



Design and Optimized Management of Irrigation Systems. Case Study – RAM

Sérgio Lousada ^(1,2,3,4); **Eduardo Vasconcelos** ⁽¹⁾; **André Moura** ⁽¹⁾; **Leonardo Gonçalves** ⁽¹⁾.

¹Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and Geology (DECG), University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal;

²CITUR - Madeira - Centre for Tourism Research, Development and Innovation, Madeira, Portugal;

³VALORIZA - Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Portalegre, Portugal;

⁴Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, Dąbrowa Górnicza, Poland.

Eduardo Vasconcelos

Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and Geology (DECG), University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal.

eduardoluisvasconcelos@gmail.com

CV – Eduardo Luís Nascimento Vasconcelos holds a Bachelor of Science in Civil Engineering. Collaborates with the Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE) - University of Madeira (UMa).

Sérgio Lousada

Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and

Geology (DECG), University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal;

CITUR - Madeira - Centre for Tourism Research, Development and Innovation, Madeira, Portugal;

VALORIZA - Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Portalegre, Portugal;

Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, Dąbrowa Górnicza, Poland.

slousada@staff.uma.pt

CV - Sérgio António Neves Lousada is a Civil Engineering having been awarded a Ph.D. in Civil Engineering, In the field of knowledge in Hydraulics (University of Minho, 2010). He has been teaching courses in the major field of Hydraulics, Environment and Water Resources and secondary area of Construction in the degree of Civil Engineering, at the Faculty of Exact Sciences and Engineering, University of Madeira (2012). He is Degree director of the 1st Cycle in Civil Engineering (2017), according to the statement of the Scientific Council of the Faculty of Exact Sciences and Engineering at the University of Madeira. Has done research (2012) in Hydraulic sciences, particularly in the areas of Hydraulics, Urban Hydraulics and Marine and Fluvial Construction. The monitoring activities in these areas of research remains in the areas of teaching, European rules, national associations and in the scope of some involvement in research and as well providing skilled consultancy to the community.

André Moura

Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and Geology (DECG), University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal.

andrediogo92@gmail.com

CV – André Diogo Sousa Moura holds a Bachelor of Science in Civil Engineering. Collaborates with the Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE) - University of Madeira (UMa).

Leonardo Gonçalves

Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and Geology (DECG), University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal.

leonardobazilio13@gmail.com

CV – Leonardo Bazilio Gonçalves holds a Bachelor of Science in Civil Engineering. Collaborates with the Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE) - University of Madeira (UMa).

Resumo

Devido ao aumento das temperaturas no planeta e com a 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. Pretende-se com este trabalho controlar as perdas de água ao longo de todo o sistema, procurando sempre ter em atenção a viabilidade das soluções propostas e existentes.

A otimização do sistema de rega em estudo resulta da análise comparativa ao consumo hídrico entre a policultura e a monocultura, assim como, da redução do consumo associado à predisposição deste sistema – *i.e.* área; caudal; perda de carga; potência da eletrobomba; capacidade hidráulica.

Contextualmente, o propósito do presente trabalho traduziu-se na proposta de um novo sistema mais eficiente ao nível dos consumos energético e hídrico. A implementação de medidas ao nível do dimensionamento e tipologia do sistema utilizado, revelam-se fulcrais para o incremento da respetiva eficiência.

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 its consequent reduction of water suitable for agriculture, the study of irrigation systems has become imperative, accessing its design and sustainable management. The aim of this work is to control water losses throughout the system, taking into consideration the feasibility of the proposed and existing solutions.

The optimization of the irrigation system under study stems from the comparative analysis of water consumption between polyculture and monoculture, as well as the reduction of the consumption associated to the system's design - *i.e.* area; flow rate; load loss; power of the electric pump; hydraulic capacity.

Contextually, the purpose of the present work was to propose a new system, more efficient in terms of energy and water consumption. Improving the design and typology of the irrigation system used – *i.e.* structural measures, proves to be crucial for the increase of its efficiency.

Keywords: agriculture; hydraulic analysis; stormwater drainage; irrigation systems; storage volume.

Resumen

Debido al aumento de las temperaturas en el planeta y la consiguiente reducción del agua apta para la agricultura, el estudio de los sistemas de riego es imperativo, enfocado al diseño y gestión altamente sustentables. El objetivo de este trabajo es controlar las pérdidas de agua en el sistema, teniendo en cuenta la viabilidad de las soluciones propuestas y existentes.

La optimización del sistema de riego analizado proviene del análisis comparativo del consumo de agua entre policultivo y monocultivo, así como la reducción del consumo asociado al diseño del sistema; es decir, el área, la tasa de flujo, las pérdidas de carga, la potencia de bomba eléctrica y la capacidad hidráulica

Contextualmente, el propósito del presente trabajo fue proponer un nuevo sistema, más eficiente en consumo de energía y agua. Las mejoras del diseño y tipología del sistema de riego utilizado (medidas estructurales) demostraron ser cruciales para aumentar su eficiencia.

Palabras clave: agricultura; análisis hidráulico; drenaje de aguas pluviales; sistemas de riego; volumen de almacenamiento.

