosos a situação será uma combinação das duas anteriores (Amwua, 2005).

A água, ao entrar no solo, movimenta-se para baixo devido à força da gravidade e movimenta-se também lateralmente e para cima devido à força capilar. Portanto, quando a água entra no solo movimenta-se em todas as direções. A textura do solo irá influenciar o movimento da água. Em solos arenosos a água movimenta-se igualmente através de força gravitacional e capilar, podendo considerar-se que, geralmente, se movimenta numa relação 1:1. Nos solos limosos, por sua vez, a água movimenta-se maioritariamente através de força capilar, num rácio que se pode considerar de 2:1. Por fim, nos solos argilosos, a água movimenta-se essencialmente através de força capilar, numa razão de 4:1. Esta situação é exemplificada na figura seguinte.

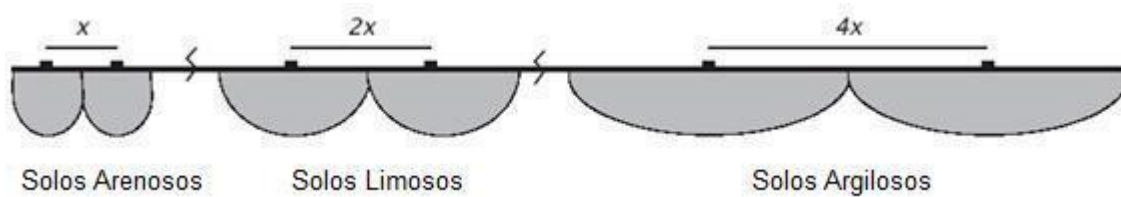


Figura 4: Movimento da água consoante a textura do solo (Irrisoft Inc., 2004).

Para além da textura do solo, outro fator importante na estimativa da taxa de infiltração é o declive. Geralmente, quanto maior for o declive de um solo menor é a taxa de infiltração, porque a água tem mais facilidade em movimentar-se pela superfície do que pelo perfil do solo (Landphair & Klatt, 1988).

A tabela seguinte exemplifica como a quantidade de água aplicada, isto é, a taxa de aplicação (mm/h), varia de acordo com os declives e também consoante o perfil e textura do solo.

Tabela 3: Taxa máxima de aplicação de água de acordo com o declive, perfil e textura do solo (Pacheco, 2009).

Perfil e textura do solo	Taxa máxima de aplicação (mm/h)			
	Declive			
	0-5%	5-8%	8-12%	12-16%
Solo arenoso até 1,8 m	50	38	25	13
Solo arenoso sobre horizontes mais compactos	38	25	19	10
Solo areno-limoso até 1,8 m	25	20	15	10
Solo areno-limoso sobre horizonte compacto	19	13	10	8
Solo franco-limoso até 1,8 m	13	10	8	5
Solo franco-limoso sobre horizontes mais compactos	8	6	4	2,5
Solos argilosos ou argilo-limosos	4	2,5	2	1,5

A taxa de aplicação (TA) é definida pela necessidade de rega ou, como referido no ponto 3.1.1, pela dotação da rega (h), e também pela rapidez de aplicação, isto é, o tempo de rega, $Tr(h)$ adequado.

$$TA(mm/h) = \frac{h(mm)}{Tr(h)} \quad (5)$$

A taxa de aplicação e o número de regas necessárias serão escolhidos com base na taxa de infiltração. A taxa de aplicação não deve ultrapassar a taxa de infiltração pois, caso contrário, a água vai acumular-se à superfície, havendo perdas por escorrimento e erosão do solo (Pacheco, 2009). Também se deve ter em conta que a condutividade hidráulica varia ao longo do período em que a água é aplicada, ficando a entrada de água no solo mais lenta com o avançar da rega (Lion, 1991). Portanto, para se ter uma rega eficiente é necessário ter em conta as variações nas capacidades de infiltração do solo (Irrisoft Inc., 2004).

A capacidade de infiltração de água no solo está relacionada com a capacidade de campo. A capacidade de campo é a quantidade de água que um solo armazena depois do período de drenagem gravitacional que ocorre um a três dias após uma rega ou chuvas fortes que provoquem a saturação do solo (Figura 5).

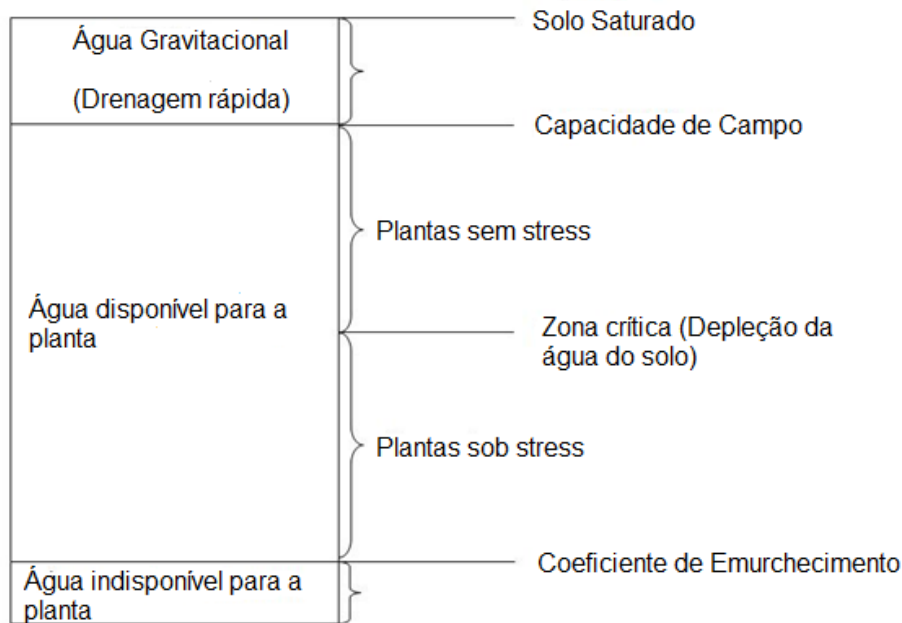


Figura 5: Condições do Solo (adaptado de: Afonso, 2007).

A capacidade de campo é o limite superior de teor de água no solo, e o coeficiente de emurchecimento é o limite inferior de teor de água no solo. Quando “a quantidade de água retida no solo está abaixo do coeficiente de emurchecimento as plantas começam a murchar e já não recuperam pois não conseguem retirar água do solo” (Afonso, 2007).

Assim, a percentagem de água no solo disponível para a planta é a quantidade de água entre os limites da capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento. No entanto, deverá ser aplicada água na zona radicular assim que seja atingido o grau de depleção, que se trata do limite abaixo do qual a planta sente escassez hídrica para além do aceitável em termos de gestão. Portanto, a percentagem de água no solo entre a capacidade de campo e a depleção permitida corresponde à quantidade de água que é realmente permitido à planta extrair.

Na maior parte dos solos, a quantidade de água retida e disponível para a planta é cerca de 5 a 10% do solo húmido, aproximando-se mais dos 10% no caso dos argilosos e dos 5% para arenosos (Landphair & Klatt, 1988).

Quanto ao pH do solo, o ideal é que seja neutro, porque permite semear tudo sem dificuldade.

Muito frequentemente, uma consulta do mapa de solos pode não ser suficiente para conhecermos o solo com que estamos a lidar, especialmente com mapa de solos nas cidades, uma vez que se trata de meios heterogéneos e alterados (Miller, 2006). Os solos

das cidades são constantemente alvo de ações humanas e há diferenças notáveis entre as propriedades físicas de um solo não alterado e aquele que é fruto da acumulação e depósito, sobretudo na densidade, que aumenta, de um modo geral, em todos os horizontes. Como o crescimento das plantas está diretamente relacionado com a porosidade do subsolo que, por sua vez, influencia a permeabilidade à água, pode concluir-se que, nos solos citadinos, será necessário aumentar o número de regas e a quantidade de água aplicada (Palomo, 2003).

A urbanização nas cidades obriga à utilização de telas e cimentos que provocam, como efeito geral, uma descida do nível da capa freática do terreno, em especial devido ao obstáculo constituído pelas telas e cimentos ao movimento das águas subterrâneas, o que irá influenciar a intensidade e frequência das regas em espaço urbano.

O nível de degradação dos solos está dependente não só das propriedades físicas dos próprios solos, mas também do uso a que estão sujeitos (Palomo, 2003).

Portanto, as diferentes propriedades físicas de um solo são determinantes para definir as suas aptidões. Com base no quadro de *Bullock e Gregory* (Tabela 4) pode ver-se a relação entre o uso que se pretende para os solos e as características que se recomenda que estes possuam.

Tabela 4: Relação entre as características do solo e os seus usos (Palomo, 2003).

Aplicações	Requisitos
1. Áreas de jogo	A, B, C
2. Terreno de Passeio	B, D
3. Jardins	C
4. Terras recuperadas para passeio	C, D
5. Área disponível para efluentes	A, D ⁶

	Propriedades físicas relevantes
A – Drenagem	Hidrologia local, condutividade, hidráulica saturada e, portanto, estrutura do solo.
B – Capacidade de carga em sustentação	Resistência à penetração, densidade em volume, compatibilidade, conteúdo em água/potencial como possível para jogos, capacidade drenante e número de dias de jogos possíveis.
C – Substrato para crescimento de plantas	Situação de drenagem, capacidade de ar, capacidade de água disponível, capacidade em volume, estrutura e/ou resistência à penetração.
D – Liberdade para erosão e escorrência	Infiltração, drenagem, estabilidade estrutural (tipo de cobertura da vegetação).

3.1.4. FATOR PLANTA

A vegetação é essencial em qualquer zona verde, “dentro dos elementos que configuram um espaço verde ordenado - o elemento vegetal, a água, os pavimentos e desníveis, o mobiliário, como por exemplo bancos e esculturas - o mais relevante é o elemento vegetal sendo o de mais difícil tratamento num projeto de jardinagem, dado se tratar de um elemento vivo, é o que apresenta resultados mais surpreendentes e é a própria natureza que decide o resultado final” (Miller, 2006).

O conhecimento ao nível das propriedades das plantas é muito importante, pois “ajudar-nos-á a utilizá-las adequadamente, não apenas do ponto de vista da sua biologia, mas também da sua combinação e harmonia, tanto entre elas como com os diversos elementos arquitetónicos que as rodeiam” (Miller, 2006).

Assim, para selecionar a vegetação de determinado espaço verde, devem ser tidos em conta critérios ambientais e paisagísticos. Nos critérios ambientais temos a adaptação às condições climáticas, os tipos de solos, os requisitos hídricos, cuidados com doenças e pragas e a poluição. Nos critérios paisagísticos, consideram-se o porte e forma, a taxa de crescimento e desenvolvimento, e a textura.

Estes critérios têm em vista um espaço verde esteticamente agradável, económico e sustentável, sobretudo do ponto de vista dos consumos de recursos hídricos. Por se tratar de um elemento vivo, a manutenção da vegetação assume uma grande importância e é necessário ter grandes cuidados com ela, pois quando é realizada incorretamente pode alterar por completo a tipologia do jardim projetado, dando origem a gastos desnecessários e provocando assim consumos de água e energia para além do nível sustentável. A correta decisão de rega é um dos fatores mais importantes para que estas situações não se verifiquem e haja uma adequada manutenção da vegetação. Para tal, é necessário compreender os critérios ambientais que foram a base da decisão acerca das plantas a colocar, e ainda ter conhecimento dos critérios paisagísticos, pois estes servirão de guia para avaliar se os objetivos de qualidade estética do projeto estão a ser atingidos. Alguns parâmetros climáticos que devem ser considerados para a escolha do material vegetal são: a temperatura do ar, a radiação solar e a velocidade do vento.

A temperatura do ar pode dar origem à distinção entre dois tipos de vegetação: a resistente a elevadas temperaturas e a resistente às baixas temperaturas.

Relativamente à radiação solar, a vegetação pode ser dividida em plantas de Sol, de Sombra e de Meia-sombra, tal como é exemplificado na Tabela 5, que assinala também o número de horas de insolação adequado para cada uma destas plantas. Nos espaços verdes

urbanos a quantidade de radiação disponível varia grandemente. Vai depender da direção e localização da plantação, assim como do bloqueio que as estruturas e árvores mais altas fazem da plantação.

No caso específico dos relvados, estes são considerados plantas de Sol e de Meia-sombra (Verde Parcela, 2000).

Tabela 5: Número de horas de Sol consoante os diferentes tipos de plantas (Brízida, 2010).

Plantas	Número de horas de Sol
Sol	6 a 7
Meia-sombra	3 a 6
Sombra	Menos de 3

Quanto à velocidade do vento, frequentemente as plantas são prejudicadas por razões físicas ou biológicas, resultantes da influência deste fator. Devem ser selecionadas, de preferência, espécies resistentes a ventos fortes. No caso dos relvados, por exemplo, o vento influencia fortemente a evapotranspiração.

Os requisitos hídricos da vegetação são definidos por várias características das plantas, nomeadamente pelo seu sistema radicular, em particular pela profundidade das suas raízes, uma vez que as plantas extraem as suas necessidades de água através da zona da raiz. Logo, quanto maior for a profundidade radicular mais água armazenada no solo irá estar disponível para o uso da planta. As raízes mais profundas têm vários benefícios: os relvados são mais resistentes à seca requerem regas menos frequentes, têm menor consumo de água, são mais saudáveis e aproveitam melhor as fertilizações (Silva, Correia, Pais, Silva, & Tenreiro, 2009).

Desta análise, pode concluir-se que o conhecimento das raízes da planta é essencial para determinar qual a frequência adequada entre regas, de modo a evitar a escassez hídrica da vegetação (Amwua, 2005) e até que profundidade se deverá regar. As plantas serão mais saudáveis se toda a área da raiz ficar completamente molhada de cada vez que se rega (Pacheco, 2009).

Como refere Landphair & Klatt (1988), a profundidade a que se deve regar depende de espécie para espécie:

- 20 a 45 *cm* para relvados e herbáceas, em média 30 *cm*;
- 45 a 90 *cm* para arbustos, em média 60 *cm*;
- 90 *cm* para pequenas árvores;
- 120 *cm* para grandes árvores.

Portanto, uma grande árvore precisa de mais água do que uma pequena herbácea porque tem uma zona de enraizamento maior. A Figura 6 exemplifica esta situação.

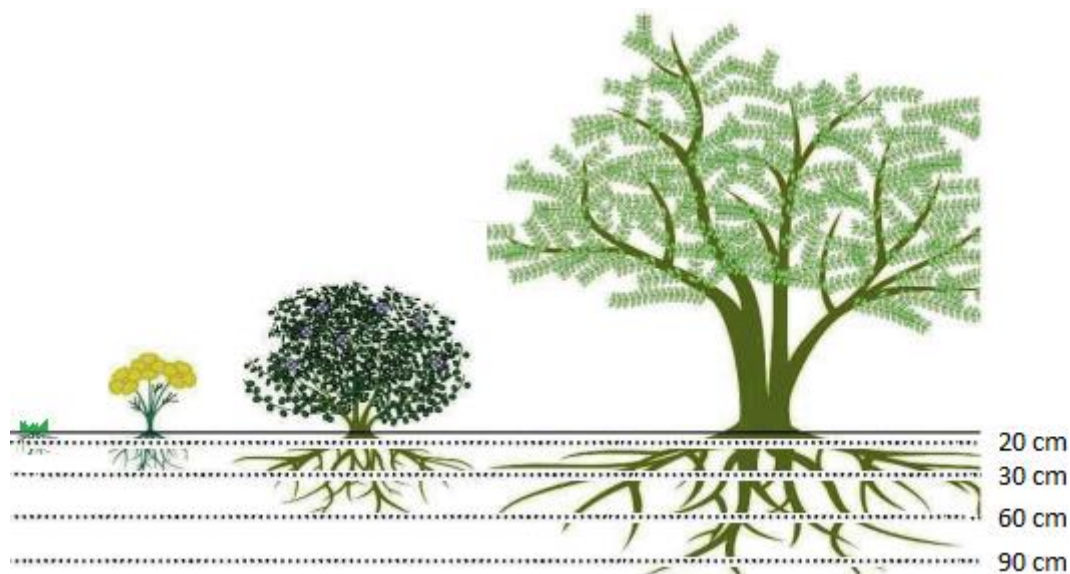


Figura 6: Sugestão de profundidade a que o solo deve ser molhado (adaptado de Amwua, 2005).

Para pequenas plantas, como por exemplo a relva, a dotação da rega será menor mas a frequência de regas poderá ser maior, uma vez que o solo e as raízes na zona de enraizamento criam, de certa forma, um tanque de armazenamento de água (Amwua, 2005).

A frequência das regas também depende do nível de estabilização do sistema de raízes das plantas e, portanto, do estado de desenvolvimento em que a vegetação se encontra; em média, o desenvolvimento de um sistema de raízes de um relvado leva cerca de 9 a 12 meses (Design Nature, 2012).

O sistema radicular é também importante para definir em que local se deve colocar os emissores de rega, uma vez que, depois de se estabelecerem, a maioria das raízes de

absorção estão localizadas no alinhamento da circunferência exterior da parte de cima da planta e não perto do caule ou tronco (Amwua, 2005). Logo, os emissores devem ser concentrados ao longo do alinhamento da copa de cada árvore, e não perto do tronco, pois assim as raízes correm o risco de apodrecer. A água vai espalhar-se para baixo de forma horizontal enquanto é absorvida pelo solo, alcançando toda a zona de raízes, como se pode verificar na figura seguinte.

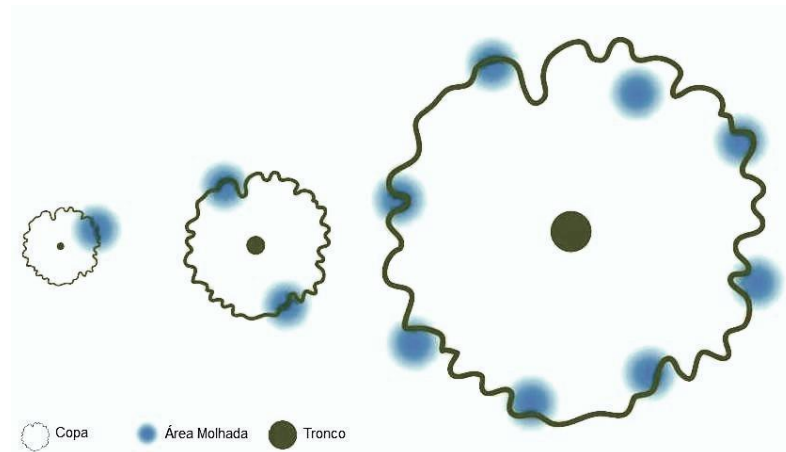


Figura 7: Colocação adequada dos emissores de acordo com o raio da copa da árvore (Amwua, 2005).

Os requisitos hídricos são um dos fatores mais importantes para a escolha da distribuição do material vegetal num projeto de jardins; são tidos em conta não só na perspectiva da seleção da planta, se esta é resistente às deficiências hídricas, mas também para que a vegetação seja agrupada por semelhantes necessidades de água, com vista à otimização dos recursos hídricos.

As plantas com baixos requisitos hídricos são apropriadas para locais de elevadas temperaturas e sensíveis ao frio, enquanto as plantas de grandes exigências hídricas são as mais adequadas a baixas temperaturas e sensíveis ao calor (Silva, Correia, Pais, Silva, & Tenreiro, 2009).

Na Tabela 6 está exemplificada a resistência ao calor e ao frio de algumas das espécies de relvados mais utilizadas no nosso país, podendo verificar-se a estreita relação com a tolerância às deficiências hídricas.

Tabela 6: Resistência de alguns relvados à secura e ao frio (adaptado de Brochard, 1999).

	Resistência à secura	Resistência ao frio
<i>Agrotis</i>	Fraca	Média
<i>Festuca rubra</i>	Média	Média
<i>Festuca glauca</i>	Boa	Boa
<i>Festuca arundinacea</i>	Boa	Boa
<i>Poa spp.</i>	Média	Média
<i>Cynodon dactylon</i>	Boa	Boa
<i>Paspalum vaginatum</i>	Boa	Boa

Por exemplo, as *Agrotis spp.* “são espécies muito finas que dão um resultado muito estético. Além disso, são plantas rasteiras de cobertura do solo que têm tendência a multiplicar-se, ramificando-se e cobrindo rapidamente o solo. No entanto, estas plantas necessitam de regas frequentes” (Brochard, 1999). Pode optar-se, entre outras, pela agróstide-ténue (*Agrostide tenuis*) ou pela erva-fina (*Agrostis stolonifera*).

As *Poa spp.*, que são geralmente integradas nas composições que se fazem para relvados, são plantas de crescimento médio que “permanecem verdes quase todo o ano”. De salientar que é necessário ter cuidado pois estas não se desenvolvem adequadamente em solos muito secos.

O *Cynodon dactylon* é das poucas espécies de folha estreita que só se tornam ligeiramente amarelas no inverno e se comportam adequadamente durante as restantes estações. As distintas reações da vegetação à temperatura estão relacionadas com "características bioquímicas e anatómicas associadas ao tipo de metabolismo fotossintético C3 e C4. A designação de fotossíntese em C3 resulta do facto de, nesse tipo de metabolismo, a energia da luz ser utilizada para reduzir o CO₂ a compostos orgânicos com 3 átomos de carbono, enquanto na fotossíntese C4 forma-se um ácido com 4 carbonos” (Silva, Correia, Pais, Silva, & Tenreiro, 2009). As plantas mais sensíveis ao calor têm um metabolismo fotossintético do tipo C3 enquanto as mais resistentes têm um metabolismo do tipo C4.

Por norma as plantas tolerantes à deficiência hídrica são mais eficientes na utilização da água, “embora uma maior eficiência do uso de água não signifique necessariamente uma maior resistência à secura, tende a ser essa a situação” (Silva, Correia, Pais, Silva, & Tenreiro, 2009).

Outro parâmetro climático que irá influenciar os requisitos hídricos da planta é a radiação solar a que a vegetação está exposta. Portanto, conhecidas as necessidades de sol ou de

sombra da planta, sabe-se, que de acordo com a Tabela 5, as plantas de Sombra devem receber menos de 3 horas de Sol por dia, são assim as que mais precisam de água. Pelo contrário, as plantas de sol, que devem receber entre 6 a 7 horas de Sol por dia, são mais tolerantes à deficiência hídrica.

Podemos concluir que as variações nas necessidades de água das plantas ao longo do ano, para a cidade do Porto, na localização em estudo, variam de acordo com o que é demonstrado na Figura 8.

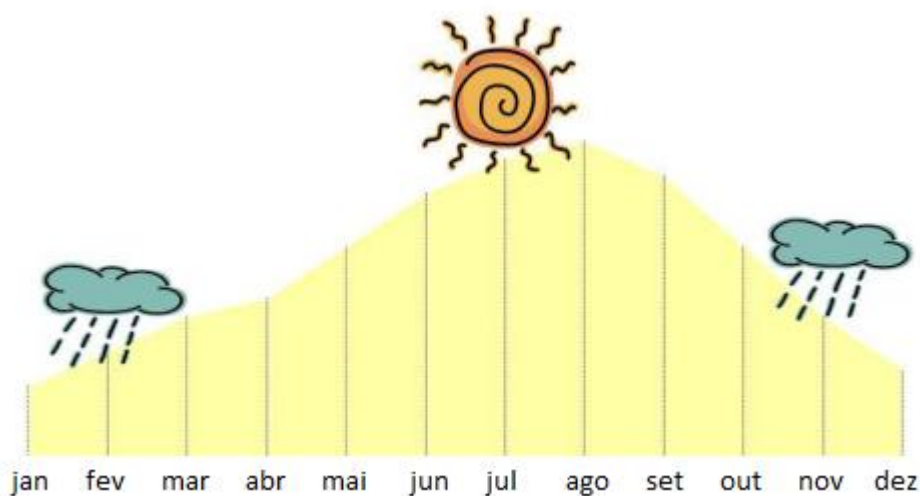


Figura 8: Variações das necessidades de água das plantas ao longo do ano para a cidade do Porto (Amwua, 2005).

Verifica-se, assim, que o pico das necessidades hídricas tem lugar nos meses de julho/agosto, e as mínimas necessidades de rega verificam-se em dezembro/janeiro.

Como já foi referido anteriormente, na equação 4, para saber qual a quantidade de água de que as plantas necessitam é essencial ter conhecimento de qual o valor da evapotranspiração associado à vegetação em causa. De um modo geral, podem considerar-se os valores da Tabela 7, que se referem ao valor da evapotranspiração para os meses de pico de crescimento (*mm/dia*).

Tabela 7: Evapotranspiração nos meses de pico de crescimento para diferentes tipos de plantas, em zonas temperadas e em zonas quentes (Landphair & Klatt, 1988).

Tipo de Planta	Zona Temperada	Zona Quente
Relvado	4	6
Herbáceas Anuais	4	5
Pequenos Arbustos	4	5
Grandes Arbustos	5	6
Pequenas Árvores	5	8
Grandes Árvores	6	9

Numa perspetiva geral os relvados criados com vista à prática desportiva possuem necessidades de rega muito superiores a relvados de jardim públicos ou privados. Isto verifica-se porque o aumento do uso do relvado, associado a outros fatores, pode levar a um aumento da percentagem de calvas e, conseqüentemente, a recuperação do relvado vai dar origem a um aumento das necessidades de rega (Brízida, 2010).

Por forma a concluirmos o que foi referido nas secções anteriores, pode referir-se que o solo é um reservatório que retém água e as características do solo afetam as suas capacidades de retenção. A água retida no solo é captada através das raízes das plantas, e a quantidade de água que é evaporada depende das condições climáticas e do tipo de planta. A decisão de rega está, assim, dependente da relação Solo – Água – Planta.

3.1.5. HIDROZONAS

Com base nos fatores ambientais podem caracterizar-se zonas com diferentes necessidades hídricas no espaço verde, chamadas hidrozonas. Esta caracterização terá em conta os fatores que afetam a necessidade de água pela planta (tipo de planta, exposição ao sol e vento, tipo e grau de utilização, etc.) e os que afetam a reposição e disponibilidade de água para a planta (tipo de solo, modelação do terreno, etc.). Assim, a definição de hidrozonas terá como base as estimativas de necessidades de rega. O objetivo é identificar zonas homogêneas que se preveja que tenham necessidades semelhantes, e às quais vão estar associados dispositivos de rega (assunto que será desenvolvido na secção 3.2). No entanto, é importante referir que “o conceito de setor de rega é distinto do de hidrozona, uma vez que uma hidrozona pode conter vários setores” (Afonso, 2007).

No desenvolvimento de planos de rega eficientes em jardins, para além dos fatores ambientais, a delimitação de hidrozonas também deverá ter em conta, por exemplo, a qualidade visual que se pretende para a zona.

As hidrozonas são delineadas numa perspectiva de sustentabilidade, logo, não devem existir em grande número, pois necessitam de um esforço de monitorização e avaliação, e as vantagens que provêm da existência de um número elevado de zonas não compensam o esforço.

