

# **Sustentabilidade energética na rega do Olival (*Olea europaea*) super-intensivo. Utilização de energia fotovoltaica**

**Beatriz de Mira Borges da Mota Vacas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

**Orientadores:** Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes  
Doutor Olívio Godinho Patrício

**Júri:**

**Presidente:** Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora associada do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

**Vogais:** Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor associado jubilado do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, Professor auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha Família, porque a Família é a base de tudo. À minha Mana, pela ajuda imprescindível e apoio que me deu neste trabalho e também pela paciência e disponibilidade! Aos meus Pais, por todo o apoio, paciência e fé que demonstraram durante este ano.

Ao meu orientador, Prof. Doutor João Rolim, agradeço todo o acompanhamento e ajuda ao longo da elaboração desta dissertação e os valiosos ensinamentos transmitidos. Agradeço também a paciência e disponibilidade que demonstrou perante todas as minhas dúvidas e “crises existenciais”.

Ao meu coorientador, Prof. Doutor Olívio Patrício agradeço as palavras de incentivo, amizade, e o conhecimento que me transmitiu.

Quero agradecer também ao Instituto Superior de Agronomia, que é muito mais do que uma Universidade, só quem por lá passa é que sabe. E a todos os amigos que fiz ao longo destes inesquecíveis 5 anos. O que o ISA constrói, nada destrói!

Ao Prof. Doutor Pedro Alpendre, agradeço a ajuda que me deu no início deste projeto e os bons conselhos.

À Sofia Branquinho, agradeço a disponibilização de dados muito importantes para a realização da minha dissertação.

Por fim, agradeço a todos os Amigos e Familiares que me apoiaram ao longo deste projeto.

## **Resumo**

A energia consumida na rega consiste num dos principais custos das culturas agrícolas, sendo necessário promover a utilização de energias renováveis, como a fotovoltaica. Para além disso, também é importante baixar a pegada carbónica da rega.

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver uma metodologia de dimensionamento de um sistema de rega alimentado exclusivamente a energia fotovoltaica, para um olival super-intensivo na região de Beja. O método de dimensionamento proposto baseia-se na utilização de energia fotovoltaica, sem baterias nem reservatórios elevados de água, recorrendo a setores de rega assimétricos definidos de acordo com a disponibilidade de radiação solar ao longo do dia.

Esta metodologia permite calcular a área de painéis necessária e dimensionar o sistema de rega de acordo com os dados de potência e energia fotovoltaica fornecidos pelo *software* PVGIS, e as necessidades de rega calculadas pelo modelo ISAREG.

Considerou-se um período de estudo de 12 anos (2005-2016), e uma parcela de cerca de 15 hectares. Tendo em conta a área de painéis calculada e posteriormente ajustada, dividiu-se a parcela em estudo em quatro setores assimétricos, de forma a ajustar a área a regar à produção de energia ao longo do dia.

Procedeu-se à validação do sistema, comparando as necessidades energéticas para rega dos setores assimétricos com a energia produzida pelo sistema de painéis fotovoltaicos.

Como o tempo de rega do sistema proposto diminui em relação ao dimensionamento clássico, a potência da bomba necessária irá aumentar (e os seus custos também), bem como o caudal de rega. Desta forma, conclui-se que este sistema é exequível, sendo muito interessante a independência deste sistema da rede elétrica.

Verificou-se que o sistema dimensionado não conseguiu suprir a totalidade das necessidades de rega 14 vezes durante o período de estudo, resultando numa taxa de falhas de 3,24%.

## **Palavras-chave**

rega gota a gota, balanço hídrico, painel fotovoltaico, olival super-intensivo, dimensionamento hidráulico,

## **Abstract**

Energy consumption on irrigation is one of the main costs of agricultural crops, and therefore it is necessary to promote the use of renewable energies, such as the photovoltaic.

This dissertation's objective consists in developing an irrigation system design methodology for a super-intensive olive orchard powered exclusively by photovoltaic energy. The proposed design methodology is based on the use of photovoltaic energy, without batteries or elevated water reservoirs, recurring to asymmetric irrigation sectors defined according to the availability of solar radiation throughout the day.

This methodology allows the calculation of the photovoltaic panel area required and the design of the irrigation system according to the photovoltaic power and energy data supplied by the PVGIS software and the irrigation requirements calculated by the ISAREG model.

It was considered a study period of 12 years (2005-2016) and a parcel of approximately 15 hectares. Given the panel area calculated and then adjusted, this parcel was divided in four asymmetric sectors, in order to adjust the irrigated area to the energy production throughout the day.

It was done the validation of the system, comparing the energetic requirements for irrigating the asymmetric sectors with the energy produced by the photovoltaic system. Since the irrigation time of the proposed system decreases in comparison with the classic system, the necessary pump power will increase (and also its costs), as well as the irrigation flow rate. It was concluded that, this type of system is feasible, being more interesting when it is not grid connected.

It was verified that the designed system has failed to supply the totality of the irrigation requirements 14 times during the study period, which results in a 3.24% of fail.

## **Key-words**

Drip irrigation, water balance, photovoltaic panel, super-intensive olive orchard, hydraulic design

## Índice Geral

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
2.1. Energias Renováveis, Sustentabilidade e Emissões de CO <sub>2</sub> .....	2
2.2. Olival.....	3
2.2.1. Olival super-intensivo.....	5
2.2.2. Rega do olival.....	6
2.2.2.1. Rega deficitária do olival.....	7
2.2.2.2. Sistemas de rega localizada.....	9
2.3. Energia fotovoltaica.....	10
2.3.1. Fundamentos da Energia Fotovoltaica.....	10
2.3.2. Energia fotovoltaica aplicada à rega.....	13
2.3.3. Sistemas de bombagem.....	15
3. Materiais e Métodos.....	16
3.1. Local de estudo.....	16
3.1.1. Caracterização geográfica.....	16
3.1.2. Caracterização edafo-climática.....	19
3.1.3. Caracterização da cultura.....	23
3.2. Cálculo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico.....	24
3.3. Cálculo das necessidades de rega.....	25
3.4. Metodologia proposta para o dimensionamento de sistemas de rega fotovoltaica com setores assimétricos.....	28
3.4.1. Dimensionamento da área de painéis e cálculo da produção de energia.....	29
3.4.2. Dimensionamento do sistema de rega com setores assimétricos.....	34
3.4.2.1. Dimensionamento dos setores assimétricos.....	34
3.4.2.2. Dimensionamento hidráulico.....	35
3.4.2.3. Situação de inverno.....	41
3.4.3. Análise comparativa da energia fotovoltaica produzida com as necessidades energéticas da rega.....	41
3.4.4. Comparação sistema proposto com o sistema de rega clássico.....	42
4. Resultados e Discussão.....	42
4.1. Necessidades de rega e caudais de ponta.....	42
4.2. Dimensionamento da área de painéis.....	44
4.2.1. Correlação entre os dados de radiação obtidos pelo <i>software</i> PVGIS e os dados obtidos na estação meteorológica.....	44