Résumé

En raison de la hausse des températures sur la planète et de la réduction conséquente des eaux adaptées à l'agriculture, insiste sur la préoccupation de l'étude des systèmes d'irrigation, depuis l'octroi du projet jusqu'à sa gestion optimisée. Le but de ce travail est de contrôler les pertes en eau dans l'ensemble du système, en tenant compte de la faisabilité des solutions proposées et existantes.

L'optimisation du système d'irrigation étudié découle de l'analyse comparative de la consommation d'eau entre polyculture et monoculture, ainsi que de la réduction de la consommation associée à la conception du système - c'est-à-dire la zone; débit; perte de charge; puissance de la pompe; capacité hydraulique.

Contextuellement, le but du présent travail était de proposer un nouveau système, plus efficace en termes de consommation d'énergie et d'eau. La mise en œuvre de mesures en termes de dimensionnement et de typologie du système utilisé est essentielle pour accroître son efficacité.

Mots-clés: agriculture; analyse hydraulique; réseau de drainage des pluies; systèmes d'irrigation; volume de stockage.

1. Introdução

A orografia da ilha da Madeira assume-se como um fator fulcral para a implementação da agricultura, uma vez que aproximadamente 25% do território apresenta-se acima dos 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 e Santos, 2015). De acordo com os mesmos autores, o cultivo agrícola é geralmente implementado em zonas com declives entre 16% e 25%, ficando deste modo explícito a complexidade para a adoção da atividade anteriormente referida na ilha. Segundo AGROGES (2013), os altos custos produtivos associados às condições orográficas da Madeira são altamente responsáveis pela tendência de abandono da atividade, mesmo que o Recenseamento Agrícola de 2009 tenha apresentado uma ligeira recuperação do setor.

A captação e o transporte de água, afiguram-se como dois dos principais desafios da população desde a descoberta da ilha da Madeira, uma vez que a sua sobrevivência 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).

“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).

O crescimento demográfico das últimas décadas torna imperativa otimização de todos os sistemas de regas nas explorações agrícolas de modo a ter uma produção agrícola de maior dimensão, assegurando um nível elevado de qualidade com um baixo gasto de recurso hídricos. O consumo de água nos últimos 100 anos aumentou significativamente derivado do crescimento demográfico mundial e da sua aplicação industrial. Neste sentido Lousada e Camacho (2018) sugerem que o consumo pode ser dividido em duas categorias – *i.e.* consumptivos e não consumptivos. Deste modo, o principal objetivo de um sistema de rega (consumptivo) é o fornecimento de água estritamente necessária a uma determinada cultura por forma a satisfazer as suas necessidades hídricas. De maneira a minimizar todas as perdas de água existentes ao longo da distribuição, devem ser empregues várias técnicas de rega.

O presente estudo visa efetuar um diagnóstico do sistema de rega atual através de uma verificação *in situ*, complementada com medições necessárias ao estudo e análise dos catálogos de propriedades e características dos equipamentos utilizados. Numa segunda etapa, procura-se efetuar o planeamento e projeto de um sistema novo (mais eficiente), podendo servir de base para a conceção e reabilitação de outros sistemas de rega, nomeadamente quanto à distribuição otimizada do recurso e à sua viabilidade económico social, tornando-o assim sustentável.

2. Sistemas Rega

Com a evolução das civilizações e dos respetivos sistemas de rega aplicados, deu-se início a um estudo mais intensivo ao nível das necessidades hídricas de cada cultura agrícola, 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 executados essencialmente pela força gravítica. Contudo, atualmente de acordo com Barros (2015), o sistema de rega em espaços verdes é efetuado quase exclusivamente por pressão, apesar da vasta utilização do sistema por gravidade em outras atividades. No que concerne ao sistema por pressão, este efetua-se por distintas formas – *i.e.* aspersão e rega localizada (ver sistemas de regas na Tabela 1).

“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 1 - Sistemas de rega

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019 (adaptado de Testezlaf, 2017).

2.1 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.

“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 (também pertencentes à categoria de rega localizada) podem ser implementados nas culturas (e.g. sistema de borbulhamento; exsudação), sendo a poupança de água (50% ou mais em alguns casos) a principal razão para a incrementação deste tipo de sistemas.

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. Estando dependente do método de rega. Seguidamente fica explícito que o sistema de irrigação por gota a gota permite obter maior eficiência de aplicação, resultando em menores consumos de água, ver Tabela 2.

Tabela 2 - Eficiência de aplicação dos vários tipos de rega

Métodos de Irrigação	Eficiência de aplicação
Superfície	60%
Aspersão	75%
Gota a gota	90%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019 (daptado de Barros, 2015).

Neste sentido, Barros (2015) conclui 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”*.

2.2 Sistema 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. Este subtipo de irrigação tem como particularidades segundo Azevedo e Gonçalves (2010) a utilização de caudais que podem

variar entre 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. Assim sendo, torna-se muito usual a sua implementação em solos de baixa permeabilidade e declive acentuado.