3.2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REGA

Neste trabalho apenas serão dadas algumas noções básicas uma vez que existem documentos de referência na área da rega onde estes assuntos são estudados ao pormenor devido à grande importância do bom funcionamento dos sistemas de rega para a adequada gestão da rega de um jardim.

Na secção anterior abordaram-se os fatores que determinam as necessidades de rega, concluindo-se que, caso seja aplicada mais água do que a necessária, há desperdício de água, o que, para além dos efeitos provocados no ambiente, pode afetar não só a saúde mas também a qualidade da planta. No sentido oposto, se não for aplicada água suficiente as plantas podem murchar irreversivelmente. Portanto, para manter um jardim saudável, é importante compreender o modo de funcionamento do sistema de rega (Irrisoft Inc., 2004). Os sistemas de rega podem funcionar por gravidade, sulcos, canteiros, faixas, entre outros, ou sob pressão. Neste trabalho vão ser brevemente analisados os sistemas de rega sob pressão, por se tratar dos dispositivos de rega utilizados atualmente nos jardins do ISEP. Todos os sistemas são constituídos por três subsistemas: o de fornecimento de água, entrega e distribuição que vão ser caracterizados nas secções 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4, respetivamente.

3.2.1. CONCEITO BASE

Primeiro serão lembrados alguns conceitos aplicados à rega para uma melhor compreensão das secções que se seguem.

Pressão (P) - é a força que exerce uma coluna de água sob uma superfície. É habitualmente medida em kg/cm^2 , bar ou kPa .

$$P = \frac{Força}{Área} \quad (6)$$

Caudal (Q) - é o volume de fluido que circula numa conduta por unidade de tempo. O caudal está dependente, essencialmente, da alimentação (bomba, se for o caso), do diâmetro e da rugosidade da conduta. É medido em m^3/h ou l/h .

$$Q = \frac{Volume}{Tempo} \quad (7)$$

Velocidade (V) - é a distância que a água percorre por unidade de tempo. A velocidade irá depender do caudal e da área da secção em que água está a correr. É normalmente medida em m/s .

$$V = \frac{Caudal}{Secção} \quad (8)$$

3.2.2. SISTEMAS DE FORNECIMENTO DE ÁGUA

Há três tipos de sistemas de fornecimento de água: o fornecimento de água municipal, os poços/furos e os reservatórios. Destes três, o mais utilizado é o sistema de fornecimento de água municipal, ou seja, o sistema público de distribuição de água. Este sistema geralmente requer a criação de uma ligação direta à fonte principal e a instalação de um novo contador de água utilizado para controlar as taxas do serviço de esgoto.

Os principais fatores que se devem ter em conta quando se utiliza o sistema de fornecimento de água da cidade são o caudal da água disponível e a sua pressão. Relativamente ao volume de água disponível, este será determinado pelas dimensões da fonte que fornece o serviço e do contador. Quanto à pressão disponível num contador de água, a mesma pode variar numa grande amplitude e depende de todos os tipos de variáveis do sistema. Na maioria dos casos, a pressão durante a noite é significativamente

maior, uma vez que é o período de menor utilização da água; no entanto, estes aumentos de pressão noturnos podem revelar-se excessivos para a prática da rega, em particular para a rega localizada. No entanto, a situação mais frequente é que a pressão proveniente do sistema de fornecimento de água municipal não seja suficiente para o funcionamento dos emissores, o que faz com que haja necessidade de utilizar bombas e/ou sistemas de pressurização, mas geralmente as bombas são suficientes.

Os poços/furos e os reservatórios são os outros sistemas de fornecimento de água para além dos sistemas municipais. Quanto aos poços/furos, a sua utilização muitas vezes não é a escolha mais adequada, pois os gastos na sua abertura podem ser muito elevados, não se justificando o investimento. Os reservatórios podem ser naturais, feitos pelo homem, ou até reservatórios específicos utilizados para armazenar águas das chuvas ou a água que sobra do tratamento das plantas. Tal como para os sistemas de fornecimento de água municipal, também os poços e os reservatórios necessitam de bombas para que a água chegue ao sistema de entrega e daqui até aos emissores.

A decisão de escolha das bombas depende da profundidade a que se encontra a água, do volume de água que o sistema de rega requer, da altura manométrica (pressão) exigida pelo sistema de rega e da qualidade da água. Em Portugal, a grande maioria das bombas utilizadas são centrífugas, em virtude da sua “maior duração, simplicidade de funcionamento e reduzidas despesas de conservação” (Raposo J. , 1994a). Por exemplo, no caso dos poços/furos são utilizadas bombas submersas com vários andares (bombas em série), que normalmente vão fornecer água sob pressão a um balão hidropressor, que controla um dado volume de água a ser libertado dentro de determinados limites de pressão. Mas este balão hidropressor não injeta pressão, sendo esta proveniente apenas da bomba (Landphair & Klatt, 1988).

3.2.3. SISTEMA DE ENTREGA

O sistema de entrega é composto por uma rede de tubagens primárias e secundárias com válvulas. Este sistema irá movimentar a água através da pressão, desde os fornecedores até aos componentes distribuidores de água (Landphair & Klatt, 1988). Relativamente às tubagens é aconselhável que a velocidade da água quando as percorre não seja superior a 1,5 *m/s*, pois uma velocidade superior provoca choques excessivos entre partículas e consequentemente origina grandes perdas de carga, podendo também danificar a tubagem. Caso sejam velocidades muito baixas podem apresentar o inconveniente de originar depósitos sólidos nas zonas baixas da tubagem. As tubagens podem ser de vários materiais,

nomeadamente de polímeros. Um dos mais frequentes é o policloreto de vinilo (PVC), mas ultimamente a sua utilização tem diminuído e tem vindo a aumentar o uso de polietileno de alta densidade (PE), especialmente na rega localizada em que praticamente só se utiliza o PE. Podem aconselhar-se os seguintes materiais de acordo com o diâmetro das tubagens:

- Diâmetro < 50 mm - Polietileno de Baixa Densidade;
- Diâmetro entre 50 e 200 mm - PVC
- Diâmetro > 200 mm - Polietileno de Alta Densidade.

No entanto, algumas situações requerem tubagem metálica. Por exemplo, quando se pretende incluir tubagem debaixo dos pavimentos que carregam cargas pesadas, tubagens em plantações de espaços de cobertura ou tubagens muito longas que precisam de manter uma pressão elevada. Os acessórios, isto é, os elementos que ligam as tubagens, devem ser constituídos pelo mesmo material, de modo a que a ligação resulte perfeitamente.

Para além dos tubos e seus acessórios, as válvulas são outro dos constituintes do sistema de entrega. Estas têm como função controlar o fluxo de água no sistema, desde o fornecimento até aos emissores, através da movimentação ou manutenção da água na tubagem.

As válvulas podem ser de dois tipos, manuais ou operadas por controlo remoto. A duração do seu funcionamento é baseada na quantidade de tempo que demora a aplicar a quantidade de água necessária com base nas necessidades de rega.

As válvulas manuais mais comuns são as válvulas de cunha (também denominadas de guilhotina, de gaveta ou de corrediça), as de globo e as de acoplamento rápido. Destas, as mais habituais são as válvulas de cunha porque o fluxo através da válvula está em linha com a tubagem, havendo, assim, poucas perdas de pressão através desta. Apesar disso, as válvulas de acoplamento rápido têm a vantagem de estar menos sujeitas a vandalismo porque são montadas em caixas debaixo do solo e necessitam de uma chave especial para trabalharem. O modo de funcionamento das válvulas manuais é muito simples; possuem um interruptor que pode ser ligado ou desligado.

As válvulas de controlo remoto podem ter um dos seguintes modos de funcionamento: hidráulico ou elétrico. As que operam no modo hidráulico (Figura 9), ou seja, as válvulas hidráulicas, funcionam por meio de um pequeno tubo de controlo que fornece água à válvula. Quando o fornecimento de água está em funcionamento, a válvula está fechada. Se a pressão no tubo for libertada, a válvula abrirá. Portanto, as válvulas que operam hidraulicamente são denominadas de válvulas normalmente abertas (NA), dado que é

necessário um fornecimento de água positivo para que a válvula fique fechada (Landphair & Klatt, 1988) como demonstra a figura seguinte.

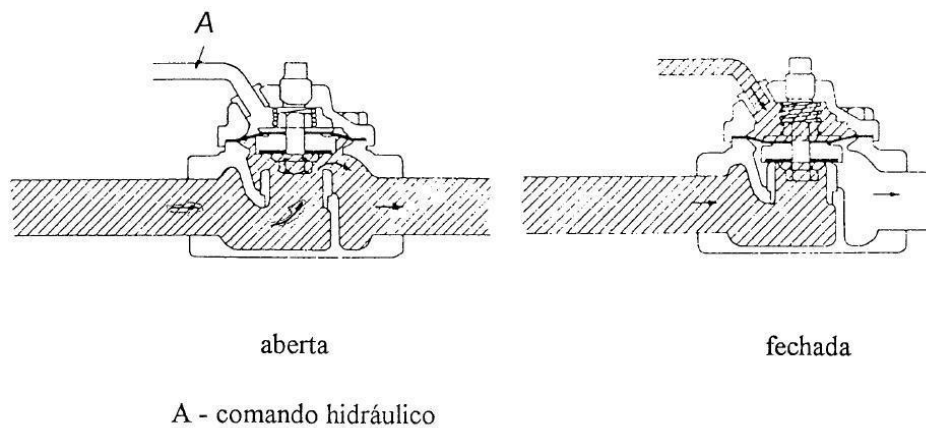


Figura 9: Válvula de controle remoto de funcionamento hidráulico (Teles, 1996).

Por sua vez, as que funcionam de modo elétrico, isto é, as eletroválvulas, utilizam um solenóide para interceptar o fornecimento de água. Quando a tensão elétrica à válvula está ligada, o solenóide retrai-se e permite que a pressão baixe na câmara superior da válvula. A pressão de água na conduta força a membrana a abrir e a válvula está então aberta à passagem da água. Quando o sistema está desligado, o solenóide fecha e a pressão na câmara superior sobe, fechando assim as válvulas. Portanto, as válvulas que operam eletricamente são denominadas válvulas normalmente fechadas (NF) (Landphair & Klatt, 1988) como demonstra a figura 10.

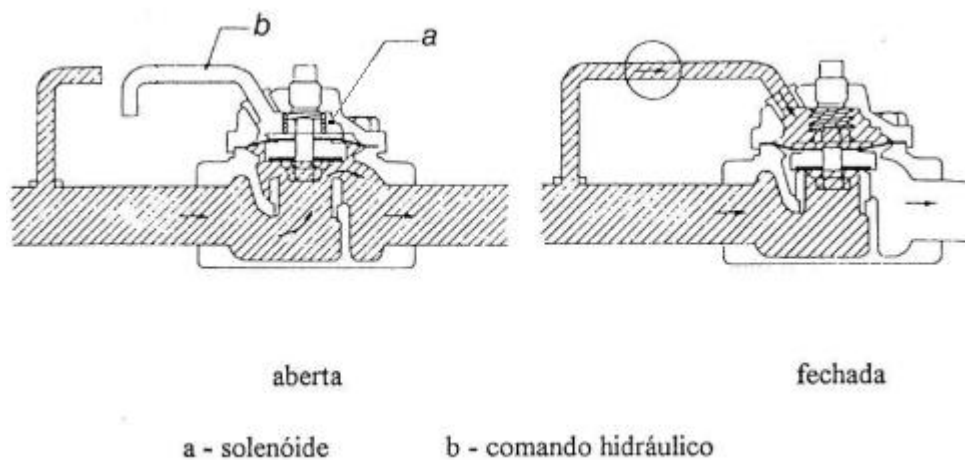


Figura 10: Válvula de controle remoto de funcionamento elétrico (Teles, 1996).

As válvulas hidráulicas são geralmente mais baratas do que as controladas eletricamente. São muitas vezes utilizadas para casos em que os fios elétricos não são práticos ou quando as águas apresentam partículas com potencial para afetar as pequenas aberturas das válvulas elétricas. As válvulas hidráulicas também se encontram frequentemente incorporadas nos topos dos sectores para que cada sector do sistema possa ser operado independentemente. Este sistema reduz o tamanho da tubagem requerida, resultando numa redução substancial do custo.

As válvulas elétricas são utilizadas na maioria dos projetos residenciais e grandes projetos comerciais. Têm como vantagem o facto de normalmente estarem fechadas, sendo por isso atrativas do ponto de vista da manutenção, uma vez que a válvula se mantém fechada se o fio que a ela conduz for cortado. Por esta razão, um corte numa linha elétrica é normalmente mais fácil de encontrar e reparar do que um vazamento num tubo hidráulico (Landphair & Klatt, 1988).

Normalmente, as válvulas são de plástico, no entanto, há algumas exceções, como por exemplo as válvulas manuais preferencialmente metálicas pois, por serem alvo constante da ação humana, têm de ser resistentes.

As válvulas são colocadas em partes distintas do sistema de rega e, assim, vão ter propósitos diferentes de acordo com a sua localização. Algumas das que podemos encontrar no sistema são as válvulas de drenagem, as válvulas de regulação da pressão, as válvulas mestras e as válvulas de retenção. As válvulas de drenagem são utilizadas para drenar a água das bombas e tubagens, que estão sujeitas a temperaturas baixas. As válvulas de regulação da pressão servem para reduzir a pressão em partes do sistema de rega. As válvulas mestras têm como função manter a pressão do sistema de rega quando este não está em funcionamento. Por fim, as válvulas de retenção têm como objetivo impedir o retorno da água, de modo a não permitir que a água de rega contamine a água potável (Raposo J. , 1994a). A cada sector de rega irá corresponder uma determinada válvula.

3.2.4. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

O sistema de distribuição tem como função fornecer a água de rega ao material vegetal. Em espaços verdes a água é fornecida, habitualmente, sob pressão à vegetação, e os dispositivos que constituem o sistema de distribuição podem proporcionar uma rega por aspersão ou uma rega localizada, também denominada de micro-rega, sendo geralmente aplicada a modalidade de rega gota-a-gota.

Pensa-se que os primeiros dispositivos de rega por aspersão surgiram na Babilónia, nos Jardins Suspensos. No entanto, os verdadeiros progressos neste âmbito tiveram lugar apenas no princípio do século passado, inicialmente com o único objetivo de regar relvados. Mais tarde, “na década de 30, com o envolvimento dos aspersores de impacto e de tubos em aço leve com ligações rápidas, a rega por aspersão começou a expandir-se e passou a ser usada numa larga gama de culturas, por todo o mundo”. O desenvolvimento destes sistemas manteve-se ao longo do século XX. “Nos anos 50, surgiram novos aspersores, tubos de alumínio e sistemas de bombagem mais eficientes, o que favoreceu a redução dos custos e acelerou a expansão deste método de rega”; posteriormente, “na década de 60 surgiram as rampas pivotantes, que proporcionam custos relativamente baixos, regas de alta frequência, automatização da rega e grande redução da mão-de-obra” (Pereira, 2000). A inovação na rega por aspersão mantém-se até aos dias de hoje, o que proporciona a possibilidade de se atingirem desempenhos cada vez melhores, desde que os sistemas sejam adequadamente concebidos. As inovações que vão sendo introduzidas conduzem a melhorias nos desempenhos da rega e à adaptação da aspersão a uma maior variedade de solos, topografia, vegetação e clima. Este método é utilizado em cerca de 10% das áreas regadas de todo o mundo, sendo esta percentagem mais elevada em países desenvolvidos e com reduzidos custos de energia (Pereira, 2000).

Os emissores que proporcionam a rega por aspersão são os pulverizadores e os aspersores. Os pulverizadores são, geralmente, aparelhos que regam em jato fixo e se utilizam em zonas do terreno com largura inferior a 5 metros, pois têm um alcance entre 0,5 e 5 metros. Quanto aos aspersores, estes são geralmente aparelhos que regam em jato rotativo utilizam-se em zonas do terreno com largura superior a 5 metros, pois têm um alcance entre os 5 e 15 metros (Pacheco, 2009).

Os dispositivos de rega por aspersão são colocados espacialmente em intervalos regulares, para espalhar água por uma determinada zona. Há dois princípios que controlam a quantidade de água utilizada: a taxa de aplicação e a sua disposição. A taxa de aplicação depende da abertura dos bicos e da pressão da água. A disposição depende de uma combinação entre o espaçamento dos aspersores e o padrão em que se apresentam. Tipicamente, os padrões de rega por aspersores são em forma de quadrado, ou triangular (Irrisoft Inc., 2004) como este demonstrado na figura 11. Geralmente, esta situação de ficarem todos espaçados ou nestes padrões não é possível, e os utilizados tem de adaptar os aspersores aos terrenos. Perante estas situações, é recomendável que se inicie o desenho da disposição dos aspersores pelos vértices.

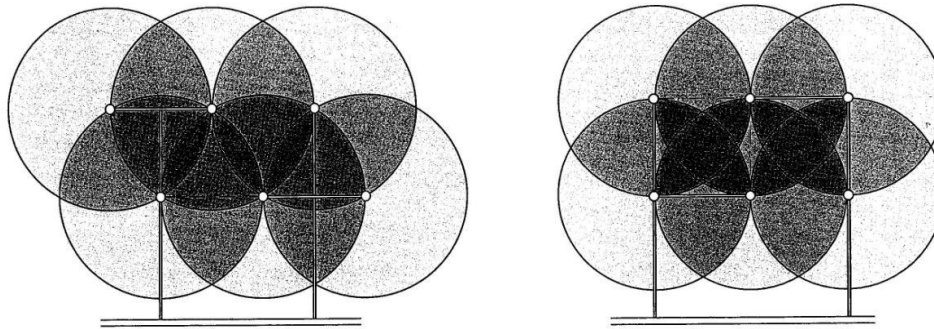


Figura 11: Disposição triangular e quadrada (Beard, 2002).

Os aspersores e pulverizadores são essencialmente caracterizados pela pressão de funcionamento ou carga hidráulica, necessária para fornecer a melhor distribuição de água; caudal, Q , que corresponde a uma dada pressão, P ; diâmetro do círculo molhado, D_w (m), ou alcance, R (m), em que:

$$\text{Alcance} = \frac{\text{Diâmetro de círculo molhado}}{2} \quad (9)$$

Nos catálogos de cada fabricante estão, em geral, especificadas as melhores combinações de Pressão, Caudal e Diâmetro de círculo molhado. Geralmente, os caudais dos aspersores vão desde 150 l/h até $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (Raposo J. , 1994a). Existem catálogos que fornecem informação relativa à disposição mais adequada para estes dispositivos (Irrisoft Inc., 2004). A adaptação de pulverizadores e aspersores às mudanças nos ângulos de rega é diferente, uma vez que, nos pulverizadores, o caudal ajusta-se automaticamente consoante o ângulo de cada bico (90° , 180° , 270° , 360°). Nos aspersores, a cada bico corresponde determinado caudal fixo, ou seja, quando se tem de aplicar água num ângulo de 90° utiliza-se determinado bico, e quando se tem de aplicar água num ângulo de 180° utiliza-se um bico com o dobro do débito ou caudal daquele que foi utilizado para os 90° , para que seja aplicada a mesma quantidade de água. Assim, enquanto nos aspersores é necessário ir mudando os bicos consoante as situações, nos pulverizadores a adaptação é automática (Pacheco, 2009).

Normalmente, os fabricantes também fornecem uma linha de microaspersores, ou seja, de aspersores que cobrem áreas com cerca de 5 a 6 metros, mas com caudal muito inferior, que pode ir desde 20 a 150 l/h . Pode considerar-se que a micro-aspersão é “um sistema de

rega intermédio entre a gota-a-gota e a verdadeira aspersão, aproximando-se mais de um ou de outro conforme o caudal fornecido pelos emissores utilizados” (Raposo J. , 1994a). A micro-aspersão teve origem nos anos 70 do século passado, na África do Sul, e daí estendeu-se até aos EUA e Israel, tendo sido aqui que o método foi aperfeiçoado. Hoje em dia, é utilizada em todo o mundo, mas em menor escala do que a rega por aspersão ou a rega localizada (Raposo J. , 1994a).

Relativamente aos sistemas de rega localizada, estes caracterizam-se sobretudo por humedecerem apenas uma parte do solo, na forma de um bolbo que deve conter o sistema radicular da planta ou plantas a beneficiar (Raposo J. , 1994a). Quando se aplica a rega localizada em projetos para jardins, os emissores habitualmente utilizados são os gotejadores, normalmente colocados à volta de árvores e arbustos, e a partir dos quais a água é fornecida a pontos do terreno, difundindo-se a partir destes até uma certa profundidade e criando o referido bolbo. A primeira ideia da rega gota-a-gota parece ter surgido através do israelita Symcha Blass, em 1930, quando verificou que uma árvore que se situava junto a uma torneira que pingava gota-a-gota apresentava mais vigor do que as restantes árvores do pomar; no entanto, Symcha Blass não pôde desenvolver grandemente a sua ideia por não possuir as tubagens adequadas para efetuar esta modalidade de rega. Foi mais tarde, nas décadas de 60 e 70, que a rega por gotejamento foi especialmente desenvolvida, sendo os israelitas os principais responsáveis pelo aperfeiçoamento destes dispositivos (Sitton, 2000). Os gotejadores aplicam a água na zona da raiz da planta com uma taxa de aplicação muito inferior, comparativamente aos aspersores: necessitam de cerca de metade da quantidade de água de que os aspersores precisam e, enquanto os gotejadores medem a sua entrega de água, ou seja, o caudal, em l/h ou mm/h , os aspersores medem-no em m^3/h ou l/s , sendo que os gotejadores apresentam geralmente caudais de 2 a 12 l/h . Refira-se, também, que a pressão a que a água se move nas tubagens é inferior na rega localizada comparativamente com a rega por aspersão, sendo que, na rega gota-a-gota, a pressão vai desde 0,15 a 2 bar , sendo portanto uma pressão relativamente baixa (Raposo J. , 1994a). Também o espaçamento entre os emissores é muito inferior para a rega gota-a-gota; frequentemente, é necessário ter mais do que um emissor por planta, e nestes casos deve ter-se em conta a quantidade de água que sai do conjunto dos emissores em cada planta (Amwua, 2005).

3.3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE REGA – A ADAPTABILIDADE DOS SISTEMAS DE REGA

As características ambientais que se verificam num espaço verde têm influência na decisão do sistema de rega a utilizar em determinado projeto. Não há uma fórmula exata para a escolha do sistema correto, mas todos os fatores devem ser analisados e deve procurar-se o maior equilíbrio entre as vantagens e desvantagens em cada situação.

3.3.1. ÁGUA

Relativamente à água, sempre que há um problema de escassez deve optar-se por dispositivos de rega gota-a-gota, pois estes sistemas geralmente excedem os 90% de eficiência, enquanto os de aspersão têm uma eficiência que, normalmente, se situa entre os 75 e 85%. A maior eficiência da rega localizada deve-se a dois factos: primeiro, a água é aplicada cirurgicamente onde é preciso e segundo, a água entra no solo antes de ser possível que escoe ou evapore.

A qualidade da água também pode exercer influência na escolha do sistema de rega. Quando as águas fornecidas apresentam uma salinidade elevada, o adequado é, mais uma vez, optar por um sistema de rega gota-a-gota, pois quanto maior a quantidade de sais dissolvidos na água de rega e na solução do solo, maior terá de ser o esforço da planta para extrair água.

3.3.2. SOLOS

Quanto aos solos, deve ter-se em conta a sua estrutura e textura, e a consequente capacidade de retenção e taxa de infiltração.

A aspersão, geralmente, não é adequada a solos argilosos, isto é, solos com uma taxa de infiltração muito baixa, $\leq 3 \text{ mm/h}$. Portanto, quando se está perante solos de textura fina, deve optar-se pela rega por gotejamento (Pereira, 2000).

No entanto, para solos de textura média e grosseira, ou seja, solos com uma baixa capacidade de retenção e uma maior taxa de infiltração, pode utilizar-se a rega por aspersão. Os diferentes dispositivos de rega por aspersão, aspersores e pulverizadores, apresentam taxas de aplicação bastante distintas, sendo os valores médios de aplicação dos pulverizadores muito superiores quando comparados aos dos aspersores. Com efeito, nos pulverizadores a taxa de aplicação média é de 45 mm/h , e nos aspersores a taxa de aplicação média situa-se entre 12 e 16 mm/h . Portanto, tendo em conta estes valores e a Tabela 2 (secção 3.1.3), que indica que quanto à textura, a taxa de infiltração é maior nos

solos arenosos e quanto ao declive, a taxa de infiltração é maior nos solos menos declivosos, pode concluir-se que os pulverizadores, por possuírem taxas de aplicação mais elevadas, são os dispositivos adequados para solos arenosos de reduzidos declives, e os aspersores, por sua vez, são mais apropriados para solos arenosos mais declivosos ou para solos de textura média de qualquer declive. Caso estes aspetos não sejam tidos em conta e, por exemplo, se utilize um pulverizador com uma taxa de aplicação de 45 mm/h num solo declivoso de textura média, vão certamente ocorrer problemas de escorrimento, encharcamento e erosão, pois a taxa de infiltração é muito inferior à taxa de aplicação (Pacheco, 2009).

Os solos arenosos são menos aptos à rega gota-a-gota, exceto quando possuem estratificação horizontal, que irá favorecer o movimento horizontal da água, caso contrário ocorre percolação profunda. O uso de gotejadores mostra-se apropriado para solos de textura fina e média, como demonstra a figura 12. No caso de se querer utilizar a rega localizada num solo arenoso, deve optar-se, preferencialmente, pela aplicação da micro-aspersão ou, em caso de recurso, pelo aumento do número de gotejadores.

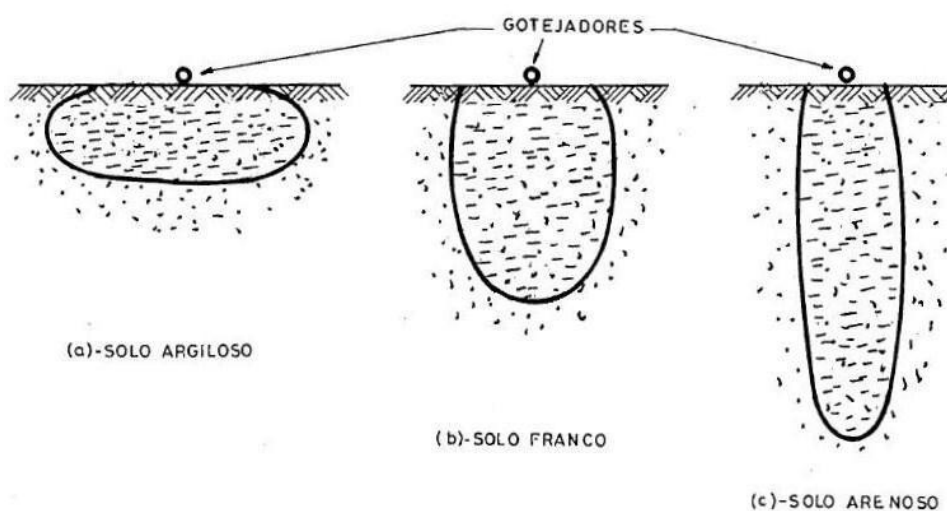


Figura 12: Tipos de bolbos originados pela rega gota-a-gota (Raposo J. , 1994a).

