

DM

**Concessão de Projeto
e Gestão Otimizada
de um Sistema de Rega**
Aplicação à R.A.M.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Eduardo Luís Nascimento Vasconcelos

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2019

**Concessão de Projeto
e Gestão Otimizada
de um Sistema de Rega
Aplicação à R.A.M.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Eduardo Luís Nascimento Vasconcelos

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTAÇÃO

Sérgio António Neves Lousada



FCEE – Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Concessão de Projeto e Gestão Otimizada de um Sistema de Rega. Aplicação à RAM.

Licenciado em Engenharia Civil (Pós-Bolonha)
Dissertação submetida para o do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Universidade da Madeira por

Eduardo Luís Nascimento Vasconcelos

Orientador

Prof. Doutor Sérgio António Neves Lousada
(Universidade da Madeira)

setembro de 2019

Título: Concessão de Projeto e Gestão Otimizada de um Sistema de Rega. Aplicação à RAM.

Palavras-chave: agricultura, análise hidráulica, rede de drenagem pluvial, sistemas de rega, volume de armazenamento.

Keywords: agriculture, hydraulic analysis, rainwater drainage, irrigation systems, storage volume.

Autor: Eduardo Luís Nascimento Vasconcelos

FCEE – Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário de Penteada

9020-015 Funchal – Portugal. s/n

Telefone +351 291 705 230

Correio eletrónico: secretariadocentros@uma.pt

Funchal, Madeira

Agradecimentos

A dissertação de mestrado representa o expoente máximo do curso, constituindo uma tarefa hercúlea, contudo através do contributo de várias pessoas, esta tarefa revelou-se muito mais fácil e, assim, agradeço formalmente:

Em primeiro lugar, um profundo agradecimento ao Professor Doutor Sérgio António Neves Lousada, responsável pela orientação desta dissertação, não só pelo seu constante apoio e acompanhamento ao longo desta fase, mas também pela transmissão de uma metodologia de trabalho, baseada na autonomia e na iniciativa.

Aos meus pais, Luís dos Santos Rodrigues Vasconcelos e Ana Rita Nóbrega Nascimento Vasconcelos, irmã, Paula José Nascimento Vasconcelos agradeço o conforto e estabilidade que sempre me proporcionaram, revelando-se pilares fundamentais na minha vida, a eles, o meu obrigado.

À Universidade da Madeira, por disponibilizar o Laboratório de Hidráulica, importante para a realização desta dissertação, e deste modo aumentar o meu conhecimento na área de Hidráulica.

Aos meus amigos, Renato Alves, André Fernandes e Sara Muller, pelo seu constante apoio e disponibilidade ao longo desta dissertação.

Aos meus colegas e docentes da Universidade da Madeira pelo companheirismo e amizade demonstrados ao longo destes anos.

Resumo

Devido ao aumento das temperaturas no planeta e com conseqüente redução de água própria para a agricultura, urge a preocupação do estudo de sistemas de rega, desde a concessão de projeto à gestão otimizada do mesmo. Assim sendo, e como a ilha da Madeira não é alheia a este problema que advém das alterações climáticas será estudado um caso prático nesta ilha, pretende-se controlar as perdas de água durante todo o sistema, procurando sempre ter em atenção a preocupação económica das soluções propostas / existentes.

A *priori*, foram abordados os fatores históricos de desenvolvimento da prática do cultivo, assim como a transição e evolução dos sistemas de rega implementados ao longo da história. Além disto, efetuou-se a análise de recursos hídricos presentes, assim como a caracterização territorial da ilha da Madeira.

Neste contexto, analisou-se também as necessidades hídricas das plantações ao longo da exploração para poder prever o volume de armazenamento necessário. Esta análise teve como base uma vasta revisão bibliográfica referente aos três cultivos apresentados nesta dissertação: *Proteas*, Tomateiro e *Physalis*.

Também foi verificada toda a componente técnica dos equipamentos utilizados, consultando para tal fichas técnicas e a documentação fornecida pelos fabricantes, para poder classificar os tipos de investimentos e sua viabilidade económica ao longo do tempo.

A *posteriori*, abordou-se todas as variáveis necessárias ao dimensionamento hidráulico do sistema de rega de uma exploração agrícola na ilha da Madeira, especificamente o concelho de Santa Cruz (Santo António da Serra). Para a correta avaliação do sistema, foi realizada uma análise hidráulica teórica e o comparativo com o sistema de rega existente, a fim de comparar os resultados expectáveis.

Assim, procedeu-se ao comparativo dos valores teóricos calculados com base em um sistema de rega proposto com o sistema existente, o qual foi verificado *in situ*. O comparativo foi elaborado em duas hipóteses pré determinadas, onde verificou-se o ganho de eficiência das eletrobombas, redução de consumo elétrico e controlo de caudal por um emissor gota a gota.

Por fim, optou-se também pela análise de consumo hídrico baseado na substituição do cultivo policultura pelo cultivo monocultura das três práticas agrícolas abordadas nesta dissertação. Este comparativo foi efetuado de forma a estabelecer a prática agrícola que apresentará o maior consumo hídrico, o que não sugere maior lucratividade por apenas redução de custos, uma vez que o lucro está atrelado a outras leis de mercado como a necessidade, oferta e preço de venda.

Palavras-chave: agricultura, análise hidráulica, rede de drenagem pluvial, sistemas de rega, volume de armazenamento.

Abstract

Due to the increasing temperatures on the planet and consequent reduction of water suitable for agriculture, there is the concern of studying irrigation systems, from the granting of the project to its optimized management. Therefore, and since Madeira is not unaware of such climate change problem, a practical case study will be studied on this island. The aim is to control water losses throughout the system, always seeking to take into account the economic concerns of proposed / existing solutions.

First, the historical factors of the development of the cultivation practice were approached, as well as the transition and evolution of the irrigation systems implemented throughout the history. In addition, the present water resources were analyzed, as well as the territorial characterization of the island of Madeira.

In this context, the water needs of the plantations throughout the farm were also analyzed in order to predict the required storage volume. This analysis was based on a vast bibliographic review referring to the three crops presented in this thesis: *Proteas*, Tomato and *Physalis*.

Also, the whole technical component of the equipment used was also verified, consulting the datasheets and documentation provided by the manufacturers in order to classify the type of investments and their economic viability over time.

Subsequently, all the variables necessary for the hydraulic sizing of the irrigation system of a farm on the island of Madeira, specifically the municipality of Santa Cruz (Santo António da Serra), were addressed. For the correct evaluation of the system, a theoretical hydraulic analysis was performed and the comparative with the existing irrigation system in order to compare the expected results.

Thus, we proceeded to the comparison of the theoretical values calculated based on a proposed irrigation system with the existing system, which was verified *in situ*. The comparison was made in two predetermined hypotheses, where it was verified the efficiency increase of the electric pumps, reduction of electric consumption and flow control by a drip emitter.

Finally, it was also decided to analyze water consumption based on the replacement of polyculture cultivation by monoculture cultivation of the three agricultural practices addressed in this thesis. This comparison was made in order to establish the agricultural practice that will present the highest water consumption, which does not suggest greater profitability for just cost reduction, since profit is linked to other law of market such as demand, supply and selling price.

Keywords: agriculture, hydraulic analysis, rainwater drainage, irrigation systems, storage volume.

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO I.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1.1. <i>Enquadramento</i>	2
1.2. <i>Objetivos</i>	6
1.3. <i>Organização da Dissertação</i>	7
1.4. <i>Metodologia</i>	8
CAPÍTULO II.....	9
ESTADO DA ARTE	10
2.1. <i>Enquadramento histórico</i>	10
2.2. <i>Sistemas de Rega por Gravidade</i>	12
2.3. <i>Sistemas de Rega Localizada</i>	17
2.3.1. <i>Sistema de Rega Gota a Gota</i>	18
2.3.2. <i>Sistema de Rega por Microaspersão</i>	19
2.3.3. <i>Sistema de Rega por Borbulhamento</i>	22
2.3.4. <i>Sistema de Rega por Exsudação</i>	23
2.4. <i>Sistema de Rega por Aspersão</i>	24
2.5. <i>Sistema de Rega de Subsuperfície</i>	26
2.5.1. <i>Sistema de Rega por Subirrigação em Ambiente Protegido</i>	26
2.5.2. <i>Sistema de Rega por Hidroponia</i>	28
2.6. <i>Comparação de eficácia entre os sistemas de rega tradicionais.</i>	31
2.7. <i>Impactos Ambientais</i>	33
2.8. <i>Defensivos Agrícolas</i>	35
CAPÍTULO III.....	37
DESCRIÇÃO DA LOCALIDADE	38
3.1. <i>Localização</i>	38
3.2. <i>Climatologia</i>	39
3.3. <i>Relevo</i>	40
3.4. <i>Recursos Hídricos</i>	41
3.5. <i>Agricultura Local</i>	42
CAPÍTULO IV	45
CARACTERIZAÇÃO DO CULTIVO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REGA	46
4.1. <i>Enquadramento das culturas</i>	46

4.1.1. <i>Physalis</i>	46
4.1.2. Tomateiro	51
4.1.3. <i>Protea</i>	56
4.2. <i>Necessidades hídricas das plantas</i>	61
4.3. <i>Tubagens</i>	62
4.3.1. Tubagem em PVC.....	64
4.3.2. Tubagem em PE	67
4.4. <i>Acessórios</i>	69
4.4.1. Acessórios de ligação	69
4.4.2. Eletrobombas.....	70
4.4.3. Válvulas.....	71
4.4.4. Programadores	73
4.4.5. Sensores.....	74
4.5. <i>Dimensionamento dos tubos</i>	75
4.5.1. Caudal de dimensionamento	75
4.5.2. Diâmetro dos tubos	76
4.5.3. Perda de carga contínua	77
4.5.4. Perda de carga unitária	77
4.5.5. Perda de carga total.....	78
4.5.6. Reservatório.....	79
4.5.7. Consumo de energia elétrica	79
4.6. <i>Levantamento do sistema de rega existente</i>	79
4.7. <i>Sistema de rega proposto</i>	83
4.8. <i>Comparativo entre o sistema atual e o proposto</i>	89
4.9. <i>Verificação de necessidade hídrica para implementação de monocultura</i>	91
4.9.1. Monocultura da <i>Protea</i>	92
4.9.2. Monocultura de Tomateiro.....	92
4.9.3. Monocultura da <i>Physalis</i>	93
CAPÍTULO V	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
5.1. <i>Análise de resultados</i>	96
5.2. <i>Sugestões para trabalhos posteriores</i>	99
BIBLIOGRAFIA.....	101
REFERÊNCIAS DAS FIGURAS	113
ANEXOS	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Plantação de uva nas encostas montanhosas da ilha da Madeira (Fonte: desconhecida).....	2
Figura 2 - Mapa da utilização do solo (Fonte: Correia & Santos, 2015 adaptação de COS, 2007).....	3
Figura 3 - Construção das Levadas da Madeira (Fonte: E.E.M.).....	4
Figura 4 - Rede de Levadas da Região Autónoma de Madeira (Fonte: mapasnasaladeaula.org).....	4
Figura 5 - Central Hidroelétrica da Serra de Água, alimentada pelo canal do norte e levada das rabaças (Fonte E.E.M.).....	6
Figura 6 - Organograma (Fonte: Autor, 2019).	8
Figura 7 - Primeiros Tanques de Rega (Fonte: depositphotos).....	10
Figura 8 - Exemplo de rega por gravidade – Ribeira Brava (Fonte: desconhecida).....	12
Figura 9 - Fases de Rega (Fonte: Oliveira, 2012).....	13
Figura 10 - Sistema de rega gota a gota (Fonte: nregas.pt).....	18
Figura 11 - Gotejador autocompensante (Fonte: Aki.pt).....	18
Figura 12 - Microaspersor rotativo (Fonte: Antunes, 2006).	20
Figura 13 - Microaspersor estacionário (Fonte: Antunes, 2006).....	21
Figura 14 - Emissor borbulhador tipo guarda-chuva (Fonte: Hunter Industries, 2019).....	22
Figura 15 - Sistema de irrigação "bubler" adaptado para uso em agricultura familiar (Fonte: Coelho <i>et al.</i> , 2012).	23
Figura 16 - Fita geotêxtil para rega por exsudação (Fonte: Poritex, 2011).....	24
Figura 17 - Sistema de rega por Aspersão (Fonte: Antunes, 2006).	25
Figura 18 - Componente do sistema de rega por aspersão (Fonte: Oliveira, 2012).....	25
Figura 19 - Ilustração esquemática de uma mesa de subirrigação utilizada em ambiente protegido (Fonte: Testezlaf, 2017).	27
Figura 20 - Sistema Hidropónico NFT (Fonte: GroHo.pt)	29
Figura 21 - Sistema hidropónico DFT (Fonte: logosbios.blogspot.com).....	29
Figura 22 - Sistema hidropónico com substrato (Fonte: Google Imagens).....	30
Figura 23 - Desmatamento para implementação de agricultura (Fonte: tech-media.it).....	33
Figura 24 - Aplicação de defensivos agrícolas (Fonte: pastoextraordinario.com.br).....	35
Figura 25 - Ilha da Madeira (Fonte: Autor, 2019).....	38
Figura 26 - Conselho de Santa Cruz (Fonte: googlemaps.com).....	38
Figura 27 - Precipitação média anual da Madeira (Fonte: Gaspar e Portela, 2002).....	39
Figura 28 - Precipitações médias mensais da Madeira expressas em percentagem da precipitação média anual (Gaspar & Portela, 2002).....	40
Figura 29 - Relevo da ilha da Madeira (Fonte: IFCN, 2019).....	40
Figura 30 - Isolinhas anuais de escoamento total (Fonte: Gaspar & Portela, 2002)	42
Figura 31 - Percentagem da população agrícola familiar por população total da freguesia (Fonte: Correia & Santos, 2015).....	44
Figura 32 - Tipo de mão de obra agrícola por regime de duração de trabalho (TP - Tempo Parcial; TC - Tempo Completo) (Fonte: Correia & Santos, 2015).	44
Figura 33 - Sépalas e fruto da <i>Physalis</i> (Fonte: nature-and-garden.com).....	46

Figura 34 - Flor da <i>Physalis</i> (Fonte: Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).	47
Figura 35 - Tabela de cor do <i>Physalis</i> (Fonte: Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).	49
Figura 36 - Caule do tomateiro (Fonte: scienceblogs.com.br).	51
Figura 37 - Folha do tomateiro (Fonte: depositphotos.com).	51
Figura 38 - <i>Leucospermum Patersonii</i> (Fonte: proteaworld.com.au).	57
Figura 39 - <i>Leucadendron Safari Sunset</i> (Fonte: gardenia.net).	58
Figura 40 - <i>Protea Susara</i> (Fonte: floraccess.com).	59
Figura 41 - <i>Banksia ashbyi</i> (Fonte: advancedsciencenews.com).	59
Figura 42 - Mapa de evapotranspiração de Portugal (Fonte: IPMA, 2019).	61
Figura 43 - Evolução do coeficiente cultural (Kc) ao longo do tempo e do desenvolvimento vegetativo das plantas, da sementeira à colheita (Fonte: Rosa, 2018 adaptado Allen <i>et al.</i> , 1998).	62
Figura 44 - Diâmetro externo, interno e espessura de tubos (Fonte: Testezlaf & Matsura, 2015).	63
Figura 45 - Tubo de PVC (Fonte: fersil.com).	64
Figura 46 - Tubo com ligação lisa (Fonte: nebulizacion.es).	65
Figura 47 - Tubo com ligação rosqueada (Fonte: Leroy Merlin).	66
Figura 48 - Tubo com ligação bolsa soldável (Fonte: redebras.com.br).	66
Figura 49 - Tubo de ligação ranhurada (Fonte: majestic.com.br).	66
Figura 50 - Exemplos de acessórios de ligação (Fonte: lisbombas.pt).	69
Figura 51 - Eletrobomba <i>Pentax CM</i> (Fonte: <i>Pentax</i>).	70
Figura 52 - Danos por cavitação (Fonte: omel.com.br).	70
Figura 53 - Válvula Solenoide <i>Hunter ICV</i> (Fonte: <i>Hunter Industries</i>).	71
Figura 54 - Válvula direcional (Fonte: hidropress.com.br).	71
Figura 55 - Válvula de bloqueio tipo globo (Fonte: vaportec.com.br).	72
Figura 56 - Válvula de pressão (Fonte: pt.aliexpress.com).	72
Figura 57 - Válvula de fluxo <i>Hunter PGV</i> (Fonte: <i>Hunter Industries</i>).	73
Figura 58 - Válvula de fechamento rápido (Fonte: casafaria.com).	73
Figura 59 - Programador <i>XC</i> (Fonte: <i>Hunter Industries</i>).	74
Figura 60 - Sensor de chuva <i>Hunter Mini-Clik</i> (Fonte: <i>Hunter Industries</i>).	74
Figura 61 - Tubagem de deposição da água (Fonte: Autor, 2019).	80
Figura 62 - Problemas de otimização do sistema de rega (Fonte: Autor, 2019).	80
Figura 63 - Reservatório utilizado (Fonte: Autor, 2019).	81
Figura 64 - Eletrobomba utilizada (Fonte: Autor, 2019).	81
Figura 65 - Curva de referência da <i>Pentax CRT 102</i> (Fonte: <i>Pentax, s.d.</i>).	82
Figura 66 - Programador utilizado <i>Rainbird ESP-RZX</i> (Fonte: <i>Rain Bird, s.d.</i>).	82
Figura 67 - Conjunto de válvulas, medidores e controladores (Fonte: Autor, 2019).	83
Figura 68 - Sistema de rega proposto (Fonte: Autor, 2019).	84
Figura 69 - Eficiência apresentada pela hipótese 1 (Fonte: Autor, 2019).	89
Figura 70 - Eficiência apresentada pela hipótese 2 (Fonte: Autor, 2019).	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Escoamentos anuais médios na ilha da Madeira (Fonte: Autor, 2019 adaptado Portela <i>et al.</i> , 2000).	5
Tabela 2 - Sistemas de regas (Fonte: Autor, 2019 adaptado Testezlaf, 2017).	11
Tabela 3 - Coeficiente de <i>Manning-Strickler</i> (Fonte: Evangelista, s/d).	16
Tabela 4 - Comparativo dos parâmetros presentes nos tipos de microaspersores (Fonte: Autor, 2019 adaptado Testezlaf, 2017).	21
Tabela 5 - Eficiência de aplicação dos vários tipos de rega (Fonte: Autor, 2019 adaptado Barros, 2015).	31
Tabela 6 - Custo para implementação das tecnologias de rega (Fonte: FAO, 2014).	32
Tabela 7 - Previsão de custo de operação das tecnologias de rega (Fonte: FAO, 2014).	32
Tabela 8 - Uso e ocupação do solo agrícola na Madeira (Fonte: Correia & Santos, 2015).	43
Tabela 9 - Valores nutricionais da <i>Physalis</i> (Fonte: Autor, 2019 adaptado Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).	47
Tabela 10 - Métodos para determinar os índices de maturação (Fonte: Autor, 2019 adaptado Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).	50
Tabela 11 - Perdas de produção por patologia (Fonte: Autor, 2019 adaptado Richter <i>et al.</i> , 2010).	53
Tabela 12 - Coeficiente Kc do tomateiro para cada estágio de desenvolvimento (Fonte: Autor, 2019 adaptado Allen <i>et al.</i> , 1998).	54
Tabela 13 - Plantas companheiras e antagônicas (Fonte: Autor, 2019 adaptado Richter <i>et al.</i> , 2010).	55
Tabela 14 - Valores nutricionais do tomate italiano (Fonte: Autor, 2019 adaptado Monteiro <i>et al.</i> , 2008).	56
Tabela 15 - Produção e comercialização (Fonte: Autor, 2019 adaptado Fernández, 2005).	60
Tabela 16 - Características mecânicas do PVC (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).	65
Tabela 17 - Características químicas do PVC (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).	65
Tabela 18 - Características mecânicas do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado ISO).	68
Tabela 19 - Características químicas do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).	68
Tabela 20 - Características hídricas do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado ISO).	68
Tabela 21 - Necessidade hídrica diária por espécie (Fonte: Autor, 2019).	85
Tabela 22 - Volume diário por planta (Fonte: Autor, 2019).	86
Tabela 23 - Quantidade de emissores e tempo de rega por sector (Fonte: Autor, 2019).	86
Tabela 24 - Caudal e volume total por sector (Fonte: Autor, 2019).	86
Tabela 25 - Dimensionamento dos ramais laterais (Fonte: Autor, 2019).	87
Tabela 26 - Coeficiente (F) de <i>Christiansen</i> (Fonte: Autor, 2019 adaptado <i>Christiansen</i> , 1942).	87
Tabela 27 - Verificação da Regra de <i>Christiansen</i> para os ramais laterais (Fonte: Autor, 2019).	88
Tabela 28 - Dimensionamento das condutas principais intermediárias (Fonte: Autor, 2019).	88
Tabela 29 - Dimensionamento da conduta principal (Fonte: Autor, 2019).	88

Tabela 30 - Caudal e volume total diário para <i>Protea</i> (Fonte: Autor, 2019).	92
Tabela 31 - Caudal e volume total diário para o Tomateiro (Fonte: Autor, 2019).....	93
Tabela 32 - Caudal e volume total diário da <i>Physalis</i> (Fonte: Autor, 2019).....	93
Tabela 33 - Verificação do volume total diário para ambas as culturas (Fonte: Autor, 2019).	94

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

A_i	Área da secção interna do tubo
A_t	Área total do sector
C	Coefficiente de rugosidade por <i>Chezhy</i>
C_b	Consumo elétrico da eletrobomba
CE	Consumo mensal de energia elétrica para eletrobomba
CU	Coefficiente de uniformidade
C_{ue}	Custo unitário por KWh
d_i	Diâmetro interno do tubo
DH	Perda de carga contínua total
DHT	Perda de carga total
E_{pa}	Eficiência potencial de aplicação
ET_c	Evapotranspiração cultural
ET_p	Evapotranspiração potencial
E_{ra}	Eficiência real de aplicação
f	Coefficiente de rugosidade de <i>Darcy-Weisbach</i>
F	Coefficiente de <i>Christiansen</i>
g	Aceleração gravitacional
I_{cum}	Curva de infiltração acumulada
h	Perda de carga contínua
$he-bomb$	Perda de carga localizada da eletrobomba
$he-valv$	Perda de carga localizada da válvula
h_f	Coefficiente de perda de carga localizada
h_s	Perda de carga localizada
hm	Carga hidráulica do reservatório
K	Coefficiente de rugosidade de <i>Manning-Strickler</i>
K_c	Coefficiente cultural
L	Comprimento do tubo
La	Dimensão “a” do compasso da plantação
Lb	Dimensão “b” do compasso da plantação
Ne	Quantidade de emissores por planta

Q_e	Caudal específico do emissor
Q_p	Caudal médio diário por sector
P_{abs}	Pressão absoluta complementar do reservatório
P_{atm}	Pressão atmosférica
P_{bomb}	Pressão da eletrobomba
P_e	Pressão do emissor
P_{reg}	Pressão de rega
s	Perda de carga unitária
s'	Espaçamento entre os emissores
T	Tempo de rega por sector
T_a	Tempo de aplicação
T_{av}	Tempo de avanço
T_{cr}	Tempo de corte de admissão de água à parcela
T_m	Quantidade de dias por mês de utilização da bombagem
T_d	Tempo de depleção
T_o	Tempo de oportunidade
T_r	Tempo de rega
UD	Uniformidade de distribuição
V	Velocidade média da água
V_p	Volume diário efetivo por planta
V_t	Volume total diário
ΔP	Variação de pressão
ρ	Densidade da água
€	Euros

ABREVIATURAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
CA	Complexo Vulcânico Antigo
CB	Depósito Conglomerático-Brechóide
CM	Calcários Marinhos dos Lameiros
COS	Carta de Ocupação do Solo
CP	Complexo Vulcânico Principal
DFT	<i>Disp Film Technique</i>
DDT	Diclorodifeniltricloetano
DIN	<i>Deutsche Institut für Normung</i>
DN	Diâmetro Nominal
EEA	<i>European Economic Area</i>
EEM	Empresa de Eletricidade da Madeira
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IFCN	Instituto das Florestas e Conservação da Natureza
IPMA	Instituto Português do Mar e Atmosfera
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
PAF	Produção Agrícola Familiar
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEMD	Polietileno de Média Densidade
PN	Pressão Nominal
PVC	Policloreto de Vinila
SRP	Complexo Vulcânico São Roque e Paul
TC	Tempo Completo
TP	Tempo Parcial
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WWAP	<i>World Water Assessment Programme</i>

Capítulo I

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Enquadramento

Segundo Silva & Meneses (1984) citado por Baptista (2013), o processo interativo entre o ser humano e a flora da Madeira teve início logo após a chegada dos primeiros colonos à ilha, onde as florestas primitivas foram substituídas por espaços agrícolas. As primeiras levadas datam do tempo da colonização, século XV, tinham extensão reduzida e eram escavadas nos maciços rochosos, com alguns segmentos das mesmas a serem executados em madeira, com secção transversal em forma de “U” (Quintal, 2010).

A captação e transporte de água foram outros dos principais desafios da população desde a descoberta da ilha da Madeira. A sobrevivência da população dependia fortemente da produção agrária, nomeadamente na produção de cana-de-açúcar, batizada na época com a alcunha de “ouro branco”, e a produção de vinhas, que mais tarde dariam origem ao Vinho Madeira (Quintal, 2010).



Figura 1 - Plantação de uva nas encostas montanhosas da ilha da Madeira (Fonte: desconhecida).

A orografia da ilha da Madeira é um fator fulcral para análise de implementação da agricultura, uma vez que aproximadamente 25% do território apresenta-se acima de 1000 m de altitude, 47% acima dos 700 m, 11% apresenta declives abaixo de 16% e 65,4% do território apresenta declives acima de 25% (Correia & Santos, 2015). Ainda de acordo com Correia & Santos (2015), o cultivo agrícola é geralmente implementado em zonas com declives entre 16% e 25%, portanto, explicita-se a complexidade encontrada para a adoção da atividade supracitada na ilha.

De acordo com o AGROGES (2013), os altos custos produtivos atrelados às condições orográficas da Madeira são diretamente responsáveis pela tendência de abandono da atividade, mesmo com a pequena recuperação apresentada pelo Recenseamento Agrícola de 2009.

Contudo, a adoção de agriculturas familiares é ainda utilizada na ilha da Madeira, sendo necessário assim a verificação e elaboração de mecanismos que permitam a eficiência e eficácia da cultura. Para tal, é primordial a caracterização da tipologia geológica da ilha, com o intuito de analisar as zonas que facilitem ou dificultem o cultivo. Conforme verifica o mapa de uso do solo, as atividades estão maioritariamente estabelecidas ao Sul e Este da ilha, devido as condições climáticas mais favoráveis (Correia & Santos, 2015).

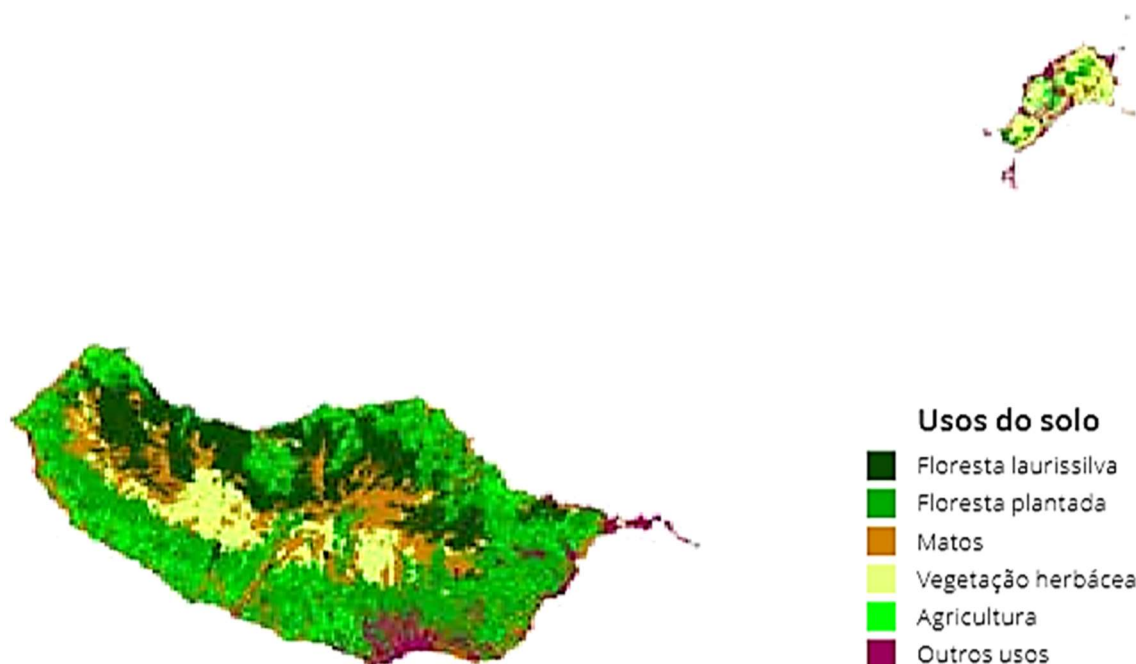


Figura 2 - Mapa da utilização do solo (Fonte: Correia & Santos, 2015 adaptação de COS, 2007).

Neste contexto, grande parte dos tipos de agricultura estabelecidos são efetuadas a base do regadio, devido as deficitárias precipitações que ocorrem nas regiões próximas ao nível do mar (Brazão, 1998).

As alterações climáticas também tiveram um peso relevante na otimização de irrigação nas explorações agrícolas, pois existem maiores períodos de seca ocasionados por menores precipitações anuais, sendo assim necessário efetuar um sistema de rega apropriado (mais eficiente) ao tipo cultura em questão. Referente ao regime pluvial das ribeiras, estes são caracterizados como irregulares, cuja realidade está implícita à diferença climática presente nas diversas estações do ano (Baptista, 2013).

Portanto, pode-se afirmar que “com o desenvolvimento apoiado numa economia agrícola familiar, tornou-se necessário estabelecer um sistema de regadio para compensar um regime natural de chuvas muito diferenciado no tempo e no espaço, apesar de relativamente abundante. Esta razão motivou a necessidade de construir os primeiros canais de rega (as levadas) destinados ao transporte de águas disponíveis nos lugares mais altos e na costa norte da ilha, para os terrenos agrícolas na costa sul da Madeira, a cotas mais baixas (Pereira, 1989)”.

Foi então na segunda metade do Século XIX, nomeadamente nas décadas de 50 e 60 que se começaram a construir levadas, galerias e túneis nos maciços rochosos que ligam a costa norte à costa sul, que permitem o transporte e abastecimento de água à agricultura. Um dos principais responsáveis por esta tarefa hercúlea de atravessar a cordilheira central da região foi o Eng.º Manuel Rafael Amaro da Costa (Quintal, 2010).

As principais fontes hídricas para o abastecimento e sobrevivência agrária e da população são subterrâneas, maioritariamente aproveitadas através de galerias, túneis e nascentes. A manutenção destes aquíferos subterrâneos, que ocorre em grande expressão nas zonas altas, não é conseguida somente através da pluviosidade registada anualmente na região. A precipitação oculta, que consiste na captação de água de nevoeiros, através da vegetação, complementa em parte significativa o reabastecimento dos aquíferos (Prada *et al.*, 2005). Neste sentido, Portela (2000) apresenta os valores correspondentes às fontes hídricas de escoamento superficial e subterrânea:

Tabela 1 - Escoamentos anuais médios na ilha da Madeira (Fonte: Autor, 2019 adaptado Portela *et al.*, 2000).

Zona		Escoamento à superfície do terreno (mm)	Escoamento subterrâneo (mm)	Escoamento total (mm)
Encosta	Norte	681,5	219,3	900,8
	Sul	504,4	189,2	693,6
ilha da Madeira		582,1	202,3	784,4

Conforme Lousada & Camacho (2018a), caracteriza-se como “escoamento” o volume de água que percorre determinada secção transversal de um curso de água em um dado intervalo de tempo.

Com o crescimento demográfico existente nas últimas décadas, urge a necessidade de otimizar todos os sistemas de regas nas explorações agrícolas de modo a ter uma produção agrícola com maiores quantidades sempre assegurando um elevado nível de qualidade sem que para isso tenha um grande gasto do recurso hídrico existente. Lousada & Camacho (2018b) ressaltam que o consumo de água nos últimos 100 anos aumentou significativamente, tanto pelo crescimento vertiginoso da população mundial quanto pela aplicação em diversas práticas que envolvem o progresso da sociedade. Neste sentido, os autores sugerem que o consumo pode ser dividido em duas categorias:

- **Consumptivos:** utilização que retira a água da fonte natural, diminuindo assim a sua disponibilidade espacial e temporal (agricultura, industrial, doméstico, municipal, pecuário e piscícola);

- **Não consumptivos:** utilização de água que retorna à fonte, sendo esta praticamente a totalidade da água em uso (ambiental, navegação, produção elétrica, recreio e turismo).

Para a escolha das várias técnicas de rega, deve ser efetuada uma análise económica, ambiental e do local de implantação. Devido à orografia bastante acidentada da ilha da Madeira é necessário ter em conta as grandes alturas piezométricas de projeto, pelo que é usual acessórios para minimizar tal problema.

De acordo com Quintal (2010), nesta nova era das levadas, a projeção e construção de levadas novas e reabilitação das já existentes, não só contemplava o melhor aproveitamento dos recursos hídricos para a disponibilização e abastecimento à produção agrícola, como também insere um novo desafio e utilidade para a geração de energia elétrica através de centrais hidroelétricas.



Figura 5 - Central Hidroelétrica da Serra de Água, alimentada pelo canal do norte e levada das rabaças (Fonte E.E.M.).

Para a EEA (2009), as centrais hidroelétricas possuem como princípio a força gravítica e a água para produção de energia, ao implicar a conversão da energia potencial em energia cinética, além da utilização da mesma para o arrefecimento de outras metodologias de produção.

Outro fator de grande importância da utilização dos recursos hídricos para geração de energia elétrica, é o apelo internacional crescente para diminuição da emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. A utilização de infraestruturas hidroelétricas destacou-se como uma das mais importantes soluções disponíveis para mitigação deste problema (WWAP, 2009).

1.2. Objetivos

O principal objetivo de um sistema de rega é o fornecimento de água necessário a uma dada cultura de forma a satisfazer as suas necessidades hídricas. Desse modo,

minimizar todas as perdas de água existentes ao longo da distribuição é a maior preocupação.

A presente dissertação tem como principais objetivos:

- Conhecer as fases de um projeto e o nível de exigência referente a cada tipologia de sistema de rega a adotar;
- Explicitar os procedimentos e conceitos necessários para implementação do sistema de rega proposto;
- Conhecer e perceber o modo interdisciplinar que preside à elaboração de um projeto de sistema de rega;
- Conhecer, perceber e saber articular as peças que compõem um projeto de um sistema de rega;
- Efetuar o comparativo e análise de eficiência entre o sistema de rega proposto (teórico) e o sistema atual implantado;
- Inferir as vantagens e desvantagens de cada metodologia abordada;
- Apresentar a importância do aprimoramento e gestão eficiente dos recursos hídricos existentes;
- Colaborar para a consciencialização social para o desenvolvimento urbanístico sustentável e mitigação de impactos ambientais.

1.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos, a qual é apresentada na seguinte forma:

No **Capítulo 1** foi feito um breve enquadramento do histórico, importância e da realidade atual da agricultura na ilha da Madeira. As informações apresentadas servem para corroborar a importância da temática desta dissertação.

Relativamente ao **Capítulo 2**, serão abordadas as diferentes formas de utilização dos recursos hídricos. Posteriormente, este capítulo diz respeito ao Estado da Arte – Enquadramento Teórico, apresentação dos diversos tipos de sistemas de rega existentes, suas particularidades, vantagens e desvantagens e suas aplicações específicas.

O **Capítulo 3** apresentará a análise, caracterização do caso de estudo e as condições existentes na ilha da Madeira como: a localização, climatologia, recursos hídricos, relevo e agricultura local.

No **Capítulo 4**, será abordado o dimensionamento hidráulico do sistema de rega e parâmetros necessários à elaboração desse estudo. Será também realizado uma análise comparativa do caso prático, efetuando o levantamento de todo o sistema de rega existente e analisados todos os seus componentes. Será também apresentado o método de dimensionamento, explicando toda a sua formulação.

No **Capítulo 5**, serão retratadas as Considerações Finais, nomeadamente serão apresentadas as notas finais e discriminadas as perspectivas futuras que este tipo de trabalho pode possibilitar.

1.4. Metodologia

Para o presente estudo é relevada importância a realização de uma vasta revisão bibliográfica, a qual servirá de base científica, conceitual e argumentativa. Desta forma, *à priori* foi feita uma extensa pesquisa sobre todos os aspetos que envolvem a temática abordada, desde o histórico de necessidade da ilha da Madeira às metodologias de dimensionamento do sistema de rega proposto. As revisões bibliográficas foram efetuadas através da obtenção de teses e dissertações publicadas pelas universidades de diversos países, bem como, bibliografia específica e trabalhos de investigação,

Após todo o enquadramento teórico e abordagem conceitual da problemática, utilizou-se a metodologia mais adequada a prática presente. Neste sentido, optou-se pela Metodologia de Perda de Carga Relativa, a qual considera as peças de ligações como uma tubulação linear com determinado comprimento, podendo assim ser atrelado à Equação de Perda de Carga Universal proposta por *Darcy-Weisbach*. O fator de atrito presente nesta equação foi estabelecido pela metodologia de *Colebrook-White*.