4.2.2. Número de painéis necessários e energia produzida pelo sistema fotovoltaico .....	44
4.3. Setores assimétricos .....	45
4.3.1. Situação de inverno .....	51
4.4. Comparação da energia fotovoltaica produzida com as necessidades energéticas da rega .....	53
4.5. Comparação com o sistema de rega clássico .....	54
5. Conclusões e Perspetivas Futuras .....	57
Referências Bibliográficas .....	59
ANEXOS.....	66

## Índice de Figuras

Figura 1 - Oliveira (fonte: <a href="https://www.gardenia.net/plant/olea-europaea">https://www.gardenia.net/plant/olea-europaea</a> ).....	3
Figura 2 - Distribuição do olival em Portugal (fonte: Copernicus Land Monitoring Service)..	4
Figura 3 - Olival super-intensivo (fonte: <a href="http://bit.do/fqWu9">http://bit.do/fqWu9</a> ). .....	6
Figura 4 - Estratégia de rega deficitária aplicada num olival experimental (adaptado de: Fernández <i>et al.</i> , 2013).....	8
Figura 5 - Estrutura de uma célula fotovoltaica (adaptado de: Cook <i>et al.</i> , 1995).....	11
Figura 6 - Estrutura de uma célula fotovoltaica de silício cristalino (fonte: Pinho e Galdino, 2014).....	12
Figura 7 - Estrutura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino (fonte: Pinho e Galdino, 2014).....	12
Figura 8 - Radiação solar e horas de pico ao longo do dia (adaptado de: Maheshwari <i>et al.</i> , 2017).....	13
Figura 9 - Sistema de bombagem fotovoltaico com bomba submersa (A) e com bomba de superfície (B) (fonte: <a href="https://bit.ly/3eTiQEF">https://bit.ly/3eTiQEF</a> ). .....	15
Figura 10 - Bomba centrífuga (fonte: <a href="http://como-funciona-una-bomba-centrifuga.jpg">como-funciona-una-bomba-centrifuga.jpg</a> (bombasdeagua.site)).....	16
Figura 11 - Localização da Herdade dos Linharinhos no mapa de Portugal (fonte: Google Earth).....	17
Figura 12 - Herdade dos Linharinhos, Beja (fonte: Google Earth).....	18
Figura 13 - Hidrante com estação elevatória (fonte: Google Earth). .....	18
Figura 14 - Inserção da herdade dos Linharinhos no perímetro de rega do Alqueva (fonte: EDIA).....	19
Figura 15 - Carta de solos da Herdade dos Linharinhos (fonte: DGADR).....	20
Figura 16 - Clima de Portugal, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger (fonte: <a href="https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/">https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/</a> ). .....	21
Figura 17 - Clima mundial, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger (fonte: <a href="http://shorturl.at/tX468">shorturl.at/tX468</a> ). .....	21
Figura 18 - Diagrama ombrotérmico, 2005-2016 da Estação Meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020). .....	22
Figura 19 - Evolução da Evapotranspiração de referência, 2005-2016 da Estação Meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020).....	23
Figura 20 - Olival super-intensivo da Herdade dos Linharinhos. ....	23
Figura 21 - Página inicial do <i>software</i> PVGIS (fonte: <a href="https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis">https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis</a> ).....	25
Figura 22 - Fluxograma do programa ISAREG (adaptado de: Teixeira, 1990a).....	27
Figura 23 - Fluxograma com a metodologia proposta. ....	28
Figura 24 - Fluxograma da metodologia de cálculo da área de painéis a instalar.....	29
Figura 25 - Interfaces com o utilizador do <i>software</i> PVGIS ( <a href="https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP">https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP</a> ) relativas a [A] dados mensais de radiação; [B] dados horários de radiação e potência produzida pelo painel; [C] dados mensais médios de energia produzida pelo painel. ....	30
Figura 26 - Variação na potência produzida pelo sistema fotovoltaico ao longo do tempo (ENREPO, 2017).....	33
Figura 27 - Fluxograma da metodologia do dimensionamento dos setores assimétricos. ....	34
Figura 28 - Comparação dos dados de radiação obtidos pelo PVGIS com os dados observados na estação meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020).....	44

Figura 29 – Potência média produzida pelo sistema de 27 painéis ao longo do dia 15 no mês de Julho (PVGIS). .....	46
Figura 30 - Parcela em estudo. ....	47
Figura 31 - Esquema de um setor de rega (excerto). ....	48
Figura 32 - Comparação da potência média produzida pelo sistema de 27 painéis ao longo do dia 15 dos meses de Março e Julho (PVGIS). ....	52
Figura 33 - Esquema de um setor de rega (excerto). ....	52
Figura 34 - Comparação da energia produzida pelo sistema fotovoltaico de 27 painéis com as necessidades energéticas para rega. ....	53
Figura 35 - Comparação da energia produzida pelo sistema fotovoltaico de 30 painéis (coeficiente de segurança de 10%) com as necessidades energéticas para rega. ....	54

## Índice de Quadros

Quadro 1 - Efeitos do déficit hídrico nas várias fases do ciclo vegetativo da oliveira (adaptado de: D’Andria e Lavini, 2007). ....	8
Quadro 2 - Valores de Kc para um olival com 60% do solo coberto (fonte: Pastor Muñoz-Cobo, 1994). ....	9
Quadro 3 – Parâmetros médios de solo à profundidade de 60 cm (Carvalho Cardoso, 1965). 20	
Quadro 4 – Períodos do ciclo do olival (Branquinho, 2020). ....	27
Quadro 5 - Valores de Kc do olival em estudo (Branquinho, 2020). ....	27
Quadro 6 - Número de horas de sol diárias para cada mês. ....	32
Quadro 7 - Análise frequencial dos caudais de ponta. ....	43
Quadro 8 - Análise frequencial das necessidades anuais. ....	43
Quadro 9 - Determinação do número de painéis necessários (médias mensais no período em estudo). ....	45
Quadro 10 - Horário de rega da parcela. ....	46
Quadro 11 - Características da parcela. ....	47
Quadro 12 - Parâmetros de rega. ....	48
Quadro 13 - Características principais das rampas de rega selecionadas. ....	49
Quadro 14 - Características das rampas. ....	49
Quadro 15 - Características dos porta-rampas. ....	49
Quadro 16 - Características da conduta principal, altura manométrica e potência mínima da bomba. ....	50
Quadro 17 - Bombas selecionadas. ....	50
Quadro 18 - Horário de rega de Inverno da parcela. ....	52
Quadro 19 - Lista de decêndios cujas necessidades de rega não são supridas na totalidade (27 painéis). ....	54
Quadro 20 - Parâmetros de rega. ....	55
Quadro 21 - Características principais dos gotejadores selecionados. ....	56
Quadro 22 - Características das rampas. ....	56
Quadro 23 - Características dos porta-rampas. ....	56
Quadro 24 - Características da conduta principal, altura manométrica e potência mínima necessária da bomba. ....	57

## **Lista de siglas e abreviaturas**

APA (Associação Portuguesa do Ambiente)

CC (Capacidade de Campo)

CE (Coeficiente de Emurchecimento)

COTR (Centro de Competências para o Regadio Nacional)

DRAPC (Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro)

DU (Dotação Útil)

EDIA (Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A.)