Para se obter uma rega eficiente, uniforme e sem uma percolação excessivamente profunda, é necessário ter em conta as mudanças na capacidade de infiltração do solo à medida que se rega, como já foi referido anteriormente. Na rega por aspersão, o modo de aplicação muda consoante o uso de aspersores ou pulverizadores. Quando se utilizam aspersores com cabeças de impacto, a água não é aplicada continuamente em toda a área

abrangida pelo dispositivo, e portanto a capacidade de infiltração do solo não vai diminuir rapidamente. No entanto, com os pulverizadores a aplicação de água é contínua, havendo perdas de água com o passar do tempo pois a taxa de infiltração do solo vai diminuir rapidamente. Esta situação vem, mais uma vez, reforçar a ideia de que os pulverizadores devem ser utilizados nos solos de textura mais grosseira, em que a capacidade de retenção da água é menor e as taxas de infiltração são maiores.

3.3.3. PLANTA

Relativamente à vegetação, enquanto a rega por aspersão, em geral, pode ser utilizada com todos os tipos de material vegetal, a rega por gotejamento pode ser aplicada em árvores, arbustos e herbáceas, mas não deve nunca ser utilizada em relvados. Isto porque a rega por gotejamento aplica a água individualmente, e os relvados, pela extensa área que ocupam, necessitariam de numerosos emissores, o que não seria proveitoso a vários níveis (Pereira, 2000).

3.3.4. CLIMA

Quanto ao clima, em ambientes de baixa humidade relativa, temperaturas elevadas e de vento forte, isto é, em climas secos, quentes e ventosos, quando se utiliza a rega por aspersão podem ocorrer perdas apreciáveis de água por evaporação e arraste pelo vento, e portanto deve optar-se pela rega localizada. A aspersão é muito sensível ao vento, pois este pode afetar os seus padrões de distribuição da água, causando danos na vegetação, especialmente naquela que se situa no lado contrário ao vento (Pereira, 2000). Relativamente à rega gota-a-gota, esta pode ser utilizada sem grandes inconvenientes perante a maioria das condições climáticas.

3.4. MEDIDAS COM VISTA À EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO E À UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO NOS SISTEMAS DE REGA

A fase da realização do projeto para um sistema de rega é aquela em que são analisadas as condicionantes com vista à adequada instalação. É importante sublinhar as medidas que deverão ser tidas em conta na etapa de conceção, para que, na fase monitorização e avaliação os indicadores de desempenho de eficiência apresentem valores satisfatórios.

No caso específico em estudo, jardins do ISEP, já se encontram instalados aspersores. Assim sendo, iremos focar a informação neste tipo de rega.

Na rega por aspersão a uniformidade depende dos seguintes fatores:

1. Forma de distribuição da água pelo aspersor

A performance dos emissores está relacionada com a altura e ângulo de elevação do jato. Quanto mais abaixo estiverem colocados os aspersores, menor será o raio de distribuição e mais água estará concentrada junto ao emissor, portanto menor será a uniformidade (Irrisoft Inc., 2004).

De qualquer modo, os aspersores não conseguem produzir uma rega regular sobre todo o ciclo molhado; tal como se pode verificar na figura seguinte, a altura da água aplicada é sempre maior junto ao emissor (Pacheco, 2009).

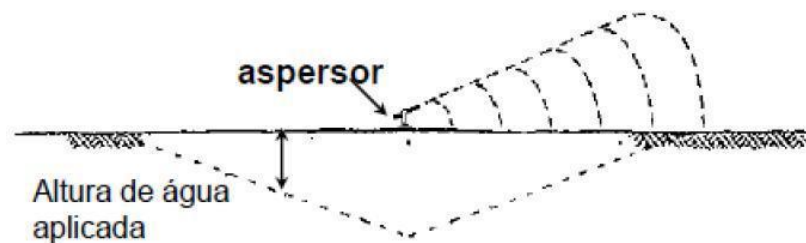


Figura 13: Distribuição da água pelo aspersor (Pacheco, 2009).

2. Disposição dos aspersores

Tal como se pode depreender da alínea anterior, é necessário colocar os dispositivos mais próximos para atingir uma maior uniformidade de rega, dando origem à sobreposição dos padrões de aplicação, tal como se pode observar na Figura 14 (Pacheco, 2009).

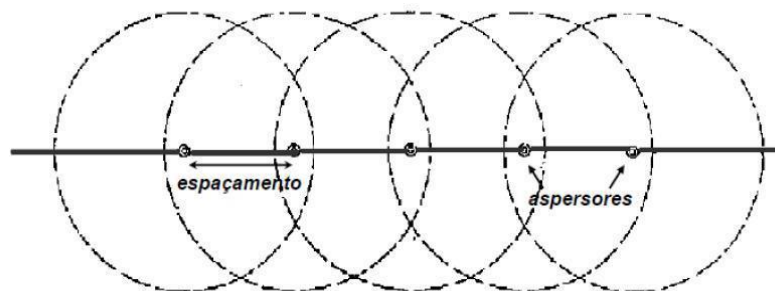


Figura 14: Espaçamento entre aspersores (Pacheco, 2009).

Isto irá resultar numa maior uniformidade da altura de água aplicada, como se pode observar nas figuras 15 e 16, onde a distribuição da água infiltrada é quase uniforme.

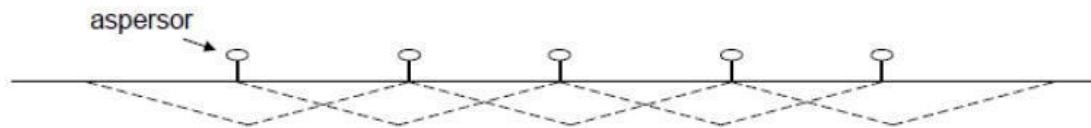


Figura 15: Aplicação da água (Pacheco, 2009).

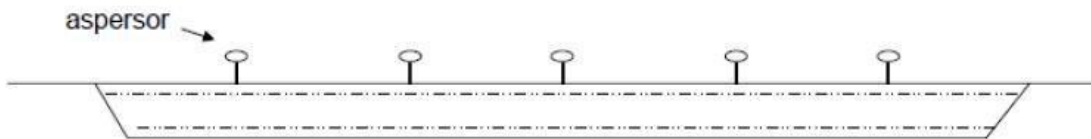


Figura 16: Aproximação da aplicação da água (Pacheco, 2009).

Quanto mais próximo for o espaçamento entre emissores, maior será a uniformidade. No entanto, isto significa sempre um maior número de dispositivos e taxas mais elevadas de aplicação de água, e portanto custos mais elevados. Logo, o sistema de aspersão normalmente não é projetado com vista a uma uniformidade de 100%, mas sim a uma boa uniformidade. Regra geral, considera-se que quando temos sobreposição de cerca de 50% do diâmetro molhado ou mais, estamos perante uma boa uniformidade (Pacheco, 2009).

3. Características dos aspersores

Considera-se, em especial, a dimensão do bocal. A engenharia e manufatura dos bicos têm um grande efeito na uniformidade da distribuição, e estes devem apresentar tamanhos proporcionais para que a taxa de aplicação de água vinda de todos os aspersores seja combinada (Irrisoft Inc., 2004).

5. Velocidade e direção do vento

Apesar de todos os esforços praticados pelas equipas de *designers*, fabricantes, instaladores e manutenção, o vento pode perturbar drasticamente a uniformidade de distribuição.

Há medidas que se podem tomar para compensar as condições ventosas, nomeadamente diminuir os espaçamentos entre emissores (Irrisoft Inc., 2004).

6. Modelação do terreno

Como é natural, o relevo irá também afetar a uniformidade de distribuição, uma vez que a água vinda dos aspersores pode ficar mais perto ou ir mais longe, consoante as condições do terreno (Oliveira, Nunes, & Fabião, 2003).

A eficiência de aplicação em sistemas de rega por aspersão irá depender das variáveis referidas anteriormente, e ainda dos seguintes fatores já abordados na secção 3.1:

- Infiltração do solo;
- Escoamento superficial;
- Taxa de aplicação;
- Duração da rega;
- Défice hídrico da zona radicular (Pereira L. S., 2004).

Na rega localizada, a uniformidade de distribuição depende de alguns fatores em comum com a rega por aspersão, nomeadamente o espaçamento entre emissores, a pressão de funcionamento e variação da pressão dentro sistema, e ainda as características dos emissores. No entanto, para obter uma boa uniformidade com a rega localizada, é também necessário ter em conta outros fatores. Assim, para além dos aspetos referidos anteriormente, a uniformidade de distribuição irá também depender de:

1. Disposição dos emissores;
2. Pressão de funcionamento e variação da pressão dentro sistema;
3. Características dos emissores;
4. Suscetibilidade do emissor à variação de caudal;
5. Suscetibilidade do emissor ao entupimento;
6. Adequação da filtragem (Pereira L. S., 2004).

A eficiência de aplicação da rega localizada, tal como se verificou para rega por aspersão, irá depender dos mesmos fatores da uniformidade, acrescentando-se algumas variáveis, nomeadamente:

- Condutividade hidráulica do solo;
- Teor de humidade do solo (Pereira L. S., 2004).

4. GESTÃO, IMPLEMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DA REGA

4.1. GESTÃO

O plano de gestão de rega é a ferramenta que permite controlar a rega de um espaço verde. Os seus elementos centrais são os fatores ambientais e os sistemas de rega, e é fundamental para a manutenção bem-sucedida da maioria dos projetos de arquitetura paisagista (Landphair & Klatt, 1988).

De um modo geral, os empreiteiros não recebem qualquer tipo de informação no que se refere às necessidades da vegetação, concebendo desenhos de sistemas de rega e definindo programações que se adequam unicamente a determinadas espécies, normalmente as que entendem que têm maiores necessidades de água (Sandik, 2009).

Esta situação pode dar origem a inúmeros problemas: excesso de consumo de água, provocando danos a nível ambiental; escassez hídrica da vegetação, originando diminuição da qualidade da paisagem; necessidade de grandes medidas de correção, acarretando

grandes gastos em mão-de-obra; etc. Torna-se, portanto, essencial uma relação próxima entre o arquiteto paisagista e o empreiteiro responsável pelo plano de rega, que devem estar em contacto desde a conceção inicial do projeto até à sua futura manutenção.

Segundo Caldeira Cabral (1993), “nós estamos a planear com materiais vivos e para pessoas vivas. A ciência poderá confirmar aquilo que a nossa intuição artística anteviu” Com base nesta premissa, constata-se a importância dos planos de gestão de rega num projeto de arquitetura paisagista, uma vez que se trata de instrumentos que, com base na ciência, disponibilizam soluções para que um arquiteto paisagista possa defender o seu trabalho. Os planos de gestão de rega são, assim, elementos fundamentais para o sucesso de um espaço verde. Para além de a rede de rega inicialmente instalada ter como base as particularidades ambientais do local, devem também existir sistemas de controlo que se adaptam às necessidades, uma vez que qualquer espaço verde está aberto todos os dias do nascer ao pôr-do-sol (Miller, 2006).

Para melhor compreender a relevância dos planos de gestão de rega num projeto é essencial conhecer os seus objetivos.

Para que o projeto seja bem gerido é necessário que tenha objetivos claros, que podem ser divididos em objetivos de qualidade, económicos e ambientais. A aplicação da água de rega, de acordo com o definido nos seus planos de gestão, é muito importante para que estes objetivos sejam atingidos.

Por fim, os planos de gestão de rega vão também contribuir ao nível dos objetivos ambientais, devido ao controlo que exercem sobre os consumos hídricos, e em menor escala sobre os consumos energéticos do projeto. Definidos os objetivos, que serão a base da decisão de rega, é necessário verificar a eficiência do sistema e determinar se estes estão ou não a ser cumpridos, isto é, se a implementação do plano de gestão de rega está a ser bem-sucedida. Portanto, o plano de gestão de rega deve incidir, constantemente, sobre duas vertentes: a decisão e a eficiência.

A decisão de rega é feita com base na resposta às perguntas: “Quando regar? Como regar? Quanto regar?” (Ribeiro D. , 2009). Estas são consideradas as três questões fundamentais a que um plano de gestão de rega deverá ter em conta e só através da resposta a estas perguntas será possível obter um espaço verde saudável.

A eficiência da rega, por sua vez, será avaliada com base nos dados resultantes de monitorizações, que são essenciais, pois de nada serve uma boa decisão se o que acontece na prática é algo substancialmente diferente (Ribeiro D. , 2009).

Os planos de gestão de rega em jardins e na agricultura apresentam muitas semelhanças, mas também algumas diferenças. Para melhor compreender os objetivos dos planos de gestão de rega aplicados aos jardins segue-se uma análise comparativa, como demonstra a Tabela 8.

Tabela 8: Comparação entre os objetivos dos planos de gestão de rega em Jardins e na Agricultura (Silva J. S., 2011).

Objectivos dos Planos de Gestão de Rega em Arquitectura Paisagista	Objectivos dos Planos de Gestão de Rega na Agricultura
<p><u>Qualidade</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Estética do material vegetal • Adaptação a diferentes densidades de uso 	<p><u>Qualidade</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Da cultura produzida
<p><u>Económicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Menores gastos em consumos de água • Menores gastos energéticos • Menores gastos em mão-de-obra 	<p><u>Económicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Maximização da produção • Menores gastos em consumos de água • Menores gastos energéticos • Menores gastos em mão-de-obra
<p><u>Ambientais</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlo sobre os consumos hídricos • Controlo sobre os consumos energéticos • Minimização da poluição por fertilizantes e pesticidas (herbicidas) 	<p><u>Ambientais</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlo sobre os consumos hídricos • Controlo sobre os consumos energéticos • Minimização da poluição por fertilizantes e pesticidas (herbicidas)

Portanto, relativamente à qualidade, os objetivos são muito distintos. Por um lado, em jardins procura-se não só a estética do espaço verde, mas também a adaptação do espaço aos diferentes níveis de desgaste imposto pelos utentes, pois é através da rega que este se adapta a diferentes capacidades de carga. No entanto, na Agricultura os objetivos centram-se na qualidade da cultura que será produzida, o que estará dependente do fim a que se destina.

Quanto aos objetivos económicos, ambos os planos de gestão de rega têm como finalidade a diminuição dos gastos em consumos de água, energia e mão-de-obra, mas na Agricultura o principal objetivo económico é a maximização da produção.

Neste caso, através da gestão de rega, devem otimizar-se os rendimentos minimizando os custos de investimento e exploração, isto é, reduzir os consumos sem redução da produção. Por fim, no que se refere aos objetivos ambientais, ambos os planos de gestão de rega têm como finalidade uma maior sustentabilidade que será adquirida com o controlo sobre os consumos hídricos e energéticos.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO

Uma vez concluída a fase de planeamento da rega, durante a qual, tal como já foi referido no capítulo 3, se dá resposta às questões “quando regar?”, “como regar?” e “quanto regar?”, segue-se a fase da implementação da rega.

A opção entre sistemas de rega manuais, semiautomáticos ou automáticos é crucial para definir a programação da rega. Logo, é importante analisar qual o modo de funcionamento e as consequências a que cada uma destas opções conduz.

4.2.1. SISTEMAS DE REGA MANUAIS

A rega manual requer a ação direta por parte do trabalhador em toda a ação de rega. Pode ser realizada por sulcos, balde, regador ou mangueira (Brízida, 2010). Neste tipo de modalidade é feito um plano de rega que se deve adaptar às condições meteorológicas e ser atualizado, pelo menos, sazonalmente. Os sistemas de rega totalmente manuais só se justificam em instalações muito pequenas ou em situações provisórias.

4.2.2. SISTEMAS DE REGA SEMIAUTOMÁTICOS

Os sistemas de rega semiautomáticos apresentam diferentes graus de automatização. Podem ir desde sistemas em que a rega se inicia manualmente e termina quando as válvulas volumétricas indicam que já foi fornecido o volume de água necessário, até sistemas em que há um controlador central, no qual foi introduzida manualmente uma programação de rega que irá manipular o funcionamento das válvulas elétricas. Estes sistemas podem ser fixos ou flexíveis, e a programação da rega irá depender do grau de automatização que apresentam.

4.2.3. SISTEMAS DE REGA AUTOMÁTICOS

Na rega automática, todos os elementos de rega estão fixos e a operação de rega é totalmente gerida por controladores que, através de sensores, atualizam as necessidades de

rega diariamente e manipulam as válvulas elétricas. Este sistema é vantajoso em relação aos anteriores pois aumenta a precisão de rega. Assim, apesar dos maiores custos de instalação verificados, pode constatar-se que a rega automática é a mais benéfica, a longo prazo, a todos os níveis: a nível estético, por aplicar a água mais eficazmente; a nível económico, por necessitar de menos mão-de-obra e dar origem a menos gastos com a água; e, por fim, a nível ambiental, devido ao maior controlo que exerce sobre os recursos hídricos (Brízida, 2010).

4.2.4. CONTROLADORES E SENSORES DE MEDIÇÃO

Os controladores são considerados os cérebros dos sistemas de rega, sendo essenciais para que a água seja aplicada na quantidade necessária, com a adequada duração e no dia e hora certos, de modo a que a rega atinja elevados níveis de eficiência. Os controladores começaram a ser utilizados cerca dos anos 80 do século passado (Figura 17), e desde aí evoluíram de simples temporizadores de rega mecânicos e eletromecânicos (Figura 18), até complexos sistemas com base em computadores que permitem um adequado controlo da água, energia e químicos, enquanto respondem às mudanças do ambiente e ao estado de desenvolvimento da vegetação (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994).

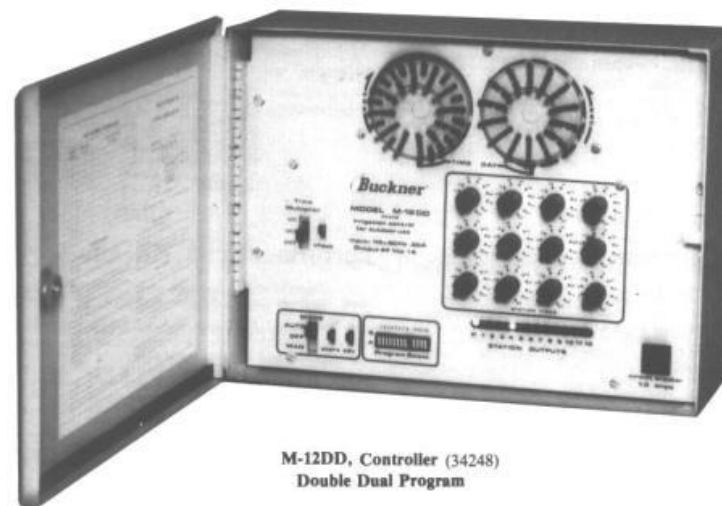


Figura 17: Controladores nos anos 80 (Carlson, 2009).

Os controladores estão presentes tanto em sistemas semiautomáticos como em sistemas automáticos. No entanto, enquanto nos primeiros a informação que o controlador possui, e a partir da qual manipula as válvulas, é introduzida manualmente, nos sistemas automáticos os dados provenientes dos controladores são obtidos através de sensores. Os sistemas de rega semiautomáticos com controladores podem ser chamados de sistemas de controlo abertos; estes, tal como já foi referido, necessitam de intervenção externa, sendo o trabalhador a criar uma programação e a dar esta informação ao controlador. Os sistemas de rega automáticos, por sua vez, são os sistemas de controlo fechados; nestes, a informação é dada ao controlador através de um ou mais sensores e com base na informação dos sensores é tomada a decisão de rega (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994).



Figura 18: Controladores na atualidade (Hunter Industries, 2014).

Os sensores são, então, ferramentas de medição que permitem melhorar a eficiência dos sistemas. Estes fornecem continuamente ao controlador informações relativas às variáveis que influenciam as disponibilidades hídricas e, deste modo, possibilitam que as necessidades de rega sejam colmatadas mais eficazmente. Alguns dos parâmetros medidos através de sensores são, por exemplo, a evapotranspiração, a precipitação e a humidade do solo.

A ET_L está dependente de vários fatores climáticos e, por conseguinte, os seus valores são obtidos através de estações meteorológicas. Os espaços verdes podem possuir uma estação meteorológica equipada com os sensores necessários para estimar a evapotranspiração de referência, ou seja os sensores de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e humidade relativa.

Caso a estação não se encontre no espaço verde, existe um recetor das condições climáticas que recebe a informação vinda da estação meteorológica local através de frequências de rádio, como demonstra a figura seguinte.



Figura 19: Recetor de condições climáticas. (Irrisoft Inc., 2004)

Nestas condições, a decisão de quando regar dos sistemas de controlo que se encontram no mercado pode basear-se em:

1. Medições de precipitação;
2. Medições diretas da humidade do solo utilizando os sensores;
3. Medições da evapotranspiração;
4. Mais do que uma das opções anteriores (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994).

A forma mais simples de funcionamento de um sistema de controlo é através de um controlador de rega de baixa capacidade associado a um sensor de precipitação.

4.3. PROGRAMAÇÃO DA REGA

A programação da rega é a informação fornecida ao controlador através de ondas de rádio ou de fios elétricos, quando se está perante um sistema de rega totalmente automatizado, ou manualmente pelo trabalhador, quando se utilizam sistemas apenas semiautomáticos ou manuais. A programação da rega vai precisar de ajustamentos e tem de se comprometer a lidar com situações inadequadas do sistema de rega (Irrisoft Inc., 2004).

4.3.1. AGENTES QUE INFLUENCIAM A PROGRAMAÇÃO

Para conseguir uma correta programação é fundamental considerar todos os fatores ambientais que afetam a necessidade de rega, conjuntamente com a capacidade do sistema de rega para repor essas mesmas necessidades.

Os fatores ambientais afetam as necessidades hídricas e podem ser agrupados em duas categorias. A primeira é a dos fatores extremamente variáveis, entre os quais se incluem as condições meteorológicas; estes fatores são continuamente alvo de supervisão nos sistemas de rega automáticos através dos sensores, e são os principais responsáveis pela necessidade de reprogramações cíclicas nos sistemas de rega semiautomáticos. Nestes casos, é importante ajustar os planos de rega dos sistemas de controlo semiautomáticos pelo menos uma vez em cada estação, pois pode reduzir-se o uso da água de rega em 30 a 50% ao adaptar a rega sazonalmente (Amwua, 2005). A outra categoria é a dos fatores mais estáveis, onde se inclui o tipo de planta, a profundidade das raízes, a densidade da vegetação, as características do solo e o declive, fatores que normalmente necessitam de poucos ajustes. Por exemplo, no caso da vegetação é importante saber o seu estado de desenvolvimento, uma vez que as plantas têm maiores necessidades hídricas na sua fase inicial, pois precisam de água para desenvolver as suas raízes. Neste período, as regas são mais frequentes mas com durações mais pequenas, pois as raízes ainda não estão estabilizadas; no entanto, uma vez estabelecido o sistema de enraizamento, o tempo de duração de funcionamento do controlador terá de ser aumentado, o que irá diminuir a frequência e aumentar a profundidade da rega. Este processo irá demorar uma ou duas estações de crescimento (Ribeiro D. , 2009).

As capacidades dos sistemas de rega são outra das variáveis que devem ser tidas em conta quando se faz a programação da rega. Há itens que se podem considerar essenciais para avaliar essas capacidades, como por exemplo a pressão de funcionamento, as características dos emissores, a uniformidade de distribuição, a eficiência de aplicação e o tamanho da tubagem central (Irrisoft Inc., 2004).

4.3.2. DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DA REGA

A duração e a frequência da rega são os dois fatores que determinam quanta água será aplicada pelo sistema. A rega pode ser feita com grandes caudais e pouca frequência semanal, ou com pequenos caudais e grande frequência semanal. De um modo geral, a opção deve recair sobre a primeira hipótese, pois com o segundo método as raízes não se

poderão desenvolver de um modo saudável (Brown, 2006; Sorochan & Sample, 2008). No entanto, para solos de textura fina ou de topografia acidentada, frequentemente é mais aconselhável um aumento da frequência de rega, pois esta situação irá prevenir o escoamento, a erosão e perdas de água (Ashok & Ashok, 2010).

Quanto à duração da rega, esta está essencialmente dependente de duas características do sistema de rega, a sua taxa de aplicação e a uniformidade de distribuição que o sistema consegue proporcionar. A rega irá durar o tempo necessário para que um solo que perdeu a capacidade de água utilizável restabeleça a capacidade de campo na zona da raiz. Quando se usa uma duração fixa baseada no volume de água que o solo pode receber, as necessidades de rega são geridas por mudança da sua frequência.

A frequência de regas por semana está sobretudo relacionada com as condições meteorológicas, e deve basear-se na premissa de que a água do solo deve sair até ao limite mínimo para que se inicie uma nova rega; este limite mínimo consiste na depleção permitida, variável que foi analisada na secção 3.1.3 deste trabalho. Assim, para calcular a frequência de rega pode utilizar-se a seguinte expressão:

$$IR(dias) = \frac{\text{Dotação da Rega}}{ET_C - P_e} \quad (10)$$

em que: IR é o Intervalo entre regas (Raposo J. R., 1980).

Quando são utilizados dispositivos de rega por aspersão, a duração da rega é frequentemente subdividida em múltiplos ciclos, pois as várias sobreposições dos padrões de aplicação podem fazer com que em algumas áreas a taxa de aplicação exceda a taxa de infiltração. Assim, deve ter-se em conta a máxima duração do ciclo de rega em minutos, antes que comecem as perdas de água. Portanto, deve usar-se mais do que um tempo de início de regas, de forma a maximizar a infiltração de água no solo (Beard, 2002).

4.3.3. OS TEMPOS DE INÍCIO DE REGA

A decisão sobre o tempo de início da rega, ou seja, sobre a hora do dia a que esta será feita, é crucial para a adequada rega de um espaço verde, pois consoante a hora pode prevenir-se a evaporação da água e o desenvolvimento de doenças. No Inverno, é geralmente mais

aconselhável regar nas primeiras horas da manhã, por exemplo, entre as 5 e as 9 horas, uma vez que, a meio do dia, há rápida evaporação da água, e durante a noite a água de rega poderá arrefecer rapidamente. No Verão, contudo, a hora de rega mais apropriada é variável. Em alguns locais é mais aconselhável regar nas primeiras horas do dia, tal como se verifica no Inverno; no entanto, se os dias forem quentes, de tal modo que, mesmo nas primeiras horas da manhã, a taxa de evaporação seja muito elevada, pode optar-se pela rega durante a noite. Neste caso, é importante que o espaço verde não se situe num local de elevada humidade pois, nestas situações, ao regar durante a noite, as plantas irão permanecer molhadas por um longo período de tempo, o que aumentará a sua suscetibilidade a doenças (Brown, 2006; Sorochan & Sample, 2008).