O dimensionamento do sistema de rega aqui proposto visou priorizar a simplificação do sistema, evitando a presença de muitas peças especiais e de conexão. Esta simplificação supracitada (opção) além de tornar o dimensionamento menos complexo, reduz a perda de carga total do sistema e conseqüentemente a necessidade de eletrobombas mais potentes. No dimensionamento do sistema de rega, foram utilizadas ferramentas computacionais como os *softwares Autodesk AutoCAD e Microsoft Excel*.

Uma vez que o objetivo é efetuar o comparativo do sistema proposto com o atual, foi necessário recorrer ao levantamento do sistema existente. Para tal, procedeu-se a verificação *in situ* e feita a devida medição requerida. Além das medições, foi necessário a verificação dos catálogos de propriedades e características dos equipamentos utilizados.

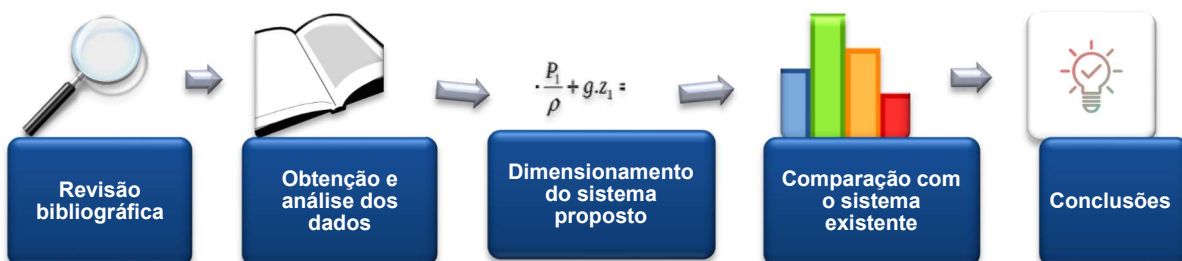


Figura 6 - Organograma (Fonte: Autor, 2019).

Capítulo II

ESTADO DA ARTE

2.1. Enquadramento histórico

Após as alterações climáticas que levaram a uma escassez de alimentos do homem primitivo a cerca de 10.000 a.C., verificou-se a necessidade de implementação de novas técnicas de obtenção alimentar. Isto ocorreu pela diminuição da precipitação presente e a conseqüente redução dos mantimentos disponíveis para recolha. Neste sentido, a utilização do conceito de cultivo/agricultura representa um dos principais marcos da transição do Homem Caçador para o Homem Sedentário (Raposo, 1996 citado por Baptista, 2013).

Porém, a atividade agrícola era demasiado dependente das condições climatéricas, pelo que o armazenamento e transporte de água não era nada eficiente. O surgimento das primeiras comunidades pré-históricas junto a margens de rios e lagos tornou-se comum na Índia, China, Médio Oriente e África Central (Cech, 2005).

De acordo com Biswas (1997), a disponibilidade de água suficiente para implementação da agricultura, transporte, higiene e consumo apresentou-se primordial para sobrevivência humana, onde a prosperidade das sociedades estavam, diretamente relacionadas à eficiente gestão dos recursos hídricos. Conseqüentemente, a má gestão das reservas de água, levaram ao declínio e em casos mais extremos, a dizimação destas civilizações. Neste sentido, para Singh (1992), o gradual aumento da disponibilidade de recursos, permitiram que as civilizações evoluíssem, formando assim os primeiros aglomerados urbanos. Conforme este raciocínio, Singh (1992) aponta que os Romanos há pouco mais de 2000 anos foram os responsáveis por um desenvolvimento significativo no sistema de abastecimento e drenagem hídrica, ao utilizarem grandes aquedutos e sistemas complementares.



Figura 7 - Primeiros Tanques de Rega (Fonte: depositphotos)

Apesar do grande avanço dos Romanos na gestão de recursos hídricos, de acordo com Newson (1997) citado por Vivas (2011), nota-se que não existem provas de que os engenheiros da Roma Antiga tinham conhecimento do Ciclo Hidrológico. Portanto, “[...] apesar de se verificar um importante reconhecimento da água, e do seu correto aproveitamento, nos registos de evolução das sociedades humanas, em especial em regiões de características mais áridas, o conhecimento sobre este recurso e sobre a forma como o mesmo é disponibilizado à face da Terra, pouco evoluiu até recentemente (Vivas, 2011 citando Biswas, 1997)”.

Com a evolução das civilizações e dos respetivos sistemas de rega aplicados, houve um maior estudo nas necessidades hídricas de cada cultura, por forma a otimizar e racionalizar os gastos de água (Raposo, 1996).

À *priori*, devido à não existência de mecanismos eletromecânicos para sucção e recalque do volume de água necessário para a rega, os sistemas eram compostos basicamente pela força gravítica. Porém, de acordo com Barros (2015), o sistema de rega em espaços verdes é efetuado quase exclusivamente por pressão, apesar da vasta utilização do sistema de rega por gravidade em outras atividades.

O sistema de rega por pressão compreende distintas formas de rega, podendo ser por aspersão ou rega localizada. Neste sentido, “estes sistemas de rega são compostos por um grupo eletrobomba, tubagens, emissores e elementos de controlo e segurança. As diferenças no caudal, pressão e emissores de saída da água, definem a diferença entre os distintos processos de rega sob pressão, sendo elas, a aspersão, a rega localizada e a rega subterrânea (Barros, 2015)”.

Tabela 2 - Sistemas de regas (Fonte: Autor, 2019 adaptado Testezlaf, 2017).

Métodos	Sistemas
Superfície	Sulcos
	Inundação
Aspersão	Convencional
	Mecanizada (Pivô e Carretel)
Localizada	Gota a Gota
	Microaspersão
Subsuperfície	Gota a Gota Subterrâneo
	Elevação do Lençol Freático
	Mesas de Subirrigação

Portanto, serão apresentados para cada tipo de sistema de rega, as suas particularidades bem como vantagens e desvantagens:

2.2. Sistemas de Rega por Gravidade

Como referido no Subcapítulo 2.1, o Sistema de Rega por Gravidade é o mais antigo, aproveitando as diferentes cotas piezométricas, como é possível ver na figura abaixo.



Figura 8 - Exemplo de rega por gravidade – Ribeira Brava (Fonte: desconhecida)

Um dos processos de rega mais tradicionais é o de rega por ação da gravidade. Neste processo a água é canalizada para os sulcos (previamente adaptados ao regadio), que após a sua entrada (por ação gravítica) escoam para cotas mais baixas (Oliveira, 2012). Neste sentido, “[...] inicialmente, a rega era assegurada por sistemas de canais e levadas que conduziam à percolação da água no solo por ação da gravidade, e que ainda hoje são utilizados em alguns locais e por um sector da agricultura de dimensão mais familiar [...] (Vivas, 2011)”.

Através de regadeiras em terra, é fornecida água a um dos extremos da parcela, que ao entrar posteriormente nos sulcos distribuídos ao longo da largura da parcela irão permitir distribuí-la uniformemente em toda a sua área. Inicialmente ocorre uma diminuição do caudal no sentido a jusante, causado pela infiltração da água no solo. Porém, com a permanência de água no mesmo local, o nível de infiltração irá diminuir e com isso manter o caudal de entrada no sulco constante, o escoamento terá tendência a aumentar gradualmente ao longo do tempo de rega (Oliveira, 2012).

O escoamento é afetado pelo comprimento dos sulcos e da taxa de infiltração dos solos, ou seja, quanto maior for o comprimento e a taxa de infiltração, menor será o seu escoamento. Assim, “a razão entre a taxa de variação do potencial da água no solo, ao longo da distância por ela percorrida [...] denomina-se gradiente hidráulico, representando a força responsável pelo escoamento da água no solo (Carvalho & Silva, 2006)”.

A rega normalmente inicia-se numa das cabeceiras do terreno com a entrada da água nos sulcos e termina quando atinge a sua extremidade. Ao atingir esta, o escoamento é direcionado para fora da parcela ou acumula-se no caso da extremidade se

encontrar bloqueada. Esta operação é prosseguida até que a área total de rega termine. Seguido desse momento, a entrada de água é fechada e o volume de entrada no sulco irá decrescer e escoar, desaparecendo da superfície do terreno na direção de montante para jusante (Oliveira, 2012).

Este desaparecimento tem o nome de recessão, opostamente a progressão de água no sulco no início da rega é denominado por avanço. Considera-se terminada a rega quando a recessão da água continua até ao fim do sulco e desaparece da superfície do solo. Durante a rega, à medida da entrada e avanço de água nos sulcos, há uma parte que se vai infiltrando no solo. Neste sentido, após cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” nível de saturação enquanto as camadas inferiores apresentam-se ainda com grau de saturação “baixa”. Com isto, a água tende a proceder um movimento descendente que provoca o molhamento das camadas inferiores, ocasionando o fenômeno de redistribuição (Carvalho & Silva, 2006).

A quantidade de água infiltrada vai aumentando proporcionalmente ao tempo de rega, embora a uma percentagem cada vez menor, até que se atinja um ponto em que poderemos considerá-la constante. Este fenômeno é designado por infiltração básica (Oliveira, 2012). Deste modo, evidencia-se que os pontos de maior proximidade à entrada de água estarão mais expostos durante maior tempo e conseqüentemente haverá uma maior infiltração, quando comparando com pontos situados na extremidade oposta.

Devido a este facto, e para os pontos situados no extremo oposto à entrada da água receberem a quantidade necessária, haverá com certeza pontos em que a quantidade de água irá ultrapassar a área absorção pelas raízes. Este é considerado como perda de água por infiltração profunda pois a infiltração ultrapassa a zona considerada para exploração das raízes. A fim de diminuir estas perdas e aumentar a eficiência de rega, tem ocorrido uma evolução no sentido de tentar que todos os pontos ao longo do sulco tenham o mesmo tempo de infiltração ou de oportunidade.

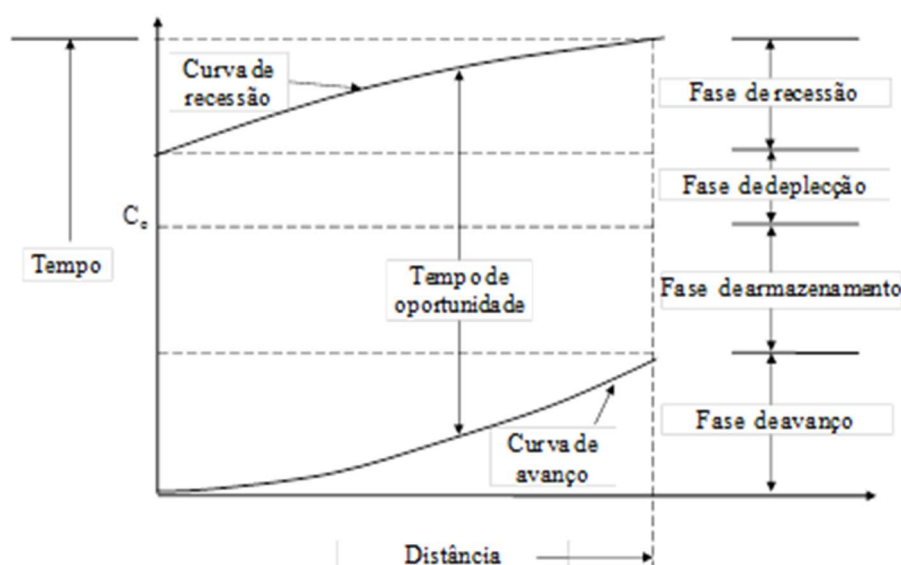


Figura 9 - Fases de Rega (Fonte: Oliveira, 2012).

Neste contexto, Oliveira (2012) com base em Basset (1981), Merriam (1976 & 1978), Walker & Skogerboe (1987) e Burt (1995) determina as seguintes fases de um sistema de rega:

- **Avanço** – Intervalo de tempo correspondente ao deslocamento da água desde a fronteira superior até à inferior;
- **Armazenamento** – Intervalo de tempo entre o fim da fase de avanço e a suspensão da entrada de água no sulco;
- **Depleção** – Intervalo de tempo entre o fim da fase de armazenamento e o início da fase de recessão;
- **Recessão** – Intervalo de tempo correspondente ao início do desaparecimento da água nas fronteiras superior e inferior.

As fronteiras da parcela a regar a considerar:

- **Superior** – Parte por onde a água é normalmente introduzida, situada a uma cota superior;
- **Inferior** – Parte de cota inferior da parcela a regar, situada na extremidade oposta à entrada da água, por onde se verifica o escoamento terminal, caso exista.

O movimento da água tem em conta a sua posição:

- **Frente de avanço** – Linha de fronteira entre a superfície molhada e seca aquando é iniciado o avanço da água numa zona inicialmente livre da mesma;
- **Frente de recessão** – Linha de fronteira entre uma superfície livre de água e uma molhada quando ocorre a recessão da água;
- **Taxa de avanço** – Velocidade ao longo da superfície do solo com que a frente de avanço é movida;
- **Taxa de recessão** – Velocidade ao longo da superfície do solo com a frente da recessão é movida;
- **Taxa de entrada** – Caudal de água inserido na zona superior da parcela a irrigar;
- **Taxa de saída** – Caudal de água que é expelido pela parte inferior da parcela a irrigar.

Relativamente aos tempos de rega:

- **Tempo de avanço** (T_{av}) – Intervalo de tempo entre o início em que é admitida água à parcela e o momento em que a frente de avanço atinge o final da mesma;
- **Tempo de recessão** – Intervalo de Tempo entre o início da rega e o desaparecimento da água na superfície do terreno;
- **Tempo de aplicação** (T_a) – Intervalo de tempo durante o qual a água está sendo inserida na parcela;
- **Tempo de oportunidade** (T_o) – Tempo no qual cada ponto tem a mesma oportunidade para a água infiltrar-se;

- **Tempo de rega** (T_r) – Tempo necessário para que em cada ponto a água infiltrada tenha a mesma quantidade para satisfazer a porção total de rega;
- **Tempo de corte de admissão de água à parcela** (T_{cr}) – Intervalo de tempo entre a admissão de água na parcela e o seu fecho;
- **Tempo de depleção** (T_d) – Tempo entre o fecho de admissão da água e o início da recessão.

No que se refere ao tipo de Infiltração:

- **Curva de infiltração acumulada** (I_{cum}) – Relaciona a quantidade de água infiltrada ao longo do tempo;
- **Curva de infiltração** – Relaciona a quantidade de água infiltrada com a distância percorrida.

Neste sentido, através da aplicação destes conceitos supracitados advindos da revisão bibliográfica de diversos autores como Basset (1981), Merriam (1976 & 1978), Walker & Skogerboe (1987) e Burt (1995), Oliveira em seu livro Técnicas de Regadio (1994 & 2012) sugere os seguintes parâmetros para determinação e caracterização de um sistema de rega eficiente:

- **Eficiência real de aplicação - E_{ra}** – É a razão entre o volume mínimo de água aproveitado pela zona radicular das plantas e o volume médio da água aplicada na rega (mede a eficiência do uso do método de rega pelo regante), descrito para Equação 1:

$$E_{ra} = \frac{\text{Volume mínimo armazenado}}{\text{Volume médio aplicado}} \quad (\text{Eq. 1})$$

- **Eficiência potencial de aplicação - E_{pa}** – (mede a capacidade do método de rega). Representa a relação entre volume mínimo de água armazenado no solo e aproveitado pela zona radicular das plantas, caso este valor seja igual ao déficit de gestão permissível e a quantidade média de água aplicada. Pode ser determinada pela Equação 2:

$$E_{pa} = \frac{\text{Volume mínimo armazenado (aquando igual ao DGP)}}{\text{Volume médio aplicado}} \quad (\text{Eq. 2})$$

- **Uniformidade de distribuição - UD** – Indica o quanto uniforme foi a infiltração da água durante a rega. Representa a relação entre a quantidade mínima de água infiltrada e a infiltração média de água verificada. Pode ser determinada pela Equação 3:

$$UD = \frac{\text{Volume mínimo infiltrado}}{\text{Infiltração média verificada}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Nota: A quantidade mínima de água armazenada, ou infiltrada, referida nas Equações 1 a 3 é normalmente considerada como o valor médio dos valores mais baixos registados e correspondentes a 25% da área da parcela.

- **Coefficiente de uniformidade (CU)** – Representa a taxa de uniformidade das águas captadas distribuídas por pequenas áreas de igual dimensão, todas dentro da mesma parcela de rega. Pode ser definida com a altura média menos o desvio médio a dividir pela altura média, como descrito na Equação 4:

$$CU = \frac{\text{altura média} - \text{desvi médio}}{\text{altura média}} \quad (\text{Eq. 4})$$

O caudal de entrada representa a quantidade de água escoada na entrada da parcela situada na cota superior, caso a rega seja efetuada por faixas este caudal poderá ser calculado em m²/s. Caso a rega seja efetuada por sulcos, o caudal de entrada poderá ser expresso em m³/s ou L/s (Oliveira 1994 & 2012).

O declive da parcela deverá ser uniforme para otimização da rega. Este poderá ser positivo, ou seja, descerá no sentido de uma cota superior para uma cota inferior ou poderá ser neutro (ambas as cotas possuem o mesmo nível). Normalmente na rega por faixas é considerado declive nulo.

Quando se refere às linhas de água regularizadas que atravessam determinadas áreas, é fulcral a correta caracterização do escoamento através de modelos que incorporem em sua análise vários parâmetros como largura, profundidade e rugosidade (Camacho *et al.*, 2018a). Neste contexto, como os sulcos são dimensionados com larguras e profundidades correspondentes à adaptabilidade da cultura, a rugosidade é um dos principais parâmetros a ser verificado.

Assim sendo, Gonçalves (2016) infere que existem três formas de determinação dos coeficientes de rugosidade mais usados, sendo eles, K de *Manning-Strickler*, C de *Chezhy* e f de *Darcy-Weisbach*. Uma vez que existem muitas determinações de coeficientes de rugosidade aferidos por *Manning-Strickler*, uma pessoa com experiência e conhecimento suficiente pode facilmente escolher o valor adequado para casos específicos (Tomaz, 2011), por exemplo, consultando a Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente de Manning-Strickler (Fonte: Evangelista, s/d).

Material	K (m ^{1/3} / s)
Betão	60 a 100
Tubos de Betão	70 a 80
Asfalto	70 a 75
Tijolos	60 a 65
Argamassa de cascalho ou britas	50
Pedras assimétricas	45
Canal aberto em rocha	20 a 55
Canal em terra	58 a 37
Canal gramado	35

Segundo Miranda *et al.* (2018), a escolha do coeficiente de rugosidade deve corresponder ao comportamento esperado para a estrutura de escoamento, de forma a garantir que o caudal seja igual ou superior ao projetado.

Referente as vantagens e desvantagens deste sistema, Medeiros (1995) destaca:

Vantagens:

- Normalmente apresentam menor custo anual por unidade de área;
- Possui potencial de minimização do consumo de energia para irrigação;
- Permitem a utilização de águas de baixa qualidade química e física;
- Não alteram os tratamentos fitossanitários da parte aérea da agricultura;
- O vento não possui influência na uniformidade de distribuição de água.

Desvantagens:

- Inapropriado para solos rasos ou com taxa de infiltração elevada;
- Dificuldade de encontrar mão de obra técnica especializada para o dimensionamento e gestão dos sistemas;
- Normalmente requer a sistematização do terreno.

2.3. Sistemas de Rega Localizada

Surgindo na Alemanha (finais séc. XX) e nos EUA (séc. XXI), a rega localizada começou por experiências utilizando tubos porosos enterrados no solo a fim de regar as plantas e diminuir a evaporação da água. Porém este sistema não se globalizou devido a ocorrências de anomalias causadas principalmente pelas raízes das plantas obstruírem os tubos, tornando se complicado a deteção e localização das mesmas (Rosa, 1995).

É importante ressaltar que “os sistemas de rega localizada mais conhecidos são os chamados gota a gota e, tal como os conhecemos hoje, só muito mais tarde, depois da segunda guerra mundial, se começaram a generalizar. As primeiras tentativas, bem sucedidas, ocorreram em Inglaterra, utilizando microtubos em estufas e jardins. Depois, já na década de sessenta, os técnicos israelitas aperfeiçoaram os sistemas, que a partir daí, coincidindo com o desenvolvimento dos tubos de plástico, se generalizaram um pouco por todo o mundo (Rosa, 1995)”.

Para além dos sistemas de gota a gota, outros poderão ser implementados nas culturas, sendo estes o sistema de borbulhamento e exsudação. A poupança de água (50% ou mais em alguns casos) é a principal razão para a incrementação destes sistemas. Neste sentido, “na irrigação localizada a água é aplicada sobre o solo em uma área restrita, preferencialmente debaixo da área sombreada pela copa da cultura ou perto do caule, buscando humedecer somente o volume de solo explorado pelo sistema radicular da planta (Testezlaf, 2017)”.

2.3.1. Sistema de Rega Gota a Gota

De acordo com Testezlaf (2017), a irrigação gota a gota pode ser caracterizada pela aplicação de pequenos volumes de água em forma de gotas, com alta frequência, nas zonas radiculares das plantas. Desta forma, ocorre a molhagem de uma determinada superfície do solo, reduzindo assim as perdas e consequentemente aferindo em maiores valores de eficiência em relação ao sistema por superfície e aspersão.



Figura 10 - Sistema de rega gota a gota (Fonte: nregas.pt).

Esta irrigação tem como principais características a utilização de caudais que podem variar de 2 a 8 L/h e baixas pressões, não molhando o solo na sua totalidade, mas aplicando água frequentemente para manter a humidade próxima à capacidade de campo (Azevedo & Gonçalves, 2010). Sendo deste modo muito usual a sua implementação em solos de baixa permeabilidade e declive acentuado.

Para Cudell (2000), a utilização dos gotejadores são indicados para a rega das caldeiras das árvores, floreiras e pequenos canteiros, onde a pressão total ou os caudais disponíveis são baixos. Desta forma, o sistema apresenta elevada eficiência (95%), funcionando a baixa pressão (0,5 a 2,5 bares) e com caudal máximo de 12 L/h (Cudell, 2000).



Figura 11 - Gotejador autocompensante (Fonte: Aki.pt)

De acordo com o portal online Marketing Agrícola (2016), o sistema Gota a Gota apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

Maior eficiência e produtividade – Este sistema permite que a água e o fertilizante cheguem exatamente no local e hora necessário, de forma a produzir colheitas com maior quantidade e qualidade;

Conservação da água – O sistema é ideal para solos pesados e com baixa taxa de infiltração, pois a molhagem pode ser efetuada com baixo fluxo e assim permitindo a completa absorção do solo. Conseqüentemente, a absorção completa do solo evita o escoamento superficial e a perda de água pela saturação do solo;

Flexibilidade de trabalho – A irrigação gota a gota não impede a prática de outras atividades simultaneamente, como a pulverização ou colheita;

Economia – Possibilita a aplicação uniforme de água, agroquímicos e fertilizantes na medida em que são necessários, economizando matérias primas caras. Calcula-se que reduz o custo de produção de 25 até 50%;

Menos doenças – A incidência de doenças fúngicas é menor uma vez que a folhagem não se molha e a humidade do solo é controlada.

Desvantagens:

Custo de instalação – O custo inicial deste sistema é maior do que os outros sistemas, uma vez que é preciso adquirir vários equipamentos (filtros, bombas reguladoras, válvulas, medidores...) que encarecem o sistema;

Alteração de procedimentos – Os cultivos com este sistema necessitam de mudanças no sistema de trabalho do solo, sementeira e colheita. Neste sentido, é necessário a formação da mão de obra a ser utilizada;

Fragilidade das tubagens – O orifício dos gotejadores pode obstruir-se com os resíduos presentes na água. Por isso é necessário analisar a qualidade da água para se detectem problemas antecipadamente;

Inaptabilidade – Algumas culturas não germinam bem neste sistema, sendo assim necessário a utilização de um sistema de aspersores portáteis para a germinação. Portanto, não pode ser aplicado a todas as culturas, como por exemplo a do milho.

2.3.2. Sistema de Rega por Microaspersão

Segundo Reinders (2000), o conceito de utilização da microaspersão foi elaborado na África do Sul, como forma de solucionar o problema de poeira presente nos montes de desperdícios do minério. Reinders (2000) indica que várias melhorias foram necessárias até que pudesse ser adequada a utilização na agricultura. A microaspersão atualmente representa 37% do total da área irrigada nos Estados Unidos, correspondendo a aproximadamente 570 mil hectares de cultivo (USDA, 2008).

Este sistema segue os mesmos princípios dos sistemas de rega por aspersão, mas é adaptada à rega localizada e onde são utilizados microaspersores. Estes são aspersores de reduzida dimensão, que distribuem, com elevada eficiência (90%) a água sob a forma de precipitação (Cudell, 2000). Portanto, pode-se afirmar que “[...] se caracteriza pela aplicação da água e de produtos químicos, numa fração do volume de solo explorado pelas raízes das plantas, de forma circular ou em faixa contínua, realizada por microaspersores, que são aspersores de pequenas dimensões. Nesse sistema, as pressões variam geralmente de 100 a 300 kPa, e os caudais de 30 a 200 L/h (Testezlaf, 2017)”.

Ainda conforme Testezlaf (2017), os emissores utilizados na microaspersão podem ser classificados como:

- **Microaspersor rotativo ou somente microaspersor:** quando o emissor possui um sistema rotativo de dispersão do jato que auxilia a distribuição do jato na área de aplicação. O movimento dos microaspersores é produzido principalmente pelo mecanismo de reação causado pela passagem da água no dissipador.



Figura 12 - Microaspersor rotativo (Fonte: Antunes, 2006).

- **Microaspersor estacionário:** não possui parte móvel para dispersão do jato, apresentando placa defletora (lisa ou com ranhura) responsável por dissipar o jato na maneira definida pelo tipo de placa a escolher. Os *sprays* não possuem movimento de rotação, mas apresentam um funcionamento semelhante aos rotativos. Este modelo apresenta a vantagem de utilização em áreas com terreno irregular.



Figura 13 - Microaspersor estacionário (Fonte: Antunes, 2006).

O sistema de microaspersão depende quase primordialmente do alcance do jato, do perfil de distribuição, da intensidade de aplicação ao longo do alcance do emissor e da quantidade de água utilizada. Neste sentido, pode se afirmar que o molhamento do solo é essencialmente dependente do modelo de microaspersor utilizado (Testezlaf, 2017). Ressalva-se que cada modelo apresenta uma particularidade em relação ao caudal, pressão de serviço e intensidade de aplicação, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo dos parâmetros presentes nos tipos de microaspersores (Fonte: Autor, 2019 adaptado Testezlaf, 2017).

Tipos de Microaspersores	Rotativos	Estacionários
Pressão de serviço (kPa)	100 a 300	100 a 250
Caudal (L/h)	2 a 1000	50 a 700
Intensidade de aplicação de água (mm/h)	2 a 30	12 a 100

Vantagens:

- Economia de mão de obra;
- Economia de água e energia;
- Permite a Fertirrigação;
- Eficiência no controle fitossanitário.

Desvantagens:

- Diminui a eficácia sob ação do vento;
- Custos elevados de instalação;
- Fácil obstrução dos bicos.

2.3.3. Sistema de Rega por Borbulhamento

Conforme Testezlaf (2017), a rega por borbulhamento (*Bubbler*) consiste na aplicação de água localizada através de uma fonte borbulhante, a qual pode ser feita por um emissor em forma de guarda-chuva ou pelo escoamento em tubagem de diâmetro reduzido, aproximadamente 1 a 10 mm.



Figura 14 - Emissor borbulhador tipo guarda-chuva (Fonte: Hunter Industries, 2019).

A aplicação do sistema de borbulhamento é efetuada principalmente na rega paisagística, sem grandes participações no sector agrícola (Testezlaf, 2017). Neste contexto, Hills & Yitayew (2007) explica que a não utilização do sector agrícola é ocasionada pela falta de interesse em desenvolver critérios e parâmetros de projeto. Em contraponto, Keller & Bliesner (1990) defende que o sistema de rega por borbulhamento pode ser adaptado para o cultivo de fruteiras ou hortaliças, uma vez

que o sistema baseia-se em baixa carga hidráulica, podendo optar pela utilização de um reservatório elevado ao menos 2,5 m, e assim retirando a necessidade de implementação de uma eletrobomba. Ressalva-se que a abordagem dos sistemas de rega para uso na cultura familiar tem como essência o custo de implementação e operação, onde é necessário verificar todos os fatores que envolvem a aplicação da água em todas as plantas de um sítio agrícola (Coelho *et al.* 2012).

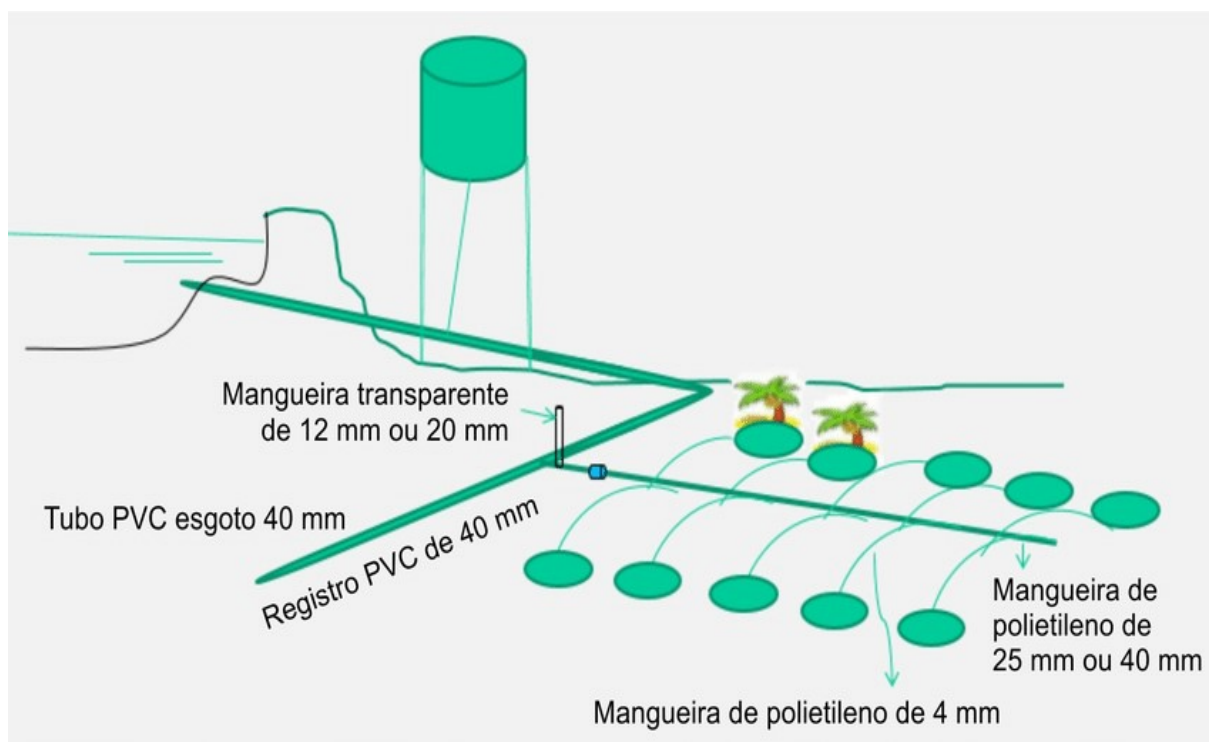


Figura 15 - Sistema de irrigação "bubbler" adaptado para uso em agricultura familiar (Fonte: Coelho *et al.*, 2012).

De acordo com Coelho *et al.* (2012), a utilização do sistema consiste em estabelecer linhas laterais vinculadas à uma linha de derivação por registros, onde cada linha situa-se entre duas fileiras de plantas de forma centralizada. Os diâmetros laterais de abastecimento são calculados com a utilização de *softwares* como o *Bubbler v.1.1*, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola e Biosistemas da Universidade do Arizona, Estados Unidos (Souza *et al.*, 2005).

Normalmente os sistemas de rega por borbulhamento são planejados para operar a baixas pressões ou sob ação gravítica (10 KPa), e quando o sistema elaborado permitir, pode funcionar sob pressões maiores (150 KPa), referente ao caudal emprega-se valores entre 5 a 80 L/h (Testezlaf, 2017).

2.3.4. Sistema de Rega por Exsudação

O sistema de rega por exsudação consiste na utilização de uma tubagem porosa de forma a permitir que a água transpire pelos poros, distribuindo-se linearmente ao longo

do comprimento. Neste sentido, a água transpirada cria uma faixa humedecida contínua de solo pelas linhas de irrigação (Testezlaf, 2017).



Figura 16 - Fita geotêxtil para rega por exsudação (Fonte: Poritex, 2011).

Entre os materiais mais utilizados para o fabrico dos tubos porosos tem-se o polietileno, tecido geotêxtil e borracha. Passeroti (2000) sugere que o tubo têxtil é o material com maior comercialização por apresentar algumas vantagens como:

- Não provoca compactação e erosão do solo;
- Permite a aplicação de adubos e reagentes químicos;
- Funciona a pressões reduzidas (20 a 80 KPa);
- Economia de água e energia elétrica;
- Durabilidade satisfatória;
- Necessita de pouco espaço para transporte a armazenagem;
- Pode ser empregue em diferentes tipos de cultivo;
- Não são afetadas pelas raízes;
- São de fácil manuseamento;
- Evaporação reduzida em comparação com outros sistemas como aspersão e inundação.

Em contrapartida, Batista (2001) observou o que seria um dos principais problemas desta metodologia, onde tanto em campo quanto em laboratório verificou-se uma redução do caudal devido ao entupimento dos poros por resíduos presentes na água ou pelos próprios finos presentes no solo.

2.4. Sistema de Rega por Aspersão

Primeiramente, é fulcral explicitar que “a rega por aspersão é um processo pelo qual a água é distribuída às plantas por meio de tubagem e sob pressão, fazendo-se normalmente a aplicação por pulverização dessa mesma água em pequenas gotículas à saída das mesmas através de emissores (aspersores), antes que aquela atinja o solo/culturas sob a forma de chuva (Oliveira, 2012)”.



Figura 17 - Sistema de rega por Aspersão (Fonte: Antunes, 2006).

Para o correto funcionamento deste sistema, e para que não haja variações de água na área regada é necessário garantir uma sobreposição próxima de 100%. Desta forma, é garantida uma rega uniforme e eleva-se a sua otimização. Para tal, o sistema de rega por aspersão utiliza um componente essencial de pulverização do caudal sobre as plantações, denominado aspersor.

Outro fator fulcral para a temática é compreender que “os aspersores são a componente mais importante de um sistema de rega por aspersão uma vez que determinam a eficácia e a eficiência de todo o sistema de rega. Um aspersor funciona forçando a água sob pressão a passar através de um orifício circular, o bico ou bocal, para a atmosfera. O jato resultante quebra-se gradualmente em pequenas gotas que caem no solo como chuva (Azevedo & Gonçalves, 2010)”.

Para Oliveira (2012) em seu livro Técnicas de Regadio, o sistema de rega por aspersão possui necessariamente os seguintes componentes:

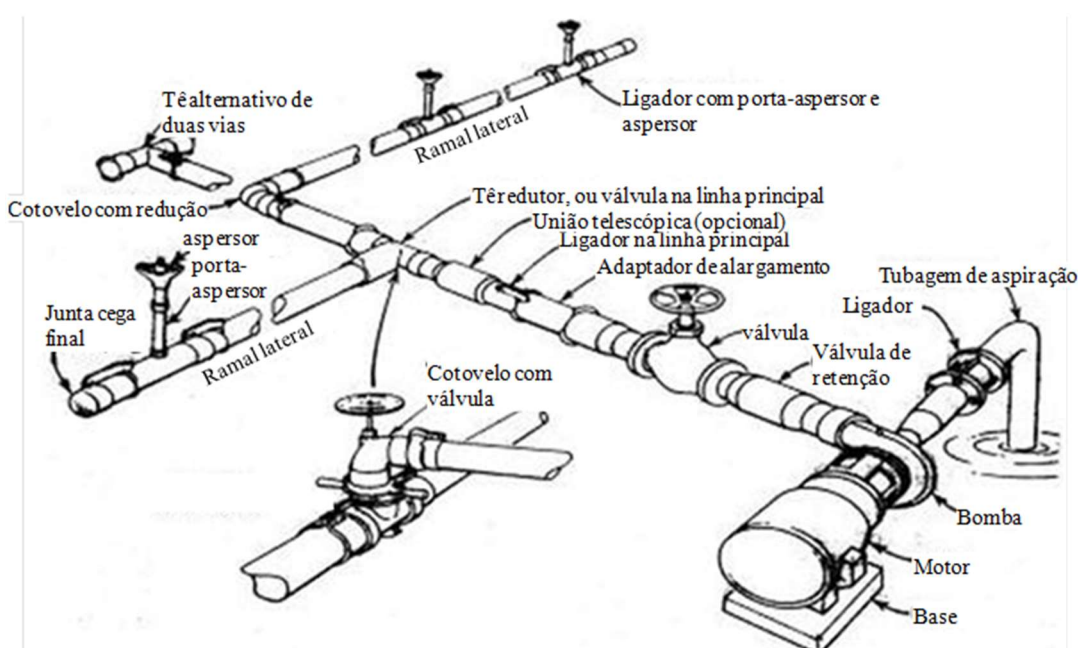


Figura 18 - Componente do sistema de rega por aspersão (Fonte: Oliveira, 2012).