GEE (Gases com efeito de estufa)

INE (instituto Nacional de Estatística)

IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera)

MAD (Depleção Máxima Admitida)

NH (Necessidades Hídricas)

PVC (Policloreto de vinilo)

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

RFU (Reserva Facilmente Utilizável)

RNC (Roteiro para a Neutralidade Carbónica)

RU (Reserva Utilizável)

SAGRA (Sistema Agrometeorológico para Gestão da Rega no Alentejo)

SROA (Serviço de Reconhecimento e Ordenamento do Território)

WRB (World Reference Base)

## Lista de símbolos

Ac (Ascensão capilar)

Dr (Drenagem)

Es (Escoamento superficial)

ET<sub>c</sub> (Evapotranspiração cultural)

ET<sub>o</sub> (Evapotranspiração de referência)

F<sub>sh</sub> (Fração se solo humedecido)

Hmt (Altura manométrica da bomba)

J (Perdas de carga contínuas)

j (Perdas de carga unitárias)

K<sub>c</sub> (Coeficiente cultural)

K<sub>s</sub> (Coeficiente de stresse)

N (Número de horas de sol)

P (Potência)

Prec (Precipitação)

R<sub>g</sub> (Rega)

z<sub>r</sub> (Profundidade radicular)

ΔH (Perdas de carga)

Δh (Variação de pressão)

δ (Declinação solar)

φ (Latitude)

η (Rendimento do grupo eletrobomba)

ω<sub>s</sub> (Ângulo do ocaso do sol)

φ (Diâmetro)

## 1. Introdução

O foco desta dissertação prende-se com a necessidade do aumento da sustentabilidade energética da rega do olival super-intensivo. Para tal, será estudado o uso da energia fotovoltaica, uma energia renovável.

A sustentabilidade energética atinge-se através do aumento da eficiência energética, necessária uma vez que os custos relacionados com a energia tendem a ser cada vez maiores (Mériada García *et al.*, 2018). Para além disso, a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é outro pressuposto que lhe está associado. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) desenvolveu o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050), de forma a que seja possível assegurar a neutralidade carbónica até 2050, o que reforça a necessidade de incorporação de sistemas de energia renovável na rega, uma vez que esta é uma das maiores fontes de emissões no caso das culturas permanentes de regadio

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia para o dimensionamento de um sistema de rega de um olival super-intensivo, com setores assimétricos, baseado exclusivamente na utilização da energia fotovoltaica. O desenvolvimento deste sistema passa pelas seguintes etapas:

- cálculo das necessidades de rega (incluindo o caudal de ponta) do olival em estudo;
- dimensionamento da área de painéis a instalar e cálculo da produção de energia fotovoltaica;
- metodologia de dimensionamento de sistemas de rega com setores assimétricos;
- análise comparativa da energia fotovoltaica produzida pelo sistema projetado com as necessidades energéticas da rega;
- comparação do sistemas de rega fotovoltaico com rega direta (setores assimétricos) (Shahidian *et al.*, 2014) com um sistema de rega clássico.

O estudo foi realizado na região do Alentejo, num olival super-intensivo da Herdade dos Linharinhos pertencente à empresa ELAIA.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Energias Renováveis, Sustentabilidade e Emissões de CO<sub>2</sub>**

Atualmente, a energia consumida na rega constitui um dos principais custos das explorações agrícolas de regadio, e que aumenta de dia para dia, tornando-se a fatura energética cada vez mais pesada (Mérida García *et al.*, 2018). Assim, tem-se considerado cada vez mais a utilização de energias renováveis, como a energia fotovoltaica, para fazer face a esta necessidade, nomeadamente em zonas rurais isoladas, onde a utilização da energia da rede poderá não ser viável em termos económicos (Shahidian *et al.*, 2014; Hartung e Pluschke, 2018).

A energia fotovoltaica é particularmente interessante, uma vez que os períodos com maior disponibilidade de radiação solar coincidem com os de maior exigência de energia para o bombeamento da água para a rega (Shahidian *et al.*, 2014).

Para além disto, a utilização de energias renováveis nos sistemas agrícolas é de grande importância no que respeita à redução das emissões de CO<sub>2</sub>, já que ainda existe uma dependência dos combustíveis fósseis na produção de energia elétrica. Assim, as energias renováveis surgem como alternativas limpas e sustentáveis às fontes de energia convencionais (Hartung e Pluschke, 2018; Mérida García *et al.*, 2018).

Relativamente à questão das emissões de CO<sub>2</sub>, a APA desenvolveu o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (APA, 2019), de forma a que seja possível assegurar a neutralidade carbónica (equilíbrio entre as emissões de carbono e a absorção e sequestro do mesmo, de forma a atingir um valor nulo de emissões líquidas de gases com efeito de estufa (GEE)) até 2050 (European Parliament, 2019). Este roteiro promove a transição para uma economia competitiva, circular, resiliente e neutra em carbono, atribuindo metas e prevendo trajetórias para cada setor. Nomeadamente, no setor agrícola e florestal, reitera a importância da redução das emissões na produção animal e vegetal, bem como do aumento de sequestro de carbono na floresta. Atingir este objetivo implica reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em mais de 85% em relação a 2005, e garantir uma capacidade de sequestro de carbono de cerca de 13 milhões de toneladas (APA, 2019). Entre as diferentes medidas que se podem tomar, inclui-se a adoção de energias renováveis, que permitam diminuir estas emissões.

Neste momento, as energias renováveis têm uma contribuição relativamente baixa para o fornecimento de energia à escala global. No entanto, nos últimos anos, as tecnologias associadas a energias renováveis têm tido avanços significativos, nomeadamente nos sistemas

fotovoltaicos. Estes avanços, aliados a alterações no mercado e outros fatores, conduziram a diminuições substanciais dos custos e preços destes sistemas (Bruckner *et al.*, 2014). Assim, apesar de não existir uma energia renovável dominante com grande probabilidade de ser implementada a nível global, a energia solar é uma das que mostra maior crescimento (Bruckner *et al.*, 2014).

## 2.2. Olival

O olival é uma cultura que existe, provavelmente, desde a pré-história, e que faz parte integrante da nossa paisagem e na nossa cultura.