Assim, na escolha de um controlador automático, devem ter-se em conta algumas das suas características, entre as quais: o número de programas, o seu diferente início, os sensores que têm instalados e as opções de controlo de rega durante o dia (Amwua, 2005). A Figura 19 exemplifica as opções que podem ser manipuladas num controlador simples. Com a programação da rega, estão em jogo a saúde da vegetação e o uso responsável dos recursos de água. A programação deve ser sempre planeada e nunca baseada exclusivamente na reacção a resultados pois, muito frequentemente, as programações só são alteradas quando a paisagem começa a apresentar sinais de secura ou surgem poças de água à superfície. Trata-se de uma situação errada, uma vez que já foram provocados danos nas plantas que podem ser irreversíveis, com perdas de água completamente desnecessárias (Irrisoft Inc., 2004).

Portanto, enquanto a projeção do arquiteto paisagista e a definição da instalação dos sistemas de rega devem ser feitas tendo em conta as necessidades hídricas anuais e as condições extremas dos espaços verdes. Para uma decisão de rega é necessário muito mais do que isso, pois as necessidades de água variam diariamente (Afonso, 2007). Assim, é essencial a escolha de um bom programador para o sucesso de um espaço verde.

4.4. MONITORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA REGA

Uma vez tomada a decisão de rega e feita a sua aplicação, torna-se fundamental monitorizar a sua performance, pois os sistemas e as práticas de rega não devem ser colocados em funcionamento e esquecidos. Os sistemas são uma complexa combinação de emissores, tubagens, válvulas, bombas e materiais de controlo pelo que, as práticas de rega

devem variar constantemente de acordo com as alterações climáticas e as diferenças de humidade do solo dado que, há demasiados fatores que poderão contribuir para uma rega inadequada. Por último, deverá ser feita uma avaliação que terá em conta os indicadores de desempenho, nomeadamente a eficiência e a uniformidade de distribuição.

4.4.1. MONITORIZAÇÃO

A monitorização deve ser feita ao sistema de rega. Assim, algumas variáveis que devem ser consideradas para a monitorização da rega são, a evapotranspiração, a performance dos emissores, a frequência e a duração de funcionamento do sistema. Estas monitorizações devem ser realizadas em ciclos, que podem ser semanais, mensais, bimestrais, anuais, etc.

No caso dos sistemas de rega que possuem um sistema de controlo de alta capacidade, a monitorização das práticas de rega será feita continuamente e de modo automático, pois o sistema de controlo vai atualizar diariamente as necessidades hídricas da vegetação (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994). No entanto, nos sistemas de rega de capacidade inferior, consoante estes estejam ou não associados a sensores de precipitação ou de humidade do solo, os responsáveis pela rega deverão procurar dados relativos aos valores de evapotranspiração, precipitação efetiva e humidade do solo, para que haja prevenção de problemas e uma maior eficácia da rega. A frequência da procura de dados relativos às condições ambientais irá depender da envergadura do projeto. No caso específico da análise da humidade do solo, o responsável pela rega pode optar por uma simples prova de solos com base na sua aparência e aspeto; este método é barato e o mais aconselhável para espaços verdes de reduzidas dimensões.

As monitorizações podem ser feitas com o auxílio de equipamentos automáticos, tais como os sistemas de monitorização dos equipamentos de bombagem e os equipamentos de monitorização da qualidade da água e salinidade dos solos (Irrisoft Inc., 2004), e ainda por meios não mecanizados como uma simples inspeção visual.

Os sistemas de monitorização dos equipamentos de bombagem “monitorizam e registam as condições de funcionamento do sistema de rega, nomeadamente o caudal, a pressão e o funcionamento das bombas. Com estas informações pode saber-se se a rega se processou sempre nas condições corretas, sem falhas de energia, quebras de pressão, etc.” (Ribeiro D., 2009).

Os equipamentos de monitorização da qualidade da água e salinidade dos solos, tal como o próprio nome indica, registam as mais variadas impurezas que se podem encontrar nas

águas e que podem afetar não só a vegetação que está a ser regada, mas também o sistema de rega, e avaliam o nível de acidez ou alcalinidade dos solos (Ribeiro D. , 2009).

Relativamente à inspeção visual, é importante referir que não se deve esperar até que a paisagem reflita os problemas do sistema de rega, mas sim procurar resolvê-los antes que se apresentem no espaço verde. No entanto, é importante fazê-la, e quando os problemas surgem na paisagem, esta deve ser estudada atentamente, uma vez que podem fornecer pistas importantes que ajudam a aperfeiçoar o sistema de rega. Os problemas apresentados podem ir desde um pequeno ponto seco, que indica que um dos emissores não está a funcionar corretamente, a uma zona seca ou com excesso de rega, o que aponta para erros na programação da rega de uma das zonas de necessidades hídricas homogêneas, ou ainda a várias zonas ou todo o espaço seco ou com excesso de rega, o que indica que se deve fazer um *check-up* total ao sistema de rega (Irrisoft Inc., 2004).

O grau de monitorização a que um espaço verde deve estar sujeito varia de acordo com o período de estabilização da paisagem. Quando a vegetação é inicialmente plantada, e a relva e as sementes são semeadas, as necessidades de água são muito diferentes. A capacidade de reserva do solo é muito pequena porque as raízes ainda não estão estabelecidas, e durante este período inicial deve-se controlar as práticas de rega com base em constantes observações no terreno, pois a paisagem está vulnerável, os níveis de água no solo são desconhecidos e as raízes não estão estabilizadas. Por esta razão, inicialmente as regas são mais frequentes mas com durações mais pequenas. Durante a estabilização deve-se monitorizar o desenvolvimento das raízes e aumentar o limite da rega.

4.4.2. AVALIAÇÃO

Quando a monitorização dos sistemas e das práticas de rega regista problemas, estes serão alvo de avaliação. Assim, na quarta etapa dos planos de gestão de rega é feita uma avaliação concreta dos dados provenientes da monitorização. Estes vão ser analisados, comparados com os que estavam previstos e, posteriormente vão procurar-se respostas para os casos em que se registaram diferenças entre o esperado e o obtido. Por fim, são adotadas as medidas corretivas, para que na próxima avaliação os mesmos problemas não se verifiquem.

Um espaço verde deve ser alvo de avaliação ao longo de toda a sua vida, portanto, este processo não é um acontecimento único que finaliza o projeto. De cada vez que um ciclo de rega termina, seja ele semanal, mensal, sazonal ou anual, os problemas que se

verificaram através da monitorização serão avaliados e, conseqüentemente vão ser introduzidas correções e ajustamentos. Vai assim ter lugar um processo contínuo de correção e melhoramento, de modo a que a rega seja tão perfeita quanto possível.

O nível de detalhe das avaliações vai depender não só do problema verificado, mas também do ciclo de monitorização em que estão inseridas. Nos pequenos ciclos de rega, “os resultados devem ser avaliados para a introdução de correções e ajustamentos imediatos na programação do sistema de monitorização (Ribeiro D. , 2009). Normalmente, estes ciclos vão provocar mudanças apenas no programa de controlo, que se vão refletir nas taxas de aplicação dos sistemas de rega. No final de cada ciclo anual “deverá ser feita uma avaliação mais detalhada de toda a época de rega, analisando resultados e comparando-os com as previsões, sugerindo correções que deverão ser consideradas no plano de rega do ano seguinte” (Ribeiro D. , 2009).

O material que constitui o sistema de rega, tal como já foi referido anteriormente, deve ser alvo constante de avaliações. Para além da fase inicial, em que se confirma se os dispositivos selecionados são os adequados às situações, estes também devem ser alvo de uma avaliação mais aprofundada, em certos momentos, para determinar a deterioração do material. Na tabela que se segue estão assinalados os tempos de vida médios de alguns dos elementos dos sistemas de rega.

Tabela 9: Duração de diferentes elementos de instalações de rega (Lion, 1991).

Tubagens debaixo de terra	30 a 40 anos
Grupos de electrobombas	15 a 20 anos
Tubagens à superfície	7 a 10 anos
Aspersores	5 a 7 anos
Mangueiras	3 a 5 anos

A maioria dos problemas que os sistemas de controlo apresentam são resultado de más instalações elétricas; nestes dispositivos, sejam quais forem os componentes elétricos utilizados é importante que seja dada atenção à proteção do sinal (Zazueta, Smajstrla, & Clark, 1994). Grande parte dos problemas que se podem verificar nas válvulas, atualmente, são resultantes de falhas na fase de instalação.

Quanto aos problemas nas tubagens, a maioria resulta de entupimentos, uma vez que, se existir um pedaço de areia ou de algas nas passagens, estes ficam bloqueados, impedindo o

bom funcionamento das válvulas; perante esta situação, é importante renovar os filtros, pois é sinal de que estes não estão a funcionar corretamente. Relativamente à rega por aspersão, algumas das correções que têm de ser frequentemente feitas nos seus emissores são: a substituição de bicos partidos ou perdidos, a eliminação de obstruções que bloqueiam o jato de água e o ajustamento dos bicos para que o jato de água não esteja direcionado a paredes, estradas ou caminhos. Os gotejadores também têm de ser, muitas vezes, alvo de manutenção, tais como a substituição dos emissores entupidos e a movimentação dos gotejadores para os ajustar ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tal como é referido na secção 3.1.4, fator planta.

Deve partir-se do princípio que o sistema de rega automatizado resolve os problemas, é eficiente e aplica água de uma forma uniforme (Oliveira, Nunes, & Fabião, 2003). No entanto, o próprio sistema automático tem de ser alvo de ajustes relativamente frequentes pois, apesar de o sistema ter sido instalado de acordo com todos os pressupostos pré-determinados, há vários problemas que podem suceder.

4.4.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

A avaliação da qualidade da rega deverá ser feita com base em indicadores de desempenho, e entre os indicadores utilizados os mais comuns são a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição.

O conceito de eficiência foi introduzido por Israelsen, em 1932, e o conceito de uniformidade surgiu dez anos depois, em 1942, por Christiansen. Inicialmente, o conceito de eficiência foi muito atrativo, pois relacionava a quantidade de água consumida com a quantidade de água imobilizada; havia, então, a ideia de que, para melhorar o funcionamento de um sistema de rega bastava melhorar a sua eficiência, isto é, diminuir a quantidade de água perdida. No entanto, estudos mais aprofundados nesta área permitiram constatar que, o que afinal caracterizava um sistema e, por isso, condicionava a sua eficiência de aplicação era fundamentalmente a uniformidade, isto é, a variabilidade do volume de água aplicado sobre a parcela a regar (Oliveira, Nunes, & Fabião, 2003).

Assim, nos dias de hoje, para avaliar o desempenho de um sistema de rega são sempre calculadas a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação.

A uniformidade de distribuição, UD (%), genericamente, é determinada pelo volume de água recebido pelo solo no quartil mínimo, $Dur_{q_{min}}$, isto é, os 25% da parcela que receberam menos água e o volume de água aplicado, ou seja:

$$\text{Uniformidade da distribuição} = \frac{\text{Dur}_{\text{q}_{\text{min}}}}{\text{Dur}_{\text{med}}} \times 100 \quad (11)$$

em que: $\text{Dur}_{\text{q}_{\text{min}}}$ é a média do volume de água aplicado sobre 25% da área da parcela que recebeu menos água, expressa em *mm*; Dur_{med} é o volume médio de água aplicado em toda a parcela, expresso em *mm*. E a eficiência de aplicação, EA (%), é definida pela seguinte equação:

$$\text{Eficiência de aplicação} = \frac{\text{ET}_L}{h_{\text{tr}}} \times 100 \quad (12)$$

em que: h_{tr} é a dotação total de rega (Oliveira, Nunes, & Fabião, 2003).

É muito importante manter um registo de todos os passos relevantes ao longo destes processos, assim como de todas as observações, estudos, comunicações e testes, para que qualquer execução deficiente seja mais facilmente identificada da segunda vez que se verifique (Irrisoft Inc., 2004).

5. PROBLEMÁTICA

Tendo em conta todos os pressupostos teóricos desenvolvidos nos capítulos anteriores, o objetivo deste trabalho prático consiste em realizar um Sistema de Gestão Técnica de Rega, aplicado ao jardim do ISEP – Instituto Superior Politécnico do Porto.

5.1. LOCALIZAÇÃO

A zona de intervenção situa-se no concelho do Porto, cidade portuguesa situada a noroeste de Portugal. Tem um clima mediterrânico do tipo Csb - clima temperado húmido com Verão seco e temperado de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Wikipédia, s.d.).

O concelho do Porto tem cerca de 41,42 km² de área (Instituto Geográfico Português, 2013) e é limitado a norte pelos concelhos de Matosinhos, Maia e Gondomar e a sul pelo concelho de Vila Nova de Gaia e Rio Douro. A oeste, é limitada pelo oceano Atlântico, como demonstra a Figura 20.

Tem, na sua proximidade, a existência de três barragens:

1. Barragem de Crestuma-Lever, situada na bacia hidrográfica do Douro, a última barragem no Douro antes de se atingir a foz,



Figura 21: Área de intervenção. (Google Earth).

A organização do campus é feita pelos departamentos que partilham edifícios, a área da cantina e dos estacionamento, como demonstra a Figura 22.



Figura 22: Vista virtual do Campus do ISEP (ISEP, s.d.).

A área de intervenção, zona impermeável, tem um total de 12 015 m², divididos pelo campus em pequenos espaços verdes, como demonstra a Figura 23.

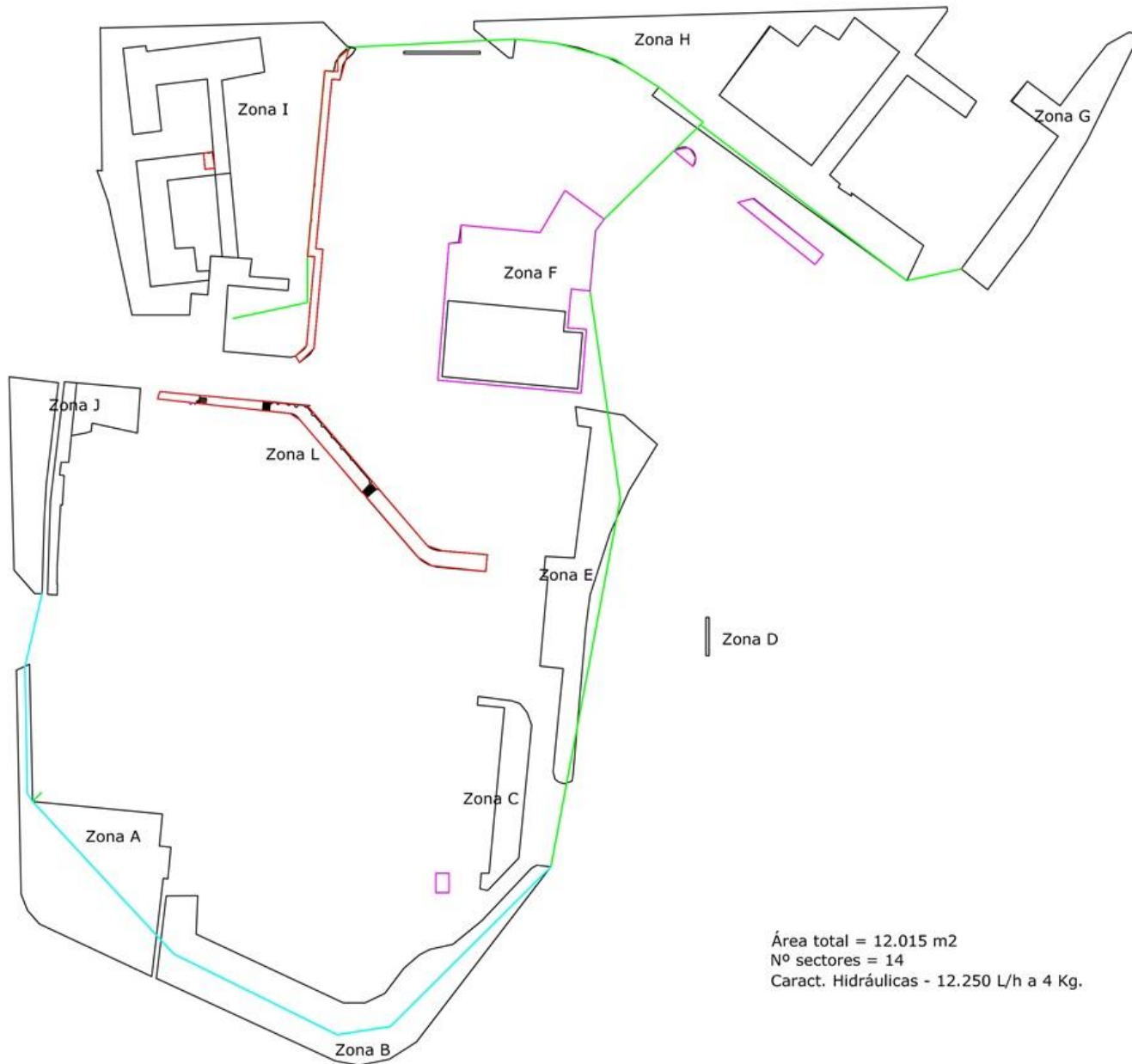


Figura 23: Planta do sistema de rega atual do ISEP.

Os pequenos espaços verdes estão divididos pelo Campus com as seguintes áreas:

Tabela 10: Áreas dos espaços verdes do Campus.

Zona A (m ²)	Zona B, C e parte de E (m ²)	Zona D (m ²)	Zona E (m ²)	Zona F (m ²)	Zona G (m ²)	Zona H (m ²)	Zona I (m ²)	Zona J (m ²)
1150	2061	210	774	1570	450	1750	3300	750



Figura 24: Demonstração de algumas áreas de intervenção.

5.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL

Poderemos considerar que o sistema atual é semi-automático, sendo que o operador liga o sistema e este fica em funcionamento.

Caso as condições climáticas se alterem e comece a chover, o sistema continua a regar a não ser que o operador o desligue.

A água para o sistema de rega é proveniente de um furo (A) ou de dois fossos dos elevadores do edifício F (B e C), como demonstra a imagem seguinte.

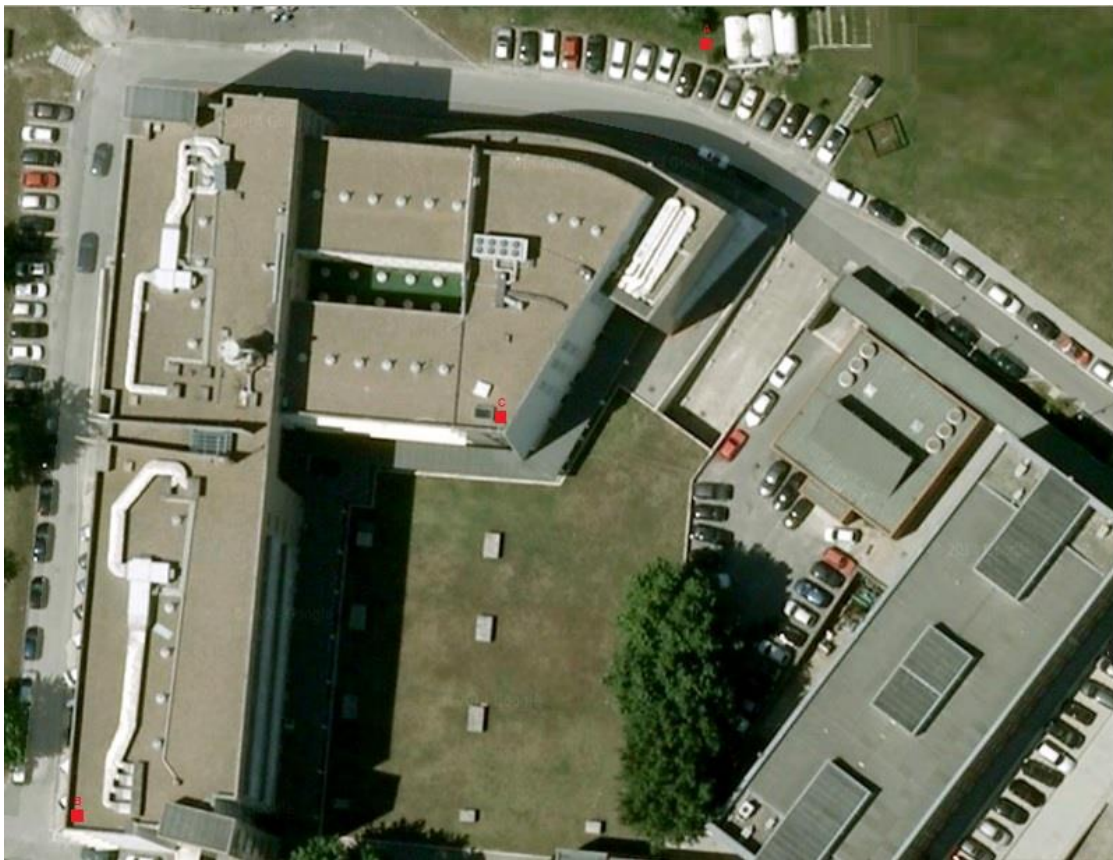


Figura 25: Localização do furo e dos dois fossos dos elevadores.

A água proveniente do furo só é utilizada nos meses de maior calor, normalmente nos meses de julho, agosto e setembro. Nos restantes meses do ano a água é proveniente dos fossos dos elevadores.



Figura 26: Furo de água.

A água dos fossos dos elevadores é originada pela falta de permeabilidade existente na construção do edifício F. Esta água tem de ser retirada dos referidos fossos nos meses de maior precipitação caso contrário inunda as garagens do edifício.

Assim a água é retirada dos fossos dos elevadores, com a ajuda de duas bombas, para dois reservatórios de 15 m³ cada.



Figura 27: Reservatórios de água e bombas de extração de água dos fossos dos elevadores.

Estes reservatórios têm como objetivo captar a água que é retirada dos fossos. No caso dos meses em que existe maior precipitação, os reservatórios não são suficientes para reservar toda a água dos fossos, acabando por expeli-la para o exterior.

Existem ainda mais dois reservatórios onde também é reservada água proveniente dos fossos dos elevadores.



Figura 28: Quatro reservatórios de água

Um dos reservatórios será para alimentar as casas de banho do edifício I, edifício que, recentemente, teve algumas execuções de reconstrução. O outro reservatório é para utilização em caso de incêndio. A este último estão alocadas duas bombas de incêndio.



Figura 29: Bombas de incêndio

Nos fossos dos elevadores existem dois sensores de nível tipo boia em cada um. Os dois sensores estão abaixo da superfície do fosso mas a diferentes níveis. O sensor de nível (C) tem como objetivo verificar que um dado nível não exceda o pretendido, e o segundo sensor é de emergência (D), como exemplifica a figura 30.

Caso o sensor (C) seja ativado, a bomba começa a funcionar e retira a água para o reservatório.

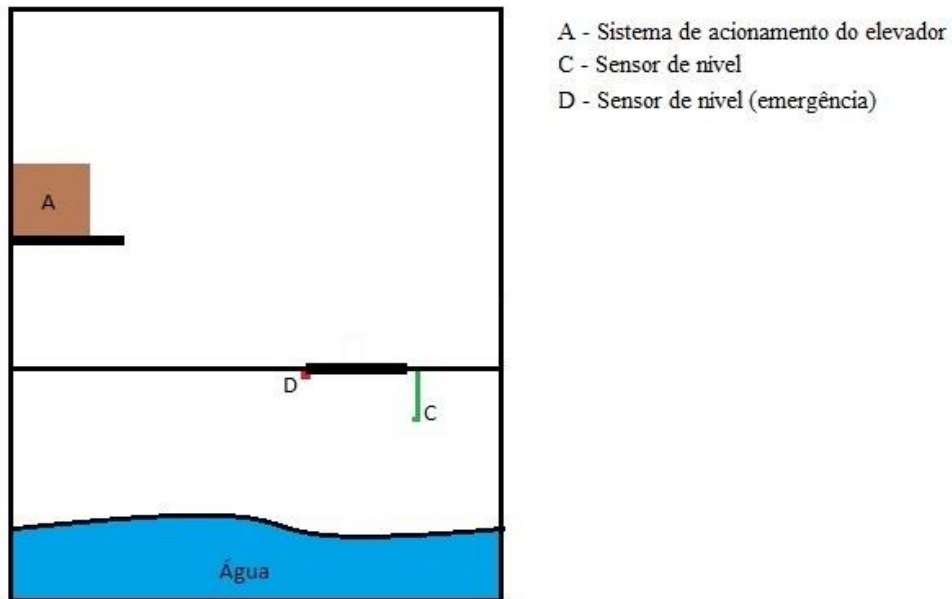


Figura 30: Exemplo de um dos fossos dos elevadores.

De notar que o sistema de acionamento do elevador (A) não se encontra na posição inicial da construção, uma vez que já foi alterada. Foi criada uma plataforma, a um nível mais elevado, para que, caso haja uma subida abrupta do nível de água, o sistema de acionamento dos elevadores não seja danificado.

O sistema de rega é alimentado por duas bombas, como se demonstra na imagem seguinte.



Figura 31: Bombas para o sistema de rega.

Atualmente o sistema de rega dos jardins do ISEP já tem instalados toda a tubagem e aspersores Rain Bird, da gama 3500 e 5000.



Figura 32: Aspersor da Rain Bird, tipo 5000, existente na Zona F.

A distribuição de aspersores nas diferentes zonas é feita segundo as especificações dos equipamentos e está demonstrada na tabela seguinte.

Tabela 11: Dados atuais relativo ao número e tipo de aspersores utilizados

	Área (m ²)	Asp 5004	Asp 3504	Caudal max (m ³ /h)
Zona A	1150	27	7	6750
Zona B, C e parte de E	2061	41	23	6970
Zona D	210	0	14	2380
Zona E	774	17	0	4250
Zona F	1570	31	0	7750
Zona G	450	19	0	5750
Zona H	1750	48	22	6000
Zona I	3300	49	48	6125
Zona J	750	14	0	5100
Total	12015	246	114	7500

► ESPECIFICAÇÕES (SÉRIE 5004)

- Alcance: 7,6 a 15,2 m
- Pressão: 1,7 a 4,5 bar
- Caudal: 0,17 a 2,19 m³/h
- Ângulo de Trajectória:
 - Ângulo Padrão Bicos Rain Curtain™: 25°
 - Ângulo Baixo Bicos Rain Curtain™: 10°
- Óptimo desempenho do bico a 3 bar
- Taxa de Precipitação: 5 a 26 mm/h
- Rosca inferior de entrada fêmea de ¾" (20/27)
- Sector e círculo completo com retorno, com ajuste de 40° – 360°.

► ESPECIFICAÇÕES (SÉRIE 3504)

- Alcance: 4,6-10,7 m
- Alcance com parafuso de redução: até ao mínimo de 2,9 m
- Pressão: 1,7-3,8 bar Caudal: 0,12-1,04 m³/h
- Rosca de entrada fêmea 1/2" (15/21)
- Regulação do sector: 40°-360°

Figura 33: Especificações técnicas dos aspersores instalados (Anexo B). (Catálogos Rain Bird, 2007)

Está também instalada uma estação meteorológica, situada na parte superior do edifício E, que fornece valores de humidade, temperaturas e velocidade do vento, entre outros, em tempo real.