- **Sistema de bombagem:** O sistema de bombagem possui como objetivo primordial transportar a água desde a captação até o sistema de regularização, a qual pode ser uma albufeira, uma ribeira ou reservatório. Desta forma, o sistema proporciona a pressão mínima necessária para distribuição e pulverização da água de acordo com as características impostas pelo fornecedor dos equipamentos.
- **Linha principal de distribuição:** A linha principal é o caminho por qual o caudal irá escoar sob pressão até as ramificações específicas de cada componente de aspersão, através dos ramais laterais.
- **Linha secundária de distribuição ou ramal lateral:** A linha secundária tem como objetivo o transportar a água sob pressão da linha principal até as peças pulverizadoras, ou aspersores.
- **Sistema de pulverização ou aspersor:** Os aspersores são as peças especiais projetadas para pulverizar a água e distribuí-la em forma de partículas, simulando uma precipitação natural.

O website agrosmart.com.br, fornecedor de serviços de irrigação aponta as seguintes vantagens e desvantagem de utilização deste sistema:

Vantagens:

- Baixo custo de implementação e rápida montagem;
- Possibilidade de utilização em variados tipos de solo;
- Uniforme distribuição de água;
- Baixo custo de mão de obra;
- Aplicação de fertilizantes fácil e eficaz.

Desvantagens:

- Limitada pelo vento e pela declividade do terreno;
- Favorece o desenvolvimento de doenças nas plantas, devido a molhar as folhagens;
- Só pode ser utilizado em algumas culturas;
- Possibilidade da ocorrência de danos ao solo, devido ao escoamento de águas nas proximidades.

2.5. Sistema de Rega de Subsuperfície

2.5.1. Sistema de Rega por Subirrigação em Ambiente Protegido

Segundo Ferrarezi *et al.* (2015a), a subirrigação é um processo onde se deposita água na base dos recipientes de cultivo, onde o substrato é humedecido por capilaridade, permitindo assim a ascensão dos nutrientes da base ao topo do recipiente utilizado.

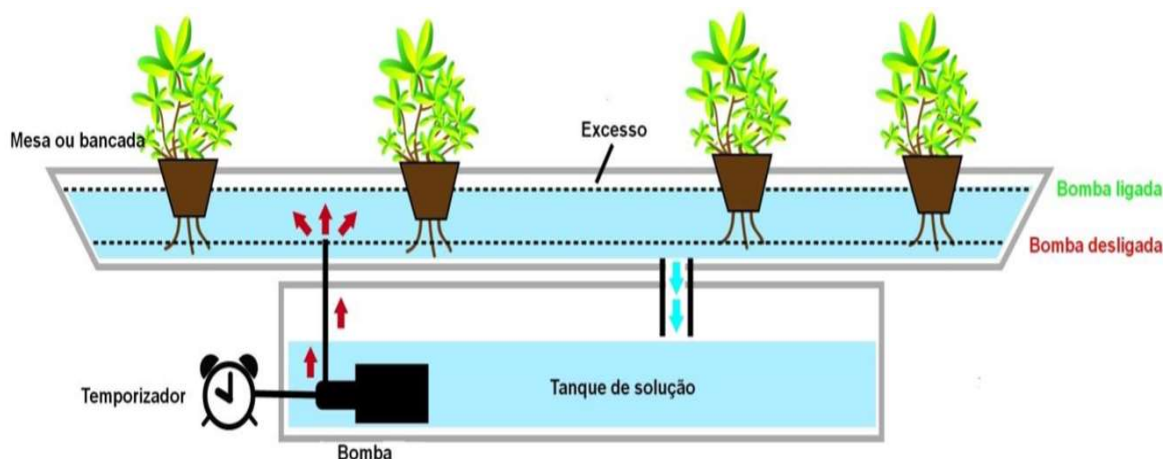


Figura 19 - Ilustração esquemática de uma mesa de subirrigação utilizada em ambiente protegido (Fonte: Testezlaf, 2017).

Segundo Ferrarezi *et al.* (2015b), a operação necessita da bombagem da solução nutritiva presente em um reservatório até a mesa de produção, posteriormente é efetuado o esvaziamento rápido com o desligamento do sistema de bombagem. Ressalva-se que o sistema também pode funcionar por gravidade, necessitando que o reservatório esteja a uma cota superior à mesa de produção (Ferrarezi *et al.*, 2015a).

Testezlaf (2017) através de revisão bibliográfica de outros diversos autores reuniu as principais vantagens e desvantagens deste sistema de rega:

Vantagens:

- Aumento produtivo do cultivo (Rouphael *et al.*, 2006);
- Controlo efetivo das plantas prejudiciais ao cultivo (Wilén *et al.*, 1999);
- Eliminação das perdas hídricas e nutrientes para o ambiente, uma vez que a água pode ser recirculada;
- Correto fornecimento dos nutrientes (Laviola *et al.*, 2007);
- Redução do tempo de produção de mudas e plantas, além do aumento da uniformidade produtiva (Barreto, 2011; Barreto *et al.*, 2015);
- Permite a utilização de defensivos agrícolas e estimuladores de crescimento vegetal (Van Iersel *et al.*, 2001 e Rouphael *et al.*, 2006);
- Permite a automação da operação (Ferrarezi *et al.*, 2015);
- Mitigação da contaminação do meio ambiente por substâncias químicas (Million *et al.*, 1999);
- Redução do consumo hídrico (James & Van Iersel, 2001).

Desvantagens:

- Elevada concentração de sais nas camadas superiores do substrato em comparação com a parte inferior (Rouphael *et al.*, 2006; Richards & Reed, 2004; Dole *et al.*, 1994);
- Alto custo de implementação e manutenção (Uva *et al.*, 1998);

- Maior risco de disseminação de fitopatógenos, principalmente os que utilizam a água como vetores (Van Der Gaag et al., 2001);
- Limitação do reaproveitamento da infraestrutura produtiva presente nas propriedades agrícolas, devido aos especificísimos deste sistema.

2.5.2. Sistema de Rega por Hidroponia

Inicialmente, é necessário aferir que “a hidroponia, termo derivado de duas palavras de origem grega – hidro, que significa água e ponia que significa trabalho – está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal, principalmente de hortaliças sob cultivo protegido. A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa contendo apenas os elementos minerais essenciais aos vegetais (Furlani *et al.*, 2009 citando Graves, 1983; Jensen & Collins, 1985; Resh, 1996)”.

Alberoni (1998) corrobora ao afirmar que a hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas a qual se expandiu em todo o globo através do cultivo de hortaliças, uma vez que permite o plantio durante todos os períodos do ano. Dessa forma, “[...] além de atender perfeitamente às exigências de produção com uniformidade, alta qualidade, alta produtividade, desperdício mínimo e o uso de defensivos agrícolas (Schmidt, 2001 citando Alberoni, 1998)”.

Segundo Schmidt *et al.* (2001), para o sucesso deste tipo de cultivo é essencial a correta escolha da solução nutritiva, a qual deve ser elaborada com base na necessidade nutricional da cultura a ser trabalhada. Neste sentido, Faquin *et al.* (1996) afirma que outros fatores como a idade das plantas, bem como condições climáticas e épocas do ano apresentam uma interferência significativa na determinação da necessidade nutricional da espécie cultivada. Por fim, é fulcral ressaltar que “[...] além da composição em si, deve-se considerar a concentração total da solução nutritiva, pois no verão, as soluções devem ser diluídas até 50%, quando comparadas com aquelas utilizadas no inverno (Schmidt, 2001 citando Maroto, 1990)”.

Adams (1992 & 1994) reforça que nos cultivos hidropônicos, a proporcionalidade de absorção dos nutrientes próximos às raízes é diretamente influenciada pelos fatores ambientais como a salinidade, temperatura, oxigenação, pH da solução, incidência de luz, humidade do ar e fotoperíodo.

Quando comparado com o sistema tradicional de cultivo, o sistema hidropônico proporciona um bom desenvolvimento das plantas, estado fitossanitário melhor e uma produtividade mais elevada. Caso seja utilizado apenas meio líquido, associado ou não a substratos não orgânicos naturais, pode-se utilizar o termo sistema hidropônico (Castellane & Araujo, 1995).

Para a correta implementação e sucesso do sistema hidropônico é necessário o conhecimento dos aspectos nutricionais deste sistema, requerendo formação e tratamento das soluções nutritivas. Da mesma forma é vantajoso que se conheça as estruturas básicas que o compõem (Castellane & Araujo, 1994; Cooper, 1996; Faquin *et al.* 1996; Martinez & Silva Filho, 1997; Furlani, 1998).

Neste sentido, entre os tipos de sistemas hidropônicos os mais utilizados são (Furlani & Silveira & Bolonhezi & Faquin, 2009):

- I. Sistema NFT (Nutrient Film Technique) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes: composta por um tanque de solução nutritiva, de um sistema de bombeamento, canais de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque. Bombeada a solução nutritiva pelos canais, a mesma escoava por efeito de gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes.



Figura 20 - Sistema Hidropônico NFT (Fonte: GroHo.pt)

- II. Sistema DFT (Deep Film Technique) ou cultivo na água: a solução nutritiva forma uma lâmina profunda (5 a 20 cm) na qual as raízes ficam submersas. Ao invés de canais, é utilizada uma mesa plana em que a solução circula por meio de um sistema de entrada e drenagem característico.

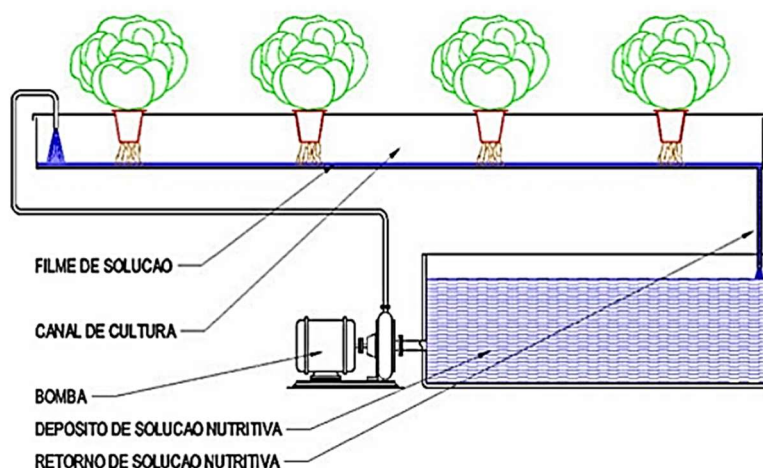


Figura 21 - Sistema hidropônico DFT (Fonte: logosbios.blogspot.com).

- III. Sistema com Substratos: para a nutrição de hortaliças frutíferos, flores e outras culturas, cujas raízes e parte aérea esteja mais desenvolvida,

utilizam-se vasos cheios de material inerte (areia, pedras diversas, lâ-de-rocha, espuma de poliuretano, etc.). A solução nutritiva é bombeada para o topo dos vasos e através da ação da gravidade, drenada para a parte inferior dos vasos, retornando depois ao tanque a solução em excesso para voltar a ser bombeada posteriormente.

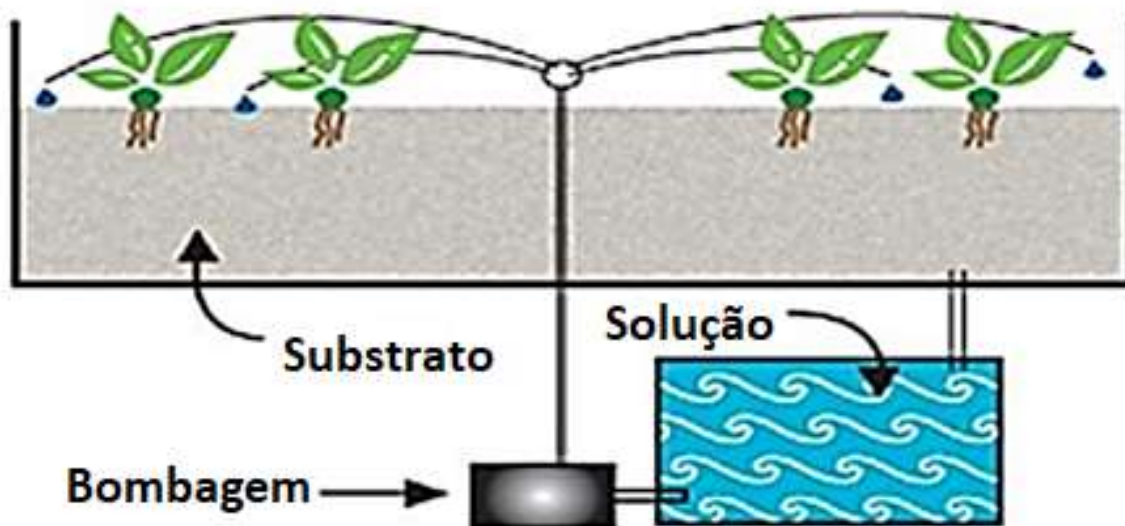


Figura 22 - Sistema hidropônico com substrato (Fonte: Google Imagens).

Vantagens:

- Mais ecológico;
- Maior controle na fertilização e aproveitamento do espaço;
- Trabalho mais leve e limpo;
- Redução na mão de obra;
- Menor perda de água e nutrientes;
- Rotação de cultura não necessária;
- Melhor apresentação e identificação do produto para o consumo;
- Maior higienização e controle de produção;
- Implementação poderá ser em qualquer local visto que a cultura não depende do solo.

Desvantagens:

- Custos iniciais elevados;
- Dependência de energia elétrica;
- Exige conhecimentos técnicos do sistema e de fisiologia vegetal;
- Necessário o constante controle da solução nutritiva;
- Facilidade em proliferação de doenças ao nível do sistema radicular.

2.6. Comparação de eficácia entre os sistemas de rega tradicionais.

A eficiência de aplicação é um parâmetro que permite demonstrar para os diferentes sistemas de rega a sua eficácia no transporte da água até a planta. A eficiência de aplicação depende do método de rega.

Através da Tabela 5 conseguimos demonstrar que o sistema de irrigação por gota a gota permite obter maior eficiência de aplicação, resultando em menores consumos de água.

Tabela 5 - Eficiência de aplicação dos vários tipos de rega (Fonte: Autor, 2019 adaptado Barros, 2015).

Métodos de Irrigação	Eficiência de aplicação
Irrigação por superfície	60%
Irrigação por aspersão	75%
Irrigação por gota a gota	90%

Neste sentido, “conclui-se que apesar de alguns inconvenientes, a rega localizada, comparativamente à aspersão, apresenta maiores benefícios económicos a longo prazo, tendo a sua utilização aumentado nos últimos anos (Barros, 2015)”.

Apesar da maior eficiência, o sistema gota a gota apresenta problemas de entupimento devido ao reduzido diâmetro dos gotejadores, desta forma, as plantações não utilizam a total capacidade do solo, devido às raízes apenas se desenvolverem em zonas onde a água está presente, ou seja, absorvendo apenas os nutrientes presentes nessa localidade (Raposo, 1996).

Na hidroponia, os sistemas são de custo mais elevado e a sua utilização mais exigente, sendo grandes também as expectativas de produção em quantidade, qualidade e segurança quando comparado com os sistemas de irrigação mais tradicionais. A planta encontra-se em ótimas condições e possui de todos os elementos (água, nutrientes, oxigénio, etc.) para o seu perfeito desenvolvimento, porém dependendo do correto ou incorreto controlo destes elementos fornecidos à planta, grandes variações na produção serão expectáveis. Nota-se que “no cultivo do tomate em hidroponia, o sistema mais utilizado é o fluxo laminar de nutrientes (NFT). No entanto, este sistema ainda carece de informações quanto aos aspetos de montagem e manutenção, exigindo a intensificação de pesquisas visando, principalmente, as condições locais (Genúncio *et al.*, 2006 citando Moraes, 1997)”.

Para escolher o sistema mais adequado devemos considerar o tipo de solo, relevo, disponibilidade de água, clima, cultura, custos iniciais e a mão de obra disponível. Neste sentido, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO* (2014), estipulou os seguintes valores de investimento para cada tipo de tecnologia de irrigação por hectares, ver Tabela 6.

Tabela 6 - Custo para implementação das tecnologias de rega (Fonte: FAO, 2014).

Tecnologia de irrigação	Custo indicativo do investimento em US\$/ha	Ciclo de vida (em anos)
Regador	500	2
Bomba de pedal	600 a 750	4 a 5
Bomba motorizada	200 a 400	5 a 8
Bomba de pedal	10000 a 15000	8 a 12
Sistema de irrigação por gravidade	600 a 800	10 a 15
Sistema de distribuição por tubagem	1000 a 1500	8 a 12
Revestimento do poço superficial	500 a 1500	10 a 15
Tubo de poço superficial	300 a 500	8 a 12
Irrigação por aspersão	3000 a 5000	5 a 8
Esquema de irrigação familiar gota a gota	10000 a 12000	4 a 6
Esquemas de irrigação de pequena escala	3000 a 8000	10 a 12

A FAO (2014) também elaborou a previsão orçamentaria do custo operacional por sistema de rega, conforme a tabela seguinte.

Tabela 7 - Previsão de custo de operação das tecnologias de rega (Fonte: FAO, 2014).

Tecnologia de irrigação	Custo indicativo operacional em US\$/ha
Regador	1200 a 1500 (mão de obra)
Bomba de pedal	600 a 800 (força de trabalho)
Bomba motorizada	500 a 700 (energia)
Bomba de solar	50 a 100 (força de trabalho)
Sistema de abertura de canais	120 a 160 (manutenção)
Sistema de distribuição por tubagem	20 a 40 (manutenção)
Irrigação por aspersão	800 a 1000 (energia)
Irrigação familiar gota a gota	500 a 600 (mão de obra)
Esquemas de irrigação de pequena escala	400 a 1000

Ressalva-se que as médias variam em cada localidade, de acordo com o desenvolvimento da prática agrícola e os encargos tributários dos países a analisar. Portanto, os valores apresentados pela FAO (2014) devem ser revistos e adaptados às realidades locais.

Por fim, é importante evidenciar que a eficiência do sistema não é o único fator a ser analisado para implementação de um sistema de rega, pois como supracitado nas vantagens e desvantagens de cada tipo, cada metodologia tende a adaptar-se melhor a determinado cultivo. Outros fatores como composição do solo, climatologia local, relevo, necessidade hídrica e disponibilidade hídrica local são essenciais para verificação do sistema de rega a se adotar.

Portanto, é fulcral a elaboração de um estudo prévio para verificação da metodologia que melhor se aplique à cultura a ser desenvolvida.

2.7. Impactos Ambientais

O desmatamento de matas e florestas para implementação de áreas agrícolas tem sido uma das principais problemáticas encontradas pelos países com grandes produções. Conforme Rodrigues (1999), o desmatamento e a necessidade de evitar a reestruturação natural da floresta, de forma a garantir produtividade máxima, é uma das principais consequências desta prática.



Figura 23 - Desmatamento para implementação de agricultura (Fonte: tech-media.it).

O desmatamento ocasionado pelo crescimento das áreas agrícolas está diretamente relacionado aos direitos de propriedade, o tipo de estimulação política para a prática e do facto da produção ser comercial ou de subsistência (López, 2002). Segundo Homma (2006), o cultivo em pequenas propriedades (mesmo familiar) exerce também um grande impacto sobre o desmatamento. Isso acontece, pois, a agricultura familiar tem como característica ser itinerante, pois é apoiada sobre o desmatamento seguido da queima, e quando o solo perde a capacidade produtiva (aproximadamente a cada três anos), os cultivadores buscam novos solos em mata nativa (Homma, 2006).

Para Trento *et al.* (2002), estas áreas geralmente são destinadas à monocultura, mudando significativamente o ambiente, tanto fauna quanto flora. Dobson (1994) complementa ao evidenciar a utilização exacerbada de defensivos agrícolas na agricultura, proporcionando a queda de qualidade de vida das pessoas e destruição do meio ambiente. Merten & Minella (2002) corroboram afirmando que a utilização do solo pelas práticas agrícolas promove mudanças nos processos biológicos, físicos e químicos do ambiente, as quais devem ser monitorizadas e verificadas de forma a tomar medidas mitigatórias de impactos ambientais. Neste sentido, é necessário a elaboração ou adoção de metodologias de cultivo de carácter sustentável, de forma a minimizar os impactos ambientais e a saúde dos consumidores.

A implementação do cultivo sustentável deve ser feita com o levantamento da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), uma vez que o foco está na produção máxima com a utilização de tecnologias favoráveis a prática. Para Porter (1995), a aplicação da AIA é fulcral para a mitigação dos impactos ambientais, devido justamente pela vinculação da tecnologia, meio ambiente e consumidor.

De acordo com Leff (2002), o modelo de produção e cultivo atual parece ter diminuído a importância dos condicionantes físicos que obrigam o ser humano a adaptar-se às diferentes condições de clima, água, solo e relevo. Neste contexto, com a globalização atingida na última década do século XX até aos dias atuais, houve nítidas mudanças no fluxo de informações, evolução da tecnologia e início ao conceito de preservação e responsabilidade ambiental (Verdonlin & Alves, 2005).

Ressalva-se que a agricultura é o eixo central do crescimento económico de um país, desde que se possua níveis significativos de recursos alocados (Moura *et al.*, 1999), porém, conforme Fernandez & Garcia (2001), para a sustentabilidade local é necessário que se conheça os diversos recursos naturais a serem manejados, para que se adequem às leis ecológicas que permitem a manutenção das capacidades de cada ecossistema.

Por fim, o principal desafio está no acesso à tecnologia produtiva que agregue valor aos produtos agrícolas (Rodrigues *et al.*, 2006), onde a estabilidade dos ecossistemas presentes nas áreas agrícolas pode ser alcançada através do uso de tecnologias que se adaptem às demandas dos agricultores (Fernandez & Garcia, 2001).

2.8. Defensivos Agrícolas

Por muito tempo, a humanidade consumiu alimentos orgânicos advindos da própria natureza, porém, quando passou a buscar a elevação da produtividade com utilização de produtos químicos, passamos a ingerir alimentos contaminados por substâncias as quais teoricamente deveriam ser prejudiciais apenas aos insetos. Entretanto, com o passar do tempo, vários sintomas e efeitos indesejados passaram a ser vistos no organismo humano (Andreoli *et al.*, 2007). Segundo Faria (2003), o argumento para utilização dos defensivos agrícolas tem como base a necessidade de produção em larga escala e com perdas mínimas, de forma a garantir a alimentação de toda a população.

Neste sentido, mesmo com a inevitabilidade da prática agrícola em todo o mundo, há um maior interesse em desenvolver novas tecnologias de ganho produtivo, sem considerar os impactos à saúde e à segurança do operador (Frank *et al.*, 2004).

Conforme Nunes & Ribeiro (1999), a utilização de produtos fitossanitários no cultivo agrícola ocorre desde aproximadamente o século XI e a aplicação de arsênio no ano de 1700. Porém, a partir do século XX houve a introdução da molécula sintética do herbicida DDT (diclorodifeniltricloetano) por Muller em 1931, havendo o reconhecimento da eficiência do controlo químico na agricultura. Em contraponto, Moreira *et al.* (2002) ressalva que a mudança no processo tradicional da agricultura denunciada pela “Revolução Verde” trouxe consigo impactos diretos ao ambiente e a saúde humana.

De acordo com Andreoli *et al.* (2007), grande parte dos defensivos agrícolas utilizados na prática agrícola tem efeitos extremamente severos para com os seres vivos, onde a poluição do solo e dos recursos hídricos propicia intoxicações e que por fim tende a causar mutações não espontâneas nos seres vivos contaminados e suas proles. Dentre as problemáticas citadas, a intoxicação por estes componentes químicos podem causar a morte de seres humanos, animais ou desenvolver doenças graves como o cancro.



Figura 24 - Aplicação de defensivos agrícolas (Fonte: pastoextraordinario.com.br).

Os defensivos agrícolas também são conhecidos como agrotóxicos em alguns países como o Brasil, uma vez que “o termo defensivo agrícola carrega uma conotação errônea de que as plantas são completamente vulneráveis a pragas e doenças, e esconde os efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. O termo agrotóxico é mais ético, honesto e esclarecedor, tanto para os agricultores como para os consumidores. (Informativo CRQ III, 1997 citado por Peres, 2003)”.

Neste contexto, “cada vez mais casos de pessoas contaminadas diretamente por agrotóxicos no meio rural são relatados. Entretanto, moradores de áreas próximas e, eventualmente, pessoas do meio urbano também se encontram sob risco, devido à contaminação dos alimentos como carne, peixe, laticínios, frutas e vegetais, tornando assim a exposição crônica. Desta forma, os riscos à saúde humana associados ao uso e à exposição crônica a agrotóxicos têm sido objetos de grande interesse científico (Jobim *et al.*, 2010)”.

Segundo Jobim *et al.* (2010), os trabalhadores agrícolas que estão expostos diariamente a estes produtos estão mais suscetíveis à contaminação, em relação a população em geral. Para Santos & Polinarski (2012), os defensivos agrícolas podem causar três tipos de intoxicação ao ser humano:

- **Intoxicação aguda:** onde os sintomas aparecem muito rápido, após poucas horas de exposição excessiva a produtos Classe I, faixa vermelha (toxicidade elevada), sendo determinado pela quantidade de substância absorvida, podendo ocorrer de forma leve, moderada ou grave;
- **Intoxicação subaguda:** exposição leve ou moderada a produtos de toxicidade elevada ou mediamente tóxicos (Classe II, faixa amarela), onde os sintomas evoluem de forma lenta e pode ser contornado sem a apreciação médica;
- **Intoxicação crônica:** ocasiona danos permanentes como neoplasias e paralisias, advindos da exposição de longo prazo de pequenas ou moderadas quantidades de produtos tóxicos.

Santos & Polinarski (2012) afirmam que a intoxicação crônica é a condição mais encontrada no meio rural, e tem como consequência o desenvolvimento de doenças graves apesar do aparecimento tardio da mesma.

Neste contexto, mostra-se imprescindível a adoção de técnicas de cultivo que reduzam ou até mesmo eliminem a utilização dos defensivos agrícolas, tanto pela saúde humana e dos animais como pela preservação do meio ambiente com uma prática agrícola sustentável.

Por fim, junto ao desmatamento, a utilização exacerbada de defensivos agrícolas tem sido uma das principais pautas políticas dos últimos anos, onde acordos comerciais com mais de vinte anos de negociação, como o tratado Mercosul – União Europeia, pode deixar de concretizar-se caso não haja consenso entre ambas as partes sobre estas pautas.

Capítulo III

DESCRIÇÃO DA LOCALIDADE

3.1. Localização

O Arquipélago da Madeira localiza-se no Atlântico Norte, entre as latitudes 30° 01' e 33° 08' e os meridianos 15° 41' e 17° 16'. Possuindo uma área de 802 km², este arquipélago é composto pela Madeira, com área de 742 km²; por Porto Santo, com 43 km²; pelas Desertas com 14 km², e pelas Selvagens com 3 km² (Camacho *et al.*, 2018b).



Figura 25 - Ilha da Madeira (Fonte: Autor, 2019).

A implementação do sistema de rega proposto será efetuada para o conselho de Santa Cruz. O sítio em questão situa-se na região próxima ao aeroporto com índice de urbanização médio, no sentido Este da ilha da Madeira.



Figura 26 - Conselho de Santa Cruz (Fonte: googlemaps.com).

3.2. Climatologia

Segundo Ferreira (1955), o clima na Madeira é influenciado primordialmente pela localização e intensidade do anticiclone subtropical dos Açores. Neste sentido, os valores médios anuais de precipitação tendem a aumentar com a altitude, apresentando maiores valores na encosta norte em comparação com a encosta sul, para a mesma altitude analisada (Prada *et al.*, 2003). Ainda de acordo com Prada *et al.* (2003), as terras baixas da encosta sul da ilha como o Funchal apresentam valores médios anuais de 513 mm.

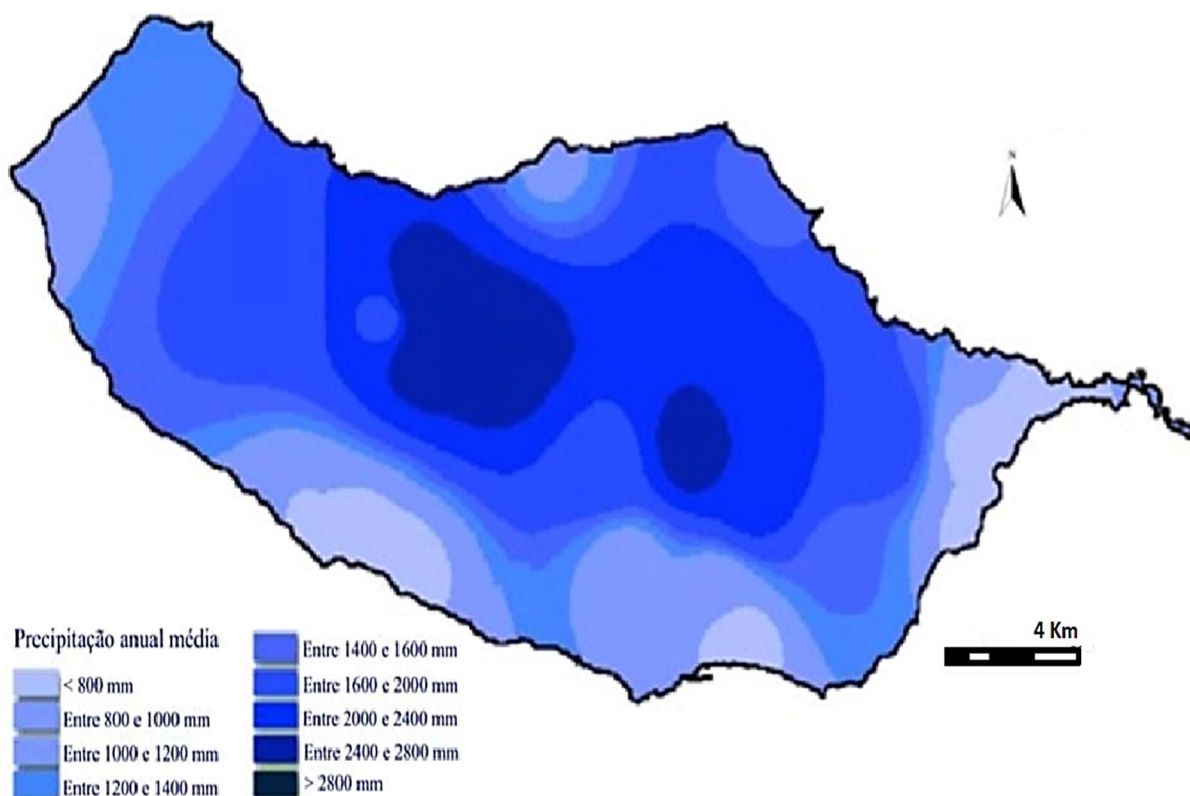


Figura 27 - Precipitação média anual da Madeira (Fonte: Gaspar e Portela, 2002).

Apesar da altitude influenciar a distribuição de precipitação da ilha da Madeira, é primordial aferir “[...] que o efeito da altitude poderá não ser suficiente, por si só, para explicar a diversidade dos campos de precipitação em ilhas. Outros parâmetros, como o declive do terreno e a conseqüente influência nos movimentos ascendentes das massas de ar, a orientação das encostas relativamente às direções preferenciais de avanço das massas ar húmido, o afastamento à linha de costa e a orientação dos vales, poderão também contribuir para justificar as correlações verificadas entre acréscimos de precipitação e de altitude (Prada *et al.*, 2003 citando Rodrigues, 1995)”.

Referente a variação da precipitação ao longo do tempo, Gaspar & Portela (2002) indicam através da verificação das médias mensais que os meses de novembro, dezembro e janeiro apresentam os maiores valores amostrais, conforme o gráfico a seguir:

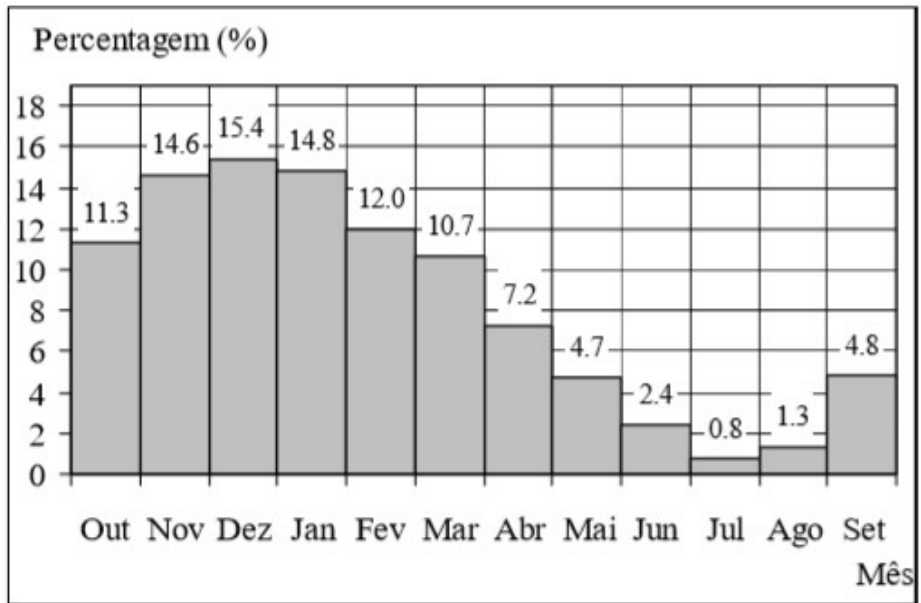


Figura 28 - Precipitações médias mensais da Madeira expressas em percentagem da precipitação média anual (Gaspar & Portela, 2002).

3.3. Relevo

Segundo Ferreira *et al.* (1988) e Geldmacher *et al.* (2000), a ilha da Madeira possui como classificação o magmatismo oceânico intraplaca, onde a atividade vulcânica iniciara antes do Miocénico Superior, a cerca de 5 milhões de anos e mantendo-se até aproximadamente 6000 anos.

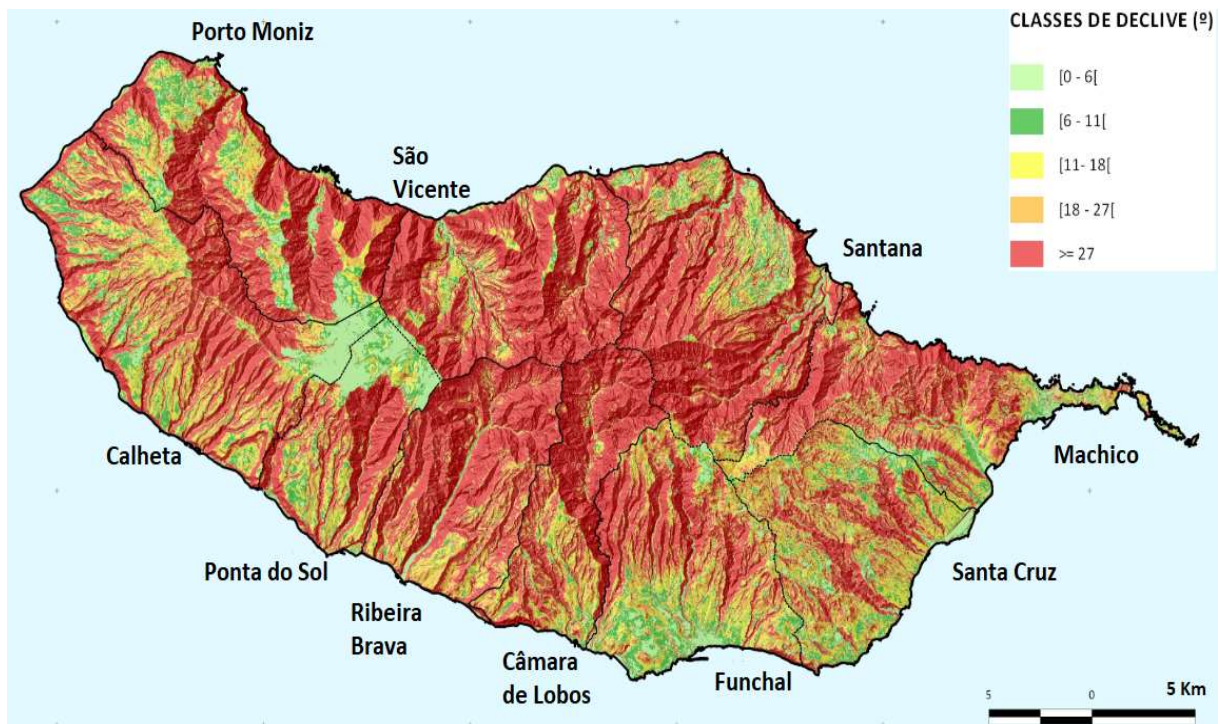


Figura 29 - Relevo da ilha da Madeira (Fonte: IFCN, 2019)

Aproximadamente 25% do terreno da Madeira encontra-se com altitudes superiores a 1000 m, 47% acima dos 700 m, 11% com declives inferiores a 16% e 65,4% com declives superiores a 25% (AGROGES, 2013).