A oliveira (Figura 1) é uma fruteira lenhosa, de folhagem persistente e crescimento lento, pertencente à Família *Oleaceae*, Subfamília *Oleoideae*, Género *Olea* e Espécie *Olea europaea* L. (Bacelar *et al.*, 2009; Cordeiro *et al.*, 2013).

Esta cultura pode ser multiplicada por via vegetativa (estacaria, enxertia), ou por via sexuada (semente), desenvolvendo um sistema radicular fasciculado. Note-se que a propagação por estacaria semi-lenhosa com nebulização é o método mais comum quando não existem restrições de cariz técnico ou financeiro (Bacelar *et al.*, 2009; Peixe *et al.*, 2013).



Figura 1 - Oliveira (fonte: <https://www.gardenia.net/plant/olea-europaea>).

Importante, ainda, referir que Portugal é um país mediterrânico, tendo, também, uma vertente atlântica (Ribeiro, 1998), o que significa que o olival não se estende a todo o território de Portugal continental (Figura 2). Assim, sabe-se que cerca de 52% da área

ocupada por olival em Portugal se distribui pela zona do Alentejo, o que corresponde a 188194 ha. Seguem-se as outras duas regiões com mais expressão: o Norte, com uma área de olival de 86427 ha (24%) e o centro com 84246 ha (23%) (Instituto Nacional de Estatística, 2019).

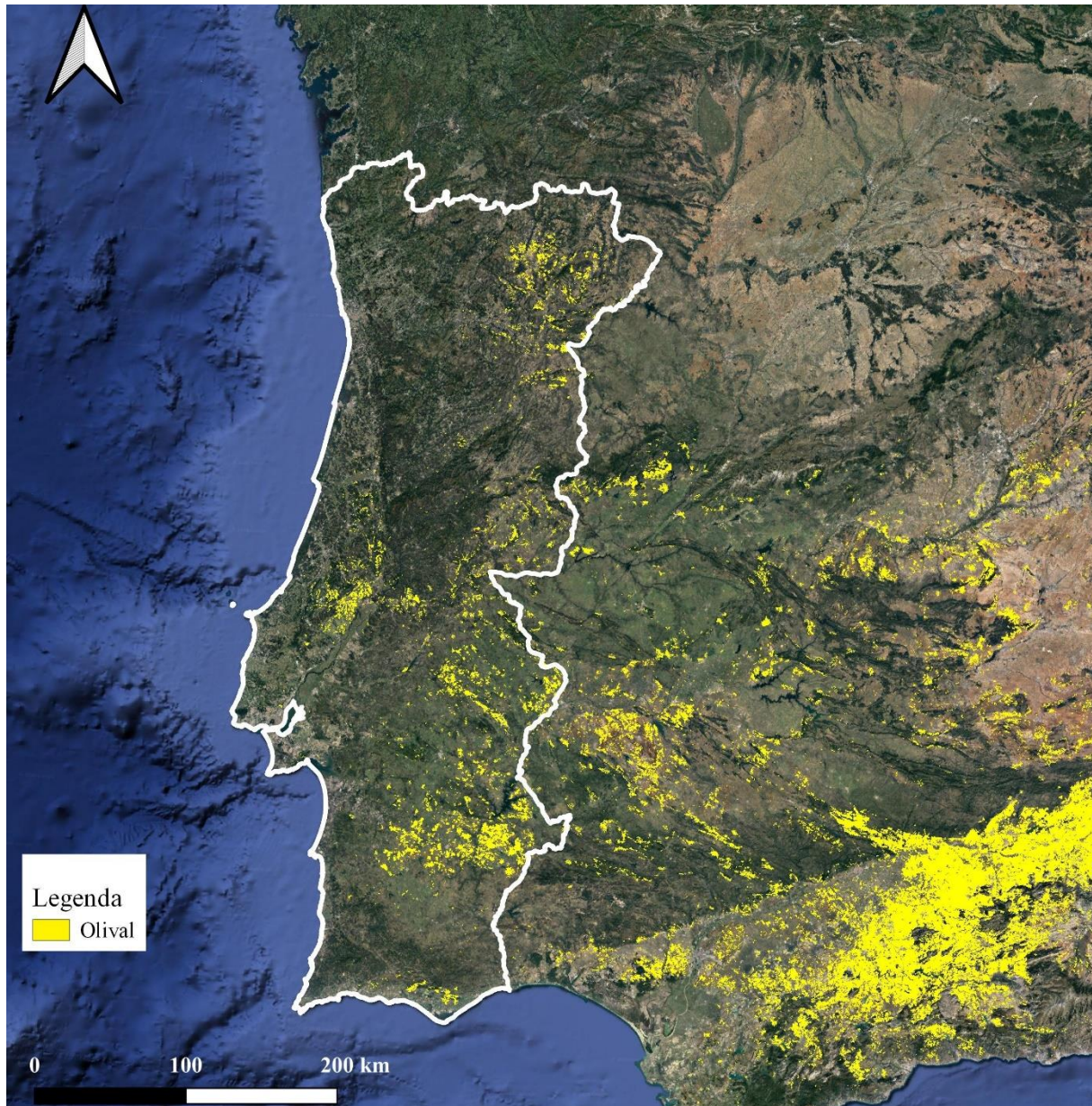


Figura 2 - Distribuição do olival em Portugal (fonte: Copernicus Land Monitoring Service).

O ciclo da oliveira é bienal e caracteriza-se por apresentar anos de safra e contra-safra, isto é, uma alternância entre anos de boa produção e anos de produção fraca. Esta alternância justifica-se pelo facto de a indução da floração para um ano ocorrer sensivelmente 18 meses antes da colheita correspondente. Assim, a indução da floração para o ano seguinte irá ocorrer em simultâneo com a frutificação do ano em curso. Desta forma, quando a frutificação é

muito elevada, as reservas energéticas das árvores serão aplicadas neste processo, dificultando a indução da floração para o ano seguinte (Rodrigues e Correia, 2009).

Em relação à entrada em produção da oliveira, as cultivares podem-se classificar como precoces (Arbequina, Azeiteira, Blanqueta, Cordovil de Elvas e Cordovil de Serpa, Galega, Picual, entre outras) ou tardias (Carrasquenha, Redondal, Santulhana, Verdeal Alentejana, entre outras). Existem ainda cultivares cuja entrada à produção é intermédia (Cobrançosa, Cordovil de Castelo-Branco, Maçanilha de Tavira, Verdeal de Trás-os-Montes, entre outras) (Cordeiro *et al.*, 2013).

No que toca aos sistemas de condução do olival, podemos distinguir o cultivo extensivo, o intensivo e o super-intensivo. O primeiro remete-nos para o olival tradicional, de sequeiro, na sua maioria com densidades até 100 árvores por hectare, mas podendo atingir 300 árvores por hectare. Já o olival intensivo poderá chegar às 700 árvores por hectare, e o super-intensivo às 2000 árvores. Ambos os sistemas intensivos são de regadio, e o último (super-intensivo) caracteriza-se pela condução das árvores em sebe (Reis, 2014).