Figura 34: Estação meteorológica instalada no ISEP.

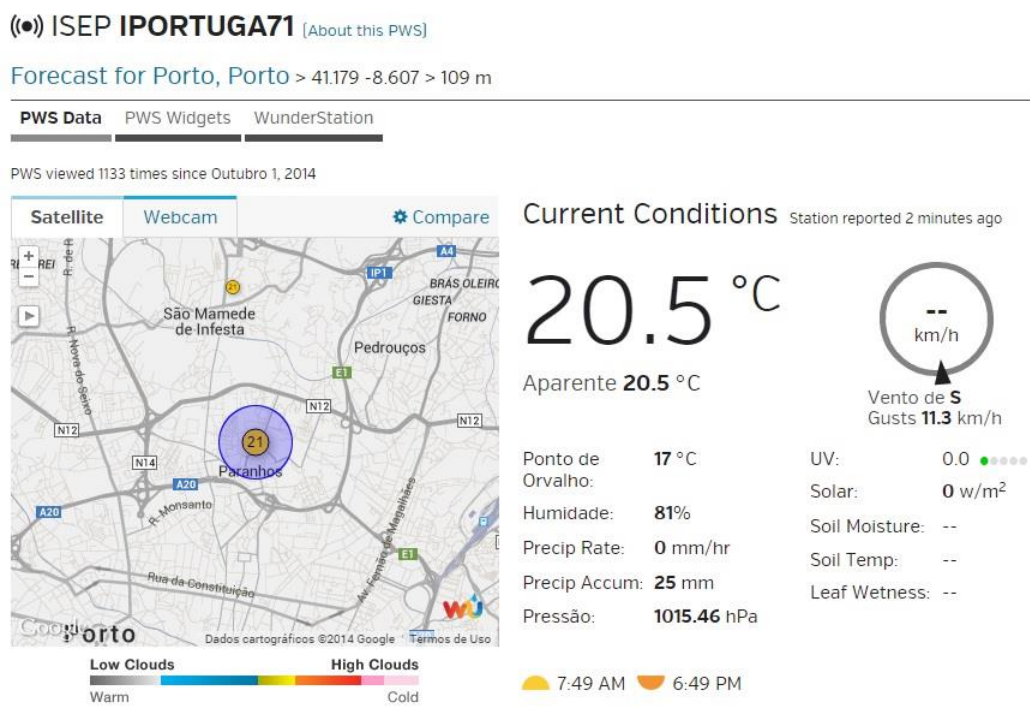


Figura 35: Dados da estação meteorológica (The Weather Channel, 2014).

5.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A problemática existente no sistema atual de rega dos jardins do ISEP assenta em alguns pilares:

- 1- Sistema de rega semiautomático. O operador é que liga e desliga o sistema de rega.
- 2- Mesmo que exista precipitação e ventos fortes a rega é feita normalmente.
- 3- A rega é feita a partir de dois reservatórios com uma capacidade total de 30 m³ de água que são alimentados por:
 - a. Dois fossos de elevadores, situados no edifício F, que têm níveis de impermeabilidades diferentes.
 - b. Caso haja muita precipitação existe a possibilidade de inundação das garagens do edifício F.
 - c. Não são conhecidos os caudais de água à saída dos poços nem da entrada nos sistemas de rega
 - d. Os reservatórios não são reabastecidos em contínuo
4. A estação meteorológica está instalada e os dados são recolhidos, mas não são tratados.

5.4. OBJETIVOS

Desenvolvimento de um sistema automatizado para que não seja necessário a deslocação do operador para ligar e desligar o sistema de rega. A sua presença será somente para casos de manutenção preventiva e, eventualmente, corretiva.

Pretende-se otimizar os consumos energéticos do sistema de rega tendo em conta os parâmetros de humidade, temperatura e velocidade do vento característicos do local a regar, tratando-se, desta forma, os dados fornecidos pela estação meteorológica.

Proposta de aproveitamento da água perdida nos meses com maior precipitação.

6. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

6.1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Em linhas gerais, o projeto de intervenção nos jardins do ISEP consiste no desenvolvimento de um sistema de gestão técnica para o controlo de sistemas de rega com recursos a um autómato programável (PLC).

Pretende-se otimizar os consumos energéticos do sistema de rega tendo em conta os parâmetros de humidade, temperatura e velocidade do vento característicos do local a controlar. Estes dados são fornecidos por uma estação meteorológica que já se encontra instalada na parte superior do edifício E.

Desenvolvimento de uma aplicação informática com as seguintes características:

1. Realizar a Interface Homem Máquina (HMI). Deverá interagir com um PLC de forma a permitir a visualização/alteração de variáveis internas do PLC, de acordo com as necessidades do utilizador.
2. Controlar o processo de enchimento e de rega. Esta operação consiste no controlo das bombas e respetivos débitos.
3. Definir e colocar em marcha todo o equipamento necessário para a realização do projeto e estabelecer uma análise económica do mesmo.

4. Tratar os dados coletados de tal modo que possam ser realizadas análises diárias, mensais e/ou anuais.

6.2. PLANEAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

6.2.1. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

Enquadramento hidrogeológico

As unidades hidrogeológicas são descritas na área urbana do Porto e apresentadas na tabela 12, em conjunto com um enquadramento geral do mapa hidrogeológico da região de Vila do Conde – Porto – Ovar (Anexo C), e poderão ser utilizadas no futuro como instrumento importante para a gestão sustentável dos recursos hídricos locais.

Tabela 12: Principais características hidrogeológicas s da área urbana do Porto (adaptado de Afonso, et al., 2004).

Grupos Hidrogeológicos Regionais	Unidades Hidrogeológicas	CARATERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS										
		Ligação à rede hidrográfica			Tipo de escoamento		Horizonte de alteração				Captações mais produtivas	
		tem	não tem	pode ter	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso	poços, minas, nascentes	furos
Depósitos de cobertura	Areias de dunas e praia; aluviões	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x	
	Depósitos e terraços flúvio-marinhos	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x	
Rochas metassedimentares	Quartzo-filitos, micaxistos e xistos negros			x		x	x	x		x		x
	Quartzitos e xistos ardósíferos		x	x		x	x			x		x
	Xistos, grauvaques e metaconglomerados			x		x		x	x			x
Rochas graníticas	Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com megacristais de feldspato K			x		x		x		x	x	
	Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico			x		x		x		x	x	
	Gnaisses e migmatitos			x		x	x	x		x	x	

n. a. = não aplicável

Denota-se, assim, que o tipo de solo abundante na zona do campus é o arenoso.

6.2.2. METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada no dimensionamento do sistema de rega foi adaptada da metodologia proposta por Keller & Bliesner (Keller & Bliesner, 1990).

6.2.2.1 – Necessidades hídricas

As necessidades hídricas das plantas (relva) dos jardins do ISEP foram calculadas através da determinação da dotação de rega e das áreas a regar segundo a metodologia adotada por Martins & Palma, 1998. A determinação da quantidade de água a aplicar (RA) foi efetuada a partir da equação 13:

$$RA (m^3 / mês) = \frac{\text{Dotação da Rega (l/mês)}}{\text{Área ocupada pela cultura (m}^2\text{)}} \quad (13)$$

A dotação de rega (h) foi calculada pela diferença entre a água perdida para a atmosfera por evapotranspiração (ET_C) e a água fornecida através de precipitação (Pe) de acordo com a equação 1, secção 3.1.1:

A obtenção de ET_C é feita a partir da equação 2 da secção 3.1.1, mas para isso tem de se ter informação relativamente à evapotranspiração de referência (ET_0) e o coeficiente cultural (K_C).

Assim:

Os coeficientes K_C são tabelados uma vez que é de referência cultural.

Tabela 13: Valores de Coeficientes Culturais.

	Baixo (março/abril)	Alto (maio/julho)
Relvado (Estação Fria)	0,8	
Relvado (Estação Quente)	0,6	

Cálculo da quantidade de água a aplicar à cultura

A partir dos valores da evaporação obtidos numa tina de classe A é possível estimar a quantidade de água a aplicar às diferentes culturas.

Primeiro, com os dados da evaporação é feita uma estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), que se obtém com base na seguinte relação:

$$ET_0 = E_{pan} \times K_p \quad (14)$$

onde:

E_{pan} - Evaporação numa tina de classe A. Representa a perda de água por evaporação na superfície da tina (mm).

K_p - Coeficiente específico relativo à tina de classe A. Representa a relação entre a evapotranspiração da cultura de referência (ET_0) e a perda de água por evaporação na superfície de água livre de uma tina (E_{pan}). Os valores deste coeficiente variam com a extensão e o estado da vegetação que cobre o solo em redor da tina, bem como com as condições de humidade e de vento. Pode variar entre 0,55 e 0,85.

A tina de evaporação classe A é circular, com 120,7 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade. Foi montada numa plataforma nivelada de armação de madeira de 15 cm que permite o arejamento inferior da tina. O nível de água na tina foi mantido entre 5 e 7,5 cm abaixo da bordadura. A água deve ser renovada regularmente, pelo menos mensalmente, para eliminar turvação extrema.

A tina foi instalada no interior do parque meteorológico, de modo a protegê-la de intrusos ou animais, onde o solo é revestido por relva com uma altura uniforme de cerca 7 de 10 a 15 cm, numa área de $5 \times 5 \text{ m}^2$ (área do parque meteorológico), acrescida de 2 m de bordadura no exterior, para além do seu perímetro. A envolvente do parque meteorológico está livre de árvores ou outros obstáculos.

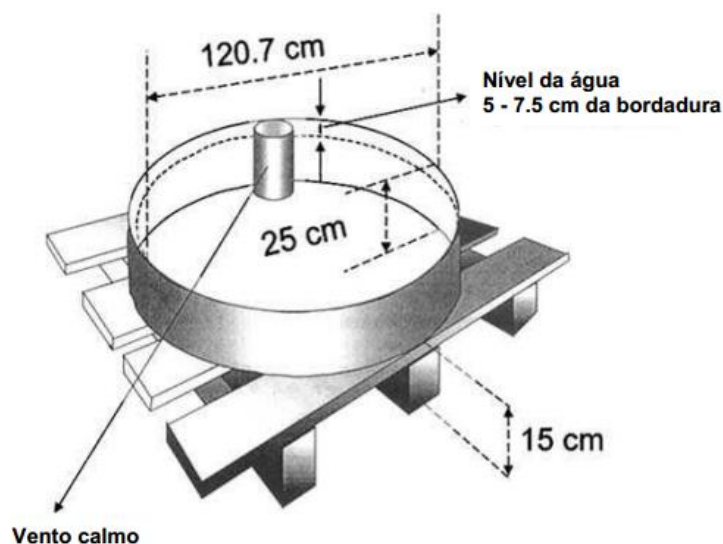


Figura 36: Esquematização da tina de Evaporométrica Classe A (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

Valores orientativos para rega de relvados

Tabela 14: Valores de Epan.

Mês		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Epan	Evaporação (mm ou l/m ²)	1,7	2,4	3,6	5,2	6,3	8,2	8,8	7,8	5,9	3,7	2,1	1,8

Assim, podemos calcular a quantidade de água a aplicar. Teremos de utilizar estes valores de referência.

Equação para estimar o valor de K_p :

$$K_p = 0,108 - 0,0286VD_2 + 0,042\ln(\text{FET}) + 0,1434\ln(\text{RH}_{\text{man}}) - 0,000631[\ln(\text{FET})]^2 \ln(\text{RH}_{\text{man}}) \quad (15)$$

onde:

V_2 – Velocidade média diária (m/s)

RH_{man} – Humidade Relativa (%)

FET – Altura Média da Cultura (m)

Valores a 10 junho:

$$V_2 - 2,2 \text{ km/h} \approx 0,61111 \text{ m/s}$$

$$RH_{\text{man}} - 82 \%$$

$$FET - 1 \text{ m}$$

Substituindo os valores na equação 15 vemos que $K_p = 0,7222446$.

Assim, pela equação 14 calculou-se o valor da evapotranspiração de referência seguidamente apresentados.

Tabela 15: Valores de evapotranspiração de referência.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ET ₀	1,2281	1,7338	2,6008	3,7567	4,5514	5,9240	6,3575	5,6350	4,2624	2,6730	1,5171	1,3004

Pela equação 2 da secção 3.1.1, conseguimos então calcular o valor da evapotranspiração.

Tabela 16: Valores de evapotranspiração.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ET _C (mm/dia)	1,0	1,4	2,1	3,0	2,7	3,6	3,8	3,4	2,6	1,6	0,9	1,0

A quantidade de água necessária para rega foi determinada a partir da equação 13 (convertida para m³/mês), após o cálculo da dotação de rega (equação 1) e conhecendo as diferentes áreas dos jardins a regar, como se apresenta na tabela 17.

Tabela 17: Determinação da dotação de rega e da quantidade de água necessária para rega para cada área considerada.

Mês	ETc (mm/dia)	ETc (mm/mês)	Pe (mm/mês)	Dotação da Rega (mm/mês)	RA (m³/mês)										Total (m³/mês)
					Zona A (m²)	Zona B, C e parte de E (m²)	Zona D (m²)	Zona E (m²)	Zona F (m²)	Zona G (m²)	Zona H (m²)	Zona I (m²)	Zona J (m²)		
					1150	2061	210	774	1570	450	1750	3300	750		
jan	1,0	31	52,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
fev	1,4	39,2	37,14	2,06	2,37	4,25	0,43	1,59	3,23	0,93	3,60	7,82	3,18	27,41	
mar	2,1	65,1	34,51	30,59	35,18	63,05	6,42	23,68	48,03	13,77	53,53	116,09	47,28	407,02	
abr	3,0	90	15,75	74,25	85,39	153,03	15,59	57,47	116,57	33,41	129,94	281,78	114,77	987,95	
mai	2,7	83,7	23,76	59,94	68,93	123,54	12,59	46,39	94,11	26,97	104,90	227,47	92,65	797,55	
jun	3,6	108	9,81	98,19	112,92	202,37	20,62	76,00	154,16	44,19	171,83	372,63	151,78	1306,49	
jul	3,8	117,8	0	117,8	135,47	242,79	24,74	91,18	184,95	53,01	206,15	447,05	182,09	1567,42	
ago	3,4	105,4	0	105,4	121,21	217,23	22,13	81,58	165,48	47,43	184,45	399,99	162,92	1402,43	
set	2,6	78	12,42	65,58	75,42	135,16	13,77	50,76	102,96	29,51	114,77	248,88	101,37	872,59	
out	1,6	49,6	40,72	8,88	10,21	18,30	1,86	6,87	13,94	4,00	15,54	33,70	13,73	118,16	
nov	0,9	27	44,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
dez	1,0	31	34,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total					647,09	1159,70	118,16	435,52	883,42	253,21	984,71	2135,41	869,78	7487,01	

Tabela 18: Determinação da evapotranspiração dos espaços verdes para cada área considerada.

Mês	ET ₀ (mm/dia)	ET ₀ (mm/mês)	K _L (mm/mês)	ET _L (mm/mês)	ET _L (m ³ /mês)										Total (m ³ /mês)
					Zona A (m ²)	Zona B, C e parte de E (m ²)	Zona D (m ²)	Zona E (m ²)	Zona F (m ²)	Zona G (m ²)	Zona H (m ²)	Zona I (m ²)	Zona J (m ²)		
					1150	2061	210	774	1570	450	1750	3300	750		
jan	1,23	38,07	0,432	16,45	18,91	33,90	3,45	12,73	25,82	7,40	28,78	62,42	25,42	218,85	
fev	1,73	48,55		20,97	24,12	43,23	4,40	16,23	32,93	9,44	36,70	79,59	32,42	279,06	
mar	2,60	80,62		34,83	40,05	71,78	7,31	26,96	54,68	15,67	60,95	132,18	53,84	463,44	
abr	3,76	112,70		48,69	55,99	100,34	10,22	37,68	76,44	21,91	85,20	184,77	75,26	647,82	
mai	4,55	141,09		60,95	70,10	125,62	12,80	47,18	95,70	27,43	106,67	231,31	94,22	811,02	
jun	5,92	177,72		76,78	88,29	158,23	16,12	59,42	120,54	34,55	134,36	291,36	118,68	1021,56	
jul	6,36	197,08		85,14	97,91	175,47	17,88	65,90	133,67	38,31	148,99	323,11	131,61	1132,85	
ago	5,64	174,69		75,46	86,78	155,53	15,85	58,41	118,48	33,96	132,06	286,39	116,65	1004,12	
set	4,26	127,87		55,24	63,53	113,85	11,60	42,76	86,73	24,86	96,67	209,64	85,39	735,02	
out	2,67	82,86		35,80	41,17	73,78	7,52	27,71	56,20	16,11	62,65	135,85	55,33	476,31	
nov	1,52	45,51		19,66	22,61	40,52	4,13	15,22	30,87	8,85	34,41	74,62	30,39	261,62	
dez	1,30	40,31		17,41	20,03	35,89	3,66	13,48	27,34	7,84	30,48	66,09	26,92	231,72	
Total					629,49	1128,16	114,95	423,68	859,40	246,32	957,93	2077,33	846,12	7283,39	

A evapotranspiração dos espaços verdes (ET_L) foi determinada a partir da equação 4 da secção 3.1.1 incluindo o coeficiente de paisagem específico (K_L) com a equação 3 da mesma secção como se apresenta na tabela 18.

Após determinação das necessidades em água dos jardins do ISEP, procedeu-se à comparação entre as necessidades de água e as disponibilidades de água residual.

Verificou-se que as necessidades de água da relva são superiores às disponibilidades de água residual disponível nos meses de abril, junho, julho, agosto e setembro, enquanto no resto do ano as disponibilidades são suficientes para suprir as necessidades (Figura 37). Para fazer face às necessidades hídricas considerou-se que a rega será efetuada utilizando toda a água residual disponível nos fossos dos elevadores, compensando o que falta com água de abastecimento (furo já existente).

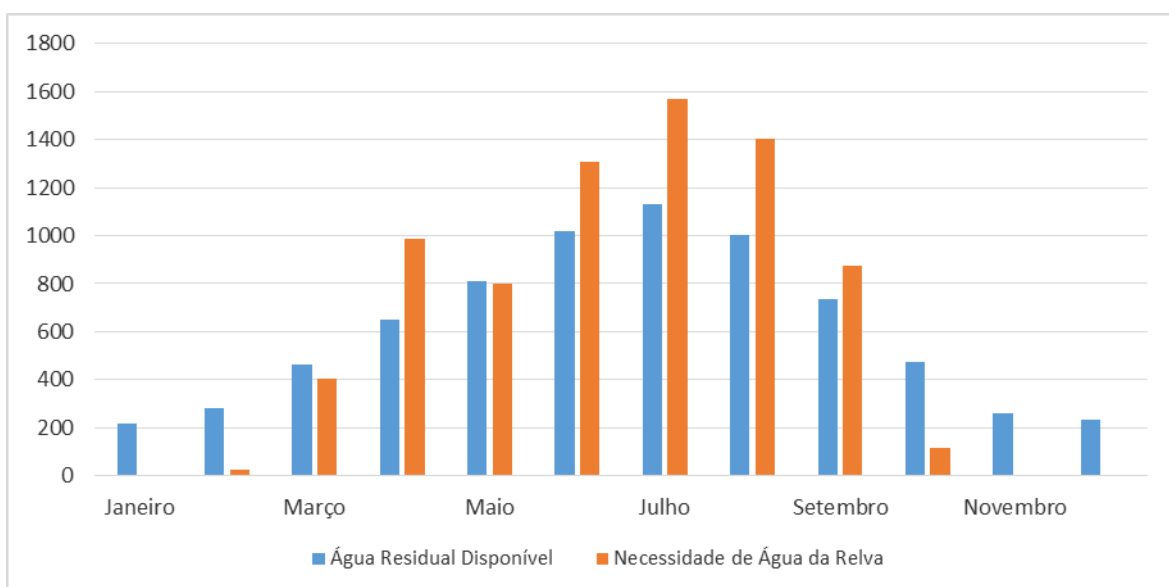


Figura 37: Necessidades em água da relva e disponível de água residual tratada ao longo do ano.

6.2.2.2 – Intervalo entre regas

No estudo para implementação de um sistema de rega é também necessário saber qual o intervalo entre regas. Aplicando a equação 10 e para não fazer este cálculo para todos os meses tomemos como exemplo o mês de maio:

$$IR(dias) = \frac{59,94}{83,7 - 23,76}$$

$$IR(dias) = 1$$

Conclui-se assim que, em caso normal, deverá regar-se os relvados diariamente.

6.2.2.3 – Tempo útil de rega

Como verificado na tabela 11, do ponto 5.2, foram fornecidos dados pelo ISEP e com esses conseguimos calcular a taxa de aplicação como demonstrado na tabela 19.

Tabela 19: Dados fornecidos pelo ISEP e cálculo da Taxa de Aplicação.

	Zona A	Zona B, C e parte de E	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H	Zona I	Zona J
Área	1150	2061	210	774	1570	450	1750	3300	750
Caudal Máximo (por ano)	6750	6970	2380	4250	7750	5750	6000	6125	5100
Taxa de Aplicação (mm/ano)	5,87	3,38	11,33	5,49	4,94	12,78	3,43	1,86	6,80

A tabela anterior forneceu-nos a taxa de aplicação em mm/ano. Para uma melhor compreensão passou-se para mm/dia.

Tabela 20: Valores de taxa de aplicação em mm/dia

	Zona A	Zona B, C e parte de E	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H	Zona I	Zona J
Taxa de Aplicação (mm/dia)	0,0161	0,0093	0,0311	0,0150	0,0135	0,0350	0,0094	0,0051	0,0186

Pela equação 5 analisou-se que o tempo útil de rega depende da taxa de aplicação (TA) e da Dotação (h), determinadas anteriormente.

Tabela 21: Valores de tempo de rega em cada zona.

Tempo de Rega por Zona (min/dia)												
Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Dotação	-	2,06	30,59	74,25	59,94	98,19	117,80	105,40	65,58	8,88	-	-
Zona A	-	2,16	28,96	72,64	56,75	96,06	111,52	99,78	64,15	8,41	-	-
Zona B, C e parte de E	-	1,24	16,69	41,85	32,69	55,34	64,26	57,49	36,96	4,84	-	-
Zona D	-	4,17	55,92	140,25	109,57	185,47	215,33	192,67	123,87	16,23	-	-
Zona E	-	2,02	27,09	67,95	53,09	89,86	104,33	93,35	60,02	7,86	-	-
Zona F	-	1,82	24,36	61,09	47,72	80,78	93,79	83,92	53,95	7,07	-	-
Zona G	-	4,70	63,04	158,13	123,53	209,11	242,78	217,22	139,66	18,30	-	-
Zona H	-	1,26	16,92	42,43	33,15	56,11	65,14	58,29	37,47	4,91	-	-
Zona I	-	0,68	9,16	22,97	17,94	30,37	35,27	31,55	20,29	2,66	-	-
Zona J	-	2,50	33,55	84,15	65,74	111,28	129,20	115,60	74,32	9,74	-	-

Assim, e como exemplo:

Mês de maio, Zona F tem um tempo de rega de 47,72 min/dia

Conclui-se que, em média, o relvado na Zona F, num dia do mês de maio, irá regar durante 47,72 minutos. Se dividirmos numa necessidade de quatro vezes por dia, irá regar, em média, 12 minutos por cada rega.

6.2.2.4 – Eficiência da rega

Como verificámos na figura 37, as necessidades hídricas da relva são superiores às disponibilidades de água residual disponível nos meses de abril, junho, julho, agosto e setembro, enquanto no resto do ano as disponibilidades são suficientes para suprir as necessidades, logo só faz sentido medirmos a eficiência nos meses em que as necessidades de rega são efetivas.

Assim, pela equação 12 foi calculada a eficiência do sistema de rega por mês, como se demonstra na tabela seguinte

Tabela 22: Valores de eficiência do sistema.

Mês	Dotação da Rega	ET _L	Eficiência da Rega (%)
abril	74,25	48,69	65,57
junho	98,19	76,78	78,19
julho	117,8	85,14	72,28
agosto	105,4	75,46	71,60
setembro	65,58	55,24	84,23

Podemos verificar que o sistema instalado é satisfatório, tendo uma média global de cerca de 75% de eficiência.

6.2.2.5 – Caudal

Uma das questões levantadas no desenvolvimento deste trabalho era conhecer os caudais existentes no sistema, nomeadamente o caudal de cada aspersor.

Na equação 7 é referido que o caudal, por definição, é o volume existente a dividir pelo tempo que esse volume demora a passar. Mas, no caso da medição do caudal por aspersão, segundo Ribeiro, no Plano Verde da cidade de Bragança, será:

$$\text{Taxa de aplicação} = \frac{\text{Caudal total}}{\text{Área regada}} \quad (16)$$

Assim, no seguimento da equação anterior foi calculado o valor do caudal como se indica na tabela seguinte:

Tabela 23: Valor do caudal por Zona.

Zona	Caudal (m ³ /h)
Zona A	0,7705
Zona B, C e parte de E	0,7957
Zona D	0,2717
Zona E	0,4852
Zona F	0,8847
Zona G	0,6564
Zona H	0,6849
Zona I	0,6992
Zona J	0,5822

De notar que os valores calculados anteriormente são os valores de caudal que chegam a determinada zona. Assim sendo, foi verificado o número de aspersores por zona para podermos determinar o caudal por aspersor como demonstra a tabela 24.

Tabela 24: Valores de caudal por aspersor.

Zona	Número de aspersores/zona	Caudal (m ³ /h)
Zona A	34	0,0227
Zona B, C e parte de E	64	0,0124
Zona D	14	0,0194
Zona E	17	0,0285
Zona F	31	0,0285
Zona G	19	0,0345
Zona H	70	0,0098
Zona I	97	0,0072
Zona J	14	0,0416

6.2.3. SISTEMAS DE REGA

A proposta deste trabalho para o sistema de rega é torná-lo automatizado, utilizando assim os dados da estação meteorológica já existente e o equipamento de rega ao nível das tubagens e aspersores, como demonstra a tabela seguinte.

Tabela 25: Equipamentos do sistema de rega instalados no ISEP.

	Área (m ²)	Asp 5004	Asp 3504	Pulv 1804	PEAD32PN6	PEAD50PN6	PE16mm	TBOS	PGA 1"	PGA 1.1/2"
Zona A	1150	27	7	0	50	250	50	2 estações	1	1
Zona B, C e parte de E	2061	41	23	0	250	250	100	2 estações	0	2
Zona D	210	0	14	0	75	0	20	1 estação	0	1
Zona E	774	17	0	0	0	200	50	1 estação	0	1
Zona F	1570	31	0	0	0	270	50	1 estação	0	1
Zona G	450	19	0	0	0	160	25	1 estação	0	1
Zona H	1750	48	22	0	150	500	150	4 estações	1	2
Zona I	3300	49	48	0	300	400	150	4 estações	0	4
Zona J	750	14	0	53	150	150	100	4 estações	0	3
Geral (Filtro e consola)										
Total	12015	246	114	53	975	2180	695	9 módulos	2	16

Para além do material existente, esta proposta inclui o desenvolvimento e apresentação de um sistema de automação e instalação de um autómato programável (PLC) e de vários sensores de humidade do solo.