Em relação a composição mineralógica da ilha, para Mata (1996), a parte emersa da ilha é composta quase que em totalidade (98%) por rochas vulcânicas e de material aflorante, as quais condicionam a sua morfologia. Prada & Serralheiro (2000) corrobora ao individualizar as principais unidades geológicas formadas desde o Miocénico Superior até o momento atual:

- **Complexo Vulcânico Antigo (CA):** refere-se aos afloramentos das rochas mais antigas da parte emersa, no nível atual de erosão da ilha. Mesmo que atualmente apresente uma grande deterioração, o CA ainda compõe uma grande mancha que é revelada pelas ribeiras mais profundas e pela abrasão marítima, desde os 1600 m de altitude, nas regiões centrais da proto-ilha, até ao nível do mar.
- **Calcários Marinhos dos Lameiros (CM):** refere-se aos calcários que formam um afloramento de dimensão muito reduzida, situados na margem direita da ribeira de S. Vicente, a cerca de 2,5 km da foz, e com altitude de 380 m. O afloramento é composto principalmente por conglomerados, os quais se presumem a estar na base daquele depósito sedimentar marinho, restando, no topo, alguns vestígios dos calcários fossilíferos.
- **Depósito Conglomerático-Brechóide (CB):** refere-se à formação sedimentar a qual é composta por depósitos espessos de enxurrada, deveras compactados e cimentados. Este depósito conglomerático-brechóide, o CB, é constituído por cerca de 95% de clastos, geralmente mal calibrados, com dimensões que vão desde poucos milímetros até aproximadamente 2 metros.
- **Complexo Vulcânico Principal (CP):** refere-se ao complexo vulcânico que ocupa tanto em área quanto em volume, a maior parcela emersa da ilha, prolongando-se a formação por um longo período de tempo. As rochas do CP são responsáveis pelas maiores altitudes encontradas atualmente na ilha, bem como pelas plataformas estruturais que ainda hoje se encontram na ilha.
- **Complexo Vulcânico S. Roque/Paul (SRP):** caracterizado por atividade vulcânica relativamente reduzida, com baixa representatividade em relação ao volume emerso da ilha. As erupções foram primordialmente do tipo estromboliano, a qual teve a maior parte das escoadas preenchidas total ou parcialmente em alguns dos vales então existentes (Seixal, São Vicente, São Roque do Faial, Machico).

3.4. Recursos Hídricos

A verificação dos recursos hídricos superficiais na ilha da Madeira apresenta dificuldade elevada e considerável incerteza em virtude da reconhecida escassez de dados hidrológicos, especificamente aos escoamentos em que a quantidade de pontos de medição e a dimensão dos períodos de registos são nitidamente insuficientes (Prada *et al.*, 2003).

Gaspar & Portela (2002) apontam que a presença de uma grande rede de levadas e circulação hídrica subterrânea, as quais interferem de forma fulcral e com elevada complexidade nos escoamentos superficiais, corroborando para uma análise equivocada dos processos existentes. Neste sentido, é necessário efetuar uma análise profunda tanto do escoamento superficial quanto subterrâneo.

Devido as circunstâncias supracitadas, Gaspar (2001) pode apenas utilizar os registos fornecidos pelas estações hidrométricas de Rosário, Poço, Alviães, Ameixeira, Ponte Rodoviária e Sítio de São Vicente. Utilizando o Método dos Polígonos de Thiessen, Gaspar (2001) efetuou a caracterização das precipitações mensais de acordo com as diversas bacias hidrográficas presentes na Madeira.

Com a utilização de ferramentas de sistemas de informação geográfico, Portela *et al.* (2002) utilizou os valores e modelos obtidos pela caracterização supracitada para modelar o mapa de média de precipitação da Madeira, de forma a representar graficamente todas as hipóteses e conceitos pré-estabelecidos, apresentados na Figura 30:

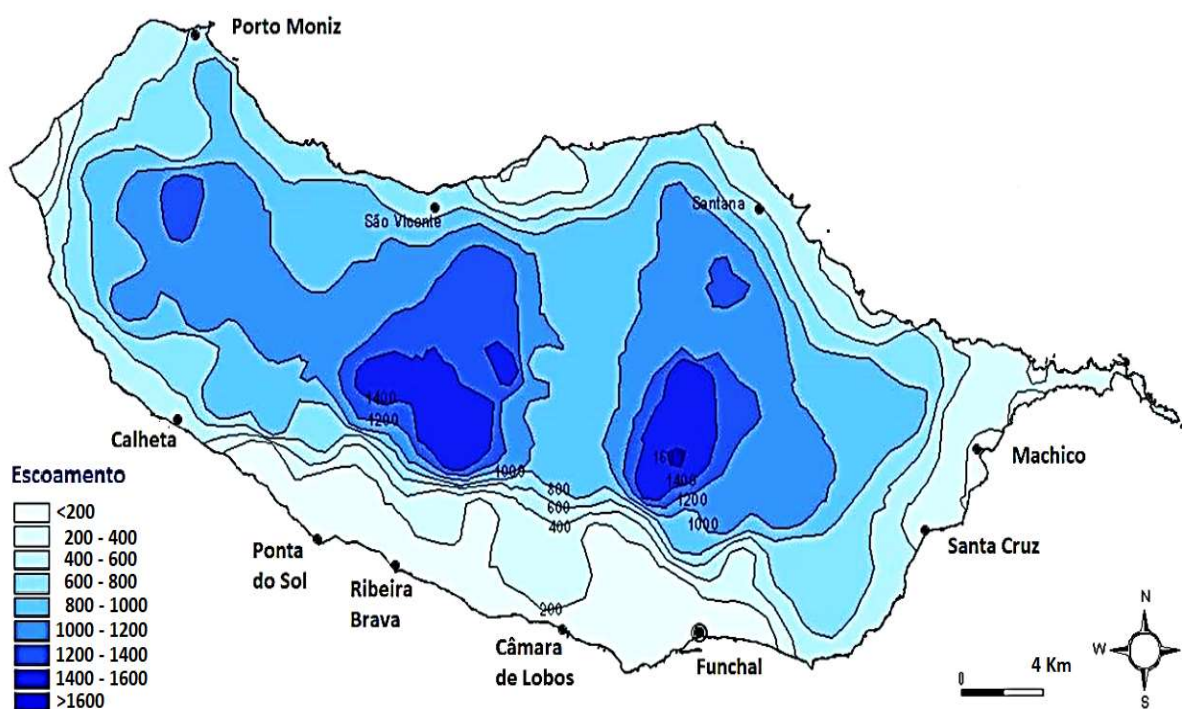


Figura 30 - Isolinhas anuais de escoamento total (Fonte: Gaspar & Portela, 2002)

3.5. Agricultura Local

Conforme o abordado no capítulo I, a orografia da Madeira não é favorável à prática da agricultura, uma vez que apresenta grandes áreas com declividades acima de 25% e abaixo de 16%. Uma outra problemática aparente refere-se a baixa intensidade de precipitação presente nas áreas com declividades satisfatórias, necessitando assim

de sistemas de regas para viabilização do cultivo. Apesar dos problemas supracitados, a Madeira possui aproximadamente 13611 explorações agrícolas, as quais ocupam 7137,97 hectares e uma superfície agrícola útil de 5428,51 hectares (Correia & Santos, 2015). A seguir pode-se avaliar os tipos de culturas praticadas, bem como a quantificação de uso e ocupação do solo.

Tabela 8 - Uso e ocupação do solo agrícola na Madeira (Fonte: Correia & Santos, 2015).

Tipo de Superfície	Área (ha)
Superfície total	7137,96
Superfície Agrícola Utilizada (SAU)	5428,41
Terra arável	2242,31
Cereais para grão	61,31
Prados temporários e culturas forrageiras	79,07
Batata	542,35
Culturas industriais	118,43
Cana-de-açúcar	114,88
Hortícolas extensivas	230,02
Hortícolas intensivas	780,14
Flores e plantas ornamentais	54,27
Batata doce e inhame	304,4
Restantes culturas temporárias	2,91
Pousio	69,41
Horta familiar	183,07
Culturas permanentes	2482,39
Frutos frescos	277,85
Frutos subtropicais	848,93
Anona	79,85
Abacate	23,37
Banana	696,86
Citrios	99,89
Frutos de casca rija	104,19
Vinha	1131,2
Castas europeias	502,17
Produtores diretos	623,9
Uva de mesa	5,13
Restantes culturas permanentes	20,33
Pastagens permanentes	520,64
Matas e florestas	762,43
Superfície Agrícola não Utilizada (SANU)	614,59
Outras superfícies	332,53
Superfície irrigável	4465,98

O estudo efetuado por Correia & Santos (2015) aponta que a mão de obra familiar é predominante na agricultura da Madeira. Outro fator importante a ser destacado é o índice de mão de obra familiar por total de habitantes nas freguesias, de forma a determinar o grau de importância do cultivo familiar por cada freguesia. Os estudos inferem que a média da Madeira é de 33%, enquanto a média nacional corresponde

a apenas 8%. Porém, importante ressaltar que as zonas ao norte apresentam índices acima de 50%, enquanto nas áreas mais urbanizadas como o Funchal apresentam apenas 6%, conforme apresentado na Figura 31:

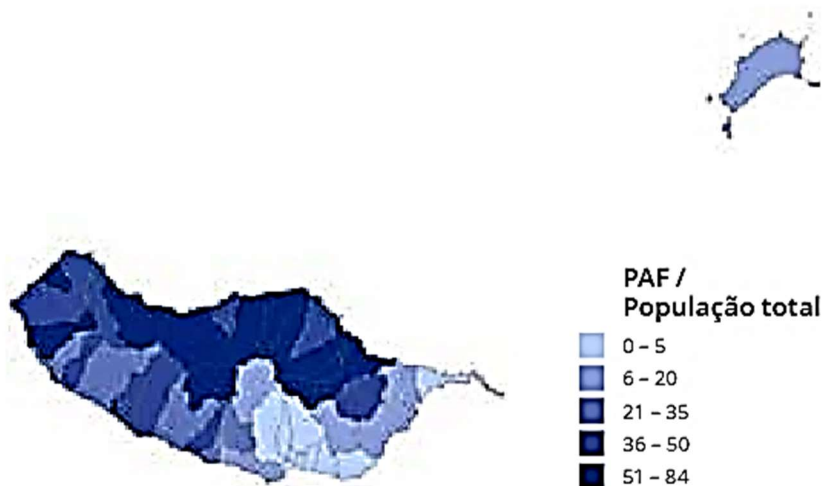


Figura 31 - Percentagem da população agrícola familiar por população total da freguesia (Fonte: Correia & Santos, 2015).

Correia & Santos (2015) também apresentam a repartição da mão de obra agrícola por regime de duração de trabalho, onde se corrobora a grande importância da agricultura familiar no âmbito da ilha da Madeira correspondendo a 96% do tempo de trabalho, como sugere a Figura 32.

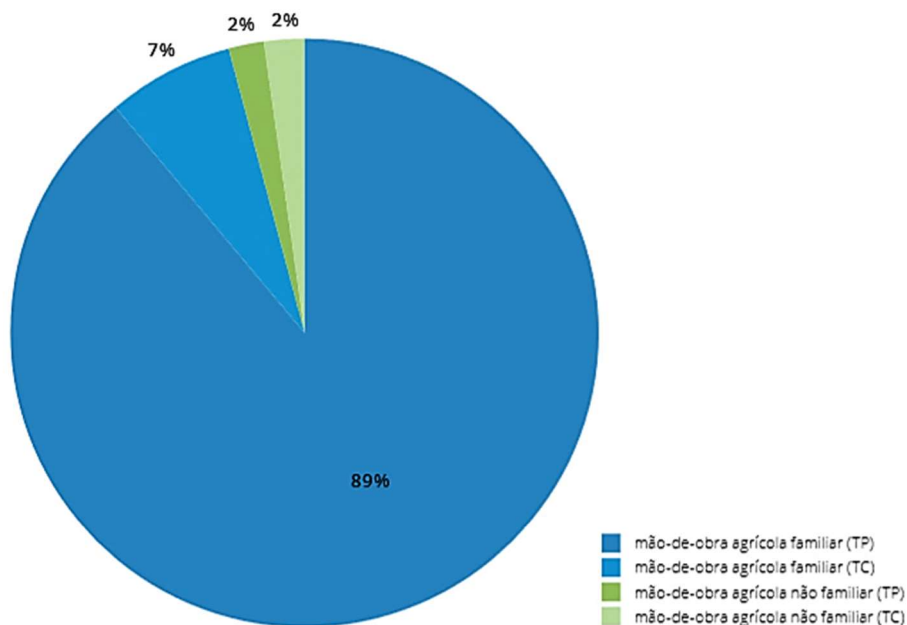


Figura 32 - Tipo de mão de obra agrícola por regime de duração de trabalho (TP - Tempo Parcial; TC - Tempo Completo) (Fonte: Correia & Santos, 2015).

Capítulo IV

Caracterização do cultivo e dimensionamento do sistema de rega

4.1. Enquadramento das culturas

Neste subcapítulo abordou-se sobre as principais características das plantas cultivadas no sistema de rega existente, de forma a explicitar os principais fatores que influenciam no desenvolvimento das plantas. Estas informações são fulcrais para melhor compreensão das necessidades hídricas e nutritivas das *Physalis*, Tomateiros e *Proteas*.

4.1.1. *Physalis*

A *Physalis* é pertencente da família *Solanaceae*, possui como características ser uma planta perene, arbustiva e com um fruto alaranjado e pequeno (Rufato *et al.*, 2008). Conforme Mazzora *et al.* (2006), possui um cálice formado por cinco sépalas, as quais protegem o fruto contra insetos, pássaros, patógenos e climas desfavoráveis, como apresentado na Figura 33.

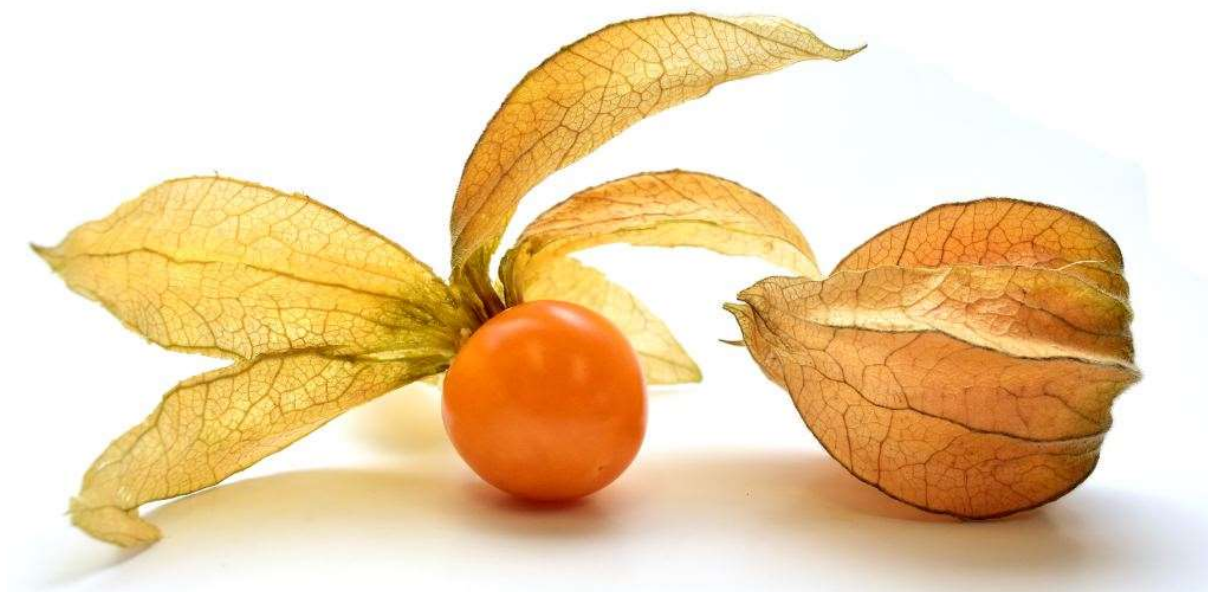


Figura 33 - Sépalas e fruto da *Physalis* (Fonte: nature-and-garden.com).

As folhas possuem características aveludadas e triangulares, com talo principal herbáceo e piloso. As plantas podem chegar a dois metros de altura e produzem cerca de 2 kg de fruto por colheita (Andrade, 2008). Os frutos possuem diâmetros entre 1,25 e 2,5 cm e com massa entre 4 e 10 g (Chaves, 2006).

As flores são pedunculadas e hermafroditas, derivadas da axila dos ramos, as quais estão compostas de uma corola amarela tubular e apresenta uma coloração roxa na base das pétalas (Gupta & Roy, 1981; Lagos *et al.*, 2008), conforme a Figura 34.



Figura 34 - Flor da *Physalis* (Fonte: Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).

Referente aos valores nutricionais do fruto, apresentam elevado nível de ácido ascórbico, bem como possuem grande quantidade de vitamina A, ferro e fósforo (Fischer, 2000). Assim, na Tabela 9 estão presentes outros valores correspondentes ao fator nutricional do fruto.

Tabela 9 - Valores nutricionais da *Physalis* (Fonte: Autor, 2019 adaptado Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).

Parâmetros	Valores
Calorias	54
Água	85,90%
Proteína	1,5 g
Lipídios	0,5 g
Açúcares	11 g
Fibras	0,4 g
Cinza	0,7 g
Cálcio	9 mg
Fósforo	2,1 mg
Ferro	1,7 mg
Vitamina A	1730 U.I.
Tiamina	0,01 mg
Rivoflavina	0,17 mg
Niacina	0,80 mg
Ácido Ascórbico	20 mg

Segundo Andrade (2008), apesar do desconhecimento em relação à cultura desta planta, a *Physalis* é considerada uma ótima alternativa de cultivo, uma vez que permite o aumento da renda à agricultura familiar. Neste sentido, corrobora-se ao afirmar que “o cultivo de *Physalis* é considerado como uma excelente alternativa para o mercado nacional, principalmente para a produção em propriedades familiares, existindo a possibilidade de seu cultivo orgânico (Velasquez *et al.*, 2007).

Em contraponto, Paulino *et al.* (1994) ressalva a inevitabilidade da elaboração de análise econômica, pois não se recomenda a difusão de uma cultura com base apenas em resultados físicos. Além disto, “para que uma espécie seja introduzida em determinada área, é necessário fazer-se uma avaliação das condições do clima e do solo da região, com o objetivo de auxiliar na seleção das espécies que melhor se adaptem (Rufato *et al.*, 2008)”. Por fim, Petri (2006) corrobora ao afirmar que os fatores como localização, clima e solo podem, na maioria das ocasiões, serem determinantes para a variabilidade de um plantio.

Conforme Obrecht (1993) e Chaves (2006), o cultivo da *Physalis* é demasiado simples, onde a maior parte do manuseamento ainda é efetuada de acordo com a cultura do tomateiro, com temperaturas ótimas de 21 a 25° C e variação térmica entre noite e dia de 6 a 7°C. Fischer *et al.* (2005) complementa ao afirmar que o solo ideal para a cultura é o areno-argiloso, com textura granulada, boa drenagem, altos índices de matéria orgânica (>4%) e pH entre 5,5 e 6,8. Empregando-se algumas metodologias agrícolas como adubação, tutoramento, condução, poda e desbrota, aprimora-se o dossel vegetativo da planta, bem como para qualidade e estética do fruto cultivado (Muniz *et al.*, 2010).

Para Rufato *et al.* (2008), a pluviometria pode oscilar entre 1000 a 2000 mm, com humidade relativa média entre 70 a 80%. Porém, ressalva-se que o excesso de humidade tende a favorecer a proliferação de doenças, prejudicando a polinização e deixando as plantas com aspeto amarelado e com poucas folhas (Rufato *et al.*, 2008).

O manuseamento da rega pode ser monitorizado visualmente ou através de equipamentos específicos (Pagot & Hoffmann, 2003). O sistema de rega gota a gota é o mais recomendado para o cultivo da *Physalis* (Fischer & Almanza, 1993), onde é necessário garantir a rega nos primeiros dias de forma a evitar o secamento das plantas (Miranda, 2004). Fischer & Almanza (1993) afirmam também que se recomenda adotar um sistema de rega principalmente em regiões que apresentam déficit hídrico em certos períodos do ano. A necessidade hídrica comumente é feita através do balanço hídrico entre a evapotranspiração e a precipitação local.

O controlo de ervas maléficas ao cultivo da *Physalis* geralmente é efetuado com a capinagem manual e retirada das mudas. Ressalva-se que a capinagem deve ser superficial para evitar danos às raízes. Para Pagot & Hoffmann (2003), a utilização de herbicidas deve ser evitada ao menos no primeiro ano de desenvolvimento do plantio. Zapata *et al.* (2005) afirma que o controlo deficitário pode ocasionar em diminuição do crescimento vegetativo, déficit produtivo, clorose nas folhas e por fim, afetam as práticas culturais de fertilização, colheita, controlo fitossanitário e poda.

O sistema de propagação mais utilizado pelo meio comercial é por sementes, as quais apresentam altos índices de germinação (85 a 95%). A extração das sementes deve ser efetuada em frutos de plantas fitossanitariamente sadias, onde o momento mais adequado para extração é no momento em que a cor do cálice estiver amarelo-esverdeado (Gordillo, 2003), próximo a tonalidade 3 e 4 da Figura 35.

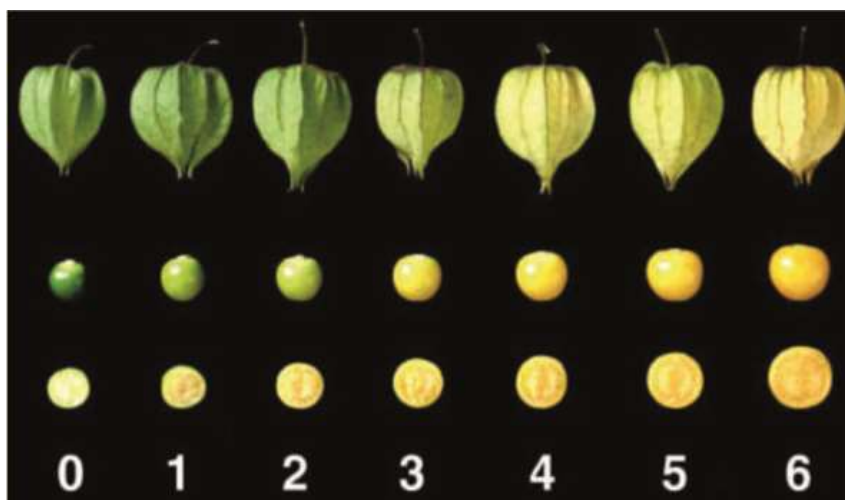


Figura 35 - Tabela de cor do *Physalis* (Fonte: Moutinho & Felipe & Cabral, 2019).

Neste contexto, como “as sementes são o material básico na propagação sexuada, desde modo, deve-se selecioná-las com critério, levando-se em consideração o tamanho, a sanidade e poder germinativo (Simão, 1998)”. Assim, de acordo com Rufato *et al.* (2008), a germinação pode ser errática e com baixa taxa de germinação, devido a má escolha do fruto para extração da semente.

Fischer (1995) sugere que para a extração das sementes, *a priori* deve-se triturar os frutos em um liquidificador com baixa velocidade, deixando fermentar por aproximadamente 48 horas em um recipiente preferencialmente de vidro. *A posteriori* efetua-se a lavagem das sementes e deixam-nas secar sobre um papel absorvente. Para Rufato *et al.* (2008), o processo de fermentação é dispensável para a *Physalis*.

Referente ao armazenamento das sementes, pode ser efetuado em recipientes permeáveis como saco de papel ou semipermeável como o saco plástico, porém, em ambos os casos, a temperatura deve situar-se entre 5 a 10°C. Além disso, para a armazenagem as sementes devem estar totalmente secas, uma vez que a humidade tende a reduzir a taxa de germinação (Rufato *et al.*, 2008). Neste contexto, Angulo (2005) recomenda a desinfecção das sementes com fungicidas antes da sementeira, de forma a evitar patologias derivadas da propagação sexuada como o *Cladosporium*, a *Phoma*, a *Alternaria*, o *Phyitium*, a *Botrytis* e o *Colletotrichum*.

Quanto ao processo de colheita, esta representa uma parte considerável dos custos com mão de obra, pois a fruta é suscetível a danos por manipulação, necessitando assim de cuidados com a colheita e transporte até a chegada no comerciante ou consumidor final (Pagot & Hoffmann, 2003; Rufato *et al.*, 2008). A variação de resistência do fruto à manipulação está diretamente relacionada com o grau de maturação do fruto. Neste sentido, a determinação do ponto de colheita depende do

destino ao qual o fruto será encaminhado, ou pela preferência do mercador (EMBRAPA, 1993).

Segundo Cedeño & Montenegro (2004), existem diversas metodologias para definir o momento mais indicado para a colheita dos frutos da *Physalis*, porém, o mais usual por produtores e comerciantes é a verificação da tonalidade do cálice. Apesar disso, como supracitado, outras metodologias podem ser empregues como as expostas na Tabela 10.

Tabela 10 - Métodos para determinar os índices de maturação (Fonte: Autor, 2019 adaptado Moutinho & Felipe & Cabral, 2019)

Temporais	Nº de dias depois da floração
	Nº de meses depois da sementeira
	Unidades de calor (graus/dia)
Físicos	Cor externa
	Facilidade de abscisão
	Textura
	Peso específico
	Peso fresco
	Peso seco
Químicos	Tamanho
	pH
	Acidez
	Brix (°Bx)
Fisiológicos	Índice de maturação
	Taxa de respiração
	Rendimento da polpa, suco ou sementes
Organolépticos	Produção de etileno
	Sabor
	Aroma
	Cor

Por fim, Fery & Janick (1970) e Nichols (1987) corroboram que o espaçamento é um dos itens mais importantes no cultivo de solanáceas, o qual pode influenciar o ciclo da planta, controle patológico e na qualidade e quantidade de frutos por safra. Recomenda-se espaçamentos de 2 a 3 metros entre plantas e 2 a 3 metros entre filas, além de uma profundidade de plantio de aproximadamente 50 cm (Muniz, 2011). Porém, pode-se reduzir o afastamento das plantas entre 0,5 a 1,5 m, dependendo do sistema condutivo utilizado.

Rufato *et al.* (2008) indica que a topografia do terreno é o principal fator que determina o distanciamento entre as plantas, pois influencia diretamente na aeração, na humidade e nos tratos culturais. Por fim, Fischer (1995) e Miranda (2004) afirmam que terrenos planos possibilitam a aproximação, enquanto em declives tendem a aumentar o espaçamento entre as mesmas.

4.1.2. Tomateiro

Assim como a *Physalis*, o Tomateiro pertence à família *Solanaceae*. Nativa da parte ocidental da América do Sul, entre Equador, Chile, Oceano Pacífico e Cordilheira dos Andes, o tomate foi levado para a Europa inicialmente como planta ornamental de jardins espanhóis, italianos e ingleses (Alvarenga, 2013).

O tomateiro é caracterizado como uma planta herbácea, autógama, de caule flexível com flores hermafroditas, possuindo frutos de até 0,5 Kg (Sonnenberg & Silva, 2004). Segundo Pinto & Casali (1980), o caule da planta ainda jovem caracteriza-se como herbáceo, suculento e revestido por pêlos glandulares, conforme a Figura 36.



Figura 36 - Caule do tomateiro (Fonte: scienceblogs.com.br).

Conforme Sasaki & Seno (1994), as folhas são alternadas, constituídas por número ímpar de folíolos, apresentam bordas serrilhadas e são peciolados, como apresentado na Figura 37.



Figura 37 - Folha do tomateiro (Fonte: depositphotos.com).

No âmbito comercial, o tomate industrial é considerado um dos cultivos mais importantes na agricultura mundial, tanto para o comércio *in natura* quanto para indústria de extratos e derivados (Duarte *et al.*, 2007). Barros *et al.* (2014) confirmam que o tomate tem um destaque diferenciado no aspecto económico e social, devido ao grande volume produtivo e comercialização, proporcionando a geração de empregos. Segundo a FAOSTAT (2015), a China é o maior produtor mundial com 50,6 milhões de toneladas e valor bruto de 28,4 mil milhões de dólares, seguida dos Estados Unidos e Índia.

De acordo com o EMBRAPA (2003), o tomateiro é capaz de desenvolver-se significativamente bem em zonas de climas temperados tropical de altitude e subtropical. Ainda segundo o EMBRAPA (2003), o cultivo do tomate industrial faz-se por meio de transplante de mudas, onde há o preparo do solo ou o plantio direto na palha.

Segundo Lopes & Stripari (1998), a temperatura ideal para o desenvolvimento do fruto é de 18 a 25°C. Neste sentido, Heuvelink (1995) aponta a temperatura como o fator mais importante para o cultivo do tomateiro, uma vez que ela influencia a habilidade dos órgãos da planta em disputar por fotoassimilados, além de controlar a velocidade de reação química da mesma. Cocksushull *et al.* (1992) e complementam ao afirmarem que a temperatura atua promovendo o aumento da atividade metabólica do fruto, da absorção de carbono e água, de forma a corroborar com a expansão e aumento de sua massa. Conforme Dorais *et al.* (2001), a qualidade do fruto é determinada geneticamente, a qual pode sofrer variações advindas da luminosidade, temperatura e humidade do ar.

Para Lopes & Stripari (1998), o aumento da temperatura permite ainda a aceleração no crescimento das plantas, no florescimento e amadurecimento do fruto, favorecendo a brevidade da produção. Porém, Lopes & Stripari (1998) alertam que em caso de elevação da temperatura acima dos 35°C durante o dia e 25°C durante a noite, poderá ocasionar um maior abortamento floral e a conseqüente redução do número de frutos por cacho, em comparação com as temperaturas ideais para as plantas, que correspondem 22°C para o dia e 18°C para a noite. Referente ao processo de transpiração, a humidade relativa do ar é fator fulcral, pois influencia diretamente na condutância estomática, e de forma indireta, na turgescência dos tecidos, de forma a alterar diversos processos metabólicos da planta (Andriolo, 2000).

Ressalva-se que os fatores de ordem biótica também possuem importância para a cultura do tomate, uma vez que diversas patologias tendem a interferir no processo produtivo da cultura, reduzindo a quantidade e qualidade dos frutos. Caliman (2003) aponta perdas produtivas de aproximadamente 30% por ataque de *Phytophthora infestans* e de 80% em caso de ataque da broca dos frutos. Porém, existe a possibilidade de efetuar o cultivo do tomate em sistema protegido, o qual pode diminuir drasticamente o efeito das patologias supracitadas. Neste contexto, Richter *et al.* (2010) apresenta os dados de perdas por patologia ao utilizar o cultivo protegido, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Perdas de produção por patologia (Fonte: Autor, 2019 adaptado Richter *et al.*, 2010).

Colheita total	786,2 kg / 6916 unidades
Total de frutos com problemas (não comercializados)	60,45 kg / 716 unidades
Total de frutos comercializados	725,75 kg / 6200 unidades
Principais problemas encontrados	
Traça	2,40%
Broca	3,40%
Lagarta Rosca	1,60%
Requeima	0,20%
Podridão Apical	3,70%

Nota-se, portanto, que a técnica de cultivo protegido apresentou perdas significativamente menores, em comparação com as perdas sugeridas por Caliman (2003).

Palaretti (2003) citando Phene *et al.* (1990) sugere que a quantidade e qualidade dos frutos do tomateiro são afetadas primordialmente por dois fatores: o manuseamento de irrigação e de nutrientes e a sensibilidade da cultura ao *stress* hídrico. A aplicação excessiva de água na área radicular pode causar sérios danos às plantas e a consequente redução do desenvolvimento agrícola (Palaretti, 2003). Neste sentido, Palaretti (2003) afirma que a grande sensibilidade da cultura do tomateiro ao estresse hídrico tem tornado a técnica de rega cada vez mais difundida pelos tomaticultores, os quais buscam reduzir as perdas quantitativas e qualitativas. Assim, a grande fragilidade do cultivo de tomate aos estresses hídricos demonstram a inevitabilidade da análise de necessidade hídrica da planta. Em contraponto, Richter *et al.* (2010) indica que utilização de técnicas alternativas de produção e manuseamento são inúteis caso sejam empregues em épocas erradas.

Oliveira *et al.* (2005) caracteriza a necessidade hídrica da cultura como a quantidade de água requerida pela planta em determinado período do seu ciclo fenológico, de forma a não dificultar o crescimento, desenvolvimento e produção, de acordo com a climatologia local. Neste sentido, “[...] é a quantidade de água necessária para atender a evapotranspiração da cultura (Oliveira *et al.*, 2005)”. Bernardo *et al.* (2005) afirma que o quantitativo de água evapotranspirada depende principalmente do tipo de planta, do solo e principalmente do clima, uma vez que a necessidade hídrica de uma cultura varia com a extensão da área ocupada pelo vegetal e com as variações de estações do ano. Ressalva-se que a “evapotranspiração é a perda de água para atmosfera, em forma de vapor, pelos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas (Sales, 2016)”.

A determinação da evapotranspiração é fulcral para o planeamento e dimensionamento de sistemas de rega, uma vez que as técnicas de irrigação servem para suprir as necessidades hídricas das agriculturas principalmente em períodos de baixa ou precipitação ausente, de forma mitigar as perdas produtivas nos tempos de colheita (Pavani, 1985).

Conforme Santana *et al.* (2011), o tomateiro é uma hortaliça exigente em água e apresentando consumo acima da média, onde a água participa com 93% a 95% de sua composição. Alvarenga (2004) divide o ciclo do tomateiro em três fases:

- **Primeira fase:** possui duração de quatro a cinco semanas, correspondendo do transplante das mudas até ao iniciar do florescimento;
- **Segunda fase:** possui duração de cinco a seis semanas, com início no florescimento e término no iniciar da maturação dos frutos;
- **Terceira fase:** inicia-se na maturação até ao final da colheita.

Para Sales (2016), é de grande valia conhecer o início e término destas fases, pois permite um melhor controlo das adubações, efetuando a gestão dos nutrientes e da quantidade de água a aplicar. Neste contexto, o consumo por dias de ciclo do tomateiro estabelecidos na FAO 56, por Allen *et al.* 1998, apresenta-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Coeficiente Kc do tomateiro para cada estágio de desenvolvimento (Fonte: Autor, 2019 adaptado Allen *et al.*, 1998).

Estágios de Desenvolvimento	Dias de Ciclo	Kc
Inicial	25	0,6
Vegetativo	33	1,15
Frutificação	38	0,7-0,9
Maturação	25	0,6

A praticidade e precisão possuem grande importância para a escolha da metodologia de estimativa para evapotranspiração, uma vez que mesmo com os métodos teóricos e micrometeorológicos possuindo como base os princípios físicos, possuem restrições no aspeto de instrumentação e podem limitar a utilização (Lira, 2008).

Com o advento das tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica, a utilização da teledeteção ou sensoriamento remoto tem sido empregues de forma considerável desde os anos 1990, com o aprimoramento constante do computo dos componentes do balanço hídrico e energético (Giongo, 2011). Segundo Lima (2010), o sensoriamento remoto consiste primordialmente em captar e medir a quantidade de energia refletida, de forma a obter informações sobre a natureza agrícola, florestal, rochosa, corpos de água e do solo.

Outro fator fulcral para agricultores que pretendem efetuar a policultura é saber quais as plantas que são benéficas ou malélicas umas às outras. Segundo Richter *et al.* (2010), o cultivo de diferentes espécies no mesmo sítio pode influenciar positivamente

ou negativamente a produção geral, pois as secreções das raízes das plantas transferem nutrientes para as outras. As plantas que proporcionam benefícios para as outras são caracterizadas como “plantas companheiras”, enquanto as que proporcionam malefícios denominam-se “plantas antagonicas”.

Referente ao tomate, geralmente utiliza-se plantas que atuam como repelentes para os insetos que podem vir a causar danos ou patologias ao tomateiro. Comumente utilizam-se cebolinhas e salsinhas entre as linhas de plantação do tomate, pois além do efeito repelente supracitado, podem servir para consumo próprio ou para comercialização, de forma a garantir um incremento de renda (Richter *et al.*, 2010).

Neste contexto, a Tabela 13 apresenta alguns exemplos.

Tabela 13 - Plantas companheiras e antagonicas (Fonte: Autor, 2019 adaptado Richter *et al.*, 2010).

Plantas	Companheiras	Antagonicas
Abóboras	Milho, feijão, vagem, cenoura	Batatinha
Abobrinha	Capuchinha, milho, feijão	-
Alface	Cenouras, cebola, morango, beterraba, repolho, cravo-de-defunto, rabanete	Pepino, aipo, salsinha
Batatas	Ervilha, feijão, repolho, milho, capuchinha, berinjela	Aipo, beterraba, couve-flor, tomate
Cebolinhas	Salsa, maçã, cenoura, tomate, couve-flor	Ervilha, feijão
Cenouras	Ervilha, rabanete, alfaces, cebolinha, cebola, sálvia	Funcho
Feijão e Vagens	Milho, abóbora, cenoura, espinafre, salsa	Mandioca, alho, ervilha, cebola
Hortelã	Repolho, camomila	-
Milho	Feijão, abóbora, batata	-
Pepinos	Batata, feijão, aipo, alface, milho, capuchinha, girassol	Rabanete, tomate, alface
Rabanetes	Alface, ervilha, capuchinha	Pepino
Salsa	Cebola, aspargo, tomate, rabanete	Alface
Tomate	Aspargo, aipo, salsa, manjeriçao, cenoura, milho, alho, cebola	Pimenta, batatinha, ervilha, pepino, batata-doce

Para o valor nutricional, Monteiro *et al.* (2008) verificou duas hipóteses para o tomate italiano - *Lycopersicon esculentum Mill* – obteve-se os valores correspondentes ao valor nutricional do tomate sem semente e casca e com semente e casca, apresentando as seguintes informações, ver Tabela 14.