### **2.2.1. Olival super-intensivo**

O olival super-intensivo (Figura 3) é um sistema de condução do olival no qual a densidade de plantação é aumentada consideravelmente em relação ao tradicional (Reis, 2014), sendo fortemente baseado na condução agronómica da vinha (Fernández *et al.*, 2013). Para além disso, caracteriza-se por utilizar variedades pouco vigorosas e com rendimentos elevados, nomeadamente, Arbequina e Arbosana (Tombesi e Tombesi, 2007; Barroso *et al.*, 2013).

É também de realçar que este sistema permite uma entrada em produção no terceiro ano, sendo muito precoce. Esta característica deve-se não só à elevada densidade de plantação, como também à proximidade entre sistemas radiculares, e ao período de juventude reduzido que é característico das variedades pouco vigorosas (Barroso *et al.*, 2013).

No que respeita ao tipo de solo, o olival responde melhor a texturas com proporções equilibradas de areia, limo e argila, de forma a promover o bom arejamento e armazenamento de água e nutrientes. O declive deve ser reduzido (inferior a 20%), de forma a permitir a fácil realização de operações culturais. Declives para sul, este e oeste são mais favoráveis para uma produção com boa qualidade e volume (Tombesi e Tombesi, 2007).

As densidades de plantação podem chegar às 2000 árvores por hectare, com espaçamentos mais reduzidos (compassos de 3 a 4 m na entrelinha por 1,3 a 1,5 m na linha (Tombesi e Tombesi, 2007)), plantadas em sebe, e recorrendo à rega localizada, já que este

tipo de rega promove elevadas eficiências e uniformidades de aplicação da água (Barroso *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013).

Este sistema de condução exige um investimento elevado, no entanto, como já se referiu, permite que a entrada em produção ocorra mais cedo, e com produtividades bastante favoráveis, da ordem dos 8000 a 21200 kg/ha (Mestre, 2009). Para além disso, as operações culturais, como a plantação (incluindo a colocação dos tutores), a poda, a colheita e também a aplicação de fitofármacos processam-se de forma mecanizada, reduzindo os custos com a mão-de-obra (De la Rosa *et al.*, 2007; Barroso *et al.*, 2013).



Figura 3 - Olival super-intensivo (fonte: <http://bit.do/fqWu9>).

### **2.2.2. Rega do olival**

O olival é uma cultura tradicionalmente de sequeiro, no entanto, com o objetivo de aumentar a sua produtividade, o regadio tem sido cada vez mais utilizado (Boteta *et al.*, 2005). Contudo, é crucial uma condução adequada da rega, utilizando-se apenas a quantidade de água necessária, na altura própria. Deste modo, e tendo em conta que a agricultura é a atividade humana com maior consumo de água, deverá promover-se um uso de água eficiente e uma boa gestão deste recurso.

O olival é uma cultura com grande facilidade de adaptação ao meio, ao clima, e à seca, apresentando produções aceitáveis, mesmo não regado (Santos *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2007). Assim, a oliveira desenvolveu estratégias de regulação estomática para resistir ao stresse hídrico e evitar a desidratação (Pastor Muñoz-Cobo, 2005). O fecho dos estomas é uma destas estratégias, estando associado à diminuição da atividade fotossintética, pelo que pode levar a decréscimos na produção. Desta forma, a rega funciona como um mecanismo de extrema importância para o controlo do fecho dos estomas, contribuindo para a melhoria da

produção final e da qualidade dos frutos (rendimento, tamanho e densidade) (Grattan *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2007). Para além disso, a rega promove um maior crescimento das árvores, tornando-as mais frondosas do que no caso do sequeiro, e com maior capacidade produtiva (Girona Gomis *et al.*, 2005).

### **2.2.2.1. Rega deficitária do olival**

Considerando que a disponibilidade de água para o regadio é cada vez mais limitada, a rega deficitária torna-se numa estratégia a adotar, sendo especialmente adequada no caso da oliveira devido ao mecanismo de regulação estomática. Contudo, é necessário analisar criteriosamente a situação, de forma a que não se provoque uma diminuição considerável na produção, tanto em termos de quantidade, como de qualidade (Santos *et al.*, 2007). Para além disso, esta estratégia poderá ser também importante para o controlo do excesso de vigor das árvores, e de problemas que poderão daí advir (Fernández *et al.*, 2013). É também importante salientar que a rega deficitária e a sua otimização poderão originar aumentos muito relevantes na eficiência do uso da água e na sua produtividade, melhorando, também os rendimentos das explorações agrícolas (Santos *et al.*, 2013). Assim, e de forma a fazer uma boa gestão da rega, com vista a obter os melhores resultados possíveis, é necessário estudar as necessidades de rega da cultura.

Tendo em conta que no verão e a partir do endurecimento do endocarpo até ao início da maturação, a oliveira apresenta menor sensibilidade ao défice hídrico, é possível reduzir a quantidade de água de rega, sem que a produção seja afetada (Pastor Muñoz-Cobo, 2005). Por outro lado, entre o início do crescimento das inflorescências e a floração, não é favorável o défice hídrico, já que irá afetar a qualidade das flores, o número de frutos por árvore e, portanto, a produção (Pastor Muñoz-Cobo, 2005) (Quadro 1). O mesmo se passa durante o crescimento dos frutos, até ao endurecimento do endocarpo, já que um bom estado hídrico e nutritivo irá contribuir para a diminuição da sua queda (Pastor Muñoz-Cobo, 2005). É ainda de referir que se devem evitar grandes períodos de défice hídrico, já que são necessárias quantidades consideráveis de assimilados para que os frutos cresçam devidamente (Pastor Muñoz-Cobo, 2005).

Existem várias modalidades de rega deficitária:

- Convencional (*Sustained Deficit Irrigation* - SID): apenas se fornece às árvores uma fração fixa da quantidade de água consumida pela evapotranspiração; esta técnica poderá provocar um aumento do stresse hídrico, devido à diminuição da humidade do solo (Mendonça, 2016);

- Controlada (*Regulated Deficit Irrigation* - RDI): a rega é aplicada à cultura em certas fases do ciclo em que a planta é mais sensível ao stresse (Figura 4), tais como a floração, o endurecimento do endocarpo, e também durante duas a três semanas antes do amadurecimento do fruto, reduzindo-se o fornecimento de água no resto do ciclo (Fernández *et al.*, 2013); este sistema é utilizado, em parte, para o controlo do crescimento vegetativo;

- Parcial (*Partial root-drying* - PRD): adaptação do sistema RDI, na qual apenas se rega metade da zona radicular, permitindo que a outra metade esteja em stresse; depois de algum tempo procede-se à rega da segunda metade, permitindo que a primeira entre em stresse. Este sistema possibilita que as folhas se mantenham hidratadas (Stikić *et al.*, 2010).