6.2.4. GRAFCET

O GRAFCET é uma metodologia gráfica utilizada na automatização de sistemas sequenciais. É constituído por uma alternância de etapas e transições integradas por ligações orientadas nas quais as especificações funcionais podem ser aplicadas a um qualquer sistema lógico de controlo (Santos & Silva, 2012).

No caso de estudo em concreto teve-se em consideração algumas variáveis tais como a humidade do solo e o vento.

Os símbolos utilizados são os apresentados na tabela seguinte

Tabela 26: Símbolos e respetivas descrições.

Símbolos	Descrição
SR1A	Sensor Superior Reservatório 1
SR2A	Sensor Superior Reservatório 2
SF11	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
SF12	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 2)
SF21	Sensor Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
SF22	Sensor Fosso Elevador 2 (Bomba 2)
BF11	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
BF12	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 2)
BF21	Bomba Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
BF22	Bomba Fosso Elevador 2 (Bomba 2)
SAN	Valor obtido da estação meteorológica do ISEP (Valor do Vento ENE) enviado em formato digital [1 – acima; 0 – abaixo]
TReg	Valor de acordo com a tabela 21
SH1	Sensor de Humidade 1
SH2	Sensor de Humidade 2
SH3	Sensor de Humidade 3
BR1	Bomba de Rega 1
BR2	Bomba de Rega 2
SM1	Sistema Manual 1
SM2	Sistema Manual 2
SE	Sensor de Emergência
VR	Volume do Reservatório
BFU	Bomba do Furo
SC	Sensor de Caudal
SCE	Sensor de caudal à entrada do reservatório
PCE	Pedido do valor do caudal à entrada do reservatório
PRE	Pedido recebido à saída do reservatório
SCS	Sensor de caudal à saída do reservatório
PCS	Pedido do valor do caudal à saída do reservatório
PRS	Pedido recebido à saída do reservatório

Neste seguimento foi desenhados vários GRAFCETs para o caso em estudo como demonstra as figuras que se seguem.

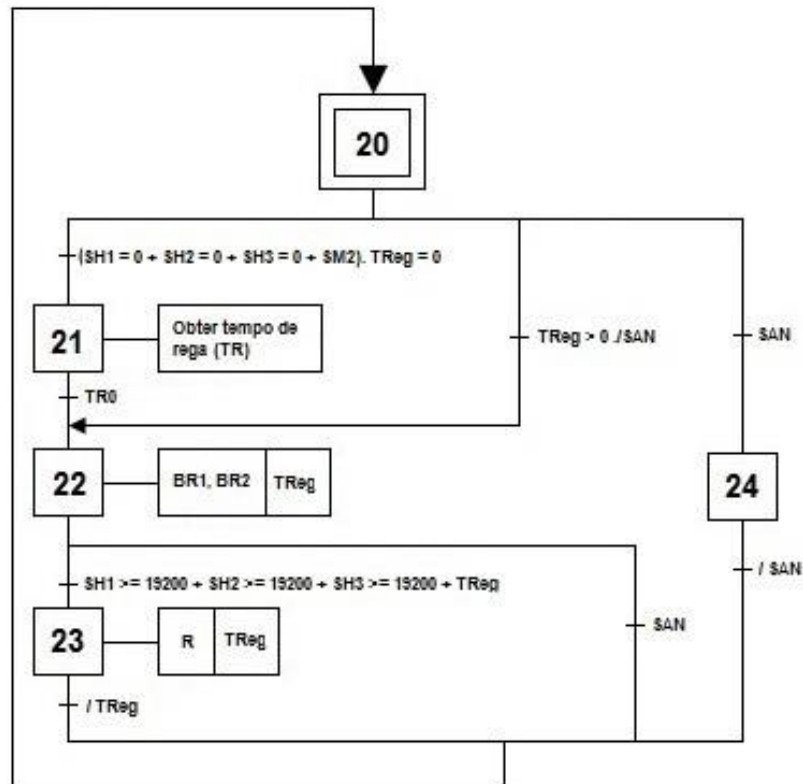


Figura 38: GRAFCET para o sistema de rega.

Descrição do processo:

O sistema inicializa-se com a verificação dos valores dos sensores de humidade instalados ou por ação do botão SM2, sistema manual 2. Neste caso pela ação de três sensores (SH1, SH2 e SH3) os quais vão medir a humidade do solo. Esta medição refere-se ao valor de contagem de um sinal analógico correspondente a uma profundidade de menos de 30 cm, isto é, não existir humidade a uma profundidade de, pelo menos, 30 cm, proporcionalidade inversa (ver página 103).

Em seguida o sistema vai obter, da base de dados do sistema de gestão remoto, o tempo de rega necessário. O sinal digital TRO informa o sistema de que o tempo de rega foi obtido (1 tempo obtido, 0 à espera do tempo de rega). As bombas (BR1, BR2) são ligadas e

iniciando-se a rega de acordo com os valores da tabela 21, temporizador retentivo TReg. O tempo de rega TReg volta a zero através da ação de RESET realizada na etapa 23.

Relativamente ao sensor “SAN”, parâmetro associado à velocidade do vento, irá trabalhar com valores digitais, fornecidos pelo SGT remota. Caso seja 1, estará acima do regulamentar e irá suspender o sistema de rega, caso seja 0, estará abaixo, o sistema irá regar normalmente.

Assim, o sistema de rega só irá parar em três momentos. Caso os valor de humidade do solo seja atingido, o tempo de rega dado pela tabela 21 for atingido ou se a velocidade do vento for superior ao regulamentado, retomando a rega se o tempo de rega ainda não tiver sido atingido.

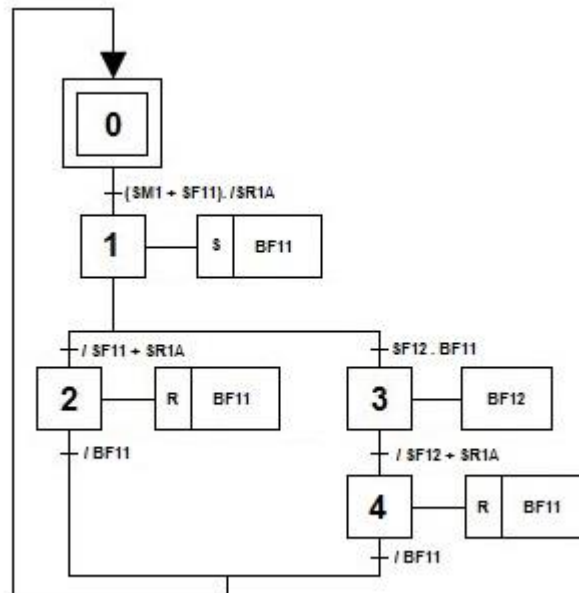


Figura 39: GRAFCET para utilização das bombas relativamente ao fosso elevador 1.

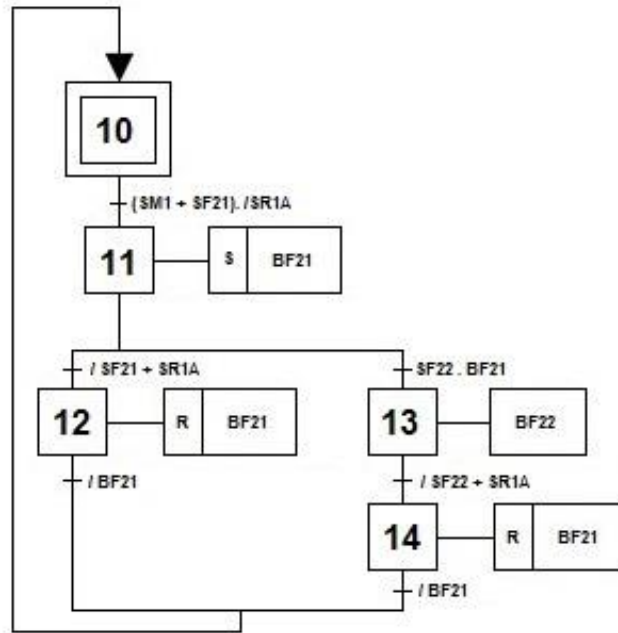


Figura 40: GRAFCET para utilização das bombas relativamente ao fosso elevador 2.

No processo da bombagem dos fossos dos elevadores o seu funcionamento é o seguinte:

Para o fosso do elevador 1, que enche o reservatório 1, as bombas são atuadas quando o sensor respetivo é atuado. Assim, a bomba 1 do fosso do elevador 1 (BF11) é atuada quando o sensor do fosso do elevador 1 (SF11) é atuado.

A bomba 1 do fosso do elevador 1 (BF11) desliga quando o sensor do fosso do elevador 1 (SF11) retira o sinal ou quando o sensor superior do reservatório 1 (SR1A) for atuado, ou seja, quando o reservatório 1 está cheio.

O mesmo acontece com a bomba 2 do fosso do elevador 1 (BF12, bomba redundante que entra em funcionamento quando o nível de água é muito superior ao esperado.) e com as bombas 1 e 2 do fosso do elevador 2, BF21e BF22, respetivamente.

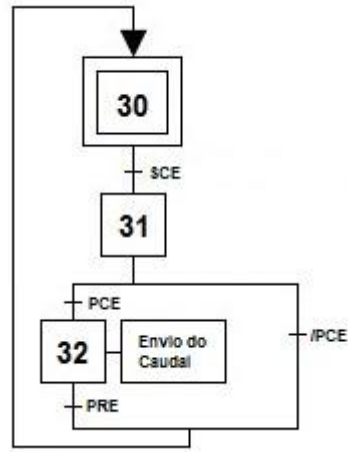


Figura 41: GRAFCET de controlo dos caudais à entrada do reservatório.

Para o sistema de rega estar e funcionamento é preciso controlar os caudais que serão necessários em cada uma das zonas. Este inicia quando é atuado o sensor de caudal de entrada do reservatório (SCE).

Se se verificar um pedido do valor de caudal de entrada, SGT remota, transição 31/32, o sistema envia o valor do caudal recebendo a informação de caudal lido, PRE, iniciando o envio da contagem de caudal.

O processo de cálculo dos caudais é feito pelo SGT remoto do tipo SCADA.

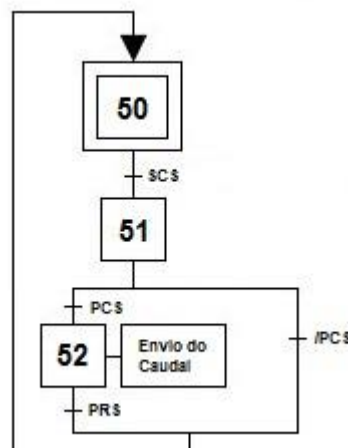


Figura 42: GRAFCET de controlo dos caudais à saída do reservatório.

No caso do controlo dos caudais à saída do reservatório o processo é semelhante ao anterior com as devidas alterações dos sensores.

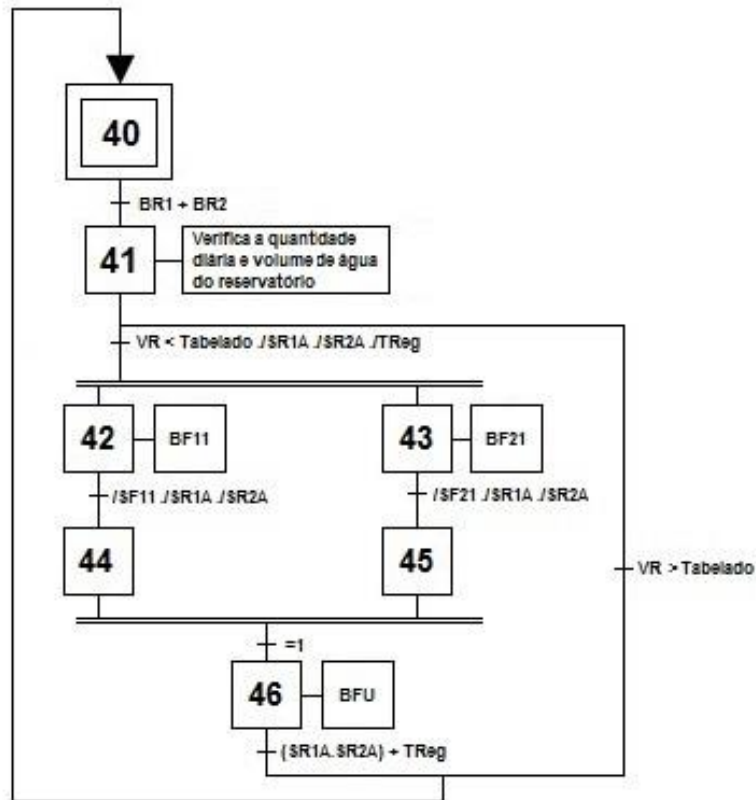


Figura 43: GRAFCET para utilização da água do furo.

No processo da bombagem do furo o seu funcionamento é o seguinte:

Este processo inicializa-se pela verificação do volume de água existente no reservatório (VR) que se encontra calculado na tabela 17. O sistema de bombagem do furo (BFU) só entra em funcionamento quando o sensor do fosso do elevador 1 (SF11) ou fosso do elevador 2 (SF21) não está atuado e o sensor superior do reservatório 1 (SR1A) ou sensor superior do reservatório 2 (SF2A) também não se encontra ativo, ou seja, o reservatório 1 ou 2 ainda não se encontram cheios.

A bomba do furo (BFU) deixa de estar atuada quando os sensores superiores dos reservatórios 1 e 2 (SR1A e SR2A) estiverem ativos (reservatório 1 e 2 cheios) ou quando tiver passado o tempo de rega (TReg).

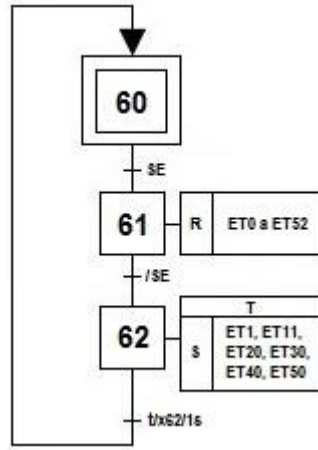


Figura 44: GRAFCET emergência.

No caso de se acionar o botão de emergência (SE), todas as etapas, desde a etapa zero (ET0) à última etapa (ET52), são desligadas através da ação de RESET.

Quando o sinal de SE deixar de estar atuado, as etapas, ET1, ET11, ET20, ET30, ET40 e ET50, volta a entrar em funcionamento passado um segundo ($t/x62/1s$), tempo de espera para garantir a ativação das etapas descritas anteriormente.

6.2.5. LINGUAGEM LADDER

A linguagem de programação Ladder, baseada nos diagramas de contactos, é a linguagem de programação mais utilizada na programação de PLCs. Na realidade existem mais programas de PLCs escritos em linguagem de programação Ladder do que em qualquer outra linguagem. Este facto deve-se aos próprios fabricantes que de certa forma adotaram de práticas de programação antigas, tornando-as mais abrangentes e versáteis (Santos & Silva, 2012).

Um dos programas mais utilizados para o desenho, desenvolvimento e edição de programas de controlo utilizando os diagramas Ladder é o, STEP 7-Micro/WIN, da SIMENS (Figura 45).

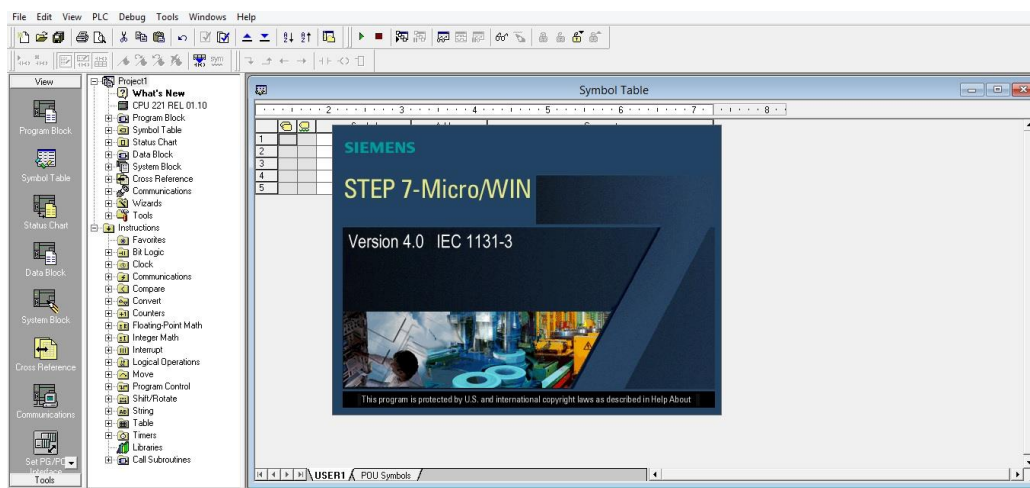


Figura 45: Interface do STEP 7-Micro/WIN, da SIMENS.

Uma vez desenvolvido o GRAFCET convertemo-lo em linguagem escrevendo o programa no *software* referido anteriormente.

Na figura seguinte apresenta-se parte da tabela de simbologia, com os símbolos, utilizados ao longo da programação.

Symbol Table				
		Symbol	Address	Comment
1		SR1A	I0.0	Sensor Superior Reservatório 1
2		SR2A	I0.1	Sensor Superior Reservatório 2
3		SF11	I0.2	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
4		SF12	I0.3	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 2)
5		SF21	I0.4	Sensor Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
6		SF22	I0.5	Sensor Fosso Elevador 2 (Bomba 2)
7		BF11	I0.6	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
8		BF12	I0.7	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 2)
9		BF21	I1.0	Bomba Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
10		BF22	I1.1	Bomba Fosso Elevador 2 (Bomba 2)
11		SAN	I1.2	Valor obtido da estação meteorológica do ISEP (Valor do Vento ENE) enviado em formato digital [1 acima; 0 abaixo]
12		TR	I1.3	Valor de acordo com a tabela 21
13		SH1	I1.4	Sensor de Humidade 1
14		SH2	I1.5	Sensor de Humidade 2
15		SH3	I1.6	Sensor de Humidade 3
16		BR1	I1.7	Bomba de Rega 1
17		BR2	I2.0	Bomba de Rega 2

Figura 46: Tabela de símbolos inseridas no programa STEP 7-Micro/WIN da SIEMENS.

Neste projeto foram colocados várias ações (Anexo D) como demonstram as figuras 47 e 48

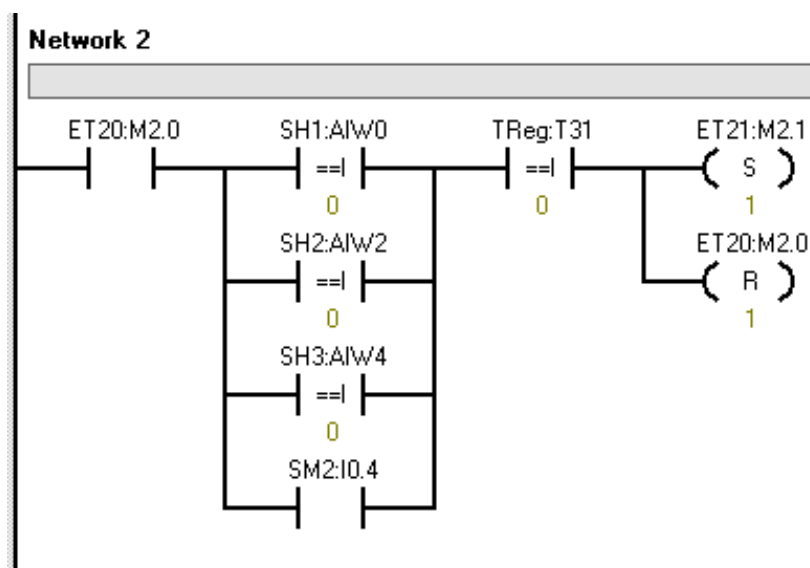


Figura 47: Medição dos sensores de humidade.

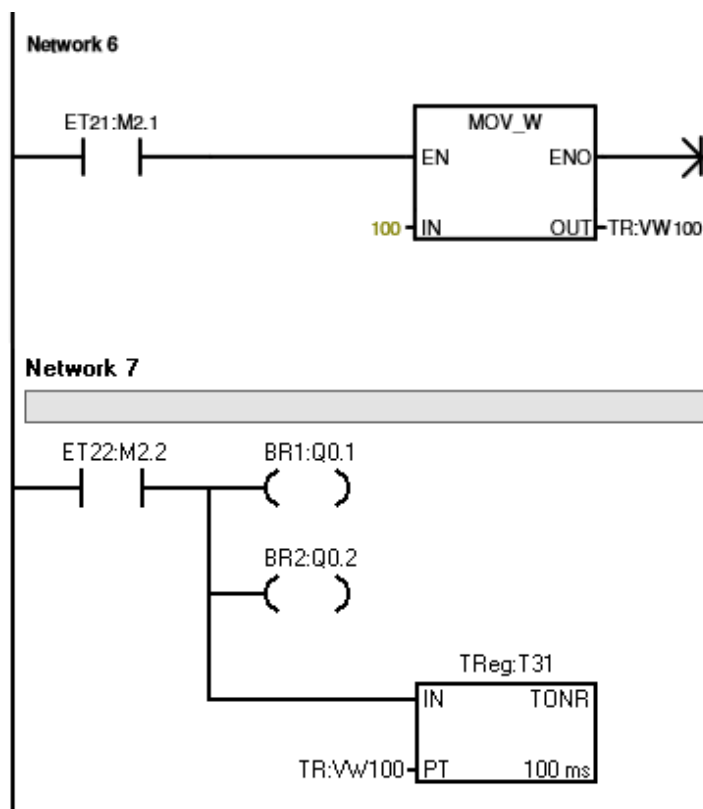


Figura 48: Exemplo de temporização.

Para verificação da programação em linguagem Ladder utiliza-se também dois programas, o S7-200-SIMU e o PC-SIMU, desenvolvidos por Juan Luis Villanueva Montoto, tipo de licença: *Freeware* (Figura 49).

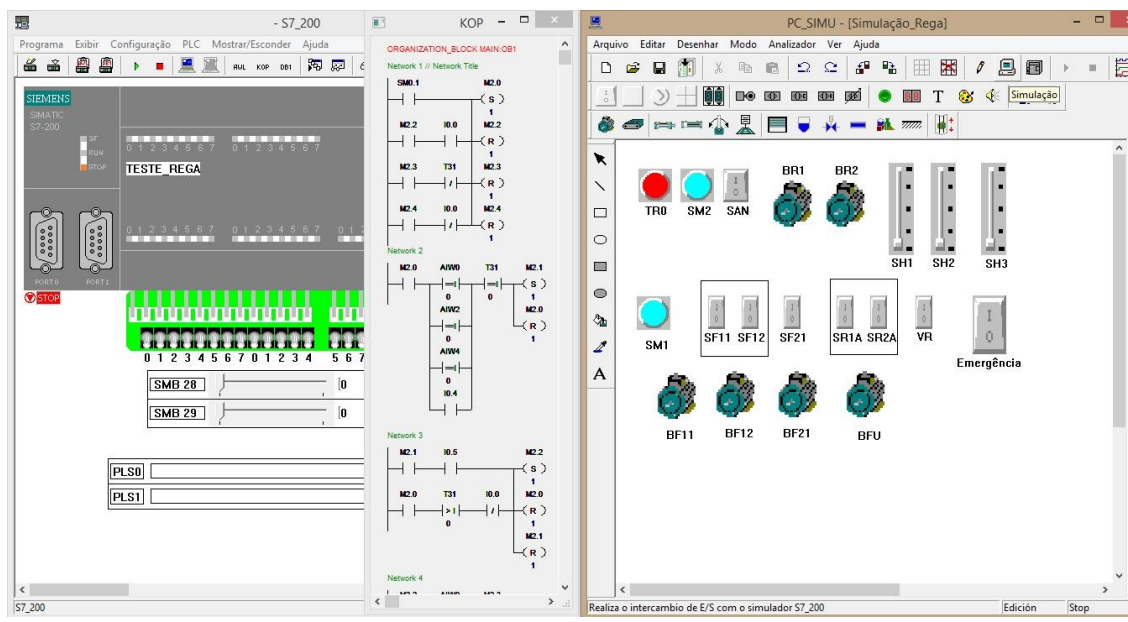


Figura 49: Simulação feita nos programas S7-200-SIMU e o PC-SIMU.

De salientar que para efeitos de demonstração foram utilizadas sistemas com entradas digitais embora os sensores devam estar ligados a entradas analógicas.

Exemplo de entradas analógicas

Medição da humidade do solo utilizando uma sonda de nível que fornece uma tensão de medida de +10 V com o sensor está no máximo e 0 V quando o sensor está no mínimo.

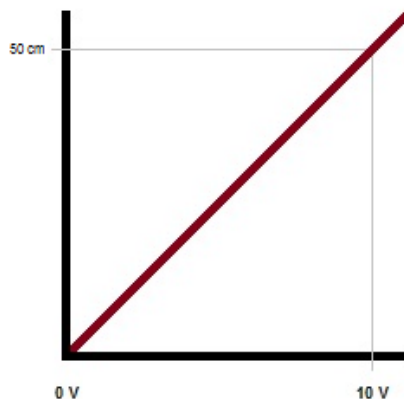


Figura 50: Escalonamento unipolar, relação medição de humidade/tensão.

Começamos por desenhar a reta de escalonamento associada aos valores conhecidos, medição de humidade (50 cm) e tensão (0 a 10 V) como demonstra a figura anterior.

A equação que relaciona a capacidade e a tensão recebida à entrada do autómato será dada por:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (17)$$

$$m = \frac{50 - 0}{10 - 0} = 5 \text{ cm/V}$$

onde

$$y = 5x$$

Mas em termos de programação do autómato, o que efetivamente pretendemos é a relação entre a voltagem recebida à entrada do módulo analógico e os valores de contagem.

Assim temos:

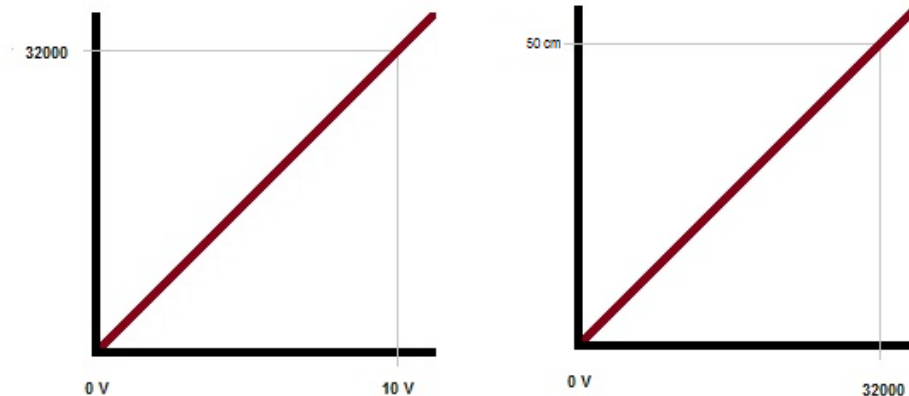


Figura 51: Relação medição da humidade/contagem.