Tabela 14 - Valores nutricionais do tomate italiano (Fonte: Autor, 2019 adaptado Monteiro et al., 2008).

Composição (%)	Tomate sem semente e sem casca	Tomate com semente e com casca
Humidade	95,88 (+-0,05)	85,09 (+-0,18)
Proteína	0,66 (+-0,04)	2,06 (+-0,18)
Lipídio	0,12 (+-0,06)	0,26 (+-0,01)
Fibra alimentar	0,26 (+-0,01)	0,28 (+-0,06)
Cinzas	0,41 (+- 0,03)	1,89 (+-0,06)
Carboidratos	2,67 (+-0,02)	10,42 (+-0,0)

Nota-se claramente que a presença da semente e da casca aumentam significativamente os valores nutricionais, principalmente referente à proteína, cinzas e carboidratos.

De acordo com Nassur (2009), estudos demonstram a superioridade nutricional de frutos de tomate orgânico em comparação com o convencional, possuindo maiores índices de vitamina C. Zoran *et al.* (2014) complementa e aponta maiores teores de carotenoides, minerais como fósforo, potássio, magnésio e cálcio, além de apresentarem menores valores de metais pesados como zinco, chumbo, níquel e cobre.

Neste contexto, para Souza & Garcia (2013), o cultivo de tomate orgânico tem apresentado viabilidade econômica para os agricultores, além de obterem melhores resultados em relação ao cultivo convencional, com menor custo e maior lucratividade. Conforme Khatounian (2001), a agricultura orgânica busca obter produtividades ótimas a longo prazo, enquanto os cultivos convencionais optam por produtividades máximas a curto prazo.

A produtividade ótima visa a conciliação da exploração agrícola econômica com a preservação dos recursos naturais, além de apresentar produtos de elevada qualidade. Por outro lado, as produtividades máximas estão comumente atreladas a altos índices de desgaste ambiental pela utilização de agrotóxicos e adubos químicos, degradação esta que será paga pela sociedade e não pela agricultura que a causou (Khatounian, 2001).

4.1.3. Protea

De origem sul africana e australiana, as *Proteas* são arbustos em que se cultivam flores frescas, secas e de folhagem colorida (Fernández, 2005). Atualmente, são conhecidas cerca de 1400 espécies de *Proteaceae*, onde mais de 400 espécies são

encontradas na África, sendo que aproximadamente 330 destas espécies estão presentes na parte ocidental do Cabo da África do Sul. A Austrália possui a maior variedade de *Proteaceae*, com mais de 1000 espécies (Hawkins & Cramer, 2011).

Entre a família *Proteaceae* existem vários gêneros como: *Protea*, *Leucadendron*, *Leucospermum*, *Banksia*, *Hakea* entre outras. Porém, apesar da grande variedade de gêneros, todas as plantas supracitadas são comumente generalizadas como *Proteas* (Fernández, 2005). Neste contexto, Fernández (2005) caracteriza os principais gêneros no âmbito comercial:

Leucospermum: são arbustos de morfologia variada, podendo atingir de 1 a 5 m de altura (raramente), possuindo flores em camadas com colorações que variam entre amarelo, rosa, alaranjado e vermelho.

- ***Patersonii***: coloração varia entre alaranjado e vermelho;
- ***High Gold***: coloração amarela;
- ***Veldfire***: coloração amarela e vermelho-alaranjado;
- ***Succession II***: coloração alaranjada;
- ***Succession I***: coloração alaranjada;
- ***Scarlet Ribbons***: coloração vermelho-alaranjado;
- ***Sunrise***: coloração alaranjado escuro;
- ***Cordifolium***: coloração amarela, alaranjada ou vermelha;
- ***Tango***: coloração vermelho-alaranjado.



Figura 38 - *Leucospermum Patersonii* (Fonte: proteaworld.com.au).

Leucadendron: são arbustos ou árvores dioicas, com folhas simples e inteiras, apresentando flores agrupadas em forma de cone. Muitas das espécies cultivadas exclusivamente pela coloração de suas brácteas e folhagens, sendo coletados antes

do aparecimento dos cones, pois são quando as brácteas atingem a coloração máxima.

- **Discolor:** cones vermelhos e amarelos, com as brácteas amarelas durante a floração;
- **Chamaleon:** talos uniflora e multiflora, com as brácteas amarelas;
- **Long Tom:** brácteas de coloração vermelha;
- **Inca Gold:** brácteas com coloração amarela;
- **Blush:** brácteas de coloração vermelha;
- **Safari Sunset:** talos uniflora com brácteas de tonalidade vermelho escuro;
- **Silvan Red:** brácteas de coloração vermelha, porém mais claro que a anterior.



Figura 39 - *Leucadendron Safari Sunset* (Fonte: gardenia.net).

Proteas: são arbustos, onde a folhagem apresenta variação de formas, a qual depende da espécie a cultivar. As inflorescências possuem como característica serem terminais e solitárias, cercadas por um envolvimento de brácteas coloridas.

- **Cynaroides:** brácteas que podem apresentar tonalidades desde vermelho escuro à rosa e branco, com aproximadamente 30 cm de diâmetro.
- **Magnifica:** coloração de creme a carmim e branco, com aproximadamente 15 cm de diâmetro;
- **Compacta:** coloração que varia entre rosa e branco;
- **Pink Ice:** coloração vermelha com tons de rosa;
- **Susara:** coloração vermelha com tons de rosa prateado;
- **Sylva:** coloração que varia entre vermelho, branco e rosa;
- **Neriifolia:** coloração creme ou carmim e rosa;
- **Red Rex:** apresenta características semelhantes à *Cynaroides*.



Figura 40 - *Protea Susara* (Fonte: floraccess.com).

Banksia: são arbustos que podem atingir um tamanho significativo.

- ***Banksia ashbyi***: coloração amarela e com tamanhos consideráveis;
- ***Banksia integrifolia***: coloração amarelo prateado e com menores dimensões em comparação com a anterior.



Figura 41 - *Banksia ashbyi* (Fonte: advancedsciencenews.com).

O seu cultivo iniciou-se nos anos 1940, maioritariamente na África do Sul, mas também em Zimbabwe, Austrália, Estados Unidos, Israel, Chile, Nova Zelândia, Espanha e Portugal (Hawkins & Cramer, 2011). Segundo Fernández (2005), o cultivo das *Proteas* possui um grande interesse em regiões medianas, onde podem substituir as espécies tradicionais e valorizar as áreas abandonadas ou semiabandonadas.

Para o cultivo de forma eficiente, Hawkins & Cramer (2011) sugerem as seguintes características climáticas e de solo:

- Solo muito bem drenado;
- Terreno com declividade entre 6 e 20°;
- Solo com pH entre 4 e 7, dependendo do tipo de cultivo;
- Solo com concentração de fósforo entre 5 e 40 ppm;
- Solo com concentração total de nitrogênio entre 0,05 e 0,2%;
- Solo com concentração de carbono entre 1 e 4% (podendo ser maior);
- Precipitação entre 300 e 500 mm, em caso de rega apenas por chuva.

Segundo Fernández (2005), a melhor época para o plantio das *Proteas* corresponde ao período de outono, porém pode-se optar pelo cultivo na primavera, desde que se assuma o risco de sofrer com verão muito quente, o que acabará por queimar as plantas jovens e prejudicar o cultivo. Estas informações são referentes ao plantio nas ilhas Canárias, porém, devido a proximidade com a ilha da Madeira estes parâmetros não tendem a sofrer grandes alterações. Referente ao sistema de rega, recomenda-se adotar o sistema gota a gota, utilizando 2 gotejadores por planta.

Os espaçamentos devem ser feitos com linhas paralelas com marco de 0,8 x 1 m, com canteiros de 1,2 m e corredores espaçados em 1,5 m. A dimensão longitudinal do canteiro pode variar de acordo com o cálculo do sistema de rega, correspondendo a aproximadamente 650 a 700 plantas a cada 1000 m² (Fernández, 2005).

A produção e comercialização varia de acordo com o gênero e espécie cultivada, e mesmo dentro do mesmo gênero/espécie as plantas podem fornecer quantidades variadas de flores.

Tabela 15 - Produção e comercialização (Fonte: Autor, 2019 adaptado Fernández, 2005).

Gênero	Flores/planta	Comercialização (€/flor)
<i>Leucospermum</i>	20 a 40	0,10 a 0,24
<i>Protea</i>	5 a 20	0,20 a 0,60
<i>Leucadendron</i>	30 a 50	0,48 a 1,5

4.2. Necessidades hídricas das plantas

De acordo com Fernández *et al.* (2000), quando os estômatos das plantas estão abertos, propiciam a troca de gases dióxido de carbono, oxigênio e vapor de água entre a planta e a atmosfera, denominando este processo como transpiração. Neste sentido, a soma da perda de água por transpiração com a perda de água por evaporação da superfície do solo é o que se conhece como evapotranspiração potencial (ETp). Fernández *et al.* (2000) ressalva que a evaporação é o nome dado ao fenômeno de passagem da água do estado líquido para gasoso, necessitando de uma grande quantidade energética advinda normalmente por radiação solar.

Porém, para o dimensionamento de um sistema de rega é necessário a determinação da evapotranspiração cultural (ETc). A estimativa deste parâmetro é obtida pelo produto da evapotranspiração potencial com um coeficiente cultural (Kc). Os valores de do coeficiente cultural variam de acordo com o tipo de cultura, fase fenológica e do clima local (Doorenbos & Pruitt, 1977).

$$ETc = ETp \times Kc \quad (\text{Eq. 5})$$

Neste contexto, o IPMA possui uma ferramenta de verificação da evapotranspiração potencial no seu website, conforme a Figura 42.

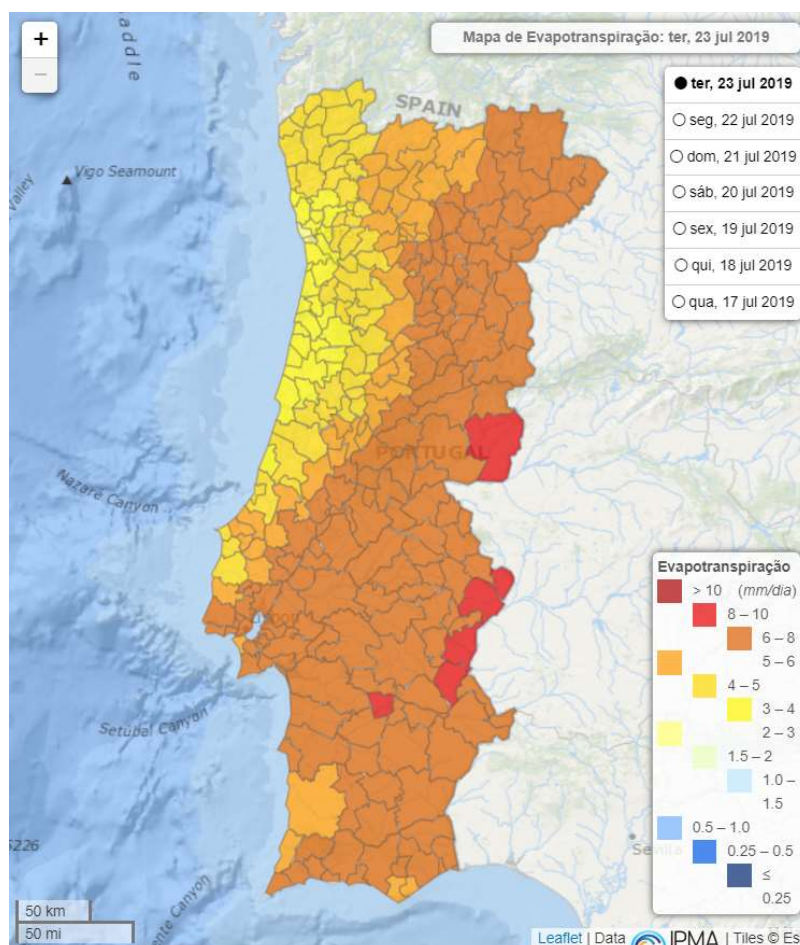


Figura 42 - Mapa de evapotranspiração de Portugal (Fonte: IPMA, 2019).

Para a obtenção da evapotranspiração potencial, Smith *et al.* (1992) definiram a ETp como uma evapotranspiração proporcionada por um cultivo hipotético que cobrisse toda a área em análise, com crescimento ativo, sem limitação hídrica e com 0,12 m de altura. Neste contexto, utilizou-se a equação de *Penman-Monteith*, uma vez que foi o modelo matemático que mais se aproximou da ETp verificada na área analisada.

Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassan (1979) reuniram um grande acervo referente à necessidade hídrica de diversas plantas com valor comercial, dividindo-as em coeficientes distintos por fase fenológica. Porém, Allen *et al.* (1998) aprimorou a metodologia com o ajuste dos coeficientes culturais atribuindo as variações climáticas.

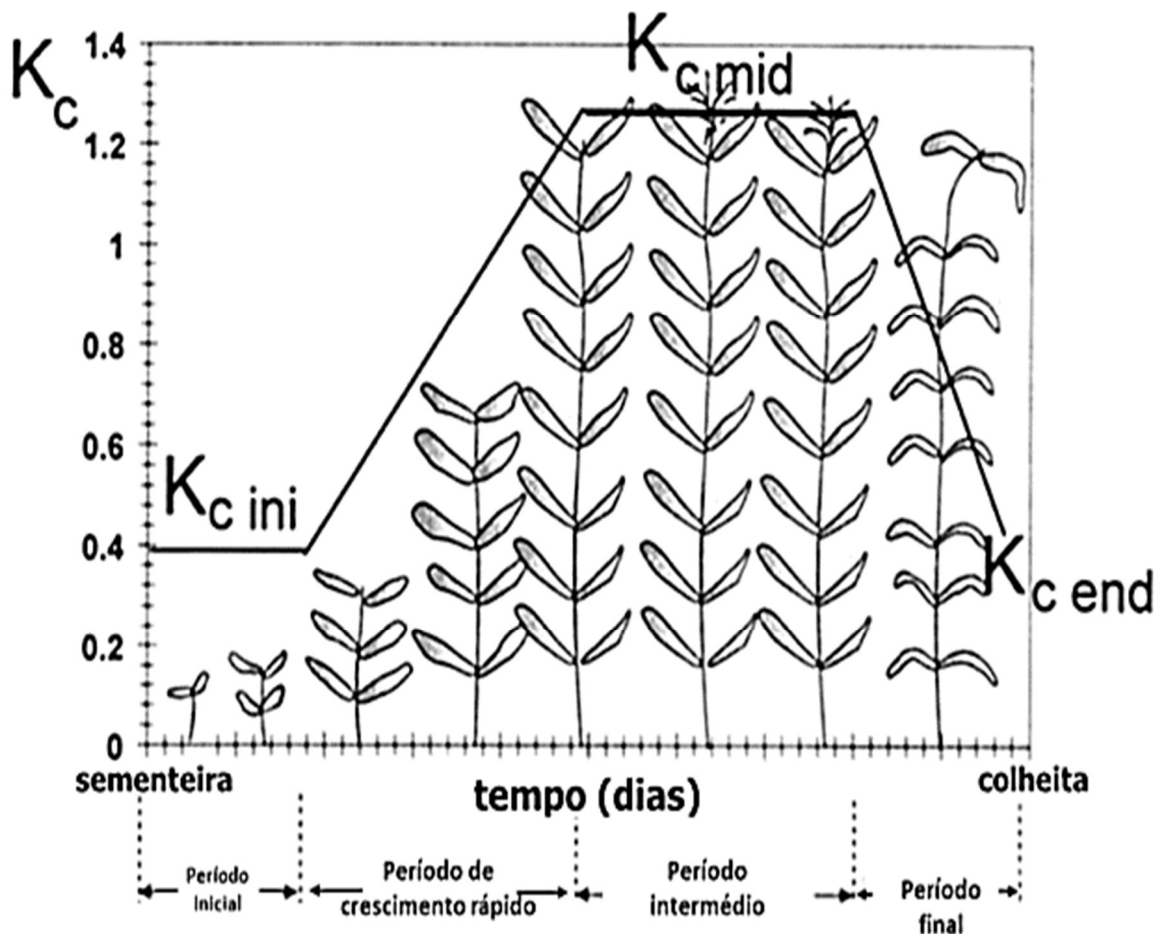


Figura 43 - Evolução do coeficiente cultural (K_c) ao longo do tempo e do desenvolvimento vegetativo das plantas, da sementeira à colheita (Fonte: Rosa, 2018 adaptado Allen *et al.*, 1998).

4.3. Tubagens

As tubagens são responsáveis pela condução da água desde o seu dispositivo de bombagem até aos emissores na agricultura. Neste sentido, “existem vários tipos de tubagens fabricadas de diversos materiais, e podem ser classificadas de acordo com a sua finalidade (Testezlaf & Matsura, 2015)”. Os autores ainda afirmam que a

integridade do dimensionamento de um projeto de rega pode ser comprometida pela escolha equivocada do tipo de material utilizado e pela qualidade de instalação.

De acordo com Cudell (2000), podem ser empregues os seguintes materiais de fabrico:

- Alumínio;
- Betão;
- Ferro;
- Policloreto de vinilo (PVC);
- Polietileno (PE).

Referente às especificações, os diâmetros das tubagens são encontrados comercialmente pelo que se denomina “diâmetro nominal” (DN). Porém, nos catálogos dos fornecedores geralmente são fornecidos os diâmetros internos e externos, bem como as pressões nominais (PN) requeridas pelas principais normas internacionais como a ISO. As pressões nominais referem-se à resistividade hidrostática que tubagem consegue suportar até à rotura, sendo diretamente relacionado com a espessura de parede (e) (Testezlaf & Matsura, 2015). A espessura da parede corresponde a metade da diferença entre o diâmetro externo (d_e) com o diâmetro interno (d_i), conforme apresentado na figura seguinte.

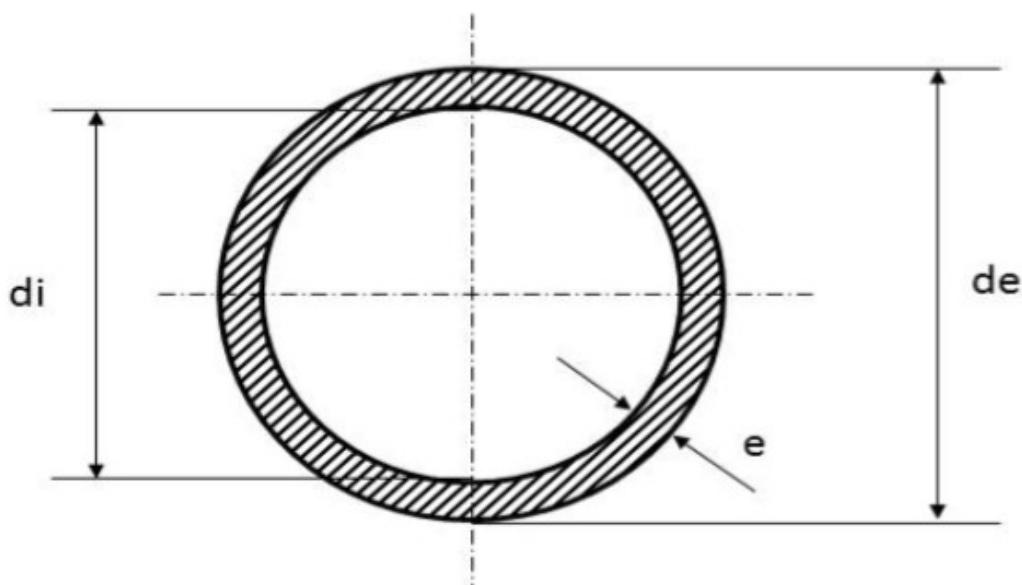


Figura 44 - Diâmetro externo, interno e espessura de tubos (Fonte: Testezlaf & Matsura, 2015).

Neste contexto, é fulcral que o projetista tenha conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da tubagem, de forma a garantir que o material possui resistência ao esforço causado pelo escoamento do fluído. As propriedades do material servem para além do supracitado, garantir durabilidade aos agentes agressivos ambientais como humidade, temperaturas muito elevadas ou reduzidas, impactos, golpe de aríete, ressecamento por radiação solar, ataques químicos e biológicos.

Por fim, dos materiais citados, os mais utilizados são o PVC e PE. Durante determinada época onde não existiam os materiais sintéticos como os supracitados,

empregava-se o uso de tubagens de ferro, porém, apresentavam grandes problemas de oxidação e conseqüente roturas e perdas de água.

4.3.1. Tubagem em PVC

Conforme Moser & Folkman (2008), o cloreto de polivinila (PVC) é um dos materiais de tubulação mais utilizados em sistemas de regas atuais. Apesar de terem sido descobertos aproximadamente em 1835, apenas após 1950 com o desenvolvimento de tecnologias de extrusão o material tornou-se aceito no mercado mundial de tubagens.

As tubagens em PVC são comercializadas tanto em milímetros (mm) quanto em polegadas (“), dependendo do fornecedor. Normalmente são vendidas em comprimentos de 6 metros, possuem peças adicionais para colagem ou encaixe, possibilitando a ampliação do seu comprimento.



Figura 45 - Tubo de PVC (Fonte: fersil.com)

Normalmente aplica-se uma pressão nominal de 1,0 Mpa, uma vez que (Cudell, 2000):

- Pretende-se minorar a ocorrência de golpes de aríete (impacto resultante da pressão e velocidade de escoamento em acessórios de ligação);
- É a mais solicitada pelas entidades oficiais e donos de obra.

As tubagens de PVC apresentam duas características fulcrais que caracterizam as suas vantagens em relação a outros materiais, as características mecânicas e químicas (Cudell, 2000), conforme as tabelas seguintes.

Tabela 16 - Características mecânicas do PVC (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).

Características Mecânicas		
Esforço	Mpa	Norma
Flexão	93	DIN 53452
Tração	49	DIN 53455
Compressão	70	DIN 53455

Tabela 17 - Características químicas do PVC (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).

Características Químicas	
Descrição	Norma
Resistência muito elevada à maioria dos produtos químicos, com ressalvas principalmente à acetona e ao ácido sulfúrico.	DIN 16929

Referente às tipologias de ligação tubagem-acessório ou tubagem-tubagem, Testazlaf & Matsura (2015) indicam quatro tipos e que devem ser previstas junto aos acessórios que compõem o sistema de rega:

- **Lisa:** ligações que são efetuadas através de solda de fusão, sendo mais utilizadas em tubos de aço.



Figura 46 - Tubo com ligação lisa (Fonte: nebulizacion.es).

- **Rosqueada:** ligações efetuadas com a utilização de luvas de acoplamento ou através da ligação de rosca interna à externa dos materiais, e são comumente utilizadas em tubos de PVC e aço galvanizado.



Figura 47 - Tubo com ligação rosqueada (Fonte: Leroy Merlin).

- **Bolsa:** ligação efetuada através da solda ou colagem da ponta lisa de um tubo dentro da bolsa do outro, sendo geralmente utilizadas em tubos de PVC e ferro fundido.



Figura 48 - Tubo com ligação bolsa soldável (Fonte: redebras.com.br).

- **Ranhurada:** ligação efetuada com juntas especiais, as quais exigem sistemas ranhurados.



Figura 49 - Tubo de ligação ranhurada (Fonte: majestic.com.br).

Vantagens:

- Boa condutibilidade hidráulica;
- Baixa condutividade térmica e elétrica;
- Baixo peso específico;
- Fácil fabrico e utilização;
- Permite a utilização na condução de água potável;

- Coeficiente de atrito muito baixo;
- Resistência aos fertilizantes;
- Alta resistência à oxidação;
- Permite a identificação por cores próprias;
- Rigidez suficiente para suportar cargas de solo;
- Leveza.

Desvantagens:

- Sensibilidade à radiação solar;
- Sensibilidade ao frio;
- Baixa flexibilidade;
- Baixa resistência mecânica;
- Baixa estabilidade dimensional;
- Coeficiente de dilatação elevado;
- Possibilidade de ser um material combustível;
- Sensibilidade aos golpes de aríete.

4.3.2. Tubagem em PE

O polietileno é uma resina termoplástica, onde as ligações de combinações monómeras de etileno originam as macromoléculas lineares denominadas de polímeros. Através destes polímeros termoplásticos são criados os materiais em PE (Politejo, 2014).

Conforme a Politejo (2014), os tubos em PE são comercializados de acordo com o grau de cristalinidade, classificando-os de três formas:

- **PEAD**: polietileno de alta densidade;
- **PEMD**: polietileno de média densidade;
- **PEBD**: polietileno de baixa densidade.

Ressalva-se que devido às suas cadeias moleculares extensas, o material possui uma grande resistência à tenacidade e ductilidade (Politejo, 2014).

Comercialmente encontra-se o diâmetro nominal expresso em milímetros (mm) ou em polegadas (“), adquiridos em rolos de 50 m ou de 100 m. Para os diâmetros superiores a 63 mm os tubos são fornecidos em varas de 12 m, devido à impossibilidade de elaboração de rolos. Nota-se que a escolha do tipo de tubo é feita de acordo com a solicitação do projeto, porém, para a prática da rega prioriza-se a utilização dos tubos de polietileno de alta densidade. A escolha pelo PEAD está atribuída à maior homologação dos materiais, bem como, por possuir espessura de parede reduzida (Cudell, 2000).

Portanto, as características principais a serem avaliadas das tubagens PEAD são as mecânicas, químicas e hídricas, conforme apresentado nas tabelas seguintes.

Tabela 18 - Características mecânicas do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado ISO).

Características Mecânicas		
Característica	Valor	Norma
Flexão (N/mm ²)	900	ISO 6259
Tração (N/mm ²)	22	ISO 6259
Quantidade de negro de carbono	2%	ASTMD 1603
Alongamento à rotura	600%	ISO 6259

Tabela 19 - Características químicas do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado DIN).

Características Químicas	
Descrição	Norma
Elevada resistência à grande parte dos produtos químicos, com ressalvas à combustíveis, lubrificantes, solventes aromáticos, cloro e brometo	DIN 16929

Tabela 20 - Características hídras do PEAD (Fonte: Autor, 2019 adaptado ISO).

Características Hídras
Descrição
Tubos de parede lisa com coeficiente de <i>Hazen-Williams</i> C=140

Vantagens:

- Resistência às radiações solares;
- Resistência aos fertilizantes;
- Alta flexibilidade;
- Resistência aos golpes de aríete;
- Resistência ao frio;
- Podem ser comercializados em rolos;
- Facilidade de transporte;
- Não conduz eletricidade;
- São extremamente lisos, possuindo assim baixíssima resistência hidráulica
- Resistência à abrasão.

Desvantagens:

- Resistência inferior ao PVC;
- Baixas pressões nominais;
- Exige maior atenção e cuidados de instalação;
- Baixa resistência a solventes;
- Baixa resistência ao fogo;
- Produz gases tóxicos quando em combustão.

4.4. Acessórios

4.4.1. Acessórios de ligação

Uma vez que um sistema de rega é composto por várias tubagens paralelas e ortogonais, os acessórios de ligação possuem a função de unir os tubos de forma a permitir o escoamento em diversas direções. Outro fator muito presente na implementação do sistema é a necessidade de aumentar o comprimento de um tubo para que consiga alcançar toda a zona a ser cultivada. Neste sentido, é fulcral que as tubagens apresentem características homologadas, bem como, as peças de ligação.

As tipologias de ligações podem ser indicadas como (Cudell, 2000):

- **Aperto interior** – ligação efetuada no interior do tubo por aperto dos dentes exteriores do acessório às paredes interiores do tubo;
- **Aperto exterior** – ligação efetuada no exterior do tubo por aperto dos dentes interiores do acessório às paredes exteriores do tubo.
- **Electrossoldável** – ligação efetuada por fusão provocada pela incandescência de uma resistência elétrica incorporada ao acessório.

A quantificação dos acessórios de ligação deve ser a menor possível, pois estas peças corroboram significativamente para o aumento da perda de carga do sistema, de forma a aumentar também a capacidade da eletrobomba. Neste contexto, é necessário estabelecer o traçado mais retilíneo e simples quanto o possível.



Figura 50 - Exemplos de acessórios de ligação (Fonte: lisbombas.pt).

A metodologia mais utilizada é de aperto exterior, pois apresenta perdas de cargas mais baixas; ligação simples, seguras e rápidas. Normalmente os coeficientes de rugosidade da tubagem, bem como, as perdas de carga localizadas constam nos

catálogos das empresas fabricantes, o que tende a permitir uma melhor precisão no dimensionamento.

4.4.2. Eletrobombas

O sistema de bombagem é o responsável pela transmissão de energia ao fluido, de forma a aumentar a pressão e movimentar o escoamento até aos emissores, superando as diferenças de cota e as perdas de carga totais (Rêgo, 2018).

A bombagem será efetuada através da determinação da pressão e caudal necessário para satisfazer a necessidade de rega do sistema proposto, através da verificação dos catálogos fornecidos pelos fabricantes. Estes catálogos apresentam a curva de desenvolvimento das eletrobombas e devem ser escolhidas conforme melhor de se adequem ao projeto.



Figura 51 - Eletrobomba *Pentax CM* (Fonte: *Pentax*)

Outro fator que deve ser considerado é a pressão mínima para que não ocorra o fenômeno da cavitação, o que pode danificar severamente as hélices e componentes internos da eletrobomba. A cavitação pode ser descrita como um processo onde há a formação de bolhas de ar durante a sucção, e ao colidirem com as hélices ou componentes externos geram um impacto considerável que tende a degradar a eletrobomba com o tempo.



Figura 52 - Danos por cavitação (Fonte: *omel.com.br*).

4.4.3. Válvulas

As válvulas são acessórios responsáveis pela regulação do escoamento no sistema hidráulico, as quais permitem o melhor controlo de caudais e pressões, ou até mesmo a obstrução de determinado troço do sistema (Rêgo, 2018). Esta obstrução pode ser por motivo de manutenção ou até mesmo para redirecionar o escoamento para outras condutas. Outros exemplos de válvulas fulcrais são as válvulas de corte e antirretorno, as quais impedem que o fluído escoe em direção oposta à desejada.

Ressalva-se que as válvulas devem ser instaladas em locais de fácil acesso, uma vez que isto permite a melhor conservação destes acessórios e proporciona uma acessibilidade maior em caso de necessidade de manutenção.



Figura 53 - Válvula Solenoide *Hunter ICV* (Fonte: *Hunter Industries*).

Testezlaf & Matsura (2015) alertam que o dimensionamento do sistema de rega deve ser criteriosamente elaborado de forma a reduzir a quantidade de válvulas presentes no sistema, pois apresentam grandes custos de aquisição e elevadas perdas de carga localizadas.

Assim como as tubagens e acessórios, existem diversos tipos de válvulas com variadas funcionalidades, sendo dividido em cinco categorias:

- **Válvulas direcionais:** são acessórios que interferem na trajetória do fluído, tendo, portanto, a função de orientar a direção em que o fluído deve seguir até ao destino esperado (emissores).



Figura 54 - Válvula direcional (Fonte: *hidropress.com.br*).

- **Válvulas de bloqueio:** são acessórios que interrompem o escoamento de um fluido em um dos lados, porém permite a passagem por outra direção.



Figura 55 - Válvula de bloqueio tipo globo (Fonte: vaportec.com.br).

- **Válvulas de pressão:** são acessórios reguladores de pressão, responsáveis por evitar a variação de pressão no sistema hidráulico, permitindo assim o monitoramento.



Figura 56 - Válvula de pressão (Fonte: pt.aliexpress.com).

- **Válvulas de fluxo (caudal):** são acessórios que permitem o controlo em alta precisão do escoamento, podendo ser unidirecionais (permitem o fechamento

do fluxo em um único sentido) ou bidirecionais (permitem o fechamento do fluxo em dois sentidos).



Figura 57 - Válvula de fluxo *Hunter PGV* (Fonte: *Hunter Industries*).

- **Válvulas de fechamento:** acessório que possui como única e exclusiva função permitir ou não a passagem do fluído pelo sistema.



Figura 58 - Válvula de fechamento rápido (Fonte: *casafaria.com*).

4.4.4. Programadores

Segundo Rêgo (2018), os programadores são equipamentos que possibilitam a automação do sistema de rega, onde através da vinculação com os sensores e às válvulas existentes no sistema podem ou não ativar a deposição de água na

localidade. O programador será determinado de acordo com as funcionalidades necessárias no sistema de rega proposto.

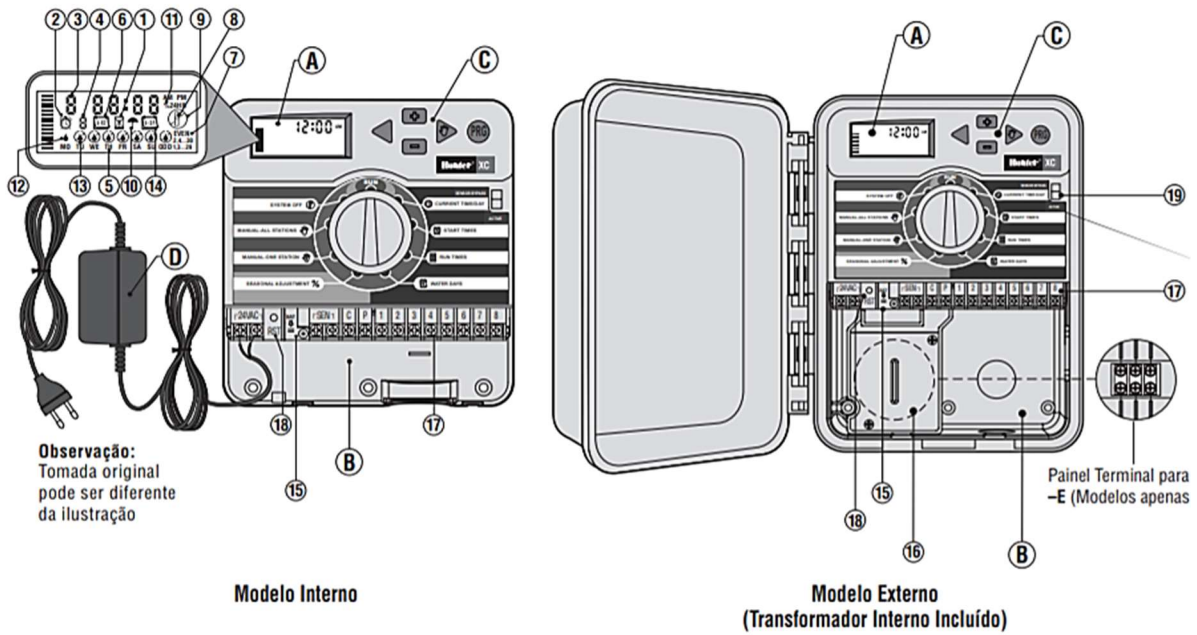


Figura 59 - Programador XC (Fonte: Hunter Industries).

4.4.5. Sensores

Os sensores operam em conjunto com os programadores, recolhendo as informações presentes na área de rega e enviando para o programador. Com as informações verificadas o programador ativará ou não o sistema de rega presente.



Figura 60 - Sensor de chuva Hunter Mini-Clik (Fonte: Hunter Industries).

A utilização dos sensores meteorológicos pode reduzir significativamente o consumo de água em determinado período do ano, uma vez que informa ao programador sobre a ocorrência de precipitações e a não necessidade de utilização do sistema de rega. Neste sentido, a utilização de sensores principalmente para grandes áreas de cultivo podem reduzir o custo de operação de forma considerável, uma vez que o volume total de água utilizado está diretamente relacionado com as dimensões da área em cultivo.

4.5. Dimensionamento dos tubos

4.5.1. Caudal de dimensionamento

Conforme supracitado no subcapítulo 4.2, a necessidade hídrica da planta está diretamente atrelada ao valor de evapotranspiração e do fator cultural agrícola. Através da determinação destes parâmetros, bem como a verificação das dimensões de compasso da plantação, sendo este determinado pelo projetista ou por exigência do cliente, calcular-se-á (Quinas, 2017):

$$V_p = ET_c \times L_a \times L_b \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

V_p = volume diário efetivo por planta (L);

K_c = fator cultural (adimensional);

L_a = dimensão “a” do compasso da plantação (m);

L_b = dimensão “b” do compasso da plantação (m).

Após o cálculo do caudal efetivo por planta, é necessário determinar a quantidade de emissores por planta, conforme o compasso da plantação e o espaçamento adotado dos emissores.

$$N_e = \frac{L_a \times L_b}{m \times s'} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

N_e = quantidade de emissores por planta (adimensional);

L_a = dimensão “a” do compasso da plantação (m);

L_b = dimensão “b” do compasso da plantação (m);

m = espaçamento entrelinhas equivalente à cultura (m);

s' = espaçamento entre os emissores (m).

Concluída a quantificação dos emissores por planta, procede-se o cálculo do tempo de rega necessário para que todo o volume diário de água previamente determinado seja depositado na planta.

$$T = \frac{V_p}{N_e \times Q_e} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

T = tempo de rega por sector (h);

Vp = volume diário efetivo por planta (L);

Ne = quantidade de emissores por planta (adimensional);

Qe = caudal específico do emissor (L/h).

Com todos os parâmetros anteriores calculados, procede-se a determinação do caudal médio diário por sector.

$$Q_p = (A_t \times Q_e) / (m \times s') \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

Qp = caudal médio diário por sector (m³/h);

At = área total do sector (m²);

Qe = caudal específico do emissor (m³/h);

m = espaçamento entrelinhas equivalente à cultura (m);

s' = espaçamento entre os emissores (m).