Parafraseando o portal *online* Marketing Agrícola (2016), o sistema gota a gota apresenta vantagens – *e.g.* maior eficiência e produtividade, conservação da água flexibilidade de trabalho, economia e a redução de potenciais doenças; mas também algumas desvantagens – *e.g.* custo de instalação, alteração de procedimentos, fragilidade das tubagens e inaptabilidade.

3. Enquadramento Geográfico

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; pelo Porto Santo, com 43 km²; pelas Desertas com 14 km², e pelas Selvagens com 3 km² (Camacho *et al.*, 2018b). A implementação do sistema de rega proposto será efetuado no conselho de Santa Cruz situado na região próxima ao aeroporto, no sentido Este da ilha da Madeira e, possuindo um índice de urbanização médio.

3.1 Clima e Relevô

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).

“(...) 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 consequente 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 citado de Rodrigues, 1995).

Aproximadamente 25% do terreno da Madeira encontra-se a 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). Por outro lado, em relação à composição mineralógica da ilha, para Mata (1996), a parte emersa da ilha é composta quase na totalidade (98%) por rochas vulcânicas e de material aflorante, as quais condicionam a sua morfologia.

3.2. Recursos e Necessidades Hídricas

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 e Portela (2002), apontam 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, propiciando uma análise incorreta dos processos existentes.

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

$$ET_C = ET_P \times K_C \quad \text{Equação 1}$$

3.3. Agricultura Local

Conforme abordado anteriormente, 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 destes problemas, a Madeira possui aproximadamente 13611 explorações agrícolas, as quais ocupam 7137,97 hectares e uma superfície agrícola útil de 5428,51 hectares, (Correia e Santos, 2015).

Seguidamente, abordam-se as principais características das plantas cultivadas no sistema de rega em estudo, de forma a explicitar os principais fatores que influenciam o seu

desenvolvimento. Estas informações são fulcrais para melhor compreensão das necessidades hídricas e nutritivas das *Physalis*, Tomateiros e *Proteas*.

Conforme Obrecht (1993) e Chaves (2006), o cultivo da *Physalis* é simples, sendo a maior parte do manuseamento ainda efetuada de acordo com a cultura do tomateiro, com temperaturas ótimas entre os 21 e 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 arenoso-argiloso, com textura granulada, boa drenagem, altos índices de matéria orgânica (>4%) e pH entre 5,5 e 6,8. Para Rufato *et al.* (2008), a pluviometria pode oscilar entre 1000 a 2000 mm, com humidade relativa média entre 70 e 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.

O manuseamento da rega pode ser monitorizado visualmente ou através de equipamentos específicos (Pagot e Hoffmann, 2003), sendo o sistema de rega gota a gota o mais recomendado para o cultivo da *Physalis* (Fischer e Almanza, 1993), visto ser necessário garantir a rega nos primeiros dias de forma a evitar o secamento das plantas (Miranda, 2004).

No âmbito comercial, o tomate industrial é considerado um dos cultivos mais importantes na agricultura mundial, tanto para o comércio *in natura* quanto para a indústria de extratos e derivados, (Duarte *et al.*, 2007).

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. Segundo Lopes e 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 esta influencia a habilidade dos órgãos da planta em disputar fotoassimilados, além de controlar a velocidade de reação química da mesma.

De origem sul africana e australiana, as *Proteas* são arbustos em que se cultivam flores frescas, secas e de folhagem colorida (Fernández, 2005). O seu cultivo iniciou-se nos anos 1940, maioritariamente na África do Sul, mas também no Zimbábwe, Austrália, Estados Unidos, Israel, Chile, Nova Zelândia, Espanha e Portugal (Hawkins e Cramer, 2011). Segundo Fernández (2005), o cultivo das *Proteas* constitui um grande interesse em regiões medianas, onde podem substituir as espécies tradicionais e, valorizar as áreas abandonadas ou semiabandonadas.

Para o cultivo eficiente deste tipo de flores, Hawkins e Cramer (2011) sugerem que o solo deve ser muito bem drenado, possuir um *pH* entre 4 e 7 (dependendo do tipo de cultivo), uma concentração de Fósforo entre 5 e 40 ppm, de nitrogênio entre 0,05 e 0,2% e de carbono entre 1 e 4% (podendo ser maior). Por outro lado, a precipitação deve ser de 300 e 500 mm (para a rega ser feita exclusivamente pela chuva) e o terreno deve possuir declividade entre 6 e 20°. No que concerne ao sistema de rega, recomenda-se a adoção do sistema gota a gota, utilizando 2 gotejadores por planta.

4. Dimensionamento do Sistema de Rega

4.1. Composição Hidráulica

A tubagem é responsável pela condução da água desde o seu dispositivo de bombagem até aos emissores na agricultura, podendo ser fabricadas de diversos materiais (*e.g.* alumínio; betão; ferro; policloreto de vinilo - PVC; polietileno - PE) e classificadas de acordo com a sua finalidade (Testezlaf e Matsura, 2015). Estes autores afirmam ainda, 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.