Quadro 1 - Efeitos do défice hídrico nas várias fases do ciclo vegetativo da oliveira (adaptado de: D’Andria e Lavini, 2007).

Fase do ciclo vegetativo	Período	Efeitos do défice hídrico
Crescimento vegetativo	Final verão / Início outono	Mau desenvolvimento dos gomos florais e rebentos do próximo ano
Formação de gomos florais	Fevereiro - Abril	Diminuição do número de flores
Floração	Maio	Diminuição do número de flores férteis
Frutificação	Maio - Junho	Redução da frutificação
Crescimento inicial dos frutos	Junho - Julho	Diminuição da dimensão dos frutos
Crescimento dos frutos	Agosto - Novembro	Diminuição da dimensão dos frutos
Lipogénese (acumulação de óleo)	Julho - Novembro	Menor teor em óleo por fruto

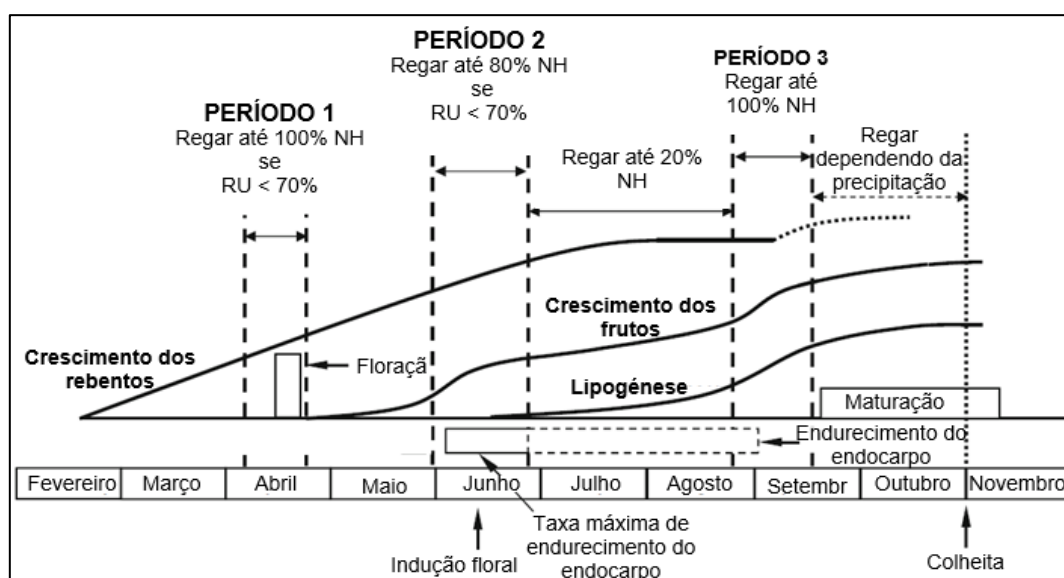


Figura 4 - Estratégia de rega deficitária aplicada num olival experimental (adaptado de: Fernández *et al.*, 2013).

A evapotranspiração cultural referida acima é função de dois coeficientes: o coeficiente cultural ( $K_c$ ) e o coeficiente de stresse ( $K_s$ ). O primeiro depende de diferentes aspetos da cultura, tais como a espécie, estado de desenvolvimento, profundidade radicular e altura da cultura, teor de humidade do solo e evaporação do mesmo, arquitetura do coberto, mas também de práticas agronómicas como o espaçamento (Allen *et al.*, 1998; Ferreira, 2017). Já o coeficiente de stresse tem como objetivo ajustar o valor da evapotranspiração cultural, refletindo os efeitos do stresse hídrico na cultura (Allen *et al.*, 1998).

No Quadro 2 estão presentes os valores médios do coeficiente cultural para um olival com 60% do solo coberto.

Quadro 2 - Valores de  $K_c$  para um olival com 60% do solo coberto (fonte: Pastor Muñoz-Cobo, 1994).

Coeficiente cultural ( $K_c$ )											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,50	0,50	0,65	0,60	0,55	0,5	0,45	0,45	0,55	0,60	0,65	0,50

#### 2.2.2.2. Sistemas de rega localizada

A rega localizada consiste num método de rega com elevada eficiência (Pereira, 2004; D'Andria e Lavini, 2007; Oliveira, 2011), tendo um consumo de água mais reduzido, uma vez que a água é aplicada numa zona limitada do terreno, apenas nos locais onde se desenvolvem as raízes das plantas (Puerto, 2010). Assim, implica uma maior frequência de rega, já que a diminuição do volume molhado provoca a redução da capacidade de armazenamento de água no solo (Puerto, 2010). A sua instalação é bastante dispendiosa (Babušík, 2010; Puerto, 2010), pois necessita de elevado número de equipamentos de controlo e de filtragem. Este método de rega pode subdividir-se em vários tipos: gota-a-gota, micro-aspersão, alagadores e rega sub-superficial. A rega gota-a-gota é mais utilizada em pomares, incluindo o olival com condução intensiva e super-intensiva, devido à sua elevada eficiência e uniformidade de rega, como já referido acima (D'Andria e Lavini 2007; Mendonça 2016).

Na rega gota-a-gota, a distribuição da água é feita a partir de uma rede de condutas e rampas com emissores. Estes emissores/gotejadores têm como objetivo dissipar a pressão da água nas tubagens e emití-la com um caudal determinado (Puerto, 2010). Os caudais fornecidos pelos gotejadores podem variar entre 2 e 12 L/h (Rasquillo Raposo, 1996).

### **2.3. Energia fotovoltaica**

Portugal, como outros países mediterrânicos, apresenta valores elevados de radiação solar, com um número médio de horas de sol por ano que varia entre 2200 e 3000. Assim, a utilização desta radiação como fonte de energia é uma boa alternativa às fontes mais comuns (Fernández *et al.*, 2013), como os combustíveis fósseis ou a energia elétrica da rede.

Neste âmbito, e com vista a combater as alterações climáticas, foi desenvolvido o projeto MASLOWATEN, coordenado pela Universidade Politécnica de Madrid e com participação da Universidade de Évora. Este projeto pretende conceber um sistema de rega totalmente alimentado a energias renováveis, reduzindo custos de rega entre 50 e 75% (MASLOWATEN, 2018; Ribeiro, 2019).

Os sistemas de energia fotovoltaica são bastante utilizados atualmente, pois, para além de terem pouco impacto ambiental, não emitindo gases com efeito de estufa (Singh *et al.*, 2021), são uma fonte fiável e duradoura, podendo combinar-se com outras fontes. Para além disso, apresentam uma grande diversidade no que toca a materiais, características e objetivos (Cook *et al.*, 1995). Adicionalmente, estes sistemas não necessitam de uma rede de distribuição de eletricidade, não necessitam de geradores portáteis que consumam combustíveis, e não necessitam de um depósito nem de bateria (Reca-Cardena e López-Luque, 2018).