Onde a relação entre a capacidade da sonda e o valor da contagem necessária para a programação do autómato de acordo com a figura anterior.

$$m = \frac{50 - 0}{32000} = \frac{50}{32000} = 0,0015625 \text{ com } y = 0,0015625x$$

Assim para níveis de medição pretendidos (níveis 10, 20, 30, 50) o valor da contagem será obtido pela seguinte equação:

$$x = \frac{y}{0,0015625} = \frac{10}{0,0015625} = 6400n \left(\frac{1}{4} = 6400 \text{ com } \Delta n = 0 \right)$$

$$x = \frac{y}{0,0015625} = \frac{20}{0,0015625} = 12800n \left(\frac{2}{4} = 12800 \text{ com } \Delta n = 0 \right)$$

$$x = \frac{y}{0,0015625} = \frac{30}{0,0015625} = 19200n \left(\frac{3}{4} = 19200 \text{ com } \Delta n = 0 \right)$$

$$x = \frac{y}{0,0015625} = \frac{50}{0,0015625} = 32000n \left(\frac{4}{4} = 32000 \text{ com } \Delta n = 0 \right)$$

6.3. EQUIPAMENTOS

Como referido no porto 6.2.3, já existe uma estação meteorológica, e em termos de equipamento de rega, tubagens e aspersores.

Assim somente será necessários referenciar como equipamentos um autómato programável (PLC) e sensores de humidade e caudalímetros.

6.3.1. AUTÓMATO PROGRAMÁVEL

Uma vez que o programa de teste foi desenvolvido utilizando o *software* e os simuladores do S7-200 penso que será razoável utilizar um autómato programável também ele da SIEMENS.

No mercado atual, a SIEMENS lançou recentemente o S7-1200 que já possui comunicação Ethernet e processamento analógico de fábrica. Este será, dentro da gama SIEMENS, o equipamento mais aconselhável para este sistema dada a facilidade de interagir com sistemas baseados na internet. Para a programação deste autómato é utilizado o *software* STEP7-Basic V10.5.



Figura 52: Autómato programável S7-1200 (Siemens, 2014).

Algumas características:

Possui um Interface PROFINET integrada para programação, diagnóstico, ligação ao HMI e comunicação ponto-a-ponto.

Funções tecnológicas integradas poderosas para funções de contagem, medição, closed-loop e *motion control*. O que é importante para este projeto.

Possui *Signal Modules* e *Signal Boards* para ligações I/O digitais e analógicas.

Até 16 ligações de *Ethernet*.

Conector RJ45 com funcionalidade *auto-cross-over*.

Vários protocolos incorporados (*TCP/IP native, ISO on TCP e S7-Communication*).

6.3.2. **SENSORES DE HUMIDADE**

Estes sensores irão fornecer informação relativa à humidade do solo.

Um critério importante a ter em conta na escolha de um sensor de humidade é que iremos ter um sensor para profundidades fixas.

Para isso foi escolhida a sonda EasyAG®



Figura 53: Dois modelos da sonda EasyAG®, 50 (A) e 80 (B). (Catálogo Aquagri, 2014)

É uma sonda fácil de instalar devido à sua reduzida dimensão. É compacta, com sensores a profundidades fixas.

Existem dois modelos (Figura 53):

EasyAG® 50, Com sensores fixos a 10, 20, 30 e 50 cm

EasyAG® 80, Com sensores fixos a 10, 30, 50 e 80 cm

Estas sondas podem ser instaladas com os *dataloggers* do sistema EnviroSCAN, ou ligadas a uma diversificada gama de outras tecnologias, como controladores de rega, estações meteorológicas, PLC, *dataloggers*, entre outros. Possui conectividade RS232, RS485, *Current Output*, *Voltage Output*, SDI-12.

6.3.3. MEDIÇÃO DO CAUDAL

Uma das melhorias a introduzir com este trabalho passa pelo controlo dos caudais pelo que, foi necessário instalar caudalímetros que possam controlar os caudais que entram e saem dos reservatórios. Sendo o sistema atualmente instalado, a parte dos aspersores, da marca Rain Bird, achou-se importante manter a marca também para os caudalímetros.

Como foi calculado na tabela 23, o caudal mínimo necessário é de $0,27 \text{ m}^3/\text{h}$ (Zona D) e o caudal máximo necessário é de $0,8847 \text{ m}^3/\text{h}$ (Zona F), assim, foi escolhido o caudalímetro do tipo jorro múltiplo.



Figura 54: Caudalímetro do tipo jorro múltiplo. (Catálogo Rain Bird, 2013)

É um caudalímetro de fácil leitura em qualquer instalação. Está preparado para funcionar em condições de águas onde podem ocorrer depósitos e também com águas com areia em suspensão. Uma vida longa de funcionamento é garantida pela construção robusta, que oferece máxima proteção, como resultado da seleção dos melhores materiais. Tem uma manutenção económica. De salientar o fio existente no caudalímetro que tem como objetivo o controlo analítico dos dados fornecidos. Outras características encontram-se em anexo neste trabalho (Anexo E).

7. CONCLUSÕES

A importância da rega para a melhoria das condições de vida é reconhecida desde há muito tempo, sendo que os progressos na área da engenharia hidráulica têm sido fundamentais para o desenvolvimento das civilizações.

À medida que a estética se foi fazendo notar cada vez mais na paisagem, o recurso à rega intensificou-se. A rega extrapolou a finalidade agrícola, passando também a desempenhar um papel na melhoria da qualidade da paisagem. Se a rega começou por ser utilizada apenas nas imediações dos recursos hídricos, mais tarde, a evolução da técnica permitiu que se disseminasse, dando origem a espaços verdes em locais onde a sua presença não era possível até então. Esta generalização do recurso à rega possibilitou o desenvolvimento de projetos que nada tinham de sustentável. No entanto, só mais tarde, perante um cenário de escassez de água, está prática veio a provar-se desadequada.

Uma gestão mais conforme a esta nova realidade justifica a realização de planos de gestão de rega. Estes planos, além dos propósitos ambientais, servem também objetivos económicos e de qualidade paisagística e estética. Esta qualidade, por sua vez, pode estar intrinsecamente ligada ao nível de manutenção e tipo de gestão e, conseqüentemente, à rega.

A gestão da rega deve estar orientada segundo dois vetores: a decisão e a eficiência, no âmbito dos quais uma abordagem estruturada se torna fundamental. Como anteriormente

mencionado, pode considerar-se que o plano de rega é constituído por quatro fases, que se repetem de forma sucessiva num processo de renovação permanente: Planeamento, Implementação, Monitorização e Avaliação. O Planeamento e a Implementação incidem sobre a decisão da rega, enquanto a Monitorização e Avaliação incidem sobre a sua eficiência. O esquema que se segue ilustra a metodologia referida:

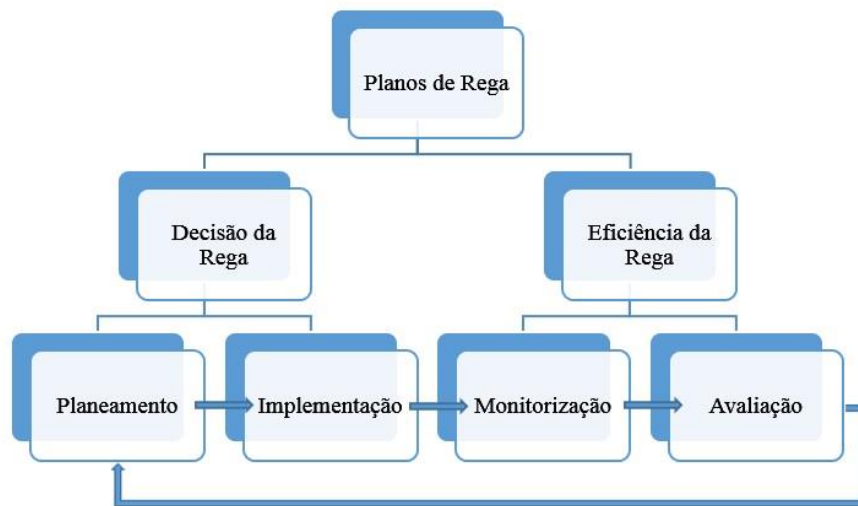


Figura 55: Plano de rega.

Tendo em conta a análise feita neste trabalho, são de referir as seguintes recomendações

- Todo e qualquer projeto de espaços verdes implica um processo constante de inovação.
- É importante a programação e monitorização das práticas de rega e do funcionamento dos sistemas. Estes deverão ser desenvolvidos de modo totalmente automatizado.
- Após a pesquisa efetuada, verificou-se que a grande maioria da bibliografia existente sobre a relação entre a densidade de utilização de áreas verdes e a gestão da rega incide sobre os jardins públicos. Trata-se de uma área em expansão no nosso país, uma vez que existem espaços que se encontram a ser reabilitados.

Para o caso em concreto dos jardins do ISEP

- De uma forma geral, o sistema atual é suficiente, apresentando uma eficiência média de 75%.

- No âmbito da rega de jardins, toda a fase de projeto é importante. Por forma a termos uma verificação das tubagens e aspersores, entre outros, deverá ser feito todo o levantamento das necessidades do espaço, com possibilidade de novo dimensionamento de todo o sistema de rega.
- Com a implementação do sistema automatizado, irá haver uma melhoria de eficiência do sistema em termos gerais. Por um lado, em termos de equipamentos. Tal como acontecia após os meses de julho e agosto, o facto de as bombas estarem paradas conduzia à avaria, sendo assim necessária a sua substituição. Por outro lado, haverá uma melhoria em termos de consumo de água, apesar de esta ser, na sua maioria, proveniente dos fossos dos elevadores.

Perante as problemáticas que tínhamos nos jardins do ISEP o projeto passa por:

- Termos um sistema automático, em que a preocupação do operador estará apenas concentrada na manutenção.

A questão dos níveis de impermeabilidades dos fossos de elevadores do edifício F contínua, mas com a automatização esta questão deixa de ser uma problemática, uma vez que cada fosso terá o seu sensor e bomba respetivos para retirar a água. Desta forma, não haverá inundações nas garagens do referido edifício.

- Os caudais foram dimensionados para cada uma das áreas e, mediante as aspersões instaladas em cada área, os caudais dos respetivos aspersores.
- O reabastecimento dos reservatórias passa a ser em contínuo, uma vez que, caso não tenhamos água nos fossos dos elevadores, é acionado o furo de água existente.
- Os valores da estação meteorológica instalada e os dados recolhidos foram um passo importante na automatização do sistema, uma vez que estes dados começaram a ser tratados. Por exemplo, caso haja vento excessivo, o sistema irá parar e retomará quando os valores do vento normalizarem e caso o tempo de rega ainda não tenha sido suficiente.

8. TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho “abre portas” a outros estudos e desenvolvimentos de possíveis teses de mestrados.

A gestão de sistemas de rega não é um sistema de uma solução única, havendo vários fatores que podem ser alterados como o tipo de autómato e o número de sensores. A alteração global do sistema, nomeadamente a substituição dos aspersores, pressupõe um novo dimensionamento.

Seria também interessante a continuação deste trabalho no que diz respeito à instalação propriamente dita.

Deverá ser estudado o aproveitamento da água que é libertada em caso de excesso. Poderá eventualmente ser instalado um terceiro reservatório, onde será guardada esta água e eventualmente esta ser direcionada para as casas de banho do edifício F.

Um ponto importante a estudar é a gestão do sistema de rega com uma ferramenta desenvolvida em LabVIEW que, remotamente interagirá com o PLC, tratará todos os dados recolhidos e servirá de interface de controlo.

Referências documentais

- Afonso, C. (2007). *GardenISA - Uma Ferramenta de Apoio à Gestão da Rega de Espaços Verdes*. Lisboa.
- Afonso, M., Chaminé, H., Gomes, A., Teixeira, J., Araújo, M., Fonseca, P., . . . Rocha, F. (2004). Cartografia geológica e geomorfologia estrutural da área metropolitana no Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos. *Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, 101-115.
- Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Itália: FAO Irrigation and Drainage.
- Amwua. (2005). *Landscape Watering by the Numbers*. Obtido de A Guide for the Arizona Desert: www.amwua.org/landscape_watering_brochure.html
- Ashok, P., & Ashok, K. (2010). Microcontroller Based Drip Irrigation System.
- Avillez, F., & Silva, F. (abril de 2011). Custos e Disponibilização a pagar pela água de rega: metodologia de análise. *O Uso da água na Agricultura, INE, Portugal*, pp. 85-95.
- Beard, J. B. (2002). *Turf Management for Golf Courses; John Wiley & Sons*. INC. New Jersey.
- Brízida, A. (2010). *Elaboração de um Protótipo de Caderno de Encargos de Manutenção de Espaços Verdes - Caso Estudo I: Jardim de Moradia em Almoçagene, Caso Estudo II: Jardim de Moradia em Gandarinha*. Lisboa.
- Brochard, D. (1999). *Guia Prático do Relvado*. Mem Martins: Publicações Europa-América, Lda.
- Brown, C. (2006). Conserving Water in the Garden. *Kent County Daily Time*.
- Carlson, E. (2009). Landscape Irrigation Controller - Model to Meet EPA Watersense Specifications. *Electronics Equipment Designer*.
- Conac, F. (2000). *Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens*. Paris: Ed.Sedes C.D.U reunis.

- Costa, J. B. (2004). *Caracterização e Constituição do Solo* (7ª Edição ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Design Nature. (2012). *Desig Nature Project*. Obtido de <http://www.designaturehf.com/guiatecnico1.html>
- Gleick, P. H. (2001). *Making every drop count*. Scientific American.
- Gustafson, K. (2011). The Sky is Mine. (T. E.-I. 16, Entrevistador)
- Hunter Industries. (2014). *Hunter Industries*. Obtido de <http://www.hunterindustries.com/irrigation-product/discontinued-models/icc>
- Instituto Geográfico Português. (2013). *Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP)*.
- Irrisoft Inc. (2004). Obtido de Weather Reach - Landscape Water Management: www.weatherreach.com
- ISEP. (s.d.). Obtido de www.isep.ipp.pt
- Jellicoe, G. A., & Jellicoe, S. (1995). *The Landscape of Man*. London: Thames & Hudson Ltd.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, U.S.A: Chapman & Hall.
- Landphair, H. C., & Klatt, F. (1988). *Landscape Architecture Construction - 2nd Edicion*. New York: Elsevier.
- Lion, G. C. (1991). *Riego por Aspersión*. Madrid: Agrogúas Mundi-Prensa.
- Martins, C., & Palma, V. (1998). *Avaliação das Necessidades de Água Não Potável no Concelho de Albufeira para Possível Reutilização Directa da Água Residual Tratada*. Faro: Unidade de Ciências e Tecnologias dos Recursos Aquáticos da Universidade do Algarve.
- Miller, E. L. (2006). *Parques: Os génios da civilização*. Centro de Congressos do Porto / Alfândega, Porto.
- Oliveira, I., Nunes, F., & Fabião, M. (2003). *Guia de Rega - Avaliação de Sistemas de Rega - Considerações Gerais*.
- Pacheco, A. (2009). *Rega por aspersão - Racionalização da Água e Energia em Espaços Verdes*. Obtido de www.cotr.pt/informacao/EV/documentos/CEPEX.pdf
- Palomo, P. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA,;

- Pereira, L. (2000). *Indicadores de desempenho de sistemas de rega*. Em: M Barreira and R. Jorge (eds.) *Agricultura, Economia e Sociedade. Ensaios de Homenagem ao Prof. Fernando Estácio*. Lisboa: IFADAP.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa América.
- Raposo, J. (1994a). *A Rega Localizada (Gota-a-Gota e Miniaspersão)*. Lisboa: Edições Correio Agrícola.
- Raposo, J. R. (1980). *A Rega por Aspersão* (1ª ed.). Lisboa: Clássica Editora.
- Raposo, J. R. (1994b). *História da Rega em Portugal*. Lisboa: Instituto da Água.
- Raposo, J. R. (1996). *A Rega - Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega*. Fundação Caloust Gulbenkian.
- Ribeiro, D. (2009). *Gestão de Água*. Em: *Manual de Boas Práticas Ambientais para Campos de Golfe - Normas para Planeamento, Projecto, Obra e Exploração de Campos de Golfe numa Perspectiva de Sustentabilidade Ambiental*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Ribeiro, T. (1994). *O Jardim Comum Europeu - Novos Desafios Ambientais*. Lisboa: Quetzal Editores/F.L.A.D.
- Sandik, M. (2009). *Landscape Water Use - No longer a secret, Landscape Architecture Resource*. Obtido de <http://landscapearchitectureresource.com>
- Santos, A. A., & Silva, A. F. (2012). *Automação Integrada*. Porto: Publindústria.
- Siemens. (2014). *support automation siemens*. Obtido de <https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=57027057&nodeid0=10805148&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>
- Silva, A., Correia, O., Pais, M., Silva, J., & Tenreiro, R. (2009). *Manual de Boas Práticas Ambientais para Campos de Golfe ± Normas para Planeamento, Projecto, Obra e Exploração de Campos de Golfe numa Perspectiva de Sustentabilidade Ambiental*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Silva, J. S. (2011). *PLANOS DE GESTÃO DE REGA EM PROJECTOS DE ARQUITECTURA PAISAGISTA*. Lisboa.
- Sitton, D. (2000). *Development of Limited Water Resources: Historical and Technological Aspects*. Obtido de <http://www.mfa.gov.il/>

- Sorochan, J., & Sample, T. (2008). Turfgrass maintenance irrigation. UT Extension.
- Teles, L. S. (1996). *Automatização da Rega Sob Pressão; Universidade Técnica de Lisboa*. Lisboa.
- The Weather Channel, L. (2014). *Wunderground*. Obtido de <http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IPORTUGA71#history/data/s20140515/e20140515/mtoday>
- Verde Parcela. (2000). *Truques e Dicas*. Obtido de http://www.verdeparcela.pt/truques_e_dicas.htm#Relvados:
- Wikipédia. (2013). *Anexo:Lista de barragens em Portugal*. Obtido de http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_barragens_em_Portugal
- Wikipédia. (s.d.). *Classificação climática de Köppen-Geiger*. Obtido de http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger
- Zazueta, F., Smajstrla, A., & Clark, G. (1994). *Irrigation System Controllers*. Institute of Food and Agriculture Science, University of Florida.

Anexo A. Tabelas A1, A2, A3 e A4

Tabela A1: Valores de K_V para diferentes tipos de vegetação (Fonte: Afonso, 2007. Extraído de: Allen *et al.*, 2007).

Vegetação	Valor do K_V
Árvores	1,15
Arbustos de clima desértico	0,7
Restantes espécies de arbustos	0,8
Herbáceas com cobertura completa do solo	1,0
Anuais (Flores)	0,9
Mistura (Árvores – Arbustos – Herbáceas)	1,20
Relvado de estação fria	0,9
Relvado de estação quente	0,9

Tabela A2: Valores de K_{MC} para diferentes tipos de vegetação (Fonte: Afonso, 2007. Extraído de: Allen *et al.*, 2007).

Vegetação	Ambiente de	Ambiente de	Ambiente de
	Plantação Hostil	Plantação Normal	Plantação Favorável
Árvores	1,4	1,0	0,5
Arbustos	1,3	1,0	0,5
Herbáceas com cobertura completa do solo	1,2	1,0	0,5
Mistura (Árvores – Arbustos – Herbáceas)	1,4	1,0	0,5
Relvados em geral	1,2	1,0	0,8

Tabela A3: Valores de K_D para diferentes tipos de vegetação (Fonte: Afonso, 2007. Extraído de: Allen *et al.*, 2007).

Vegetação	Alta Densidade	Densidade Normal	Baixa Densidade
Árvores	1,3	1,0	0,5
Arbustos	1,1	1,0	0,5
Herbáceas com cobertura completa do solo	1,1	1,0	0,5
Mistura dos 3 anteriores	1,3	1,0	0,6
Relvados em geral	1,0	1,0	0,6

Tabela A4: Valores de K_{SM} para diferentes tipos de vegetação (Fonte: Afonso, 2007. Extraído de: Allen *et al.*, 2007).

Vegetação	Stress Alto	Stress Médio	Stress Baixo
Árvores	0,3	0,4	0,8
Arbustos de clima desértico	0,2	0,4	0,6
Restantes espécies de arbustos	0,3	0,5	0,8
Herbáceas com cobertura completa do solo	0,2	0,5	0,8
Anuais (Flores)	0,4	0,7	0,8
Mistura (Árvores – Arbustos – Herbáceas)	0,3	0,4	0,8
Relvado de estação fria	0,7	0,8	0,9
Relvado de estação quente	0,6	0,7	0,8

Anexo B. Especificações técnicas dos aspersores instalados no ISEP



LEADER MONDIAL DE L'ARROSAGE

[Home](#) > [Proprietrios](#) > [Products](#) > SÉRIE 3500

SÉRIE 3500

Aspersor de pequeno a médio alcance - Aspersor de 1/2" mais vendido na Europa.

▶ APLICAÇÕES

A série 3500 é uma série de aspersores de 1/2" (15/21) de pequeno a médio alcance de fácil utilização com especial aplicação em espaços verdes residenciais. Utilizando uma simples chave de fendas, o sector de rega do aspersor 3500 pode ser fácil e rapidamente ajustado.

▶ CARACTERÍSTICAS

- Regulação do sector de rega pelo topo utilizando apenas uma simples chave de fendas.
- Garantia de 3 anos
- Engrenagem lubrificada a água desenhada para maior duração e máxima fiabilidade
- Sector parcial de rega de 40° a 360° e circulo completo com retorno na mesma unidade
- Árvore de bicos encaixada no aspersor com 6 bicos distintos de tecnologia Rain Curtain™
- Parafuso de afinação do alcance permitindo uma redução até 35% do alcance sem mudar o bico
- Altura real de emergência de 10,2 cm (medida desde o centro do bico)
- Verificação rápida do sector de rega
- Junta de auto-limpeza e estanqueidade de dupla acção, protegendo contra a entrada de sujidades e permitindo uma segura emergência e retracção do aspersor • Stator auto-ajustável que não é necessário substituir ao trocar o bico
- Facil remoção do filtro
- Facil remoção dos bicos
- Modelo com válvula SAM (Seal-a-Matic™) anti-drenagem integrada, que retém até 2,1 m de coluna de água, evitando encharcamento e erosão provocados por drenagem nos aspersores localizados nos pontos mais baixos do sistema • Embraiagem por engrenagem dentada (cremalheira) desenhada

para evitar que a cabeça do aspersor se parta se forçada além do limite do sector de rega definido, permitindo assim um rápido e fácil ajuste da orientação do sector de rega

▶ ESPECIFICAÇÕES

- Alcance: 4,6-10,7 m
- Alcance com parafuso de redução: até ao mínimo de 2,9 m
- Pressão: 1,7-3,8 bar Caudal: 0,12-1,04 m³/h
- Rosca de entrada fêmea 1/2" (15/21)
- Regulação do sector: 40°-360°



[See larger image](#)

Ferramenta Útil

- >> [Imprimir a ficha deste produto](#)
- >> [Peça informações sobre este produto](#)
- >> [Pontos de venda Rain Bird](#)

▶ DIMENSÕES

- Altura de emergência: 10,2 cm
- Altura total do corpo do aspersor: 16,8 cm
- Diâmetro da superfície exposta: 2,9 cm

Nota: a altura de emergência é medida desde o centro do bico até à base. A altura do corpo do aspersor é medida com o aspersor recolhido.

▶ MODELOS

- Modelos ajustáveis de 40 a 360° • 3504-PC: versão sectorial e de circulo completo com retorno na mesma unidade • 3504-PC: versão sectorial e de circulo completo com retorno na mesma unidade, • com válvula SAM anti-drenagem



LEADER MONDIAL DE L'ARROSAGE

[Home](#) > [Proprietários](#) > [Products](#) > 5004-UPG

5004-UPG

Não troque apenas um aspersor, faça o seu UPGrade.

▶ APLICAÇÕES

UPGrade para o UPG-5004 :

- Desenhado para substituir aspersores PGP™ da Hunter pelalista de características e o desempenho do aspersor 5004 Plus da Rain Bird.
- Mais rápido e mais fácil, deixar a carcaça do PGP no terreno e trocar apenas o corpo do aspersor.

▶ CARACTERÍSTICAS

Aproveite todas as características exclusivas do 5000 Plus:

- Instalações rápidas : a característica de fecho da passagem de água permite a troca do bico sem necessidade de fechar o sector completo na válvula.
- Tecnologia Rain Curtain™ que inclui gotas grandes, rega adequada junto ao aspersor e distribuição uniforme.
- Árvore de bicos que inclui doze Bicos Rain Curtain™, quatro de ângulo baixo (Ângulo de Trajectória de 10°) e oito de ângulo padrão (Ângulo de Trajectória de 25°), oferece um alcance de 7,6 a 15,2 m.
- Bicos Matched Precipitation Rate (MPR) disponíveis (opção).
- Mecanismo de embraiagem para ajuste rápido do sector de rega.
- Ajuste do sector pelo topo recorrendo apenas a uma simples chave de fendas. • 5 anos de Garantia.
- Junta de selagem multifuncional, activada por pressão, protegeo interior do aspersor de detritos e assegura a sua correcta emergência e fecho.
- Válvula anti-drenagem Seal-A-Matic (SAM)™ opcional que retém água até 2,1 m de inclinação, para prevenir o encharcamento e a erosão causados por problemas de drenagem nas zonas baixas.

▶ ESPECIFICAÇÕES

- Alcance: 7,6 a 15,2 m
- Pressão: 1,7 a 4,5 bar
- Caudal: 0,17 a 2,19 m³/h
- Ângulo de Trajectória:
 - Ângulo Padrão Bicos Rain Curtain™: 25°
 - Ângulo Baixo Bicos Rain Curtain™: 10°
- Óptimo desempenho do bico a 3 bar
- Taxa de Precipitação: 5 a 26 mm/h
- Rosca inferior de entrada fêmea de ¾" (20/27)
- Sector e círculo completo com retorno, com ajuste



[See larger image](#)

Ferramenta Útil

- >> [Imprimir a ficha deste produto](#)
- >> [Peça informações sobre este produto](#)
- >> [Pontos de venda Rain Bird](#)

>> [Performance charts](#)

▶ DIMENSÕES

- Altura de emergência: 10 cm
- Altura total do corpo: 18,5 cm
- Diâmetro visível: 4,1 cm
- Nota : Altura de emergência medida da tampa até ao bico. Altura total do corpo medida com o aspersor fechado.