Uma vez que um sistema de rega é composto por várias tubagens paralelas e ortogonais, os acessórios de ligação possuem a função de uni-las, permitindo 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. Deste modo, é essencial que as tubagens se encontrem homologadas, assim como as peças de ligação. As tipologias de ligações podem ser indicadas segundo (Cudell, 2000) como de aperto interior, exterior ou eletrossoldável.

O sistema de bombagem é 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 é efetuada através da determinação da pressão e caudal ótimo para satisfazer a necessidade de rega do sistema proposto, através da verificação dos catálogos de fabricantes. Outro fator que deve ser considerado, é a pressão mínima para que não ocorra o fenômeno da cavitação traduzindo-se num 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.

Por sua vez, as válvulas são acessórios responsáveis pela regulação do escoamento no sistema hidráulico, as quais permitem um adequado controlo de caudais e pressões, ou até mesmo a obstrução de determinado troço do sistema (Rêgo, 2018). Esta obstrução pode motivada por 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. À semelhança da tubagem e acessórios, podemos, então assumir 5 tipos de válvulas, nomeadamente: Válvulas direcionais, de bloqueio, de pressão, de fluxo (caudal) e de fechamento

Ainda 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. Por outro lado, 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.

4.1.1. Dimensionamento do sistema de rega

- Caudal de dimensionamento

Estabelecida a evapotranspiração cultural conforme foi abordado anteriormente, procede-se o cálculo do volume diário efectivo por planta para cada uma das culturas, de acordo com o

$$V_p = E_{Tc} \times L_a \times L_b \quad \text{Equação 2}$$

método sugerido por Quinas (2017):

V_p = volume diário efetivo por planta (L);

E_{Tc} = evapotranspiração cultural (mm);

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

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

À *posteriori*, procede-se a quantificação de emissores por planta:

$$N_e = \frac{L_a \times L_b}{m \times s'} \quad \text{Equação 3}$$

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).

Com o volume diário efetivo por planta e a quantificação dos emissores, estabelece-se o tempo necessário para que ocorra a deposição de todo o volume de água necessário através

$$T = \frac{V_p}{N_e \times Q_e} \quad \text{Equação 4}$$

dos emissores:

T = tempo de rega por sector (h);

V_p = volume diário efetivo por planta (L);

N_e = quantidade de emissores por planta (adimensional);

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

Estabelecidos os parâmetros de consumo hídrico por planta, procede-se, portanto, o valor do caudal médio por sector de cultivo:

$$Q_p = (A_t \times Q_e) / (m \times s') \quad \text{Equação 5}$$

Q_p = caudal médio diário por sector (m^3/h);

A_t = área total do sector (m^2);

Q_e = caudal específico do emissor (m^3/h);

m = espaçamento entrelinhas equivalente à cultura (m);

s' = espaçamento entre os emissores (m).

Com os valores de caudal e tempo de rega calculados anteriormente, determina-se o volume total diário de água necessário para a rega de determinado cultivo:

$$V_t = Q_p \times T \quad \text{Equação 6}$$

V_t = volume total diário (m^3);

Q_p = caudal médio diário por sector (m^3/h);

T = tempo de rega por sector (h).

- Diâmetro das tubagens

O dimensionamento das tubagens terá como base a equação que exprime a Lei da Continuidade Hidráulica. Ressalva-se que a velocidade máxima admitida neste dimensionamento corresponde à 1,5 m/s, de forma a reduzir os efeitos de golpe de aríete.

$$Q_p = V \times A_i \quad \text{Equação 7}$$

Q_p = caudal (m^3/s);

A_i = secção interna do tubo (m^2);

V = velocidade média da água (m/s).

$$A_i = \pi \times \frac{d_i^2}{4} \quad \text{Equação 8}$$

d_i = diâmetro interno do tubo (m);

A_i = secção interna do tubo (m^2).

Ao vincular as duas equações anteriores obtém-se:

$$d_i = \left(\frac{4 \times Q_p}{\pi \times V} \right)^{0,5} \quad \text{Equação 9}$$

d_i = diâmetro interno do tubo (m);

Q_p = caudal (m^3/s);

V = velocidade de escoamento (m/s).

- Perda de carga contínua

A perda de carga contínua pode ser obtida através da determinação da perda de carga unitária (S), definida como a perda de carga por metro linear. Neste contexto, ao multiplicar o parâmetro unitário por todo o comprimento da tubagem, obtém-se a perda de carga contínua supracitada:

$$h = S \times L \quad \text{Equação 10}$$

h = perda de carga contínua (mca);

S = perda de carga unitária (mca/m);

L = comprimento do tubo (m).

- Perda de carga unitária

A perda de carga unitária (S) abordada anteriormente pode ser obtida por diversas metodologias como: *Hazen-Williams*, *Fair-Whipple-Hsiao* e *Colebrook-White*, no entanto, este parâmetro é comumente estabelecido através de ábacos. No que se refere à perda de carga pelos acessórios de ligação, o cálculo pode ser feito através do Método Borda-Belanger ou pelo Método do Comprimento Equivalente.