Por fim, no que respeita à parte económica, estes sistemas têm mostrado que se encontram em vantagem relativamente a sistemas a diesel (Jones *et al.*, 2016).

#### **2.3.1. Fundamentos da Energia Fotovoltaica**

O processo de conversão direta da luz solar em energia elétrica denomina-se efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839, por Edmond Becquerel (Cook *et al.*, 1995). Esta conversão realiza-se numa célula fotovoltaica (Pinho e Galdino 2014).

As primeiras células fotovoltaicas foram desenvolvidas em 1954 (Cook *et al.*, 1995). O seu desenvolvimento surgiu devido à necessidade de fontes de energia para sistemas de telecomunicações instalados em zonas remotas. De seguida, tornou-se muito importante, já que tinha a capacidade de fornecer a quantidade necessária de energia durante longos períodos de tempo, permitindo alimentar aparelhos e equipamentos eletrónicos localizados no espaço (Pinho e Galdino 2014).

O módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica. Estes módulos podem conter entre 36 e 216 células associadas em série e/ou em paralelo, tendo em conta a finalidade do módulo (Pinho e Galdino 2014).

Os fótons que compõem a luz solar contêm diferentes quantidades de energia, correspondendo, portanto, a diferentes comprimentos de onda. Assim, os fótons que atingem as células fotovoltaicas podem apenas atravessá-las, ou podem ser absorvidos ou refletidos. No entanto, apenas os fótons absorvidos produzem eletricidade. A energia do fóton é transferida para um elétron num átomo do aparelho semiconductor, podendo, assim, o elétron passar a fazer parte da corrente num circuito elétrico (Cook *et al.*, 1995). No entanto, apenas os fótons com um determinado nível de energia têm a capacidade de mover os elétrons da banda de valência para a banda de condução e produzir uma corrente elétrica. Esta quantidade de energia difere de material para material e também para diferentes estruturas atômicas do mesmo material (Cook *et al.*, 1995).

As células fotovoltaicas (Figura 5) apresentam na sua constituição duas ou mais camadas de materiais semicondutores. Estes materiais produzem eletricidade com corrente contínua, quando expostos à luz (Abu-Aligah, 2011).

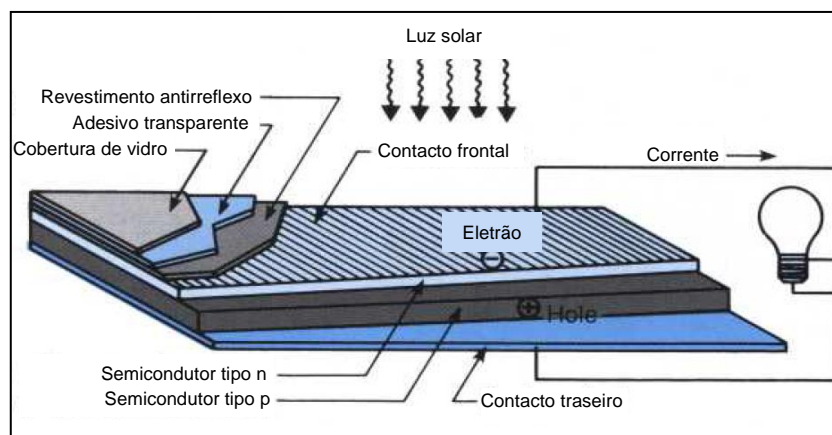


Figura 5 - Estrutura de uma célula fotovoltaica (adaptado de: Cook *et al.*, 1995).

A matéria prima mais utilizada no fabrico das células (Figura 6) e módulos fotovoltaicos (Figura 7) é o silício mono ou policristalino (silício ultrapuro). As lâminas de silício utilizadas têm uma espessura muito reduzida (na ordem dos 0,2 mm e inferior), de forma a que os custos de fabricação sejam menores (Pinho e Galdino 2014). Os painéis fotovoltaicos de monocristalino apresentam uma eficiência média de 16% (Reca-Cardena e López-Luque 2018), no entanto, o processo fotossintético tem uma eficiência de cerca de 3%.

Em vez do silício também podem ser empregues os filmes finos, ainda que menos utilizados. Estes filmes caracterizam-se por alta absorção ótica, permitindo fabricar células muito finas, e de baixo custo. Para além disso, este material permite a variação no formato das

células, bem como a sua aplicação em superfícies amplas ou flexíveis, promovendo uma utilização mais diversificada (Pinho e Galdino 2014).

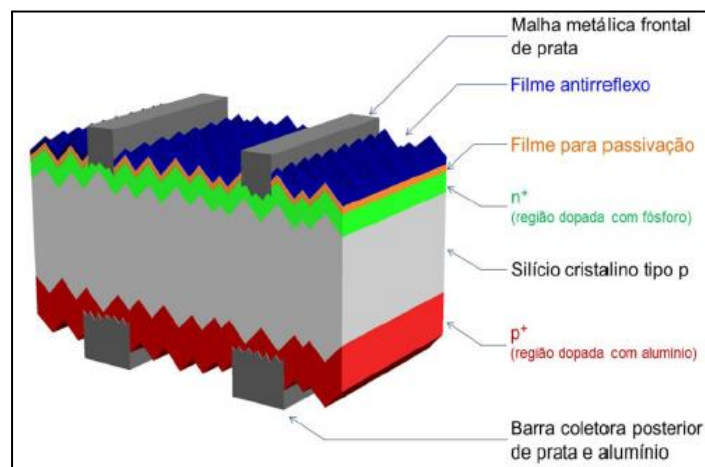


Figura 6 - Estrutura de uma célula fotovoltaica de silício cristalino (fonte: Pinho e Galdino, 2014).

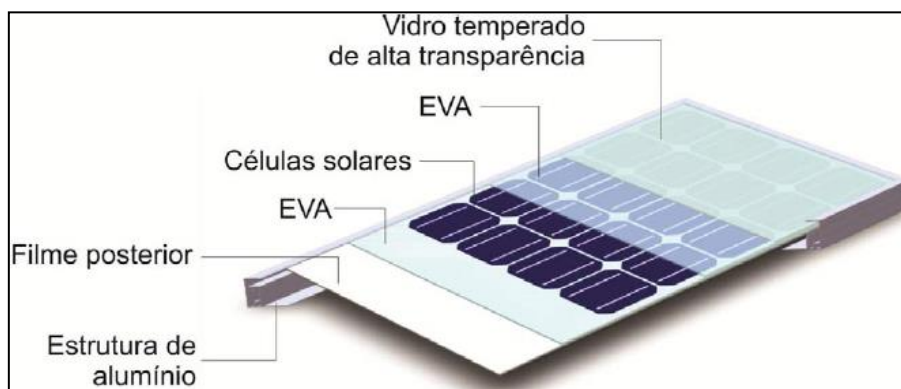


Figura 7 - Estrutura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino (fonte: Pinho e Galdino, 2014).