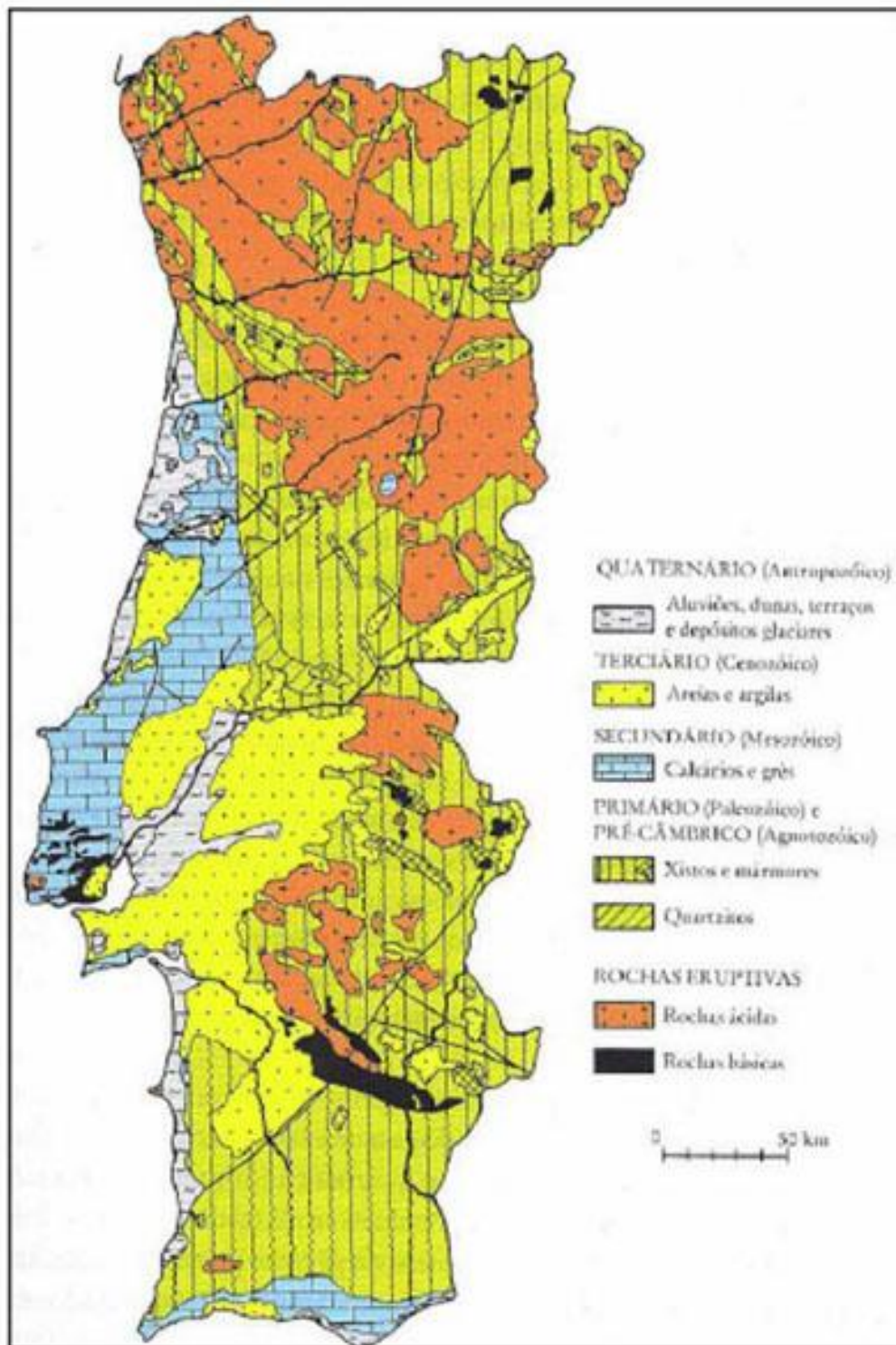
▶ MODELOS

- UPGPLPC: Série 5000 Plus UPG, 4" Sector / Círculo Completo Com Retorno
- UPGPLPCS: Série 5000 Plus UPG, 4" Sector / Círculo Completo Com Retorno com válvula SAM.

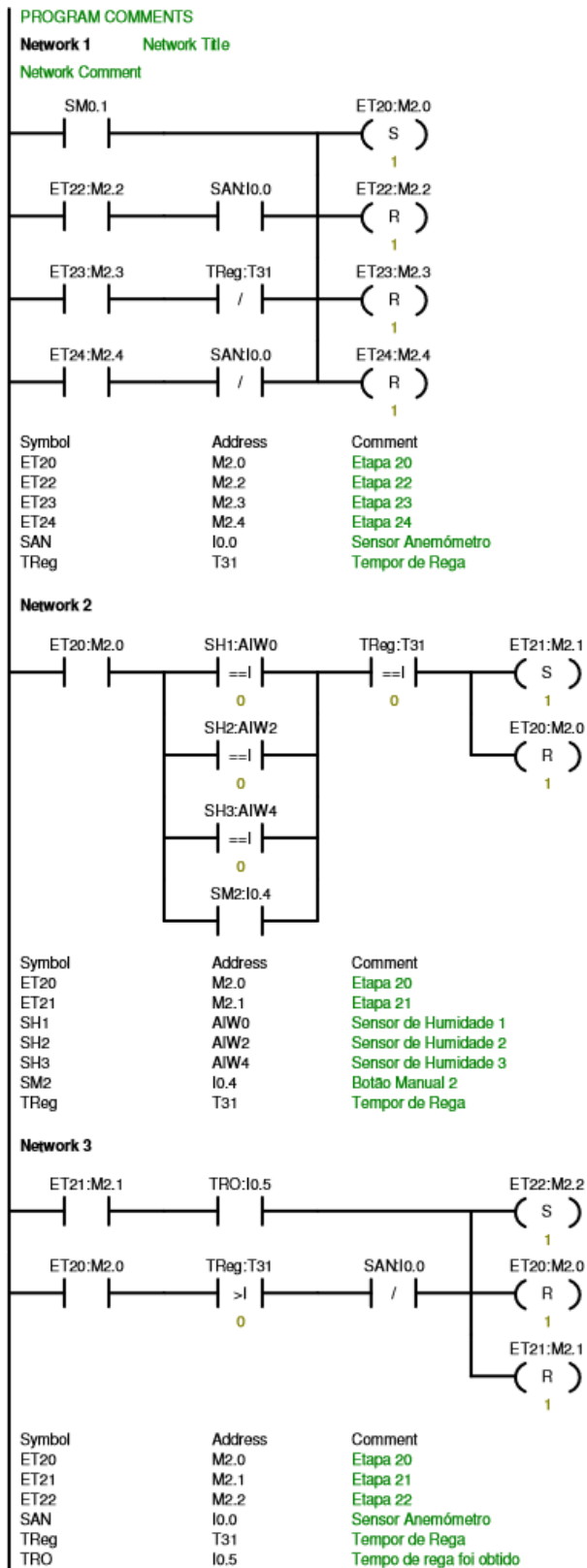
PGP® é uma marca registada de Hunter Industries.

http://www.rainbird.pt/sens_print.php?id=902&lg=1&page=17-6325-Fiche-pro-duit.php%3Fid_pro-duits%3D16

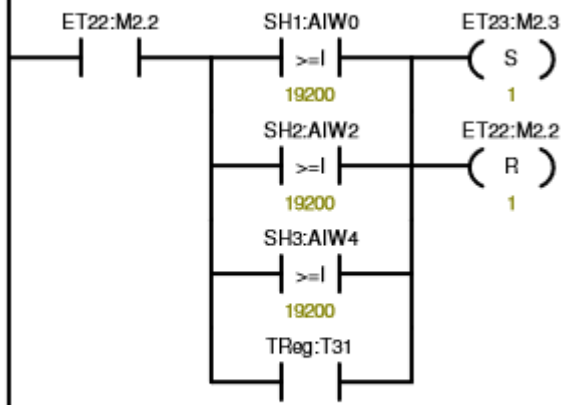
Anexo C. Mapa hidrogeológico da região de Vila do Conde – Porto – Ovar



Anexo D. Programação Ladder



Network 4



Symbol	Address	Comment
ET22	M2.2	Etapa 22
ET23	M2.3	Etapa 23
SH1	AIW0	Sensor de Humidade 1
SH2	AIW2	Sensor de Humidade 2
SH3	AIW4	Sensor de Humidade 3
TReg	T31	Tempor de Rega

Network 5



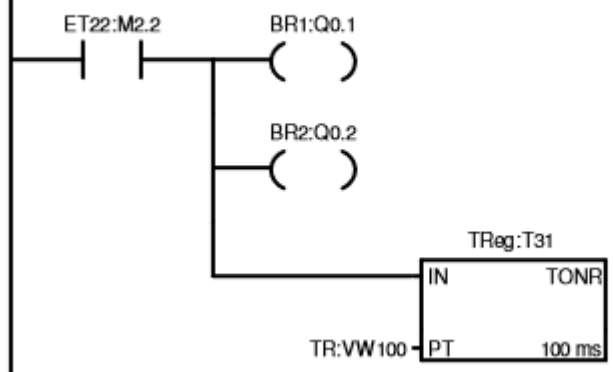
Symbol	Address	Comment
ET20	M2.0	Etapa 20
ET24	M2.4	Etapa 24
SAN	I0.0	Sensor Anemómetro

Network 6



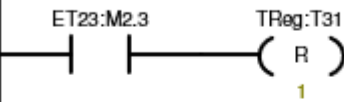
Symbol	Address	Comment
ET21	M2.1	Etapa 21
TR	VW100	Valor de Acordo com a Tabela 21

Network 7



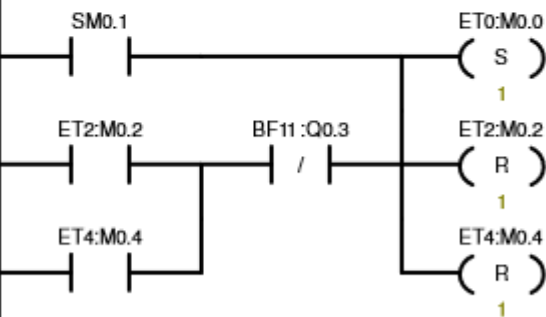
Symbol	Address	Comment
BR1	Q0.1	Bomba Rega 1
BR2	Q0.2	Bomba Rega 2
ET22	M2.2	Etapa 22
TR	VW100	Valor de Acordo com a Tabela 21
TReg	T31	Tempor de Rega

Network 8



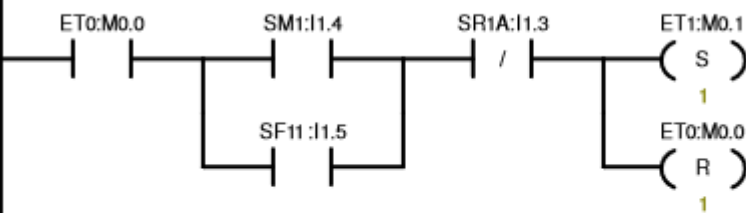
Symbol	Address	Comment
ET23	M2.3	Etapa 23
TReg	T31	Tempor de Rega

Network 9 Bombas Fosso Elevador 1



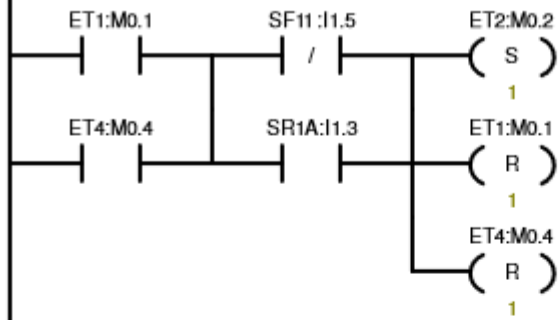
Symbol	Address	Comment
BF11	Q0.3	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
ET0	M0.0	Etapa 0
ET2	M0.2	Etapa 2
ET4	M0.4	Etapa 4

Network 10



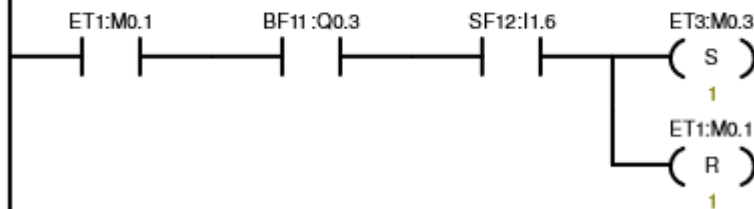
Symbol	Address	Comment
ET0	M0.0	Etapa 0
ET1	M0.1	Etapa 1
SF11	I1.5	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
SM1	I1.4	Botão Manual 1
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1

Network 11



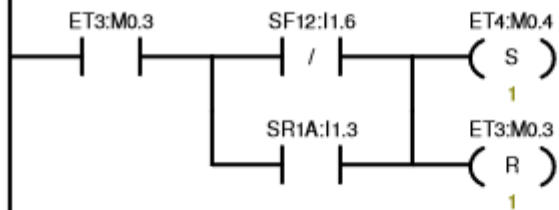
Symbol	Address	Comment
ET1	M0.1	Etapa 1
ET2	M0.2	Etapa 2
ET4	M0.4	Etapa 4
SF11	I1.5	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1

Network 12



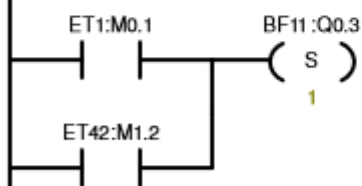
Symbol	Address	Comment
BF11	Q0.3	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
ET1	M0.1	Etapa 1
ET3	M0.3	Etapa 3
SF12	I1.6	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 2)

Network 13

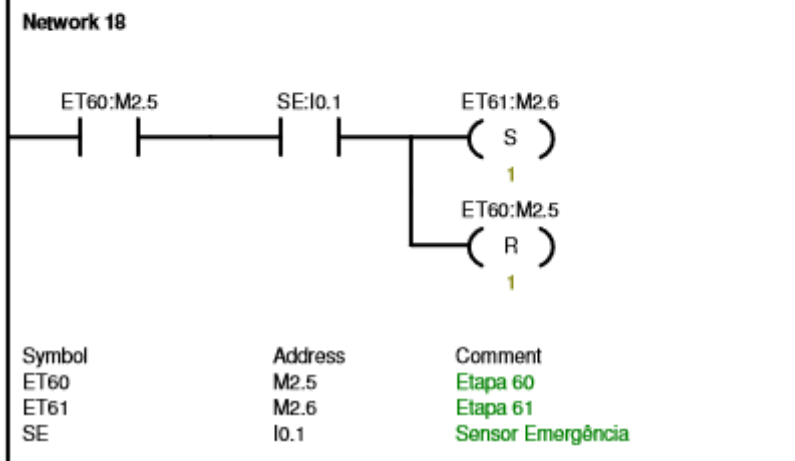
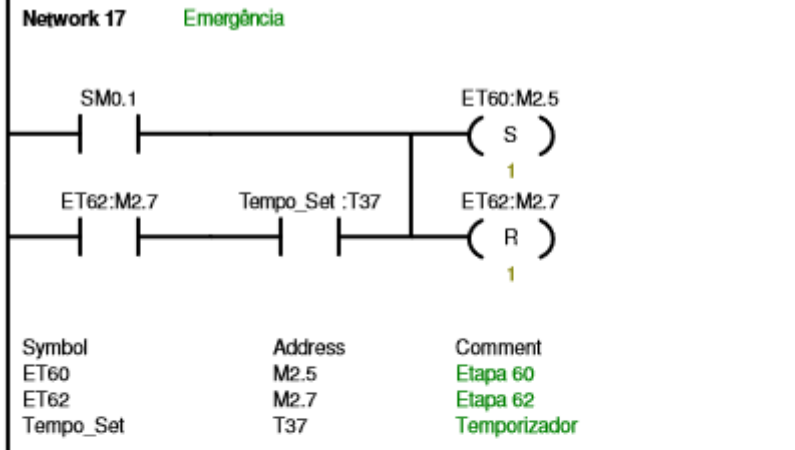
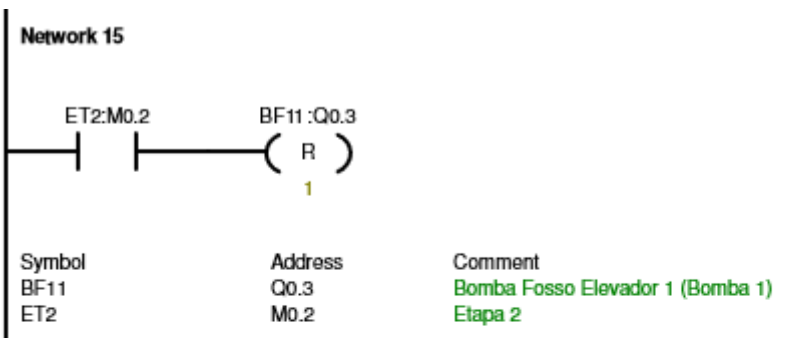


Symbol	Address	Comment
ET3	M0.3	Etapa 3
ET4	M0.4	Etapa 4
SF12	I1.6	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 2)
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1

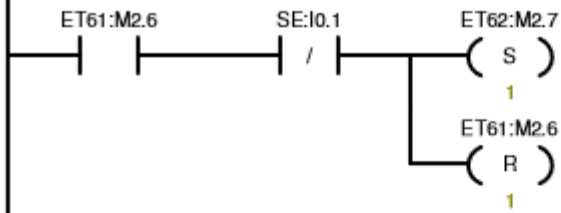
Network 14



Symbol	Address	Comment
BF11	Q0.3	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
ET1	M0.1	Etapa 1
ET42	M1.2	Etapa 42

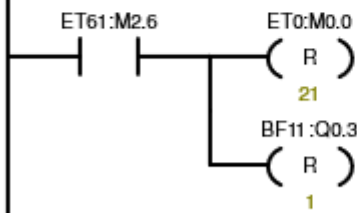


Network 19



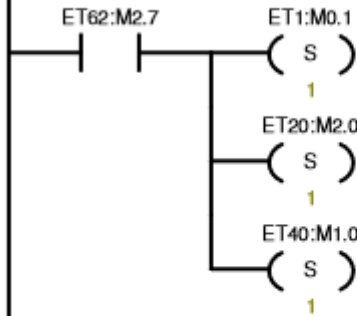
Symbol	Address	Comment
ET61	M2.6	Etapa 61
ET62	M2.7	Etapa 62
SE	I0.1	Sensor Emergência

Network 20



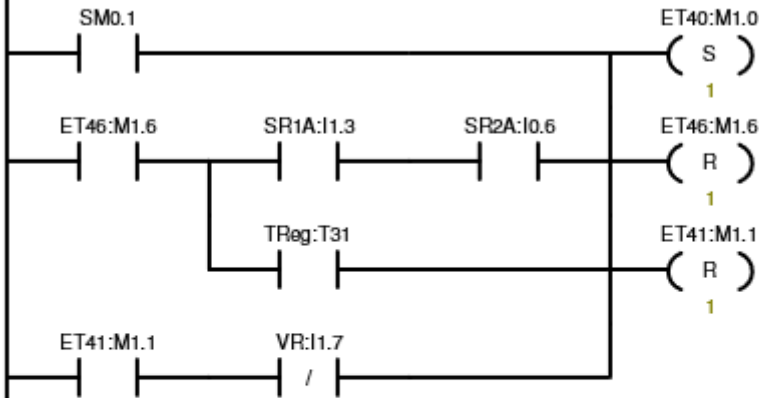
Symbol	Address	Comment
BF11	Q0.3	Bomba Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
ET0	M0.0	Etapa 0
ET61	M2.6	Etapa 61

Network 21



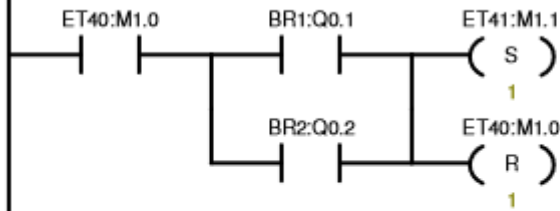
Symbol	Address	Comment
ET1	M0.1	Etapa 1
ET20	M2.0	Etapa 20
ET40	M1.0	Etapa 40
ET62	M2.7	Etapa 62

Network 23 Furo



Symbol	Address	Comment
ET40	M1.0	Etapa 40
ET41	M1.1	Etapa 41
ET46	M1.6	Etapa 46
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1
SR2A	I0.6	Sensor Superior Reservatório 2
TReg	T31	Tempor de Rega
VR	I1.7	Volume Reservatório

Network 24



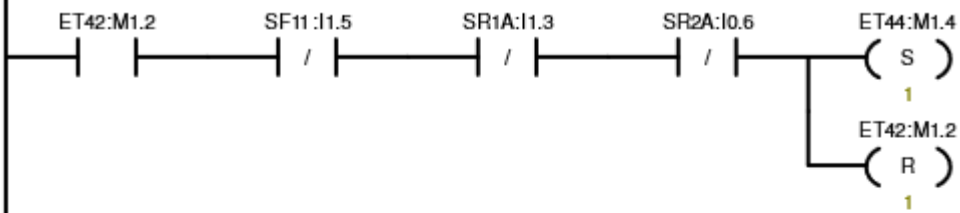
Symbol	Address	Comment
BR1	Q0.1	Bomba Rega 1
BR2	Q0.2	Bomba Rega 2
ET40	M1.0	Etapa 40
ET41	M1.1	Etapa 41

Network 25



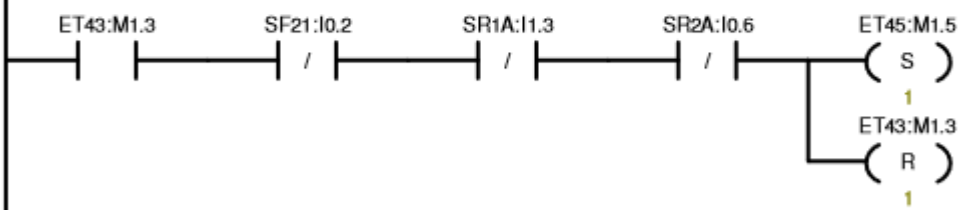
Symbol	Address	Comment
ET41	M1.1	Etapa 41
ET42	M1.2	Etapa 42
ET43	M1.3	Etapa 43
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1
SR2A	I0.6	Sensor Superior Reservatório 2
TReg	T31	Tempor de Rega
VR	I1.7	Volume Reservatório

Network 26

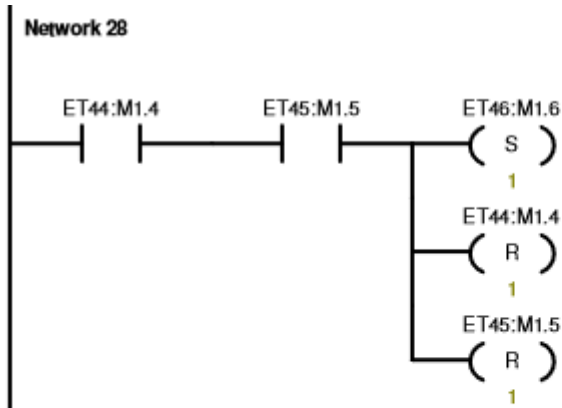


Symbol	Address	Comment
ET42	M1.2	Etapa 42
ET44	M1.4	Etapa 44
SF11	I1.5	Sensor Fosso Elevador 1 (Bomba 1)
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1
SR2A	I0.6	Sensor Superior Reservatório 2

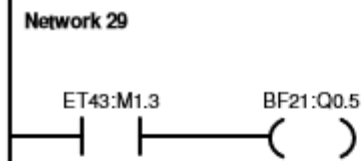
Network 27



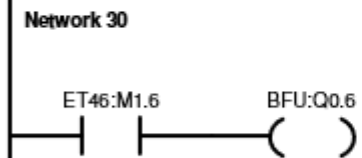
Symbol	Address	Comment
ET43	M1.3	Etapa 43
ET45	M1.5	Etapa 45
SF21	I0.2	Sensor Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
SR1A	I1.3	Sensor Superior Reservatório 1
SR2A	I0.6	Sensor Superior Reservatório 2



Symbol	Address	Comment
ET44	M1.4	Etapa 44
ET45	M1.5	Etapa 45
ET46	M1.6	Etapa 46



Symbol	Address	Comment
BF21	Q0.5	Bomba Fosso Elevador 2 (Bomba 1)
ET43	M1.3	Etapa 43



Symbol	Address	Comment
BFU	Q0.6	Bomba Furo
ET46	M1.6	Etapa 46

Anexo E. Especificações técnicas do caudalímetro do tipo jorro múltiplo.



LEADER MONDIAL DE L'ARROSAGE

Home > Proprietrios > Products > CAUDALÍMETRO



[See larger image](#)

CAUDALÍMETRO

Tipo jorro múltiplo e compartimento seco

▶ APLICAÇÕES

Medidor dedutivo de caudal de jorro múltiplo para água fria com registo de leitura linear. A versão super seco com o mecanismo de registo completo está montada num compartimento seco. O impulsor gira numa câmara de leitura (distribuidor) com uma dupla fila de orifícios tangenciais. Essa câmara é fabricada em resina sintética autolimpante.

▶ CARACTERÍSTICAS

Fácil leitura em quaisquer condições de trabalho: O registo de leitura linear funciona num compartimento seco, em condições de vácuo e assim o registo mantém-se sempre perfeitamente limpo. O caudalímetro está preparado para funcionar em condições de águas duras e em que podem ocorrer depósitos e também com águas com areia em suspensão.

Um escudo adaptado protege o braço magnético de interferências de campos exteriores.

Uma vida longa de funcionamento é garantida pela construção robusta, que oferece máxima protecção, como resultado da selecção dos melhores materiais.

Manutenção económica.

O caudalímetro é fornecido completo, com adaptadores e pode ser instalado na horizontal, na vertical ou inclinado

▶ ESPECIFICAÇÕES

A prestação hidráulica está conforme a Classe B dos Padrões ECC.

Sensor Reed 10L/impulso Leitura

mínima: 0,05 L

Leitura máxima: 99,999 L

[Ferramenta Útil](#)

[>> Imprimir a ficha deste produto](#)

[>> Peça informações sobre este](#)

[produto >> Pontos de venda Rain Bird](#)

▶ DIMENSÕES

Caudalímetro 1":

- Comprimento: 26 cm

- Largura: 10,4 cm- Altura: 11,5 cm

Caudalímetro 1,5":

- Comprimento: 30 cm

- Largura: 12,5 cm- Altura: 14,8 cm

Caudalímetro 2":

- Comprimento: 30 cm

- Largura: 12,5 cm

- Altura: 17,3 cm

▶ MODELOS

LTW100 : Caudalímetro 1"

LTW150 : Caudalímetro 1,5"

LTW200 : Caudalímetro 2"

© Copyright Rainbird 2007

http://www.rainbird.pt/isens_print.php?id=902&lg=1&page=17-6325-Fiche-produit.php%3Fid_produits%3D75