- *Perda de carga total*

De acordo com Cudell (2000), uma vez que os sistemas de rega possuem muitas válvulas e acessórios de ligação, a determinação da perda de carga total do sistema seria demasiado morosa, sendo, portanto, atribuído um acréscimo de 20% da perda de carga contínua da tubagem de forma a considerar as perdas de cargas dos acessórios.

Referente as condutas laterais, pode-se determinar a perda de carga total através da metodologia anterior ou proceder o cálculo de apenas uma conduta lateral e inserir o Coeficiente de *Christiansen* (F), encontrado em tabelas de acordo com a quantificação de tubos laterais com o mesmo caudal a ser emitido. Enfatiza-se que esta metodologia deve satisfazer à verificação da Regra de *Christiansen*, a qual estabelece uma variação máxima de 20% de perda de carga da tubagem em relação ao emissor, e variação máxima de 10% da média de caudal.

$$hf = F \times S \times L$$

Equação 11

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

F = coeficiente de *Christiansen* (adimensional);

S = perda de carga unitária (mca/m);

L = comprimento da conduta (m).

- Reservatório

Procedeu-se também o dimensionamento de um reservatório com base em dois princípios: fornecer pressão potencial gravítica ao sistema de rega e garantir que haja alguma pressão para o funcionamento parcial do sistema sem a presença da bombagem (de forma a considerar que haja algum problema). Portanto, com a pressão potencial gravítica fornecida

pelo reservatório permite-se a utilização e um sistema de bombagem com menor potencia e consequentemente, menor consumo elétrico.

$$P_{abs} = P_{atm} + \rho \times g \times h \quad \text{Equação 12}$$

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).

- Consumo de energia elétrica

A otimização do sistema de rega também pode ser verificada na redução do consumo elétrico proveniente da utilização de um sistema de bombagem de menor potência e com a determinação de um tempo de rega ajustado às necessidades hídricas das culturas em análise.

$$CE = C_b \times T \times T_m \times C_{ue} \quad \text{Equação 13}$$

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).

4.1.2. Análise do sistema de rega existente

O sistema de rega existente apresenta diversos problemas hidráulicos graves, de forma a aumentar a perda de carga total e exigir um sistema de bombagem com potência elevada. Entre os principais problemas, verifica-se a existência de tubagens com demasiadas curvas, ausência do emissor gota-a-gota, esmagamento dos tubos por rochas, elevação desnecessária da cota hidráulica em diversos trechos das tubagens, e perdas hídricas por escoamento superficial (proveniente da saturação do solo).

Note-se que a saturação do solo além de ocasionar na perda hídrica por escoamento superficial, permite a retirada dos nutrientes do solo pelo processo de lixiviação. Portanto, enfatiza-se que o sistema de rega existente é ineficiente tanto no aspeto hidráulico quanto agrícola.

4.1.3. Resultados e discussões

Com base nos princípios hidráulicos abordados anteriormente, elaborou-se a otimização do sistema de rega com troços simples e retilíneos, com a menor quantidade de acessórios de ligação quanto o possível, de forma a reduzir a perda de carga total.

Posteriormente, foi verificado o valor da evapotranspiração potencial no *website* do IPMA, o qual apresentou valores compreendidos entre 6 mm/dia e 8 mm/dia. Como o sistema de rega deve ser dimensionado para o pior cenário, estabeleceu-se o valor de 8 mm/dia para este dimensionamento.

No que se refere ao coeficiente cultural, através das revisões bibliográficas verificou-se um Kc médio de 1,125 para o Tomateiro e a *Physalis* e 0,79 para a *Protea*. Portanto, procedeu-se a determinação da evapotranspiração cultural para as culturas em análise, ver Tabela 3.

Tabela 3: Necessidade hídricas das plantas.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Com a verificação dos valores de evapotranspiração cultural, calculou-se a o volume de água diário por planta necessário para satisfazer a etapa fenológica de maior consumo, ver Tabela 4.

Tabela 4: Volume diário por planta.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Conforme foi abordado no subcapítulo anterior, após o cálculo do volume diário por planta é necessário estabelecer o tempo de rega necessário de acordo com o caudal de saída dos

emissores utilizados. Neste caso, utilizou-se emissores com capacidade de escoamento de 2,2 L/h, ver Tabela 5.

Tabela 5: Quantificação dos emissores e tempo de rega por sector.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Por fim, com a determinação das áreas destinadas a cada cultivo (pelo projetista ou pelo cliente), procede-se a verificação do volume total diário de água necessário para abastecer cada sector agrícola, ver Tabela 6.

Tabela 6: Caudal e volume total diário por sector.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Estabelecido o valor do caudal diário, e com a premissa supracitada de utilizar uma velocidade máxima de 1,5 m/s no sistema de rega, procedeu-se o cálculo dos diâmetros das tubagens de acordo com as metodologias previamente abordadas. Primeiramente calculou-se os diâmetros referentes às condutas laterais, ver Tabela 7.