Por fim, pode-se calcular o volume diário total do sector:

$$V_t = Q_p \times T \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

Vt = volume total diário (m³);

Qp = caudal médio diário por sector (m³/h);

T = tempo de rega por sector (h).

4.5.2. Diâmetro dos tubos

Para o dimensionamento das tubagens será utilizado a Equação da Continuidade. Esta equação elaborada através dos princípios hidrodinâmicos de conservação de massa sugere que a velocidade de escoamento é inversamente proporcional à seção de escoamento. Neste sentido, recomenda-se que a velocidade de escoamento não seja superior a 1,5 m/s, uma vez que pretende-se reduzir o efeito de golpe de aríete nos acessórios de ligação e a perda de carga contínua.

$$Q_p = V \times A_i \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

Qp = caudal (m³/s);

Ai = seção interna do tubo (m²);

V = velocidade média da água (m/s).

$$A_i = \pi \times \frac{d_i^2}{4} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

di = diâmetro interno do tubo (m);

Ai = secção interna do tubo (m²).

Atrelando a Equação 6 com a Equação 7, obtemos:

$$d_i = \left(\frac{4 \times Q_p}{\pi \times V} \right)^{0,5} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

d_i = diâmetro interno do tubo (m);

Q_p = caudal (m^3/s);

V = velocidade de escoamento (m/s).

4.5.3. Perda de carga contínua

Como supracitado, a água ao fluir ao longo do tubo sofre perdas de carga contínuas, devido ao atrito do fluido com a rugosidade da tubulação. Fox (2010) corrobora ao afirmar que as perdas de carga contínuas ocorrem em trechos retilíneos, apresentando redução gradual da pressão imposta pelas paredes do tubo ao longo de seu comprimento, sem alteração da área interna e da geometria.

O cálculo da perda de carga contínua é comumente estabelecido pela determinação da perda de carga unitária (S), a qual corresponde a perda de carga por metro linear. Desta forma, ao multiplicar este valor unitário pelo comprimento total da tubagem podemos determinar a perda de carga contínua.

$$h = S \times L \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

h = perda de carga contínua (mca);

S = perda de carga unitária (mca/m);

L = comprimento do tubo (m).

Portanto, a perda de carga contínua total (DH) é o somatório das perdas de cargas contínuas de todas as condutas.

$$DH = \sum_{i=1}^n h_n \quad (\text{Eq. 15})$$

4.5.4. Perda de carga unitária

A perda de carga unitária (S), pode ser determinada por diferentes fórmulas como: *Hazen-Williams*, *Fair-Whipple-Hsiao* e *Colebrook-White*, porém, o mais comum é estabelecer S por meio de tabelas e ábacos fornecidos pelos fabricantes de tubos.

As perdas de carga por acessórios de ligação são perdas de carga localizadas (h_s). O cálculo das perdas de carga localizadas pode ser feito através de diversas metodologias como:

- **Método Borda-Belanger:** determina o coeficiente de perda de carga localizada (k_f) em função do número de Reynolds e da geometria da peça em análise. Os valores são obtidos de forma experimental e publicados em catálogo de fabricantes ou manuais de hidráulica;

$$h_s = h_f \times V^2 / (2 \times g) \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

h_s = perda de carga localizada (mca);

h_f = coeficiente de perda de carga localizada (adimensional);

V = velocidade de escoamento (m/s);

g = aceleração gravitacional (m/s²).

- **Método do Comprimento Equivalente:** determina a equivalência de uma peça especial com a teórica perda de carga de um tubo linear. Esta metodologia indica que o acessório possui uma perda de carga equivalente a determinado comprimento de tubulação retilínea. Desta forma, efetua-se o somatório dos comprimentos equivalentes dos acessórios com o comprimento retilíneo de facto, e ao multiplicar pela perda de carga unitária como sugere a Equação 9, obtém-se a perda de carga total do troço. Os valores também são obtidos em catálogos de fabricantes, geralmente divididos em dimensão da secção transversal e tipo de acessório.

4.5.5. Perda de carga total

Devido à grande quantidade de acessórios que existem num sistema de rega, torna-se demasiado extenso a análise e cálculo de todos os componentes. Neste sentido, é comum adotar um acréscimo de 20% no valor de DH, correspondente à contabilização da perda de carga localizada (Cudell, 2000). Portanto, a perda de carga total (DHT) é a soma da perda de carga contínua total com as perdas de carga localizadas totais.

Para os condutos laterais, pode-se determinar a perda de carga total através do cálculo de apenas uma conduta lateral e aplicar-se-á o Coeficiente de *Christiansen* (F), o qual encontra-se tabelado de acordo com a quantidade de tubos laterais com o mesmo caudal de emissão. Ressalva-se que é fulcral a verificação da Regra de *Christiansen*, a qual estabelece uma variação máxima de 20% de perda de carga da conduta em relação ao emissor, e variação máxima de 10% da média de caudal.

$$h_f = F \times h_s \times L \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

h_f = perda de carga total das condutas laterais semelhantes (mca);

F = coeficiente de *Christiansen* (adimensional);

h_s = perda de carga unitária (mca/m);

L = comprimento da conduta (m).

4.5.6. Reservatório

O dimensionamento de um reservatório é necessário por dois motivos principais: contribuir com a pressão necessária para o correto funcionamento do emissor e a reserva para possíveis problemas com o sistema de bombagem. Neste sentido, ressalva-se que complementação de pressão exercida pelo reservatório permite a utilização de eletrobombas com menor potência, e conseqüentemente com menor consumo de energia elétrica.

Para a determinação complementar do reservatório utiliza-se o conceito de pressão absoluta, onde a pressão total exercida pelo reservatório é a soma da pressão atmosférica com a pressão hidrostática:

$$P_{abs} = P_{atm} + \rho \times g \times h \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde:

P_{abs} = pressão absoluta complementar do reservatório (Pa);

P_{atm} = pressão atmosférica (Pa);

ρ = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração gravítica (m/s^2);

h = carga hidráulica / altura da água no reservatório (m).

4.5.7. Consumo de energia elétrica

Uma das formas de aferir a melhoria do sistema de rega proposto em relação ao atual, é a análise da redução de consumo de energia elétrica proporcionada pela otimização do sistema. O cálculo do consumo de energia elétrica mensal pode ser efetuado por:

$$CE = C_b \times T \times T_m \times C_{ue} \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde:

CE = custo mensal de energia elétrica para eletrobomba (€/mês);

C_b = consumo elétrico da eletrobomba (KW);

T = tempo de rega diário (h);

T_m = quantidade de dias por mês de utilização da bombagem (dias);

C_{ue} = custo unitário por KWh (€/KWh).

4.6. Levantamento do sistema de rega existente

A verificação do sistema de rega implementado foi feita *in situ*, através do levantamento fotográfico das tubagens PEAD e acessórios empregues. *A priori*, nota-se problemas significativos referentes ao aproveitamento hidráulico de forma económica e sustentável.



Figura 61 - Tubagem de deposição da água (Fonte: Autor, 2019).

Conforme apresentado na Figura 61, a tubagem apresenta extensão e curvas excessivas, as quais aumentam a perda de carga total e consequentemente exigem uma maior potência das eletrobombas.

Outro fator de elevada importância é a não utilização de um emissor para controle do caudal. A ausência deste acessório permite a deposição de um caudal desregulado, o qual tende a saturar a zona superior do solo e provoca o escoamento superficial. Por fim, o escoamento superficial ocasiona o desperdício de água e a má irrigação da planta.



Figura 62 - Problemas de otimização do sistema de rega (Fonte: Autor, 2019).

Ressalva-se também o facto da tubulação estar enterrada com diversas rochas de diâmetros significativos sobre a mesma. Além do peso excessivo que ocasionará o esmagamento da tubagem e a conseqüente redução da seção de escoamento, o mau posicionamento das tubagens está a elevar a cota de deposição de água, de forma a aumentar a necessidade de eletrobombas mais potentes.



Figura 63 - Reservatório utilizado (Fonte: Autor, 2019).

Foi implementado um reservatório com 1 m de profundidade útil, 1,2 m de comprimento e 0,55 m de largura. Este reservatório permite a utilização da energia potencial como forma de gerar pressão gravitacional e hidrostática para o sistema.

A quantificação dos acessórios de ligação, bem como o comprimento total das tubagens não foi possível de ser realizada, uma vez que como supracitado, os tubos encontram-se maioritariamente enterrados ao longo do terreno. Porém, a capacidade máxima do sistema depende primordialmente do sistema de bombagem e necessidade hídrica das plantas a cultivar.

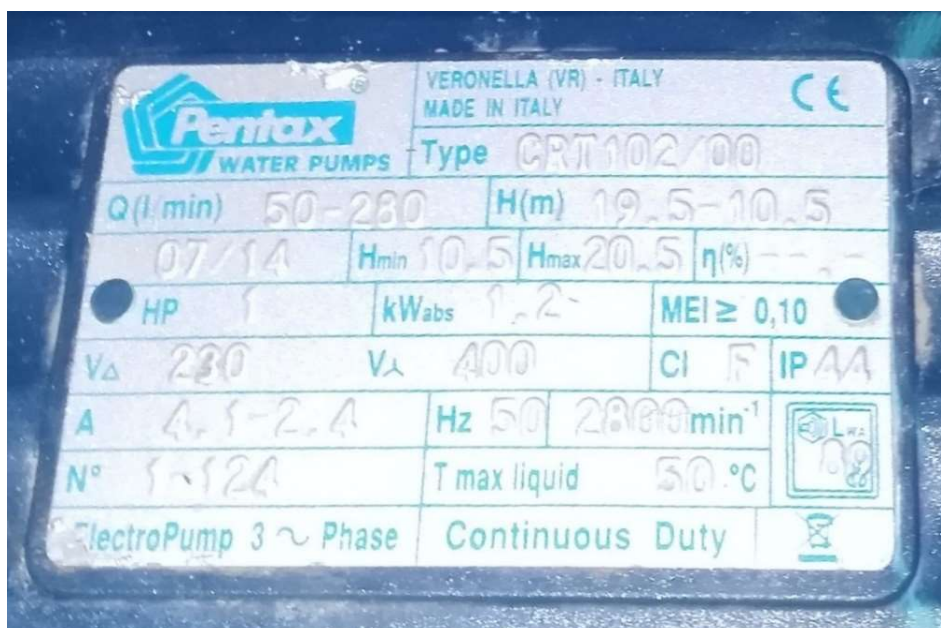


Figura 64 - Eletrobomba utilizada (Fonte: Autor, 2019).

A eletrobomba utilizada é uma *Pentax CRT 102*, a qual possui um consumo absoluto de 1,2 KW, trabalha com alturas manométricas entre 10,5 e 19,5 m e caudais entre 50 e 280 L/min. Após a verificação do catálogo da empresa, pode-se retirar a curva de referência desta eletrobomba.

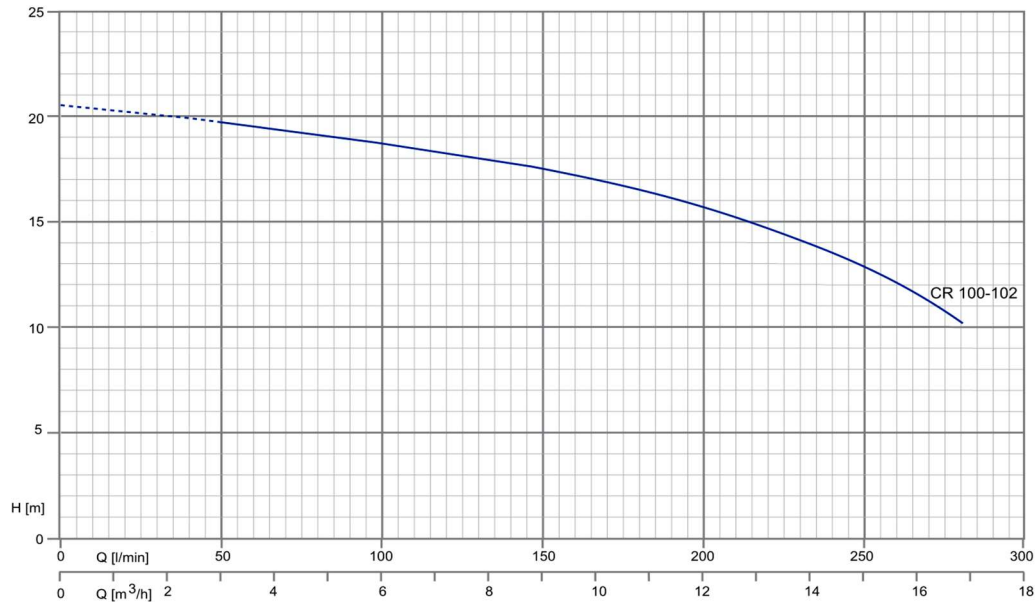


Figura 65 - Curva de referência da *Pentax CRT 102* (Fonte: *Pentax, s.d.*).

Através da curva de referência da bomba utilizada, proceder-se-á o comparativo entre a pressão necessária e a pressão disponibilizada, de forma a verificar a folga presente no sistema e uma possível substituição do conjunto de bombagem.

O sistema conta com um programador *Rainbird ESP-RZX* para a automação e controlo do tempo de rega de cada cultura. Porém, o sistema de automação existente não possui um sensor meteorológico, isso faz com que o sistema tenha perdas significativas de água durante as precipitações, além de corroborar para saturação do solo e sua consequente lixiviação. Portanto, supõe-se que no melhor dos cenários não existem perdas de água pois o sistema é desligado manualmente.



Figura 66 - Programador utilizado *Rainbird ESP-RZX* (Fonte: *Rain Bird, s.d.*).

Referente às válvulas, o sistema de rega existente possui diversas válvulas como válvula antirretorno, válvula de monitoramento de pressão, válvula de medição de caudal entre outras. Nota-se que o circuito pelo qual a água fará o percurso é demasiado complexo, o que pode aumentar a perda de carga total de forma significativa.



Figura 67 - Conjunto de válvulas, medidores e controladores (Fonte: Autor, 2019).

4.7. Sistema de rega proposto

Conforme analisado no subcapítulo 4.6, o sistema de rega existente apresenta um design muito desfavorável à otimização hidráulica pretendida, apresentando curvas em excesso, elevações desnecessárias, rochas pesadas sobre as tubagens e inexistência de emissores. Portanto, *a priori* é fulcral o desenvolvimento de outro design que permita a otimização hidráulica, com a remoção das curvas, cotas contantes ou inferiores, reservatório com maior carga hidráulica e verificação da possibilidade de substituição do sistema de bombagem por uma de menor consumo.

O sistema de rega adotado foi o gota a gota, apresentando uma eficiência de 90% e é recomendada para cultivo de plantas de pequenas e médias dimensões, como

Protea, Physalis e o Tomateiro. Neste sentido, elaborou-se um traçado simplificado e que permita a otimização do sistema existente, apresentado na figura abaixo.

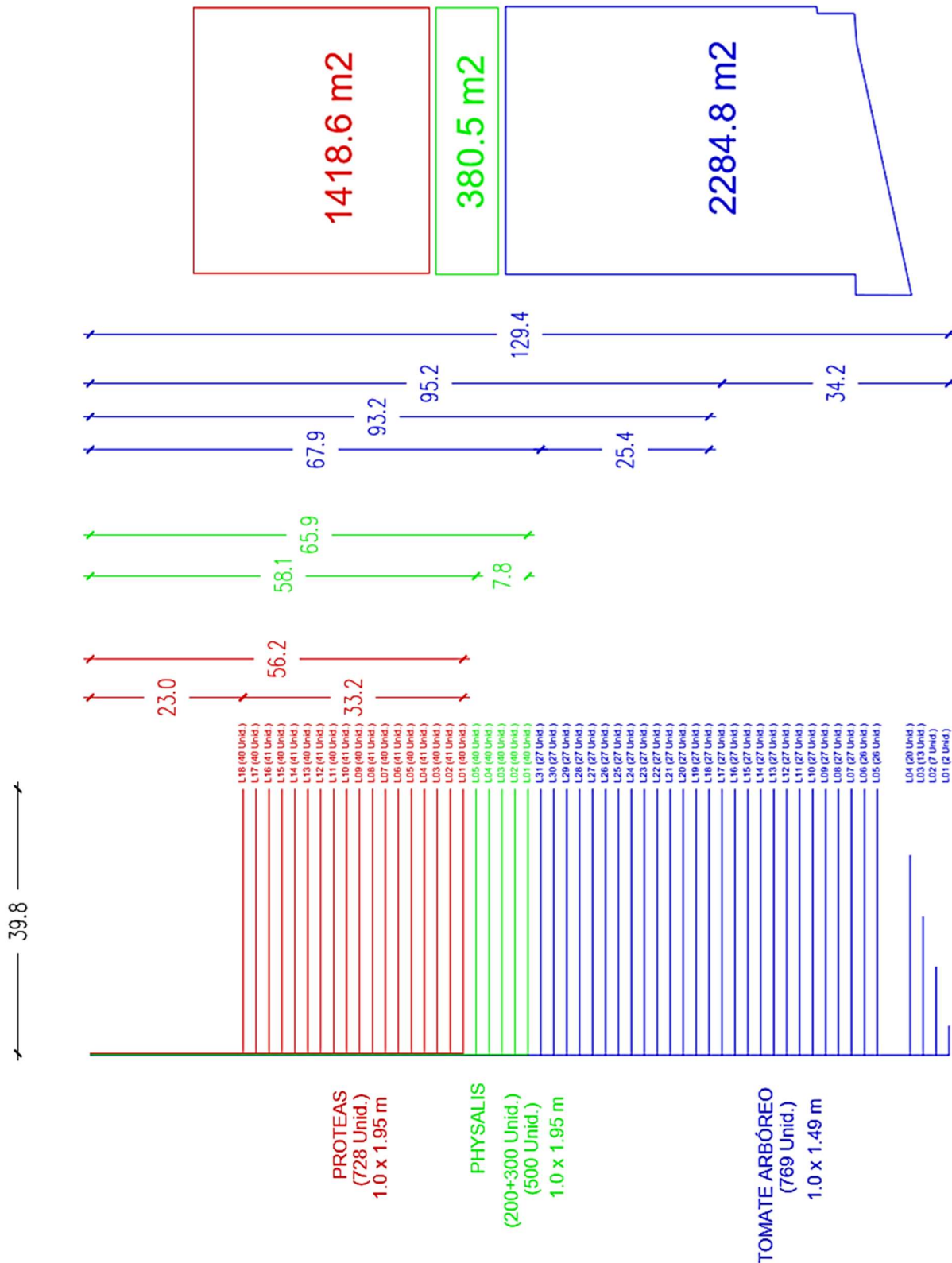


Figura 68 - Sistema de rega proposto (Fonte: Autor, 2019).

Com a esquematização otimizada das tubagens, pode-se proceder o dimensionamento conforme pormenorizado nos subcapítulos 4.2 e 4.5. Desta forma, seguindo a linha de raciocínio apresentada nos capítulos supracitados, primeiramente procedeu-se a verificação da necessidade hídrica das culturas presentes.

Conforme apresentado na Equação 5, a necessidade hídrica das plantas depende de dois fatores essenciais: a evapotranspiração potencial e o coeficiente cultural. Ao analisar a Figura 42, nota-se que cerca de 70% do território português apresentou uma evapotranspiração potencial entre 6 e 8 mm/dia. Uma vez que a plataforma fornecida pelo IPMA não apresenta dados referentes à Madeira, optou-se por utilizar o valor correspondente a 8 mm/dia de evapotranspiração potencial.

Segundo Santana *et al.* (2011), o valor máximo encontrado para o coeficiente cultural do tomate foi de 1,10. Porém, conforme apresentado na Tabela 12, Allen *et al.* (1998) apresenta um valor de 1,15 para o mesmo componente. Como diferentes metodologias apresentaram valores próximos, porém variados, optou-se pela utilização da média destes valores, correspondente à 1,125. Para as *Physalis*, não foi encontrado valores consistentes de Kc, porém, como trata-se de um arbusto com características semelhantes e ser por um frutífero como o tomateiro conforme explicitado no subcapítulo 4.1.2, optou-se por adotar o mesmo valor de 1,125. Ressalva-se a determinação do mesmo Kc para a *Physalis* não resultará em perdas significativas, uma vez que a área de cultivo desta planta é muito reduzida em relação ao tomate.

Por fim, Van Zyl *et al.* (2000) apresenta valores de Kc entre 0,19 e 0,79 para a *Protea Cardinal*, *Leucospermum Succession II* e *Leucadendron Inca Gold*. Neste sentido, como o sistema é dimensionado para suportar o período de maior necessidade, adotou-se o Kc de 0,79.

Com base na Equação 5, pode-se determinar as seguintes necessidades hídricas por espécie, ver Tabela 21.

Tabela 21 - Necessidade hídrica diária por espécie (Fonte: Autor, 2019).

Necessidade Hídrica Diária			
Cultivo	Etp (mm/dia)	Kc	Etc (mm/dia)
<i>Proteas</i>	8	0,790	6,320
<i>Physalis</i>	8	1,125	9,000
Tomate	8	1,125	9,000

Com a Equação 6, pode-se calcular o valor do volume diário por planta necessário para o cultivo. Para tal, fora necessário *a priori* determinar as dimensões do compasso das plantas, onde optou-se por manter o compasso atual. Esta escolha foi efetuada pois seria demasiado oneroso e moroso a realocação de todas as plantas existentes no cultivo. Por fim, pode-se estabelecer os seguintes volumes diários, ver Tabela 22.

Tabela 22 - Volume diário por planta (Fonte: Autor, 2019).

Cultivo	Compasso		Volume
	La (m)	Lb (m)	Vp (L/dia)
<i>Proteas</i>	1,950	1,000	12,324
<i>Physalis</i>	1,950	1,000	17,550
Tomate	1,950	1,500	26,325

Estabelecido o volume diário por planta, pode-se proceder o cálculo do tempo de rega necessário para aferir o volume esperado na planta. Para tal, fora necessário a pré determinação do caudal do sistema gota a gota, onde adotou-se o emissor da *Magos Irrigation Systems* que fornece um caudal de 2,2 L/h. A quantificação de emissores por planta foi aferida ao estipular um afastamento de 0,5 m entre os emissores e espaçamento entrelinhas (La) de 1,95 m, utilizando a Equação 7. Com estes parâmetros estabelecidos, determinou-se o tempo de rega por sector, conforme a Equação 8, ver Tabela 23.

Tabela 23 - Quantidade de emissores e tempo de rega por sector (Fonte: Autor, 2019).

Cultivo	Emissores			Tempo de Rega
	s' (m)	Qnt./Planta	Qe (L/h)	(h)/sector
<i>Proteas</i>	0,500	2,000	2,200	2,801
<i>Physalis</i>	0,500	2,000	2,200	3,989
Tomate	0,500	3,000	2,200	3,989

Nota-se que a opção pelo sistema gota a gota teve como base a recomendação de diversos autores presentes no subcapítulo 4.1 como o sistema mais eficiente para este tipo de cultivo.

Com os valores do tempo de rega necessários para deposição do volume de água nas plantas verificado, e com a análise das áreas de cultivo apresentadas na Figura 38, efetuou-se o cálculo dos caudais totais por sector pela Equação 9, bem como o volume diário total de irrigação pela Equação 10, apresentando os seguintes valores, ver Tabela 24.

Tabela 24 - Caudal e volume total por sector (Fonte: Autor, 2019).

Cultivo	Área	Caudal	Volume
	m ²	m ³ /h	Vt (m ³ /dia)
<i>Proteas</i>	1428,600	3,224	9,029
<i>Physalis</i>	385,000	0,869	3,465
Tomate	2284,800	5,155	20,563

Ressalva-se que pelo facto, do caudal destinado ao tomate possuir uma diferença escalar significativa com os demais cultivos, optou-se pela divisão da área de cultivo do tomate em duas secções de dimensões iguais. Esta opção fora adotada para que os caudais tenham uma maior proximidade, permitindo a padronização dos diâmetros dos tubos, e desta forma, excluindo a necessidade de implementação de acessórios de redução de secção no sistema de rega. Por fim, permite-se também o melhor controlo da velocidade de escoamento, com um valor máximo de 1,5 m³/s (mitigar os

efeitos do golpe de aríete), e mínimo de 0,5 m³/s (evitar a deposição de resíduos na tubagem).

Para o dimensionamento das tubagens fora utilizado a Equação 11 de forma iterativa, onde foram atribuídos diâmetros internos de tubos comerciais PEAD até que atingissem velocidades de escoamento dentro do intervalo supracitado. Nota-se que o dimensionamento foi dividido entre ramais laterais, condutas principais intermediárias e conduta principal.

Os ramais laterais foram dimensionados pela metodologia pormenorizada no subcapítulo 4.4, apresentando os seguintes valores, ver Tabela 25.

Tabela 25 - Dimensionamento dos ramais laterais (Fonte: Autor, 2019).

Secção	Comp. (m)	Qp (m ³ /h)	de (mm)	di (mm)	v (m/s)
1	33,200	3,224	32,000	28,000	1,454
2	7,800	0,869	20,000	16,600	1,115
3	25,400	2,577	32,000	28,000	1,162
4	34,200	2,577	32,000	28,000	1,162

Conforme citado no subcapítulo 4.4.5, os ramais laterais devem ter a perda de carga total do ramal valores inferiores a 20% da pressão exigida pelo emissor, confirmando a Regra de *Christiansen*. O emissor escolhido requer uma pressão de 10 mca. Outro fator fulcral é a correção da perda de carga pelo coeficiente (F) apresentado por Christiansen, o qual varia de acordo com a quantidade de ramais laterais existentes, como sugere a tabela seguinte.

Tabela 26 - Coeficiente (F) de *Christiansen* (Fonte: Autor, 2019 adaptado *Christiansen*, 1942).

F (<i>Christiansen</i>)			
nº de ramais	m=1,85	nº de ramais	m=1,85
1	1	16	0,382
2	0,639	17	0,38
3	0,535	18	0,379
4	0,486	19	0,377
5	0,457	20	0,376
6	0,435	22	0,374
7	0,425	24	0,372
8	0,415	26	0,37
9	0,409	28	0,369
10	0,402	30	0,368
11	0,397	35	0,365
12	0,394	40	0,364
13	0,391	50	0,361
14	0,387	100	0,356
15	0,384	inf	0,351

Após verificado o coeficiente (F) para cada área de acordo com a quantificação de ramais, procedeu-se a verificação da Regra de *Christiansen*, ver Tabela 27.

Tabela 27 - Verificação da Regra de Christiansen para os ramais laterais (Fonte: Autor, 2019).

Secção	Comp. (m)	Ramais	F	s (m/m)	DH (mca)	DH+10%	Pe (mca)	Preg (mca)	ΔP %
1	33,200	18,000	0,379	0,084	1,061	1,168	10,000	11,168	11,676
2	7,800	5,000	0,457	0,095	0,339	0,373	10,000	10,373	3,732
3	25,400	14,000	0,387	0,056	0,548	0,603	10,000	10,603	6,027
4	34,200	17,000	0,380	0,056	0,724	0,797	10,000	10,797	7,968

A perda de carga unitária fora calculada pela metodologia de *Hazen-Williams*, com um coeficiente de rugosidade de 150. Nota-se que se adotou a majoração de 10% da perda de carga contínua, como forma de atribuir as perdas de carga localizadas por acessórios de ligação. Por fim, ressalva-se que todas as variações de pressão estão abaixo de 20%, satisfazendo a Regra de *Christiansen*.

As condutas principais intermediárias foram calculadas da mesma forma, exceto pela utilização do coeficiente (F) e da verificação da variação de pressão. Porém, neste caso evidencia-se a utilização de válvulas que apresentam significativas perdas de carga no sistema, além de serem acumuladas às perdas de carga pelos ramais nelas vinculadas. Este processo acumulativo servirá para quantificação da perda de carga total que influenciará na escolha da eletrobomba. Portanto, as perdas de carga acumuladas são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Dimensionamento das condutas principais intermediárias (Fonte: Autor, 2019)

Secção	Comp. (m)	Qp (m³/h)	de (mm)	di (mm)	v (m/s)	s (m/m)	DH (mca)	he-valv (mca)	Preg (mca)
1	23,000	3,224	32,000	28,000	1,454	0,084	1,940	3,000	16,108
2	58,100	0,869	20,000	16,600	1,115	0,095	5,529	3,000	18,902
3	67,900	2,577	32,000	28,000	1,162	0,056	3,784	3,000	17,387
4	95,200	2,577	32,000	28,000	1,162	0,056	5,306	3,000	19,103

Nota-se, portanto, que as velocidades se encontram dentro do limite esperado, bem como apresentou perdas de cargas acumuladas significativas para o sistema.

Por fim, dimensionou-se a conduta principal, a qual conecta a eletrobomba às condutas principais intermediárias. Neste caso, o processo continua a ser acumulativo, porém, será acumulado a apenas o maior valor de perda de carga nas condutas intermediárias. Isto acontece, pois, as perdas de carga em cada uma das zonas são independentes, sendo necessário apenas a verificação da pior situação a ser encontrada. Desta forma, procedeu-se os cálculos da mesma forma anterior, porém com a substituição da perda de carga das válvulas pela perda de carga da eletrobomba, apresentando os seguintes valores, ver Tabela 29.

Tabela 29 - Dimensionamento da conduta principal (Fonte: Autor, 2019).

Secção	Comp. (m)	Qp (m³/h)	de (mm)	di (mm)	v (m/s)	s (m/m)	DH (mca)	he-bomb (mca)	SHD (mca)	P-rsv (mca)	Pbomb (mca)
1	2,000	9,247	50,000	44,000	1,689	0,066	0,131	1,000	20,234	11,600	9,497

Ressalva-se que a Tabela 29 apresenta o valor de pressão fornecido pelo reservatório proposto, o qual possui 1,2 x 0,55 x 1,5 m. Com a utilização da Equação 13, obteve-se o valor presente de 11,6 mca. Este valor foi debitado da pressão manométrica necessária na bomba, uma vez que esta pressão complementar é de caráter gravítico.

Por fim, como opção de projeto, empregou-se uma majoração de mais 10% do valor de SHD para a pressão necessária da eletrobomba, de forma a garantir que os acessórios e válvulas estarão contabilizados na perda de carga global. Portanto a eletrobomba precisará escoar um caudal de 9,247 m³/h com pressão manométrica mínima de 9,497 mca.

4.8. Comparativo entre o sistema atual e o proposto

Com a impossibilidade de verificar a perda de carga total do sistema atual, não é possível efetuar o comparativo da eficiência do sistema. Porém, com a verificação da eletrobomba instalada é possível analisar o ganho em desempenho com o novo *design*. Portanto, verificou-se duas hipóteses: eficiência da eletrobomba atual com o novo modelo e a eficiência do modelo proposto com uma eletrobomba de menor consumo energético.

Ao recorrer o catálogo da *Pentax*, conforme a Figura 65, elaborou-se a interceção dos gráficos com os dados obtidos em cálculo, ver Figura 69.

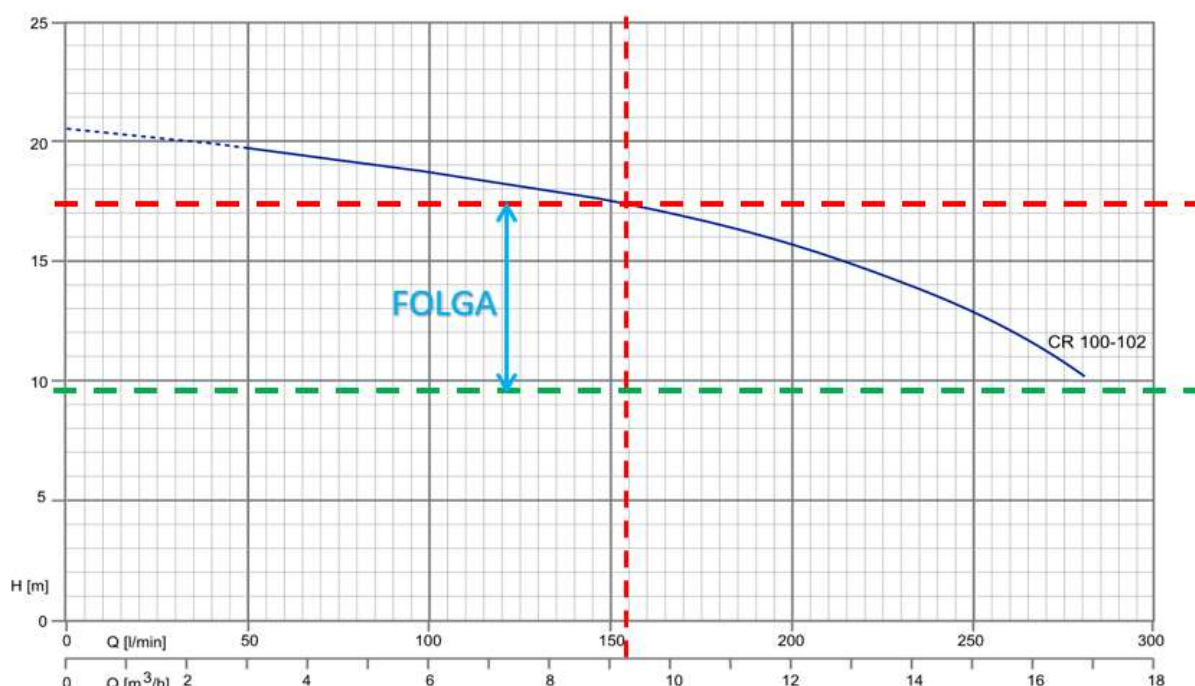


Figura 69 - Eficiência apresentada pela hipótese 1 (Fonte: Autor, 2019).

A Figura 69 apresenta a folga existente no sistema da hipótese 1, onde a capacidade da eletrobomba *Pentax CRT 102*, para o caudal de 9,247 m³/h, é de 17,4 mca. Como a altura manométrica do sistema é de 9,497 mca, a hipótese apresenta uma eficiência

de apenas 54,58%. Ressalva-se que a eletrobomba utilizada possui um consumo elétrico de 1,2 KW.

Para a hipótese 2, fora escolhida uma eletrobomba da mesma fornecedora *Pentax*, porém o modelo CR 75. Neste sentido, procedeu-se a mesma metodologia comparativa da hipótese 1, obtendo o gráfico a seguir (ver Figura 70).

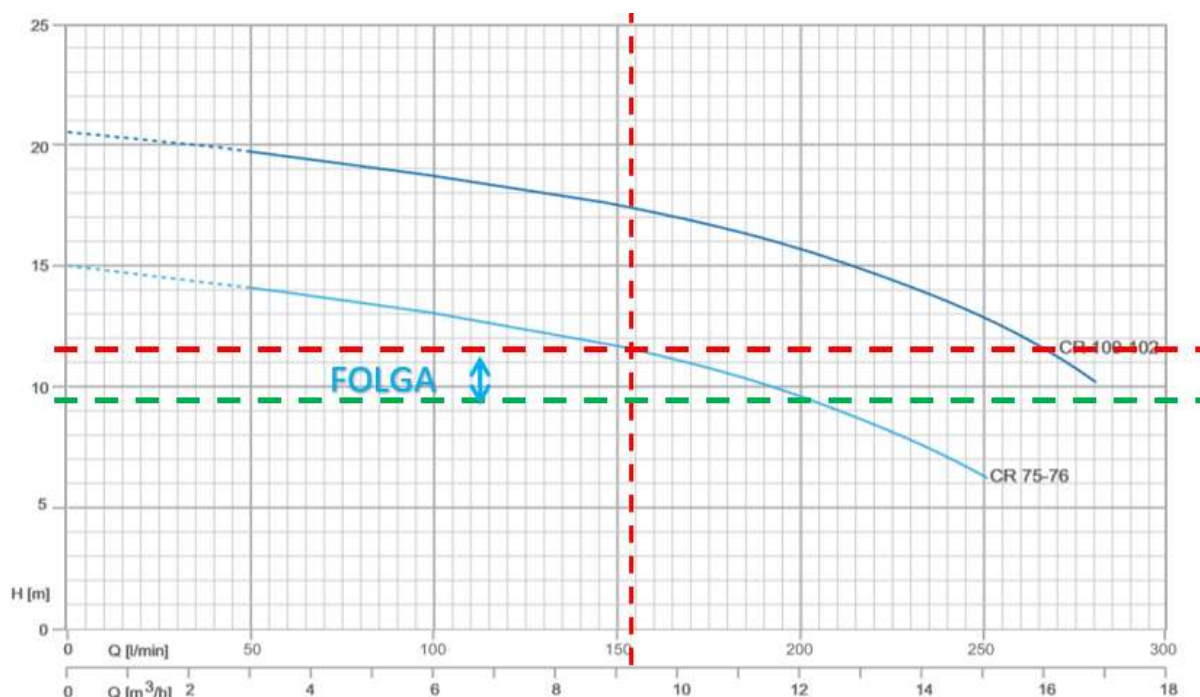


Figura 70 - Eficiência apresentada pela hipótese 2 (Fonte: Autor, 2019).

É perceptível graficamente que a folga reduziu de forma drástica, apresentando um notório ganho de eficiência no sistema proposto. Para o caudal de 9,247 m³/h a eletrobomba possui capacidade manométrica de aproximadamente 11,5 mca, com a mesma necessidade de 9,479 mca. Portanto, a hipótese 2 apresentou uma eficiência de utilização da eletrobomba de 82,42%, sendo assim, 27,84% mais eficiente em relação a hipótese 1. É necessário também ressaltar que a CR 75 possui um consumo energético de 0,73 KW.