Tabela 7: Dimensionamento das condutas laterais.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Uma vez que se empregou a metodologia de *Christiansen*, foi necessário a verificação da Regra de *Christiansen*, onde a variação máxima de pressão entre a conduta em análise e o respetivo emissor não seja superior a 20% (ver Tabela 8).

Tabela 8: Verificação da Regra de Christiansen.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Por fim, procedeu-se o dimensionamento das condutas principais intermediárias e conduta principal, além das respetivas perdas de carga, pelo Método de Borda-Belanger. Com o somatório das perdas de carga totais e o dimensionamento do reservatório, determinou-se a pressão necessária da eletrobomba para o correto funcionamento do sistema (ver Tabela 9 e Tabela 10).

Tabela 9: Dimensionamento das condutas principais intermediárias.

Secção	Comp. (m)	Qp (m ³ /h)	de (mm)	di (mm)	v (m/s)	s (m/m)	hf (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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Tabela 10: Dimensionamento da conduta principal e da pressão da eletrobomba.

Se c.	Comp (m)	Qp (m ³ /h)	de (mm)	di (mm)	v (m/s)	s (m/m)	hf (mca)	he- bomb (mca)	Shf (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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Após a análise do sistema de rega existente e o dimensionamento do sistema proposto, foi feito o comparativo entre ambos os sistemas de forma a verificar o ganho de eficiência com a aplicação dos conceitos hidráulicos. Uma vez o sistema de rega existente foi elaborado sem padronização e encontra-se enterrado, não é possível a verificação da perda de carga total deste sistema. Contudo, para este trabalho foram elaboradas duas hipóteses: a primeira consiste em utilizar o sistema de bombagem existente com o design proposto, de forma a verificar se há folga de capacidade no sistema; a segunda hipótese consiste em sugerir outro conjunto de bombagem que melhor adegue-se ao sistema proposto. Neste sentido, obteve-se os resultados apresentados na Figura 1 e Figura 2.

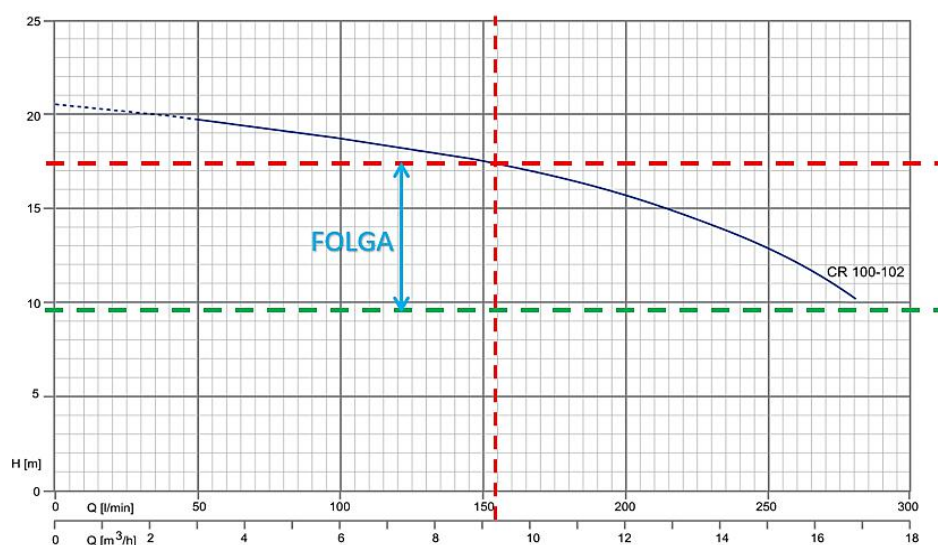


Figura 1: Folga para hipótese 1.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A primeira hipótese apresentou uma capacidade de pressão de 17,4 mca e pressão de utilização de 9,497 mca, o que sugere uma eficiência de apenas 54,58%.

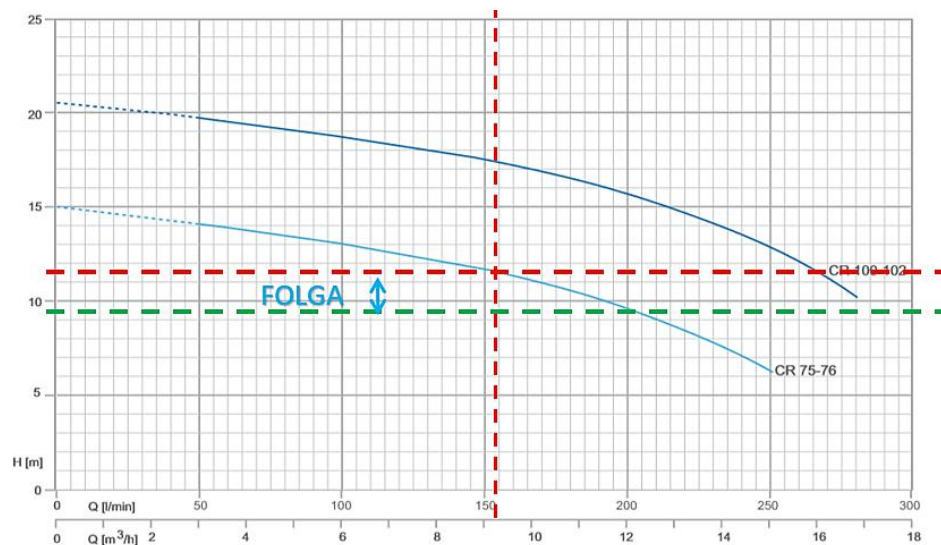


Figura 2: Folga para hipótese 2.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Para a hipótese 2, obteve-se uma capacidade manométrica de 11,5 mca para a mesma pressão de utilização anterior, o que sugere uma eficiência de 82,42%. Portanto, no que se refere à eficiência e ajuste do sistema de rega com o conjunto de bombagem, a otimização do sistema proporcionou o aumento de 27,84% em relação ao sistema existente. Ressalve-se que o primeiro sistema de bombagem possui um consumo elétrico de 1,2 KW, enquanto o segundo 0,73 KW, ou seja, uma redução de 39,16% do consumo de energia elétrica.

Analisado o ganho de eficiência do sistema de rega proposto, verificou-se também a variação de consumo hídrico para implementação da monocultura dos três plantios abordados neste trabalho. O cálculo procedeu-se com a mesma metodologia da policultura, porém, com a utilização da área total para um único tipo de cultivo, ver Tabela 11.

Tabela 11: Monocultura da Protea.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Para a monocultura da *Protea* obteve-se um volume diário de 25,902 m³/dia, enquanto a prática da policultura apresenta o volume total diário de 33,057 m³/dia. Portanto, nota-se que prática da monocultura da *Protea* apresenta uma redução de 21,644% do consumo hídrico em relação à policultura, ver Tabela 12.

Tabela 12: Monocultura do Tomateiro.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Referente à prática da monocultura do tomate, o volume total diário encontrado foi de 36,886 m³/dia, apresentando, portanto, um acréscimo de 11,583% do consumo hídrico em relação à policultura, ver Tabela 13.

Tabela 13: Monocultura da Physalis.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Nota-se que o volume total diário para a *Physalis* é o mesmo do Tomateiro, uma vez que possuem o mesmo coeficiente cultural e estão a ser analisados para a mesma evapotranspiração potencial. Apesar dos compassos serem distintos, os valores permanecem o mesmo por razão da proporcionalidade, ou seja, apesar do Tomateiro possuir um maior consumo hídrico por planta (por possuir um maior compasso), a quantidade de *Physalis* para a mesma área de plantio é maior, de forma a igualar os volumes totais diários, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Verificação de proporcionalidade.

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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

5. Considerações Finais

O objetivo do presente trabalho traduz-se na corroboração da importância do estudo hidrológico e hidráulico para o planeamento de sistemas de regas para a agricultura. Com as informações presentes no capítulo 3, torna-se perceptível a influência direta de vários fatores no cultivo (*e.g.* climatologia, relevo, solo, mão de obra, necessidade hídrica, etc.). Observa-se ainda que o fator comercial é fulcral para a verificação de viabilidade de implementação de uma prática agrícola.

Referente à *Physalis*, o cultivo demonstrou-se uma mais valia para incrementação da renda no cultivo familiar, conforme apresentado por Andrade (2008), sendo que a ilha da Madeira apresenta cerca de 96% do tempo de mão de obra de caráter familiar, um forte indício de viabilidade de implementação. Outro aspeto fulcral para as verificações à *posteriori* é o facto da *Physalis* possuir o cultivo semelhante ao Tomateiro, ou seja, relativamente simples de empregar. Salientam-se ainda alguns cuidados nomeadamente em relação à temperatura e fornecimento hídrico, onde a falta ou excesso (principalmente) potencia a ruína do cultivo.

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, tornando-se notório que as *Proteas* apresentam uma necessidade hídrica inferior às demais. Outro fator importante é que a demanda comercial da *Protea* é pela 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 conceção hidráulica que reduzem de forma significativa a eficiência da cultura, sendo disso exemplos a inexistência de um emissor para controlo de caudal, o excesso de curvas e cargas consideráveis sobre a tubagem, dimensionamento mal concebido e a baixa eficiência do conjunto de bombagem. Desta forma, conforme o apresentado na base teórica, o sistema atual apresenta perdas produtivas graves, desde o consumo elétrico 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 reduzindo a perda de carga total e favorecendo a implementação de eletrobombas de menor consumo energético. Assim sendo,

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 (20%) entre os ramais e emissores – *i.e.* regra de *Christiansen*. Além disso, foi atribuído ao sistema o emissor gota a gota que permite o controle do caudal, evitando a saturação do solo. Ficou explícito que o sistema gota a gota apresentou eficiência superior aos demais métodos e conforme os autores citados no subcapítulo 2.1. Ressalva-se que a opção por dividir a área de cultivo de tomate em duas secções permitiu a otimização e padronização das tubagens, tanto nos ramais laterais quanto nas condutas principais e intermediárias, reduzindo as perdas de carga e o custo geral associado.