Conforme sugere a Equação 19, a única variável referente à eletrobomba é o consumo elétrico em KW. Neste sentido, o consumo pela troca da eletrobomba reduzirá de 1,2 KW para 0,73 KW, apresentando uma redução significativa de 39,16% de custo de energia elétrica. Neste sentido, “a água como insumo da agricultura irrigada contribui com um elevado custo de produção, principalmente devido ao dispêndio com bombeamento, podendo esse valor atingir mais de 30% do custo total (Resende *et al.*, 1990)”.

A agricultura irrigada não pode permitir déficit produtivo por falta ou excesso de deposição de água. Para a deficiência de deposição de água “pode ser um desperdício óbvio, tendo em vista que a produção não poderia obter o benefício esperado (Albuquerque, 2010)”. Porém, ainda de acordo com Albuquerque (2010), a deposição

excessiva de água é muito mais grave, uma vez que ocorre a saturação do solo impedindo a aeração, ocasionando a lixiviação dos nutrientes, permitindo maior evaporação e salinização, e por fim, eleva o lençol freático para uma cota que só pode ser solucionado com altos custos na drenagem. Neste sentido, o sistema proposto conta com um emissor gota a gota de 2,2 L/h, o qual permite uma melhor absorção do solo e impede a saturação. Apenas esta mudança já pode ser fulcral para melhoria do processo de cultivo, além de evitar as problemáticas supracitadas por Albuquerque (2010), além da perda de água pelo escoamento superficial.

Por fim, como a folga obtida foi de apenas 17,58%, dificilmente o sistema atual permitiria a troca da eletrobomba. Neste sentido, nota-se que a otimização das características hidráulicas de perda de carga proporciona uma diferença notável na eficiência do sistema, permitindo a redução do consumo elétrico sem efetuar a troca de todos componentes atuais. Para ambas as hipóteses, foram consideradas apenas a troca do conjunto de bombagem e o design de implementação das tubagens.

Em caso de ampliação da área de cultivo, a eletrobomba CR 75 ainda apresenta a folga de 17,58%. Porém, é possível recorrer ao aumento da carga hidráulica do reservatório, empregando a pressão por energia potencial sem grandes custos. Outra alternativa para amplificação da capacidade do sistema é empregar pressurizadores auxiliares ao sistema de rega.

4.9. Verificação de necessidade hídrica para implementação de monocultura

Após a análise do cultivo da policultura, verificou-se a necessidade hídrica para implementação da monocultura dos três tipos de plantas abordados, a *Protea*, *Physalis* e o Tomateiro. Esta situação hipotética utilizará a totalidade da área de cultivo destinada a policultura analisada nos capítulos anteriores, bem como o *design* do sistema de rega e os compassos de plantação já utilizados.

Além disto, os espaçamentos e secções serão mantidos, pois por ser uma área significativa convém optar pela repartição do tempo de bombagem, de forma a reduzir a necessidade de implementação de eletrobombas mais potentes e maiores diâmetros das tubagens.

Outro fator fulcral para a manutenção dos espaçamentos e secções atuais seria a complexidade, mão de obra, tempo e custo destinados à reorganização das plantas de acordo com o novo cultivo. É de extrema importância ressaltar que os menores custos de implementação não sugerem o cultivo mais lucrativo comercialmente, uma vez que a lucratividade está diretamente relacionada com as leis de oferta, procura, custos totais e preço de venda.

Neste sentido, a verificação terá como principal alteração a utilização da totalidade do terreno com a finalidade de produção monocultural, tendo como a principal variável o coeficiente cultural (K_c) já estabelecido e empregue na verificação da policultura.

4.9.1. Monocultura da *Protea*

Para a verificação do volume diário por planta sector para o cultivo monocultural da *Protea*, utilizou-se os mesmos valores apresentados na Tabela 21, uma vez que são parâmetros atrelados à planta e ao índice de evapotranspiração local, além dos espaçamentos adotados no sistema existente. Portanto, o volume necessário por planta para o cultivo da *Protea* permanece 12,324 L/dia, conforme apresentado na Tabela 22.

Conforme supracitado no subcapítulo 4.9, utilizar-se-á o mesmo sistema gota a gota proposto, com 2 gotejadores de 2,2 L/h, espaçamento de 0,5 m e tempo de rega de 2,801 horas, como apresentado na Tabela 23.

Utilizando a área total para o cultivo da *Protea*, obteve-se os seguintes valores de caudal e volume total diário, de acordo com a Tabela 30.

Tabela 30 - Caudal e volume total diário para *Protea* (Fonte: Autor, 2019).

Área	Caudal	Volume
m ²	m ³ /h	Vt (m ³ /dia)
4098,400	9,248	25,902

Nota-se que o caudal corresponde à 9,248 m³/h, o mesmo valor do somatório dos caudais da policultura. Isso acontece pelo facto do caudal ser estabelecido pela relação da área total de cultivo com a capacidade de escoamento dos gotejadores, sendo estes, os mesmos em ambas as análises. O caudal é importante para o dimensionamento do sistema hidráulico, porém a necessidade hídrica da planta é diferenciada pelo tempo de rega estabelecido.

Como supracitado, o dimensionamento do sistema de rega, bem como a determinação da capacidade da eletrobomba está diretamente relacionada ao caudal, e como este valor manteve-se em ambas as verificações, o sistema de rega proposto atenderá a necessidade apresentada. Ressalva-se que uma vez que o sistema de rega proposto apresenta diferentes áreas por sector, o caudal total deve ser dividido proporcionalmente à estas áreas, de forma a garantir a uniformidade de perda de carga e velocidade de escoamento.

Neste contexto, percebe-se que o volume total diário para o cultivo monocultural da *Protea* é de 25,902 m³/dia, enquanto o total referente a policultura apresentou um volume de 33,057 m³/dia, ou seja, a monocultura obteve uma redução de 21,644% do consumo de água.

4.9.2. Monocultura de Tomateiro

Assim como a monocultura da *Protea*, o volume diário por planta do tomateiro utilizando os valores apresentados na Tabela 21, permanecendo, portanto, o volume diário por planta em 26,325 L/dia, conforme a Tabela 22.

Ainda utilizando o sistema gota a gota, manteve-se o uso de 3 gotejadores com escoamento de 2,2 L/h, espaçamento de 0,5 m e tempo de rega de 3,989 horas, com apresentado na Tabela 23. Neste sentido, os valores do caudal e volume total diário encontrados para monocultura de tomateiro estão explicitados na Tabela 31.

Tabela 31 - Caudal e volume total diário para o Tomateiro (Fonte: Autor, 2019).

Área	Caudal	Volume
m ²	m ³ /h	Vt (m ³ /dia)
4098,400	9,248	36,886

Conforme supracitado na análise de monocultura da *Protea*, o caudal permanece 9,248 m³/h, uma vez que a área em análise e a capacidade de escoamento dos gotejadores é a mesma. Portanto, com a manutenção do caudal total o sistema de rega proposto continua a ser satisfatório, com a ressalva da correta repartição proporcional do caudal entre as áreas das secções.

Referente ao consumo de água, o volume total diário obtido foi de 36,886 m³/dia, sendo assim, apresentando um acréscimo de 11,583% em relação a prática da policultura.

4.9.3. Monocultura da *Physalis*

Conforme o apresentado no subcapítulo 4.1.1, devido a ausência de coeficientes técnicos referentes ao cultivo da *Physalis*, a prática agrícola desta planta é comumente feita com base no cultivo do Tomateiro, pois ambas pertencem à família *Solanaceae* e possuem características muito semelhantes. Neste contexto, assim como na análise da policultura os valores de Kc e ETo serão os mesmos. Porém, ressalva-se que o compasso de plantação será empregue o existente, onde não foi utilizado o mesmo espaçamento para ambas espécies.

Em relação ao consumo hídrico da *Physalis*, mantem-se os valores encontrados utilizados na Tabela 21 e calculados na Tabela 22. Portanto, o volume diário por planta utilizado nesta análise será de 17,55 L/dia.

O sistema de rega permanece gota a gota, com 2 gotejadores de 2,2 L/h, espaçamento de 0,5 m e tempo de rega de 3,989 horas. Neste sentido, procedeu-se o cálculo do caudal e volume total diário para a *Physalis*, conforme a Tabela 32.

Tabela 32 - Caudal e volume total diário da *Physalis* (Fonte: Autor, 2019).

Área	Caudal	Volume
m ²	m ³ /h	Vt (m ³ /dia)
4098,400	9,248	36,886

Nota-se que tanto o caudal quanto o volume total diário para o cultivo da *Physalis* são iguais ao do Tomateiro. Apesar do volume diário por planta do Tomateiro ser consideravelmente maior que o da *Physalis*, evidencia-se o facto do espaçamento de plantaçoado adotado para o tomate ser também maior. Isto faz com que a quantidade de *Physalis* seja maior que a de Tomateiro, o que por fim tende a compensar proporcionalmente o a diferença de volume diário por planta. Esta confirmação pode ser feita pelas seguintes equações de proporcionalidade:

$$Qnt = \frac{At}{La \times Lb} \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde:

Qnt = quantidade de plantas (uni.);

At = área total de cultivo (m²);

La = dimensão “a” do compasso de plantaçoado (m);

Lb = dimensão “b” do compasso de plantaçoado (m).

$$Vt = Qnt \times \frac{Vp}{1000} \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

Vt = volume total diário (m³/dia);

Qnt = quantidade de plantas (uni.);

Vp = volume diário por planta (L/dia).

Portanto, utilizando a Equação 20 e Equação 21, procedeu-se a verificação do volume total diário para ambos os cultivos, ver Tabela 33.

Tabela 33 - Verificação do volume total diário para ambas as culturas (Fonte: Autor, 2019).

Planta	Área	La	Lb	Qnt	Volume/Planta	Volume Total
	(m ²)	(m)	(m)	(uni.)	Vp (L/dia)	Vt (m ³ /dia)
Tomateiro	4098,400	1,950	1,500	1401,162	26,325	36,885
<i>Physalis</i>	4098,400	1,950	1,000	2101,743	17,550	36,885

Por fim, confirma-se que os iguais valores de volume total diário ocorreu pela proporcionalidade da área total com as dimensões de compasso da plantaçoado, e não por consumo de água por planta. Ressalva-se, portanto, que a alteração das dimensões de compasso de qualquer uma das espécies ocasionará em volumes diários totais diferentes entre espécie.

Após a confirmação deste aspeto, pode-se afirmar que o consumo hídrico da *Physalis* será igual ao do Tomateiro, correspondendo a 36,885 m³/dia e um acréscimo de 11,583% em relação ao cultivo policultura.

Capítulo V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Análise de resultados

A essência desta dissertação é corroborar com a importância do estudo hidrológico e hidráulico para o planeamento de sistemas de regas para a agricultura. A confirmação da inevitabilidade supracitada explicitou-se desde o enquadramento histórico ao ganho de eficiência no comparativo abordado.

Com as informações presentes no subcapítulo 4.1, pode-se perceber que vários fatores influenciam diretamente no bom cultivo, desde climatologia, solo, vento, mão de obra, necessidade hídrica, patologias, etc. Observa-se também que o fator comercial é fulcral para a verificação de viabilidade de implementação de uma prática agrícola. Referente à *Physalis*, o cultivo demonstrou-se de grande valia para incrementação da renda no cultivo familiar, conforme apresentado por Andrade (2008) no subcapítulo 4.1.1. E como verificado no subcapítulo 3.5, a ilha da Madeira apresenta cerca de 96% do tempo de mão de obra de carácter familiar, sendo, portanto, um forte indício de viabilidade de implementação. Outro aspeto fulcral para as verificações *a posteriori* é o facto da *Physalis* possuir o cultivo semelhante ao Tomateiro, sendo, portanto, relativamente simples de empregar. Porém alguns cuidados devem ser considerados, principalmente em relação à temperatura e fornecimento hídrico, onde a falta ou excesso (principalmente) tende a levar o cultivo à ruína. Por fim, as *Proteas* foram as plantas que apresentaram o menor coeficiente cultura (0,79 enquanto as restantes chegam a 1,125) e conseqüentemente o menor valor de evapotranspiração cultural. Neste contexto, é notório que as *Proteas* apresentam uma necessidade hídrica inferior às demais. Outro fator importante é que a demanda comercial da *Protea* é por sua flor, enquanto o Tomateiro e a *Physalis* pelo fruto.

Todo o estudo efetuado e o levantamento do sistema de cultivo adotado na área em questão sugeriram grandes problemas de concepção hidráulica que reduzem de forma significativa a eficiência da prática da cultura, como inexistência de um emissor para controlo de caudal, curvas em excesso e cargas consideráveis sobre a tubagem, dimensionamento (*design*) mal elaborado e baixa eficiência do conjunto de bombagem utilizado. Desta forma, conforme o apresentado na base teórica, o sistema atual apresenta perdas produtivas graves, desde consumo de energia eléctrica 39,16% superior aos valores teóricos propostos, perdas de água por escoamento superficial e déficit hídrico advindo da saturação do solo, como consequência do inexistente controlo de caudal. Ainda neste contexto, a saturação propicia perdas de nutrientes do solo pela lixiviação, reduzindo a absorção de nutrientes pela planta.

O sistema de rega proposto possui traçados retilíneos que reduzem a perda de carga total, favorecendo a implementação de eletrobombas de menor consumo energético. Assim, o sistema proposto apresentou uma diferença de eficiência de 27,84% entre as duas hipóteses analisadas, além de satisfazerem os parâmetros de velocidade de escoamento e diferença de pressão de 20% entre os ramais e emissores (Regra de *Christiansen*). Além disso, fora atribuído ao sistema o emissor gota a gota que

permitirá o controlo do caudal, evitando toda a problemática de saturação do solo mencionada. Nota-se que o sistema gota a gota apresentou eficiência superior aos demais métodos e conforme os autores citados no subcapítulo 4.1.

Ressalva-se que a opção por dividir a área de cultivo de tomate em duas secções permitiu uma melhor otimização e padronização das tubagens, tanto os ramais laterais quanto as condutas principais intermediárias. A utilização de uma única secção resultaria em tubagens com diâmetros muito elevados, e desta forma, os acessórios de ligação e válvulas também teriam maiores dimensões, uma vez que são determinadas pelas dimensões de maior grandeza. Além de serem mais caros, os acessórios e válvulas necessitariam de peças de redução de diâmetro para cada dimensão utilizada, elevando os custos gerais e aumentando as perdas de carga.

Verificou-se também a variação de necessidade hídrica para implementação de monoculturas referentes às três espécies já abordadas. *A priori*, as *Proteas* apresentaram menor necessidade hídrica, com volume diário por planta de 12,342 L/dia e volume diário total de 25,902 m³/dia, o que corresponde à uma redução de consumo de 21,644% em relação à prática policultural. Para o Tomateiro, verificou-se uma necessidade hídrica por planta de 26,325 L/dia, e um volume total diário de 36,886 m³/dia, o que significa um acréscimo de 11,583% em relação à policultura existente. Por fim, a *Physalis* apresentou uma necessidade hídrica diária por planta de 17,550 L/dia, e um volume total diário igual ao Tomateiro, correspondendo à 36,886 m³/dia e um acréscimo de 11,583%.

Ressalva-se que o menor consumo hídrico não corresponde automaticamente a maior lucratividade, uma vez que pelas leis de mercado o lucro corresponde à correlação entre oferta, demanda, custo e preço de venda. Portanto, a lucratividade de cada uma das monoculturas deve ser estudada com base em todo custo de implantação e não apenas no custo hídrico e elétrico.

Por fim, o sistema otimizado apresentou mudanças plausíveis de serem efetuadas, uma vez que houve o aproveitamento da maioria das válvulas, medidores, controladores de pressão e programadores de tempo de rega. Porém, nota-se que a impossibilidade de verificar todas as tubagens atuais tornaram as análises menos precisas e pormenorizadas, onde não foi possível realizar o comparativo de perda de carga atual com o proposto. Neste sentido, necessitou-se a elaboração das hipóteses 1 e 2 de forma a estabelecer o ganho de desempenho, o qual apresentaria valores muito mais precisos na análise comparativa.

Conforme apresentado no Capítulo 1, esta dissertação teve início com os seguintes objetivos:

- Conhecer as fases de um projeto e o nível de exigência referente a cada tipologia de sistema de rega a adotar;
- Explicitar os procedimentos e conceitos necessários para implementação do sistema de rega proposto;
- Conhecer e perceber o modo interdisciplinar que preside à elaboração de um projeto de sistema de rega;

- Conhecer, perceber e saber articular as peças que compõem um projeto de um sistema de rega;
- Efetuar o comparativo e análise de eficiência entre o sistema de rega proposto (teórico) e o sistema atual implantado;
- Inferir as vantagens e desvantagens de cada metodologia abordada;
- Apresentar a importância do aprimoramento e gestão eficiente dos recursos hídricos existentes;
- Colaborar para a conscientização social para o desenvolvimento urbanístico sustentável e mitigação de impactos ambientais.

No que diz respeito ao primeiro objetivo, a dissertação apresentou diversas metodologias para implementação de um sistema de rega, como consta no Capítulo 2. Através da análise de cada uma, bem como, as recomendações de diversos autores, optou-se pelo sistema de rega gota a gota.

Referente ao segundo objetivo, a dissertação apresenta o Capítulo 4 com toda a metodologia, conceitos, fórmulas e considerações feitas para o dimensionamento do sistema de rega proposto, bem como, para a análise hipotética 1 e 2 e o consumo hídrico com a monocultura.

O terceiro objetivo foi cumprido, uma vez que toda a metodologia e pesquisa realizada envolve várias vertentes da Engenharia Civil como Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Recursos Hídricos e diversas áreas e conceitos atribuídos à Engenharia Agrônoma e Florestal, uma vez que envolve diversos aspectos referentes às diferentes plantas (culturas) em análise.

O quarto objetivo foi alcançado uma vez que na dissertação se abordou os diversos acessórios que compõem o sistema de rega, bem como, o dimensionamento das tubagens, dimensionamento do reservatório e da eletrobomba. Ressalta-se que vários dos acessórios como programador não foram dimensionados pois o sistema existente já conta com um programador, de forma a não ter necessidade de o substituir. O aprimoramento do sistema consistiu primordialmente na aplicação dos conceitos para redução da perda de carga total para verificação da possibilidade de redução da potência da eletrobomba.

No que diz respeito ao quinto objetivo, o comparativo entre o sistema existente e o sistema proposto é o cerne desta dissertação, de forma a apresentar a importância de aplicação dos conceitos hidráulicos para redução dos consumos excessivos e consequentemente a redução dos custos de operação. Neste contexto, percebeu-se que o sistema existente possui graves problemas no ponto de vista hidráulico, aumentando a perda de carga, potência da eletrobomba e consumo de energia elétrica. Referente ao ponto de vista agrônomo, a ausência de um controlador de caudal (emissor) é um dos principais problemas encontrados no sistema existente, o qual foi corrigido pela implementação de um emissor gota a gota no sistema proposto.

Referente ao sexto objetivo, todas as metodologias apresentadas no Capítulo 2 e 4 apresentam as suas respectivas vantagens e desvantagens. Esta informação é fulcral para a verificação da metodologia que melhor se adequará ao cultivo pretendido.

O sétimo objetivo é também um dos pilares desta dissertação, onde o aprimoramento do sistema existente foi elaborado de forma a verificar a necessidade hídrica e sua aplicação de forma eficiente, proporcionando a redução de perdas de água por saturação do solo, redução da deterioração do solo pela lixiviação e redução de consumo de energia elétrica. Outro ponto importante desta dissertação foi a verificação da variação de consumo hídrico por monocultura, onde foram discriminadas alternativas de cultivo que podem ter maior ou menor necessidade hídrica.

O oitavo e último objetivo foi alcançado em conjunto com o sétimo objetivo, uma vez que a dissertação evidencia que a correta gestão dos recursos hídricos além do aspecto ambiental, tende a reduzir os custos de implementação e operação das culturas. O subcapítulo 4.1 explicita que a qualidade da agricultura depende imprescindivelmente dos fatores ambientais como clima, qualidade do solo, qualidade dos recursos hídricos entre outros. Por fim, toda a problemática apresentada sobre o desmatamento para cultivo e a utilização de defensivos agrícolas abordaram de forma veemente a preocupação com o futuro do meio ambiente de forma sustentável.

5.2. Sugestões para trabalhos posteriores

Este subcapítulo apresentará sugestões de aprimoramento para possíveis continuidades da temática proposta:

- Verificação completa do sistema de rega existente, como comprimento de tubagens, quantificação de acessórios de ligação, diâmetros, perda de carga de válvulas e acessórios;
- Ajustes do dimensionamento (*design*) proposto;
- Ajustes no compasso de plantação;
- Ajustes no espaçamento dos emissores;
- Métodos de ampliação da capacidade hidráulica do sistema de rega proposto;
- Verificação da possibilidade de implementação de um reservatório elevado;
- Quantificação do custo de implementação total do sistema de rega proposto;
- Quantificação do custo para implementação de outro sistema de rega;
- Comparativo de eficiência com a implementação de outras metodologias de rega;
- Verificação de viabilidade de cultivo de outros tipos de plantas;
- Verificação dos efeitos de implementação de “plantas companheiras”;
- Estudo do coeficiente da cultura das plantas abordadas;
- Efetuar o comparativo entre a produção orgânica e a convencional;
- Análise das características do solo;
- Análise da salinidade da água a ser utilizada na rega;
- Análise da variação climática da região e seus efeitos;
- Estudo da evapotranspiração para a ilha da Madeira;
- Levantamento topográfico do sítio a ser cultivado;

- Estudo do desmatamento para implementação de áreas agrícolas;
- Estudo dos impactos ambientais causados pela agricultura familiar na ilha da Madeira;
- Verificação histórica de florestas desmatadas para o cultivo;
- Verificação dos benefícios e malefícios dos defensivos agrícolas utilizados em cada uma destas culturas;
- Estudo mercadológico de viabilidade de implementação das práticas monoculturas abordadas;

Bibliografia

- Adams, P. (1992), *Crop nutrition in hydroponics*. Acta Horticulturae, 323, p. 289-305.
- Adams, P. (1994), *Nutrition of greenhouse vegetable in NFT and hydroponic systems*. Acta Horticulturae, 361, p. 254-257.
- AGROGES (2013), *Avaliação Contínua do programa de Desenvolvimento Rural da Região Autónoma da Madeira*. Relatório Anual 2012 – Versão Final. SRA, Funchal, 85 p.
- Alberoni, R. B. (1998), *Hidroponia - como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo*. São Paulo: Nobel. 102 p.
- Albuquerque, P. E. P. (2010), *Estratégias de Manuseamento de Irrigação: Exemplos de Cálculo*. Circular Técnica, Sete Lagoas, Minas Gerais. 25 p.
- Allen, R. G. & Pereira, L. S. & Raes, D. & Smith, M. (1998), *CropEvapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Alvarenga, M. A. R. (2004), *Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia*. Lavras: UFLA. 400 p.
- Alvarenga, M. A. R. (2013), *Origem, botânica e descrição da planta*. In: TOMATE. Produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. 2. ed. Lavras: UFLA. 455 p.
- Andrade, L. (2008), *Physalis ou uchuva: Fruta da Colômbia chega ao Brasil*. Revista Rural, São Paulo, v. 38, p. 11-12.
- Andreoli, C. V. et al (2007), *Agrotóxicos*. In: Patricia, L. T. (org.). Alguns fios para entretecer o pensar e o agir. Curitiba: SENAR-PR, 2007. p. 349-367.
- Andriolo, J. L. (2000), *Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido*. Horticultura Brasileira, v. 18, p. 23-33.
- Angulo, R. (2005), *Uchuva el cultivo*. Universidade de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá: Colciencias, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. 78 p.
- Antunes, J. A. (2006), *Coletânea particular de fotos de irrigação*. Caçador: Gotejar/Irrigabrás.
- ASTM D1603 (2014), *Standard Test Method for Carbon Black Content in Olefin Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Azevedo, J. C. & Gonçalves, A. (2010). *Manual de boas práticas em espaços verdes*. Bragança: Câmara Municipal.
- Baptista, J. M. L. (2013), *A água na Ilha da Madeira*. In: Anuario de la Facultad de Geografía e História. ISSN: 1133-598X.
- Barreto, C. V. G. (2011), *Desenvolvimento de sistema de irrigação por capilaridade para produção de porta-enxertos de limão cravo na fase de tubetes*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. 103 p.

Barreto, C. V. G. & Ferrarezi, R. S. & Testezlaf, R. & Arruda, F. B. (2015). *Growth and physiological responses of Rangpur lime seedlings irrigated by a prototype subirrigation tray*. HortScience, v.50, n.1, p.123-129.

Barros, P. C. S. & Costa, A. R. & Silva, P. C. & Costa, R. A. (2015), *Torta de filtro como biofertilizante para produção de mudas de tomate industrial em diferentes substratos*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró, v.9, n.1, p. 265-270.

Batista, H. S. (2001), *Características Hidráulicas de um tubo exsudante para irrigação localizada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. 60 p.

Barros, G. M. F. (2015), *Projecto e Gestão Optimizada de Sistemas de Rega em Espaços Verdes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura Paisagista na Universidade de Lisboa. Lisboa, 2015.

Brazão, J. (1998), *A vitivinicultura na Região Autónoma da Madeira. Sua evolução e situação actual*. II Jornadas Técnicas Vitivinícolas Canarias, p. 162-168.

Bernardo, S. & Soares, A. A. & Mantovani, E. C. (2005), *Manual de Irrigação*. 7ª ed. Viçosa: Imprensa Universitária, p. 596-611.

Biswas, A.K. (1997), *Water Development and Environment*. In: Water Resources – Environmental Planning, Management and Development (Biswas, A. (ed)), McGraw-Hill, EUA, ISBN 0-07-005483-5, pp 1-35.

Caliman, F. R. B. (2003), *Produção e qualidade de frutos de genótipos de tomateiro em ambiente protegido e no campo*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre pela Univerisdade de Viçosa, Minas Gerais. 70 p.

Camacho, R. & Lousada, S. & Castanho, R. (2018a), *Caracterização do escoamento em canais artificiais em áreas urbanas em situação de cheia*. Poster apresentado no I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira.

Camacho, R. & Lousada, S. & Castanho, R. (2018b), *1001 MODELLING TORRENTIAL RAIN FLOWS IN URBAN TERROTORIES: FLOODS. THE CASE OF STUDY OF MADEIRA ISLAND*. Paper presented at the 25th APDR Congres, Lisbon, Portugal.

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

Castellane, P. D. & Araujo, J. A. C. (1994), *de. Cultivo sem solo-Hidroponia*. Jaboticabal. FUNEP. 43 p.

Castellane, P. D. & Araujo, J. A. C. (1995), *Cultivo sem solo – hidroponia*. 2ª ed. Jaboticabal: Funesp. 43 p.

Cech, T.V. (2005), *Principles of Water Resources – History, Development, Management and Policy*. 2ª edição, Wiley International, EUA, ISBN 0471-65810-3.

Cedeño, M. M. & Montenegro, D. M. (2004), *Plan exportador, logístico y de comercialización de uchuva al mercado de estados unidos para frutexpo S.C.I Ltda.* Trabalho final de graduação pela Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 134 p.

Chaves, A. C. (2006), *Propagação e avaliação fenológica de Physalis sp. na região de Pelotas, RS.* Tese para obtenção do grau de Doutor pela Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Christiansen, J.E. (1942), *Irrigation by Sprinkling.* University of California Agricultural Experiment Station Bulletin n. 670, 124 p.

Cocksushull, K. E. & Graves, C. J. & Cave, C. R. J. (1992), *The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes.* Journal of Horticultural Science, v. 67, n. 1, p. 11-24.

Coelho, E. F. & Silva, T. S. M. & Pazirotto, I. & Silva, A. J. P. & Santos, D. B. S. (2012) *Irrigação da bananeira.* Cruz das Almas: Embrapa-Cnpmf; Circular Técnica, 53.

Cooper, A. (1996), *The ABC of NFT.* Casper Publications Pty Ltd., Narrabeen, Australia. 171 p.

Correia, A. V. & Santos, J. L. (2015), *Agricultura e Florestas: impactos e vulnerabilidades às alterações climáticas.* 2015, 48 p.

Cudell, G. (2000). *Manual de Instalação de Rega.* Lisboa: Gustavo Cudell, LDA.

DIN 16929 (1965), *Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test.* German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).

DIN 53452 (1977) *Testing of plastics: bending test.* German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).

DIN 53455 (1981), *Testing of plastics: tensile test.* German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).

Dobson, A. (1994), *Green political thought.* London: Routledge. 225 p.

Dole, J. M. Cole, J. C. & Von Broembsen, S. L. (1994), *Growth of poinsettias, nutrient leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods.* HortScience 29:858–864.

Dorais, M. & Gosselin, A. & Papadopoulos, A. P. (2001), *Greenhouse tomato fruit quality.* Horticultural Reviews, v. 248. p. 239-306.

Doorenbos, J. & Kassan, A. H. (1979), *Yield response to water.* Rome: FAO. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

Doorenbos, J. & Pruitt, J. O. (1977), *Guidelines for predicting crop water requirements.* Rome: FAO. 179 p. (FAO Irrigation and Drainagem, 24).

Duarte, H. S. S. & Zambolim, L. & Rodrigues, F. A. (2007), *Controle da Requeima em tomateiro industrial com fungicida e silicato de potássio.* Fitopatologia Brasileira, Lavras, v. 32, n. 3, p. 25-260.

EEA (2009), *Water Resources across Europe – confronting water scarcity and drought.* Environmental European Agency report no 2/2009, Dinamarca, ISBN 978-92-9167-989-8.

EMBRAPA (1993). Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. *A cultura do tomateiro (para mesa)*. Brasília: EMBRAPA-SPI (Coleção Plantar 5). 92 p.

EMBRAPA (2003). *Tomate industrial-Sistema de Produção*. Versão eletrônica. Jan, 2003. <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/mudas.htm> > Acesso em: 16 jul. de 2019.

FAO (2014), *Técnicas de Irrigação para Agricultores de Pequena Escala*. ISBN 978-92-5-008326-1.

Faquin, V. & Furtani Neto, A. E. & Vilela, L. A. A. (1996), *Produção de alface em hidroponia*. Lavras, MG, UFLA. 50 p.

Faria, M. V. C. (2003), *Avaliação de ambientes e produtos contaminados por agrotóxicos*. In: Peres, F. & Moreira, J. C. (orgs.). *É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

Ferrarezi, R. S. & Weaver, G. M. & Van Iersel, M. W. & Testezlaf, R. (2015b), Subirrigation: Historical overview, challenges, and future prospects. *HortTechnology*, v.25, n.3, p. 262-276.

Fernández, M. D. & Orgaz, F. & Fereres, E. & López, C. J. & Céspedes, A. & Pérez, J. Bonachela, S. & Gallardo, M. (2000), *Progamiación Del Riego de cultivos hortícolas bajo invernadero em sudeste español*. Cajamar (Caja Rural de Almería y Málaga). 78 p.

Fernández, M. G. C. (2005), *El cultivo de Proteas em Canarias*. Sección de Floricultura. Granja Agrícola Experimental. 4 p.

Fernandez, X.S. & Garcia, D.D. (2001), *Desenvolvimento rural sustentável: uma perspectiva agroecológica*. *Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 2, n. 2, p. 17-26.

Fischer, G. (1995), *Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (Physalis peruviana L.)*. Tese para obtenção do grau de Doutor pela Universidade de Humbolt, Berlim. 171 p.

Ferrarezi, R. S. & Van Iersel, M. W. & Testezlaf, R. (2015a), *Monitoring and controlling ebb-and flow subirrigation with soil moisture sensors*. *HortScience*, v.50, n.3, p.447-453.

Ferreira A. (1995), *O clima de Portugal. Açores e Madeira*. INMG, Fasc VIII. 64 p.

Ferreira M. & Macedo, C. & Ferreira, J. (1988), *K-Ar geochronology in the Selvagens, Porto Santo and Madeira islands (Eastern Central Atlantic): A 30 m.y. spectrum of submarine and subaerial volcanism*.

Fery, R. L. & Janick, J. (1970), *Effect of planting pattern and population pressure on the yield response of tomato*. *HortScienc*, Alexandria, v. 5, n. 5, p. 443-444.

Fischer, G. (2000), *Crecimiento y desarrollo*. In: Florez, V. J. & Fischer, G. & Sora, A., *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)*. Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia. p. 9-26.

Fischer, G. & Almanza, P. J. (1993), La Uchuva (*Physalis peruviana* L.) uma alternativa promissória para las zonas altas de Colombia. *Agricultura Tropical*, Bogotá, v. 30, n. 1, p. 79-87, 1993.

Fischer, G. & Almanza, P. J. (1993), Nuevas tecnologías em el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana* L. *Revista Agrodesarrollo*, Tunja, v. 4, n. 1-2. p. 294.

Fischer, G. & Miranda, D. & Piedrahita, W. & Romero, J. (2005), *Avances em cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. em Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. 222 p.

Frank, A. L. & McKnight, R. & Kirkhorn, S. R. & Gunderson, P. (2004), *Issues of agricultural safety and health*. *Annual Review of Public Health*. Palo Alto, v. 25, p. 25-45.

Furlani, P. R. (1998), *Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT*. Campinas, Instituto Agrônomo. 30 p.

Furlani, P. R. & Silveira, L. C. P. & Bolonhezi, D. & Faquin, V. (2009), *Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva*. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm>. Acesso em: 18/7/2019.

Gaspar, M. A. (2001), *Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira*. Projecto Final de Curso, IST. Lisboa.

Gaspar M. A. & Portela, M. M. (2002), *Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira*. Modelos para avaliação do escoamento superficial". 6º Congresso da Água, Porto, 2002.

Geldmacher, J. & Van Den Bogaard, P. & Hoernle, K. & Schmincke, H (2000), *Ar age dating of the Madeira Archipelago and hotspot track (eastern North Atlantic)*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 1, paper number 1999GC000018.

Genúncio, G.C. & Majerowicz, N. & Zonta, E. & Santos A. M. & Gracia, D. & Ahmed C. R. M. & Silva, M. G. (2006), *Crescimento e produtividade do tomateiro em cultivo hidropônico NFT em fungos da concentração iônica da solução nutritiva*. *Horticultura Brasileira* 24: 175-179.

Giongo, P. R. (2011), *Mapeamento do balanço de energia e evapotranspiração diária por meio de técnicas de sensoriamento remoto*. Tese para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícola. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo Piracicaba – SP. 123 p.

Gordillo, O. P. (2003), *Producción de plântulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2003. 4 p.

Gonçalves, J. A. V. (2016), *Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no Escoamento em Canais Naturais – Simulação e modelação (à escala) no laboratório de hidráulica – Aplicação às ribeiras do Funchal*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da Madeira. Funchal, 2016.

Graves, C.J. (1983), *The nutrient film technique*. In: JANICK, J., ed. *Horticultural Reviews*. Westport, Connecticut, USA, The AVI Publishing Company, v. 5, cap. 1, p. 1-44.

Gupta, S. K. & Roy, S. K. (1981), *The floral biology of cape gooseberry (Physalis peruviana L. Solanaceae, India)*. Indian Journal of Agricultural Science, New Delhi, v. 51, n. 5, p. 353-355.

James, E. C. & Van Iersel, M. W. (2001), *Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias*. HortScience 36:40–44.

Jensen, M. H. & Collins, W. L. (1985), *Hydroponic vegetable production*. In: JANICK, J., ed. Horticultural Reviews, Westport, Connecticut, USA, The AVI Publishing Company. v. 7. Cap. 10, p. 483-558.

Hawkins, H-J. & Cramer, M. D. (2011), *The Protea Grower's Manual: Sustainable Nutrition and Irrigation*, v.1.1, ISBN 978-0-620-59736-4, Protea Producers of South Africa, Cape Town, South Africa.

Heuvelink, E. (1995), *Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in greenhouse*. Scientia Horticulturae, v. 61, p. 77-99.

Hills, D. J. & Yitayew, M. (2007), *Bubbler Irrigation*. In: Developments in Agricultural Engineering. 2007. Vol. 13, pp. 553-573.

Homma, A. K. O. (2006), *Agricultura familiar na Amazônia: a modernização da agricultura itinerante*. In: SOUSA, I. S. F. (Ed.). Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 33-60.

ISO 6259 (2015), *Thermoplastics pipes – Determination of tensile properties – Part 1: General test method*. 9 p.

Jobim, P.F.C. et al. (2010), *Existe uma associação entre mortalidade por câncer e uso de agrotóxicos? Uma contribuição ao debate*. In: Ciência e Saúde Coletiva, vol 15. no.1, Rio de Janeiro, Jan. 2010 p. 277-288.

Keller, J. & Bliesner, R. D. (1990), *Sprinkler and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

Khatounian, C. A. (2001), *A reconstrução ecológica da agricultura*. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348 p.

Lagos, T. C. B. & Valejo, F. A. C. & Criollo, H. E. & Muñoz, J. E. F. (2008), *Biología reproductiva de la uchuva*. Acta Agronómica Colombiana. Palmira, v. 57, n. 2, p. 81-87.

Laviola, B. G. & Martinez, H. E. P. & Mauri, A. L. (2007), *Influence of the level of fertilization of the matrix plants in the formation of seedlings of coffee plants in hydroponic systems*. Ciência e Agroecologia 31:1043–1047.

Leff, E. (2002), *Agroecologia e saber ambiental*. Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, v. 3, n. 1, p. 36-51.

Lima, E. P. (2010), *Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu*. Tese para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa UFV, Viçosa. 110 p.

Lira, V. M. (2008), *Obtenção de Parâmetros Biofísicos e Evapotranspiração da Cana de Açúcar mediante imagens orbitais na região do Sub-Médio São Francisco*. Tese para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. UFCG, Campina Grande – PB. 120 p.