Verificou-se também a variação de necessidade hídrica para implementação de monoculturas referentes às três espécies já abordadas. *À 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, correspondendo a uma redução de consumo de 21,64% 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 11,58% 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 a um acréscimo de 11,58%. Importa salientar que o menor consumo hídrico não corresponde necessariamente a uma maior lucratividade, uma vez que pelas leis de mercado o lucro corresponde à correlação entre oferta, demanda, custo e preço de venda, devendo por isso ser estudada com base no custo total de implantação e não apenas no custo hídrico e elétrico.

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, tornou as análises menos precisas e pormenorizadas, não sendo possível realizar o comparativo de perda de carga atual com o proposto, o qual apresentaria valores muito mais precisos na análise comparativa. Neste sentido, elaborou-se duas hipóteses de forma a estabelecer um ganho no desempenho.

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. Tornou-se perceptível que o sistema existente possui graves problemas hidráulicos, aumentando a perda de carga, a potência da eletrobomba e o consumo elétrico. A ausência de um controlador de caudal é um dos principais problemas encontrados no sistema

atual, tendo sido corrigido pela implementação de um emissor gota a gota no sistema proposto. Deste modo, o sistema proposto foi elaborado de forma a assegurar a necessidade hídrica e a sua aplicação eficiente, proporcionando a redução de perdas de água por saturação do solo, da sua deterioração devido à lixiviação e do consumo de energia elétrica. Outro ponto importante foi a verificação da variação de consumo hídrico por monocultura, onde se discriminaram alternativas de cultivo que podem ter maior ou menor necessidade hídrica. Evidenciou-se que a correta gestão dos recursos hídricos além do aspecto ambiental, tende a reduzir os custos de implementação e operação das culturas.

Referências Bibliográficas

- [1] AGROGES (2013), Avaliação Contínua do programa de Desenvolvimento Rural da Região Autónoma da Madeira. Relatório Anual 2012 – Versão Final. SRA, Funchal, 85 p.
- [2] Andrade, L. (2008), *Physalis* ou uchuva: Fruta da Colômbia chega ao Brasil. Revista Rural, São Paulo, v. 38, p. 11-12.
- [3] Azevedo, J. C. e Gonçalves, A. (2010). Manual de boas práticas em espaços verdes. Bragança: Câmara Municipal.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] *Christiansen*, J.E. (1942), Irrigation by Sprinkling. University of California Agricultural Experiment Station Bulletin n. 670, 124 p.
- [7] Correia, A. V. e Santos, J. L. (2015), Agricultura e Florestas: impactos e vulnerabilidades às alterações climáticas. 2015, 48 p.
- [8] Cudell, G. (2000). Manual de Instalação de Rega. Lisboa: Gustavo Cudell, LDA.
- [9] Doorenbos, J. e Pruitt, J. O. (1977), Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO. 179 p. (FAO Irrigation and Drainagem, 24).

- [10] Duarte, H. S. S. e Zambolim, L. e 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.
- [11] 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.
- [12] Fernández, M. G. C. (2005), El cultivo de *Proteas* em Canarias. Sección de Floricultura. Granja Agrícola Experimental. 4 p.
- [13] Ferreira A. (1995), O clima de Portugal. Açores e Madeira. INMG, Fasc VIII. 64 p.
- [14] Fischer, G. e 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.
- [15] Fischer, G. e Miranda, D. e Piedrahita, W. e 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.
- [16] Gaspar M. A. e 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.
- [17] Hawkins, H-J. e 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.
- [18] Heuvelink, E. (1995), Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in greenhouse. *Scientia Horticulturae*, v. 61, p. 77-99.
- [19] Lopes, M. C. e Stripari, P. C. (1998), A cultura do tomateiro. In: Goto, R. e Tivelli, S. W. *Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, p. 15-30.
- [20] Lousada, S. A. N. e Camacho, R. (2018), *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira. 230 p.
- [21] Mapa de evapotranspiração de Portugal, Disponível em: <<http://www.ipma.pt/pt/index.html>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- [22] 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.

- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Pagot, E. 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.
- [27] Pereira, E. C. N. (1989), Ilhas de Zarco. Funchal.
- [28] Prada, S. e Silva, M. O. e Cruz, J. V. (2003), Groundwater behaviour in Madeira, volcanic island (Portugal). Hydrogeology Journal.
- [29] 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 Agrónómica pela Universidade de Lisboa, Lisboa. 120 p.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Rodrigues R. (1995), Hidrologia de Ilhas Vulcânicas. LNEC, Lisboa.
- [34] 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.
- [35] Rufato, L. e Rufato, A. De. R. e Schlemper, C. e Lima, C. S. M. e Kretzschmar, A. A. (2008), Aspectos técnicos da cultura da *Physalis*. 1ª ed. Lages: CAV/UDESC; Pelotas, UFPel. 100 p.

- [36] Testezlaf, R. e Matsura, E. E (2015), Engenharia de irrigação: tubos e acessórios. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola. 153p.
- [37] Testezlaf, R. (2017), Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2017.