Lopes, M. C. & Stripari, P. C. (1998), *A cultura do tomateiro*. In: Goto, R. & Tivelli, S. W.. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, p. 15-30.

López, R. (2002), *A note on the environmental effects of agricultural expansion: theoretical note*. ROA Publication, Rome, v. 2, n. 3, p. 77-92.

Lousada, S. A. N. & Camacho, R. (2018a), *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Práticas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-35-5, Universidade da Madeira. 140 p.

Lousada, S. A. N. & Camacho, R. (2018b), *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira. 230 p.

Marketing Agrícola (2016), *Sistema de Rega gota a gota*. Disponível em: <<https://marketingagricola.pt/sistema-de-rega-gota-a-gota-vantagens-e-desvantagens/sistema-gota-a-gota/>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

Maroto, J. V. (1990), *Elementos de horticultura general*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 443 p.

Martinez, H. E. P. & Silva Filho, J. B. (1997), *Introdução ao cultivo hidropônico de plantas*. Viçosa, MG. 52 p.

Mata, J. (1996), *Petrologia e Geoquímica das lavas da ilha da Madeira: implicações para os modelos de evolução mantélica*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Lisbon University. 471 p.

Mazorra, M. F. & Quintana, A. P. & Fischer, G. & Valencia, M. C. (2006), *Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva Physalis peruviana (Solanaceae)*. Acta Biológica Colombiada, Bogotá, v. 11, n. 1, p. 69-81.

Medeiros, R. D. (1995), *Efeitos do manuseamento de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (Oryza sativa L.) irrigado*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 80 p.

Merten, G.H. & Minella J.P. (2004), *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*.

Million, J. B. & Barrett, J. E & Nell, T. A. & Clark, D. G. (1999), *Inhibiting growth of flowering crops with ancymidol and paclobutrazol in subirrigation water*. HortScience 34:1103–1105.

Miranda, D. (2004), *Informes de visitas de asesoría técnica a fincas produtoras de uchuva (Physalis peruviana L.) en la Sabana de Bogotá y Antioquia*. Bogotá: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. 35 p.

Miranda, D. & Camacho, R. & Lousada, S. & Castanho, R. (2018): *Hydraulic studies and their influence for regional urban planning: a practical approach to Fynchal’s rivers*. Revista Brasileira

de Planejamento e Desenvolvimento. Curitiba, v. 7, n. 1, p. 145-164, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>.

Moraes, C. A. G. (1997), *HIDROPONIA: Como cultivar tomates em sistema NFT*. 1ª ed. Jundiaí: DISQ Editora. 143 p.

Moreira, J. C. & Jacob, S. C. & Peres, F. et al. (2002), *Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Frigurgo, RJ*. Ciência e Saúde Coletiva, v. 7, n. 2, 2002.

Moser, A. P. & Folkman, S. (2008), *Buried Pipe Design*. 3ª Edition. McGraw-Hill: New York. 601 p.

Moura, J.G. & Câmara, S.F. & Lima, R.C. (1999), *Expansão agrícola e crescimento econômico: uma avaliação com dados transversais*. Revista Organizações Rurais e Agroindustriais. UFLA, v. 1, n. 2, p. 31-42.

Moutinho, D. & Felipe, J. & Cabral, R. (2019), *A cultura de Physalis*. Caderno Técnico. 15 p.

Monteiro, C. S. & Balbi, M. E. & Miguel, O. G. & Penteado, P. T. P. S. & Haracemiv, S. M. C. (2008), *Qualidade nutricional e antioxidante do tomate "tipo italiano"*. Alim. Nutr. Araraquara: v. 19, n. 1, p. 25-31.

Muniz, J. (2011), *Sistemas de condução e espaçamentos para o cultivo de Physalis (Physalis peruviana L.) no planalto cararinense*. Dissertação requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal pela Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 138 p.

Muniz, J. & Kretschmar, A. A. & Rufato, L. (2010), *Cultivo de Physalis peruviana L.: uma nova alternativa para pequenos produtores*. Jornal da Fruta, Lages, Ano XVIII, n. 228, p. 22.

Nassur, R. de C. M. R. (2009), *Qualidade pós-colheita de tomates tipo italiano produzidas em sistema orgânico*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras, Lavras. 116 p.

Newson, M. (1997), *Land Water and Development – sustainable management of river basin schemes*. 2ª edição, Routledge, Reino Unido, ISBN 0-415-15566-1.

Nichols, M. A. (1987), *Plant spacing: key to greater process vegetable crop productivity*. Acta Horticulturae, Den Haag, v 220, n. 74, p. 223-228, 1987.

Nunes, G. S. & Ribeiro, M. L. (1999), *Pesticidas: Uso, Legislação e Controle*. Pesticidas. Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v.9, p.31-44.

Obrecht, A. S. (1993), *Estudio fenológico de uvilla (Physalis peruviana L.)*. Tese para obtenção do grau de Doutor pela Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.

Oliveira, I. (1994), *Técnicas de Regadio – Teoria e Prática*. 1ª edição, Edição do Autor, 1994.

Oliveira, I. (2012), *Técnicas de Regadio – Teoria e Prática*. 2ª edição, Edição do Autor, 2012.

Oliveira, A. S. & Paz, V. P. & D'Angiolella, G. L. B. & Pareira, F. A. D. (2005), Programação da irrigação pelo método do balanço de água no solo. II aplicação culturas anuais. Bahia Agrícola, Salvador, v. 7, n. 1, p. 73-80.

Palaretti, L. F. (2003), *Estimativa da evapotranspiração do tomateiro em dois sistemas de condução*. Dissertação para obtenção do grau *Magister Scientiae* pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 89 p.

Paulino, H. B. & Tarsitano, M. A. A. & Hernandez, F. B. T. & Buzetti, S. (1994), *Viabilidade econômica da cultura do melão (Cucumis melo L.) na região de Ilha Solteira, SP*. Revista Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 519-523.

Pagot, E. & Hoffmann, A. (2003), *Produção de Pequenas Frutas no Brasil*. In: Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas, 1., Vacaria, Anais...Bento Gonçalves: EMBRAPA, Uva e Vinho, p. 7-15.

Passerotti, F. R. (2000), *Irrigação Subterrânea por tubo exsudante no desenvolvimento da cultura do morangueiro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. 54 p.

Pavani, L. C. (1985), Evapotranspiração e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três níveis de potencial da água no solo. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 171 p.

Pentax (s.d.), *Booster & Drainage Pumps*. Pentax Water Pumps: Product Catalogue.

Pereira, E. C. N. (1989), *Ilhas de Zarco*. Funchal.

Peres, F. & Rozemerg, B. (2003), *É veneno ou é remédio? – os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos*. In: Peres, F. & Moreira, J. C. (orgs.). *É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003. p. 327-346.

Peres, F. & Moreira, J. C. & Dubois, G. S. (2003), *Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema*. In Peres, F. & Moreira, J. C. (orgs.). *É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003. p. 21-41.

Petri, J. L. (2006), *Fatores edafoclimáticos*. In: EPAGRI. A Cultura da Macieira. Florianópolis: EPAGRI. p. 105-112.

Phene, C. J. & McCormick, R. L. & Miyamoto, J. M. et al. (1985), *Evapotranspiration and crop coefficient of trickle-irrigated tomatoes*. In: Drip/trickle irrigation in action. St. Joseph: Asae, 1985, v. 2, p. 823-831.

Pinto, C. M. F. & Casali, V. W. D. (1980), *Tomate: tecnologia e produção*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 6, n. 66, p. 8.

Politejo (2014), *Tubos de Polietileno*. CD11R02. 22 p.

Portela M. M. & Gaspar M. A. & Hora, G. R. (2002), *Avaliação do escoamento anual médio na ilha da Madeira*. Tecnologia da Água, Edição II, 50-58.

Porter, A. L. (1995), *Technology assessment. Impact Assessment*. v. 13, p. 135-151.

Prada, S. (2000), *Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia. Universidade da Madeira: 351 pp.

Prada, S. & Serralheiro, A. (2000), *Stratigraphy and Evolutionary Model of Madeira Island*. Bocagiana 200: 13 pp. Museu Municipal Funchal (Madeira).

Prada, S. & Silva, M. O (2001), *Fog Precipitation on the Island of Madeira (Portugal)*. Environmental Geology 41 (3-4), 384 - 389.

Prada, S. & Silva, M. O. & Cruz, J. V. (2003), *Groundwater behaviour in Madeira, volcanic island (Portugal)*. Hydrogeology Journal.

Prada, S. L .R. N. & Perestrelo, M. & Nunes, A. & Figueira, C. & Cruz, J.V (2005). *Disponibilidades Hídricas da Ilha da Madeira*. In: A. Romero Ortega (Coord.), Proyecto AQUAMAC: técnicas y métodos para la gestion sostenible del agua en la Macaronesia (261-294).

Quinas, R. M. F. (2017), *Dimensionamento de sistemas de rega: Elaboração de um projecto de rega localizada por gota a gota e de um projecto de rega por aspersão*. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica pela Universidade de Lisboa, Lisboa. 120 p.

Quintal, R. (2010), *Levadas da Madeira Caminhos da Água, Caminhos de Descoberta da Natureza*. Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Rain Bird (s.d.), *Guia de instalação e manual de utilização*. Programador ESP-RZX. 17 p.

Raposo, J.R. (1996), *A Rega – Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega*. Fundação Calouste Gulbenkian – Serviço de educação, Portugal, ISBN – 972-31-0709-0.

Rêgo, J. T. (2018). *Dimensionamento de um sistema de rega para uma horta urbana com recurso a águas pluviais*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. 106 p.

Reinders, F. B. (2000), *Micro Irrigation: A World Overview*. Proceedings of 6th International Micro Irrigation Congress, South Africa. 2000.

Resende, M. & Alves, V. M. C. & França, G. E. & Monteiro, J. A. (1990), *Manuseamento de irrigação e fertilizantes na cultura do milho*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 14, n. 164, p. 26-34.

Resh, H.M. (1996), *Hydroponic food production*. 5 ed. Califórnia, EUA, Woodbridge Press Publishing Company, 527 p.

Richards, D. L. & Reed, D. W. (2004), *New Guinea impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system*. HortScience 39:280-286.

Richter, A. S. & Monteiro, D. V. P. M. & Araújo, J. L. & Calandrelli, L. L. & Correia, M. A. & Zamoner, N. (2010). *Produção de tomate orgânico em cultivo protegido: aspectos práticos e teóricos*. Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Paraná. 40 p.

Rodrigues, G. S. (1999), *Conceitos ecológicos aplicados à agricultura*. Revista Científica Rural. v. 4, n. 2, p. 155-166.

Rodrigues R. (1995), *Hidrologia de Ilhas Vulcânicas*. LNEC, Lisboa.

Rodrigues, G.S. & Campanhola, C. & Rodrigues, I. & Frighetto, R.T.S. & Valarni, P. & Ramos Filho, L.O. (2006), *Gestão ambiental de atividades rurais: estudo de caso em agroturismo e agricultura orgânica*. Revista agricultura São Paulo, v. 53, n. 1, p. 17-31.

Rosa, A. J. G. (1995), *Rega Localizada em Horticultura*. Algarve: Guia do Extensionista – Direcção Regional de Agricultura do Algarve, Secretaria de Estado da Agricultura, Ministério da Agricultura.

Rouphael, Y. & Cardarelli, M. & Rea, E. & Battistelli, A. & Colla, G. (2006), *Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions*. Agr. Water Mgt. 82:99-117.

Rufato, L. & Rufato, A. De. R. & Schlemper, C. & Lima, C. S. M. & Kretzschmar, A. A. (2008), *Aspectos técnicos da cultura da physalis*. 1ª ed. Lages: CAV/UEDESC; Pelotas, UFPel. 100 p.

Sales, D. L. A. (2016), *Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial estimado por sensoriamento utilizando o algoritmo SAFER*. Dissertação requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronomia – Solo e Água pela Universidade Federal de Goiás. 67 p.

Santana, M. J. & Pereira, U. C. & Beirigo J. D. C. & Souza, S. S. & Campos, T. M. & Vieira, T. A. (2011), *Coeficiente de cultura para o Tomateiro Irrigado*. Irriga, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 11-20.

Santos, D. (2019), *Vantagens e desvantagens dos principais tipos de irrigação*. Disponível em <<https://agrosmart.com.br/blog/vantagens-tipos-de-irrigacao/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

Santos, J. P. S. & Polinarski, C. A. (2012), *Ação local efeito global: quem são os agrotóxicos?* In: O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense, v. 1, Paraná. 20 p.

Sasaki, J. L. S. & Seno, S. (1994), *Importância na adubação de algumas olerícolas (alho, cebola, couve-flor, pimentão e tomate)*. In: Sá, M. E. & Buzzeti, C. (Coords.). *Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas*. São Paulo: Ícone, 1994. p. 331-343.

Schmidt, D. & Santos, O. S. & Bonnacarrère, R. A. G. & Mariani, O. A. & Manfron, P. A. (2001), *Desempenho de soluções nutritivas e cultivares de alface em hidroponia*. Horticultura Brasileira, Brasília.

Silva, F. A. & Meneses, C. A. (1984), *Elucidário Madeirense*, Vol. II, Funchal.

Simão, S. (1998), *Tratado de Fruticultura*. Piracicaba: FEALQ. 760 p.

Singh, V.P. (1992), *Elementary Hydrology*. Prentice-Hall, Inc, EUA, ISBN 0-13-249384-5.

Smith, M. & Allen, R. G. & Monteith, J. L. & Perrier, A. & Pereira, L. & Segeren, A. (1992), *Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements*. UN-FAO, Rome, Italy. 54 p.

- Sonnenberg, P. E. & Silva, N. F. da. (2004), *As culturas de: Alface, Cenoura, Batata, Tomate, Cebola e Alho*. 8ª ed. Goiânia. 127 p.
- Souza, I. H. & Andrade, E. A. & Costa, E. M. & Silva, E. L. (2005), *Avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software BUBBLER*. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 1, p. 264271, jan./abr. 2005.
- Souza, J. L. & Garcia, R. D. C. (2013), *Custos e rentabilidades na produção de hortaliças orgânicas e convencionais no Estado do Espírito Santo*. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBRAS), v. 3, n. 1, p.11-24.
- Testezlaf, R. (2017), *Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações*. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2017.
- Testezlaf, R. & Matsura, E. E (2015), *Engenharia de irrigação: tubos e acessórios*. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola. 153p.
- Tomaz, P. (2011). *Curso de Manuseamento de águas pluviais*. Capítulo 50 - Fórmula de Manning e canais.
- Trento, S. M. & Irgang, H. H. & Reis, E. M. (2002), *Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho*. Fitopatologia brasileira. 2002, v. 27, n. 6, p. 609-613.
- USDA (2008), *The Census of Agriculture: 2008 Farm and Ranch Irrigation Survey*.
- Uva, J. S. (Coord.) (2008), *I Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira*. Direcção Regional de Florestas, Funchal. 120 p.
- Uva, W.F.L. & Weiler, T. C & Milligan, R. A. (1998), *A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations*. HortScience 36:167–173.
- Van Der Gaag, D. J. & Kerssies, A. & Lanser, C. (2001), *Spread of phytophthora root and crown rot in saintpaulia, gerbera and spathiphyllum pot plants in ebb-and-flowsystems*. Eur. J. Plant Pathol. 107:535–542.
- Van Iersel, M. W. & Oetting, R. D. & Hall, D. B & Kang, J. G (2001), *Application technique and irrigation method affect imidacloprid control of silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettias*. J. Econ. Entomol. 94:666–672.
- Van Zyl, E. & Myburgh, P. M & Eigenhuis, W.J.H. (2000), *Irrigation requirements of young commercially cultivated proteaceae*. Acta Hort. 515:193-200.
- Velásquez, H. J. C. & Giraldo, O. H. B & Arango, S. S. P. (2007), *Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, v. 60, n. 1, p.3785-3796.
- Verdolin, D.R. & Alves, A.F. (2005), *Responsabilidade social: perspectivas para o agronegócio*. Revista Organizações Rurais Agroindustriais, v. 7, n. 1, p. 103-113.

Vivas, E. B. F. (2011), *Avaliação e gestão de situações de seca e escassez – aplicação ao caso do Guadiana*. Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

WWAP (2009), *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris, UNESCO, and London: Earthscan, UNESCO ISBN: 978-9-23104-095-5.

Wilen, C. A. & Schuch, U. K. & Elmore, C. L. (1999), *Mulches and subirrigation control weeds in container production*. *Journal of Environmental Horticulture* 17:174-179.

Zapata, J. L. & Saldarriaga, A. & Londoño, M. & Díaz, C. (2005), *Las enfermedades limitantes em cultivo y poscosecha de la uchuva y su control*. In: Fischer, G. & Miranda, D. & Piedrahíta, W. & Romero, J., *Avances em cultivo poscosecha y exptación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Comlombia. Facultad de Agronomía. p. 97-110.

Zoran, I. S. & Nikolaos, K. & Ljubomir, S. (2014), *Tomato Fruit Quality from Organic and Conventional Production, Organic Agriculture Towards Sustainability*. Prof. Vytautas Pilipavicius (Ed.), ISBN: 978-953-51-1340-9, InTech, DOI: 10.5772/58239. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/organic-agriculture-towardssustainability/tomato-fruit-quality-from-organic-and-conventional-production>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

Referências das Figuras

Ábaco de dimensionamento por Fair-Whipple-Hsiao. Disponível em: <<https://dokumen.tips/documents/abacos-perda-de-carga-em-pvcpdf.html>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

Aplicação de defensivos agrícolas, Disponível em: <<http://pastoextraordinario.com.br>>. Acesso em: 29 jul. 2019.

Banksia ashbyi, Disponível em: <<http://advancedsciencenews.com>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

Caule do tomateiro, Disponível em: <<http://scienceblogs.com.br>>. Acesso em 25 jun. 2019.

Central Hidroelétrica da Serra da Água, Disponível em: <<http://www.eem.pt>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

Construção das Levadas da Madeira, Disponível em: <<http://www.eem.pt>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

Danos por cavitação, Disponível em: <<http://www.omel.com.br/artigos-tecnicos/escola-de-bombas/bombas-de-vacuo-de-anel-liquido/cavitacao-em-bombas-de-vacuo-de-anel-liquido/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

Desmatamento para implementação de agricultura: Disponível em: <<http://tech-media.it>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

Electrobomba Pentax CM, Disponível em: <<http://pentax-pumps.it/pt>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

Emissor borbulhador tipo guarda-chuva, Disponível em: <<https://www.hunterindustries.com/pt/product/bocais/bocais-de-irrigacao-localizada>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

Exemplos de acessórios de ligação, Disponível em: <<http://lisbombas.pt>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

Fita geotêxtil para rega por exsudação, Disponível em: <<http://poritex.com>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

Folha de tomateiro, Disponível em: <<http://pt.depositphotos.com>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

Gotejador autocompensante, Disponível em: <https://www.aki.pt/jardim/manutencao-do-jardim/rega-e-gestao-da-agua/rega-gota-a-gota/gotejadores/gotejadorautocompensante4litrosporhora10unidadesgeolia-p46491.aspx?qclid=CjwKCAjwnMTqBRAzEiwAEF3ndiKcMdYnpEQHXEGLx86Hkx9aYiY4egA_5_7qzBVdjQnEmwr-Ceoo1RoCprAQAvD_BwE>. Acesso em: 30 mai. 2019.

Leucadendron Safari Sunset: Disponível em: <<https://www.gardenia.net/plant/Leucadendron-Safari-Sunset-Conebush>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

Leucospermum Patersonii, Disponível em: <<http://proteaworld.com.au>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

Mapa de evapotranspiração de Portugal, Disponível em: <<http://www.ipma.pt/pt/index.html>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

Mapa de Levadas da Madeira, Disponível em: <<http://www.mapasnasaladeaula.org/mapas-do-projeto/portugal/arquipelago-da-madeira/mapa-levadas-madeira>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

Primeiros Tanques de Rega, Disponível em: <<http://pt.depositphotos.com>>. Acesso: 16 mar. 2019.

Programador XC, Disponível em: <<http://hunterindustries.com/pt>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Protea Susara, Disponível em: <<https://www.floraccess.com/en/v/34062/flora-toscana/protea-susara/>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

Relevo da ilha da Madeira, Disponível em: <<https://ifcn.madeira.gov.pt/>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

Sensor de chuva Hunter Mini-Clik, Disponível em: <<http://hunterindustries.com/pt>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Sépalas e fruto da Physalis, Disponível em: <<https://www.nature-and-garden.com/health/physalis-health-benefits.html>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

Sistema de rega gota a gota, Disponível em: <<http://nregas.pt>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

Sistema hidropónico com substrato, Disponível em: <<http://google.com>>. Acesso em: 29 mai. 2019.

Sistema hidropónico DFT, Disponível em: <<http://logosbios.blogspot.com>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

Tubo com ligação lisa, Disponível em: <<http://nebulizacion.es>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

Tubo com ligação rosqueada, Disponível em: <<http://leroymerlin.pt>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

Tubo de ligação bolsa soldável, Disponível em: <<http://redebras.com.br>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

Tubo de ligação ranhurada, Disponível em: <<http://majestic.com.br>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

Tubo de PVC, Disponível em: <<http://fersil.com>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

Válvula direcional, Disponível em: <<https://www.hidropress.com.br/valvulas/valvula-direcional-tn6-220v--p>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

Válvula de bloqueio tipo globo, Disponível em: <<http://vaporotec.com.br>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

Válvula de fechamento rápido. Disponível em: <[http://www.casafaria.com/loja/produto-103782-1520-valvulas de fecho rapido com mola](http://www.casafaria.com/loja/produto-103782-1520-valvulas-de-fecho-rapido-com-mola)>. Acesso em: 22 jun. 2019.

Válvula de fluxo Hunter PGV, Disponível em: <<http://hunterindustries.com/pt>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Válvula de pressão, Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32584766415.html>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

Válvula Solenoide Hunter ICV: Disponível em: <<http://hunterindustries.com/pt>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Varição de pressão por espaçamento do emissor, Disponível em: <http://rivulis.com/wp-content/uploads/2014/11/hydro_pc_int.pdf#>. Acesso em: 28 mar. 2019.

Anexos

Technical data

TYPE		P2P1		(kW)		AMPERE		Q (m ³ /h - l/min)						
1~	3~	(HP)	(kW)	1~3~		1~3~		2.4	4.8	7.2	9.6	12	14.4	16.8
230 V - 50 Hz	230 / 400 V - 50 Hz					1x230V 50Hz	3x400V 50Hz	40	80	120	160	200	240	280
								H (m)						
CR 75	CRT 75	0.8	0.59	0.73	0.83	3.4	1.5	14.5	13.5	12.5	11.3	9.5	7	-
CR 100	CRT 100	1	0.74	1.14	1.2	5.3	2.4	20	19.2	18.5	17.3	15.5	13.5	10.5
CR 76	CRT 76	0.8	0.59	0.73	0.83	3.4	1.5	14.5	13.5	12.5	11.3	9.5	7	-
CR 102	CRT 102	1	0.74	1.14	1.2	5.3	2.4	20	19.2	18.5	17.3	15.5	13.5	10.5

TYPE	DIMENSIONS (mm)											I	L	M	Kg
	A	B	C	D	E	F	H1	H2	DN	AD	NM				
CR 75	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/4 G	325	200	265	12.2	
CR 100	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/4 G	325	200	265	13.5	
CR 76	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/2 G	325	200	265	12.2	
CR 102	120	45	308	155	115	170	97	222	1"1/2 G	1"1/2 G	325	200	265	13.5	

Figura A. 1 - Características da eletrobomba CR/CRT (Fonte: Pentax).

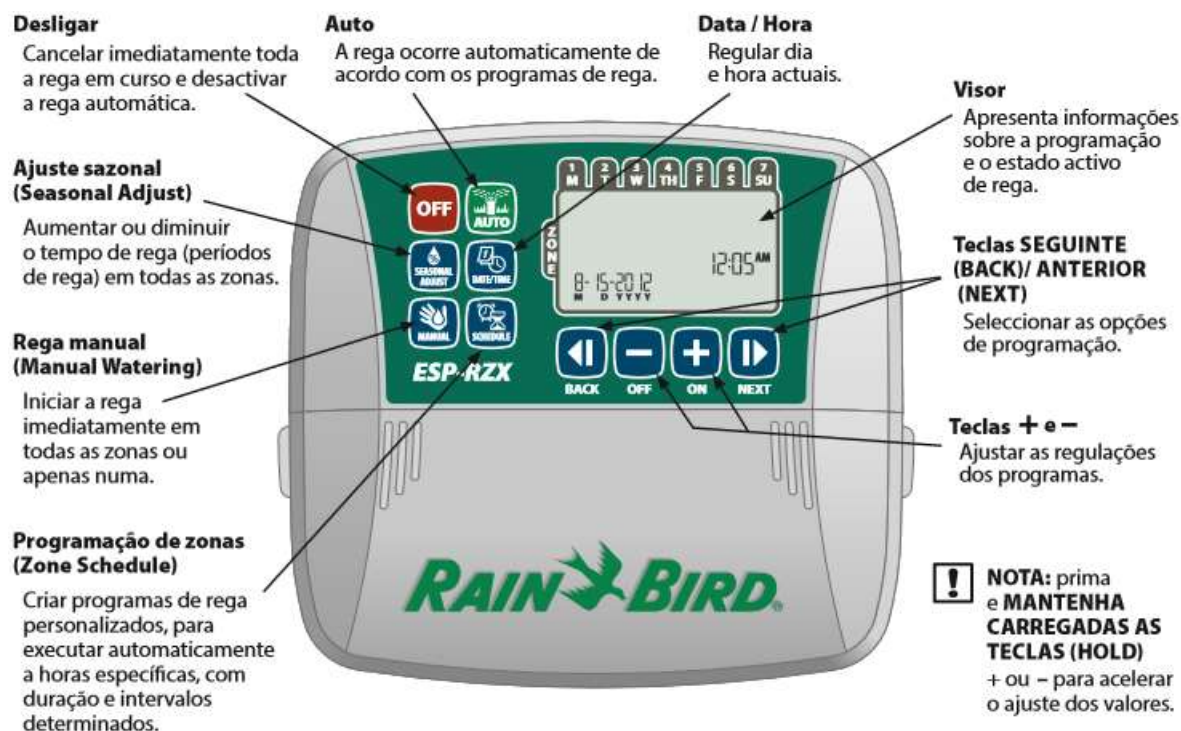


Figura A. 2 - Painel de controlo do Programador ESP-RZX (Fonte: Rainbird).

Problemas de rega

Problema	Causas possíveis	Potenciais soluções
Os programas e a rega manual não se iniciam.	A fonte de água não está a fornecer água.	Verifique se não há algo a interromper a linha principal de abastecimento de água. Verifique igualmente se todas as outras linhas de abastecimento de água estão abertas e a funcionar devidamente.
	A cablagem está solta ou mal ligada.	Verifique se os cabos locais e os da válvula-mestra ou do relé de arranque da bomba estão bem ligados ao programador e à instalação local.
	Os cabos locais estão corroidos ou danificados.	Verifique o estado dos cabos locais e substitua-os, se for necessário. Verifique as ligações de cablagem e substitua-as por junções estanques, se necessário.
	O sensor de chuva pode ter sido activado.	Deixe secar o sensor de chuva ou desligue-o da placa de bornes do programador e substitua-o por um fio de ponte que ligue os dois bornes SENS.
	O fio de ponte que liga os dois bornes SENS da placa de bornes pode não existir ou ter-se danificado.	Ligue com um fio de ponte os dois bornes SENS da placa de bornes do programador, utilizando um condutor curto de 1,63 mm a 1,02 mm.

Problemas eléctricos

Problema	Causas possíveis	Potenciais soluções
O visor está apagado.	Não está a chegar energia eléctrica ao programador.	Verifique se a fonte principal de alimentação CA está bem ligada e a trabalhar devidamente.
O visor está bloqueado, não aceitando comandos de programação.	Um pico eléctrico pode ter afectado os componentes electrónicos do programador.	Desligue a alimentação do programador durante 2 minutos e volte a ligá-la. Se não houver danos permanentes, o programador deve admitir comandos de programação e retomar o funcionamento normal.

Figura A. 3 - Possíveis erros de operação no Programador ESP-RZX (Fonte: *Rainbird*).

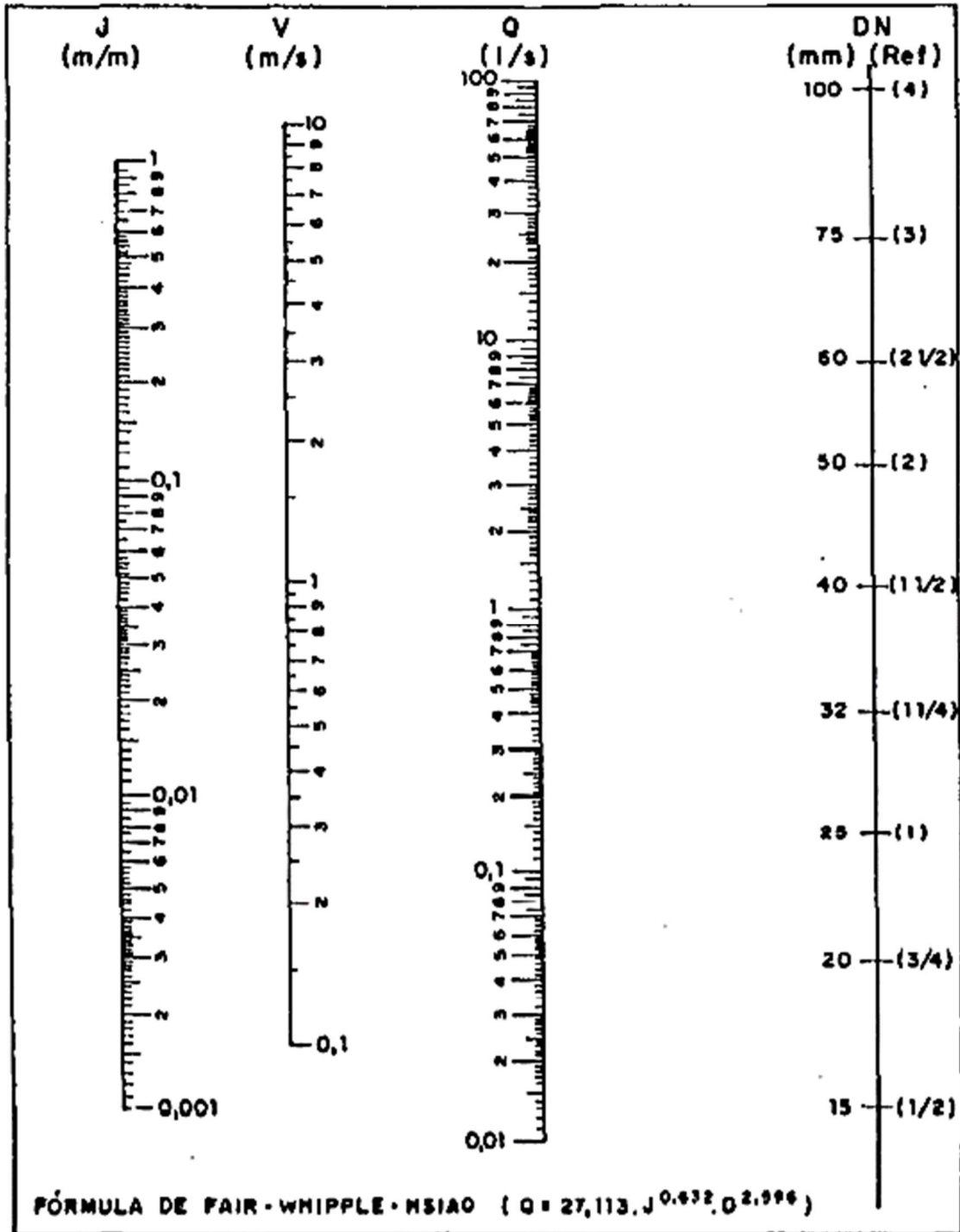


Figura A. 4 - Ábaco de dimensionamento por Fair-Whipple-Hsiao (Fonte: *dukumen.tips*).

Tabela A. 1 - Dimensionamento do reservatório (Fonte: Autor, 2019).

RESERVATÓRIO

A	B	H	Vol	Patm	Ró	g	P-H		
1,2	0,6	1,5	0,99	101325	998,2	9,81	116013,51	1,16	11,60
m	m	m	m ³	Pa	kg/m ³	m/s ²	Pa	bar	mca

Tabela A. 2 - Divisão da área em sectores (Fonte: Autor, 2019).

	SECTORES		
	1	2	
Proteas	0,14		ha
Physalis	0,04		ha
Tomate	0,11	0,11	ha

Tabela A. 3 - Divisão da área em parcelas (Fonte: Autor, 2019).

	PARCELAS			
	A	B	C	
Proteas	0,14			ha
	3,22			m ³ /h
Physalis		0,04		ha
		0,87		m ³ /h
Tomate			0,23	ha
			5,16	m ³ /h

Tabela A. 4 - Divisão da área em blocos (Fonte: Autor, 2019).

	A	B	C		
	1	2	3	4	
Proteas	0,14				ha
	3,22				m ³ /h
Physalis		0,04			ha
		0,87			m ³ /h
Tomate			0,11	0,11	ha
			2,58	2,58	m ³ /h

Tabela A. 5 - Divisão da área em pressão por blocos (Fonte: Autor, 2019).

	PRESSÃO (BLOCOS)				
	A	B	C		
	1	2	3	4	
Proteas	40,0				L (m)
	1,00				bar
Physalis		40,00			L (m)
		1,00			bar
Tomate			40,0	40,0	L (m)
			1,00	1,00	bar

Tabela A. 6 - Coeficiente de Christiansen (Fonte: Christianse, 1942).

TABLE 10
VALUES OF THE FACTOR F^* BY WHICH THE FRICTION LOSS IN PIPE
MUST BE MULTIPLIED TO OBTAIN THE ACTUAL LOSS IN A
LINE WITH MULTIPLE OUTLETS

Number of outlets	$m = 1.85$	$m = 1.90$	$m = 2.00$
1.....	1.0	1.0	1.0
2.....	0.639	0.634	0.625
3.....	0.535	0.528	0.518
4.....	0.486	0.480	0.469
5.....	0.457	0.451	0.440
6.....	0.435	0.433	0.421
7.....	0.425	0.419	0.408
8.....	0.415	0.410	0.398
9.....	0.409	0.402	0.391
10.....	0.402	0.396	0.385
11.....	0.397	0.392	0.380
12.....	0.394	0.388	0.376
13.....	0.391	0.384	0.373
14.....	0.387	0.381	0.370
15.....	0.384	0.379	0.367
16.....	0.382	0.377	0.365
17.....	0.380	0.375	0.363
18.....	0.379	0.373	0.361
19.....	0.377	0.372	0.360
20.....	0.376	0.370	0.359
22.....	0.374	0.368	0.357
24.....	0.372	0.366	0.355
26.....	0.370	0.364	0.353
28.....	0.369	0.363	0.351
30.....	0.368	0.362	0.350
35.....	0.365	0.359	0.347
40.....	0.364	0.357	0.345
50.....	0.361	0.355	0.343
100.....	0.356	0.350	0.338
∞	0.351	0.345	0.333

* $F = \frac{\sum N^m}{N^{m+1}}$, as given in equation 14.

Tabela A. 7 - Variação de pressão por espaçamento do emissor (*Rivulis Irrigation*).

Pressure (bar)	Slope (%)	Emitter Spacing (m)									
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.25	1.50
1.0	0	57	79	99	118	135	151	166	195	229	260
	2	65	95	124	152	179	205	231	282	344	405
	4	72	107	142	177	211	244	278	344	425	504
1.2	0	72	101	127	151	173	194	214	250	293	333
	2	79	115	148	180	211	242	271	328	396	464
	4	85	126	165	204	241	278	314	385	473	558
1.4	0	83	116	146	174	199	223	246	290	339	384
	2	89	129	166	201	235	268	300	362	435	507
	4	95	139	182	223	263	302	341	416	509	599
1.6	0	91	128	162	192	221	248	273	321	376	426
	2	98	140	180	218	254	289	323	389	468	543
	4	103	150	195	239	281	323	363	442	538	632
1.8	0	99	139	175	208	239	268	296	348	408	462
	2	105	150	192	233	271	308	344	413	495	575
	4	110	159	207	253	297	340	382	464	564	660
2.0	0	105	148	186	222	255	286	315	371	435	494
	2	111	158	203	245	286	324	362	434	520	602
	4	116	168	217	265	311	356	399	484	586	686
2.2	0	111	156	197	234	269	302	334	392	459	522
	2	116	166	213	257	299	339	378	453	541	627
	4	121	175	226	276	323	370	414	502	608	708
2.4	0	116	164	206	246	282	316	350	411	481	548
	2	121	173	222	268	311	353	393	470	561	650
	4	126	182	235	286	335	382	429	518	626	731
2.6	0	121	170	215	256	294	330	365	429	503	570
	2	126	180	230	277	322	365	407	487	581	671
	4	130	188	243	296	346	395	442	534	644	750
2.8	0	126	177	223	266	305	343	378	445	521	593
	2	130	186	238	287	332	377	420	502	599	690
	4	135	194	250	304	356	406	454	548	660	770
3.0	0	130	182	230	275	316	355	391	460	540	614
	2	134	192	245	295	343	388	432	516	615	710
	4	139	200	257	313	365	417	466	562	676	786