Considera-se, ainda importante referir que a constituição de um sistema fotovoltaico não passa apenas pelos painéis, mas também pela estrutura de suporte, controladores de carga, conversores ou inversores de corrente contínua para corrente alternada e seguidores solares (aparelhos que permitem a movimentação dos painéis de forma a que estes estejam continuamente direcionados para o sol, com o objetivo maximizar a quantidade de radiação recebida) (Maheshwari *et al.*, 2017; Reca-Cardena e López-Luque, 2018).

A radiação solar incidente e a sua distribuição espectral, e a temperatura da célula afetam o desempenho do sistema. Assim, mantendo-se constante a temperatura da célula, a corrente elétrica por ela gerada é tanto maior quanto maior a radiação incidente (Pinho e Galdino, 2014). Existe ainda outro fator de grande influência no desempenho do sistema fotovoltaico: a eficiência na conversão da luz solar em energia elétrica utilizável. Esta eficiência consiste na

razão entre a energia elétrica produzida e a energia solar que atinge o sistema (Cook *et al.*, 1995).

### 2.3.2. Energia fotovoltaica aplicada à rega

O sistema de painéis fotovoltaicos poderá ser uma boa estratégia a adotar no fornecimento de energia para a rega, já que a produção de energia tende a acompanhar as necessidades de rega das plantas (Maheshwari *et al.*, 2017; Reca-Cardena e López-Luque, 2018). Todavia, há que ter em atenção que a radiação solar recebida não é constante ao longo de todo o dia, nem de dia para dia (Figura 8), o que leva à bombagem de diferentes caudais de rega ao longo do dia (Maheshwari *et al.*, 2017).

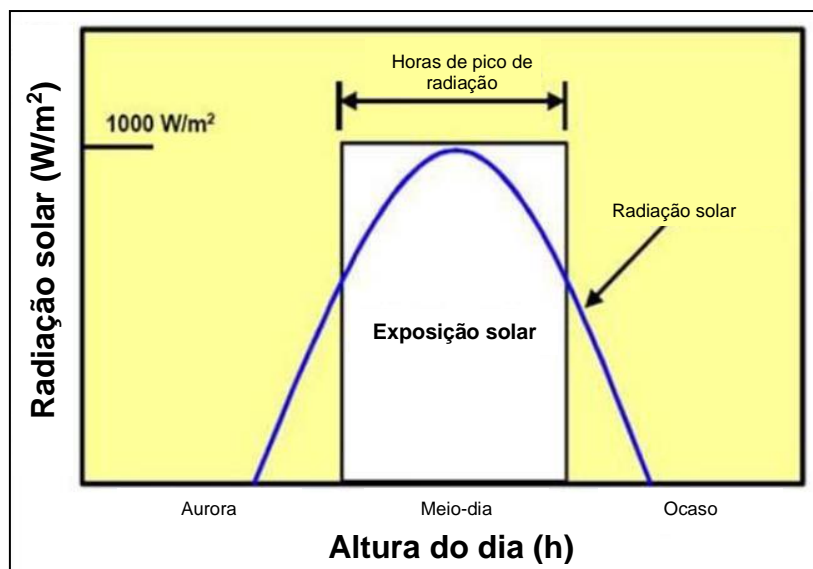


Figura 8 - Radiação solar e horas de pico ao longo do dia (adaptado de: Maheshwari *et al.*, 2017).

Assim, houve a necessidade de elaborar estratégias e chegar a soluções para esta questão, tais como reservatórios elevados de armazenamento da água bombeada, ou baterias de armazenamento da energia produzida a partir dos painéis (Reca-Cardena e López-Luque, 2018). Neste âmbito, surge a hipótese do uso de setores de rega assimétricos, em função dos diferentes caudais gerados ao longo do dia. No entanto, ainda estão a ser realizados estudos para perceber a sua viabilidade (Shahidian *et al.*, 2014), podendo-se apontar como exemplo de um sistema em funcionamento o sistema utilizado num olival intensivo, em Córdoba, descrito em Mérida García *et al.* (2018). O olival intensivo pertencente à Universidade de Córdoba foi sujeito a uma experiência de rega inteligente, com bombagem direta da água para o sistema de rega, dependendo da quantidade de energia disponível (Mérida García *et al.*, 2018). Um dos componentes deste sistema consiste num simulador hidráulico para determinar a potência

mínima necessária para cada setor. A rede de rega é analisada de forma a determinar a pressão de trabalho mínima no emissor mais desfavorável. Para além disso, existe um controlador de potência fotovoltaica, com o objetivo de estimar a potência instantânea disponível fornecida pelo sistema fotovoltaico durante o dia. As necessidades de rega diárias são equivalentes à evapotranspiração cultural, portanto a estratégia passa por regar a quantidade consumida pela evapotranspiração no dia anterior. Neste caso, são utilizados 120 painéis fotovoltaicos, ocupando uma área de 168 m<sup>2</sup>, uma bomba submersível de 13 kW, que bombeia a água do reservatório diretamente para o sistema de rega, sendo o solo usado como local de armazenamento (Mérida García *et al.*, 2018).

A utilização de energia fotovoltaica nos sistemas de rega é recorrente em países em desenvolvimento, em zonas rurais e isoladas. Na Turquia foi aplicado e estudado um sistema de rega alimentado a energia fotovoltaica móvel, sendo possível transportá-lo entre explorações. Também no Irão este sistema tem sido cada vez mais aplicado devido, em parte ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, bem como à necessidade premente de utilizar sistemas de rega mais eficientes (gotejamento) que promovam a poupança de água (Niajalili *et al.*, 2017).

Estudos realizados no Egito demonstram que os sistemas de rega fotovoltaica constituem uma opção economicamente competitiva para o fornecimento de energia em regiões áridas. Para além disso, os resultados de uma análise económica realizada nos países localizados no Oeste Africano mostram que os sistemas de rega fotovoltaica são mais vantajosos que os alimentados a diesel ou a energia da rede (Parvareh Rizi *et al.*, 2019).

Ainda neste âmbito, foi elaborado um estudo na Mauritânia que propunha a utilização de sistemas de rega fotovoltaica com vista a otimizar a utilização da água de rega, já que os métodos de rega por gravidade mais usados no local são altamente ineficientes, provocando grandes perdas de água (Khatib *et al.*, 2019).

Um estudo sobre a cevada, realizado no Irão, refere que uma parte substancial do *diesel* gasto no seu cultivo é utilizada para alimentar o sistema de bombagem para rega. Portanto, é altamente recomendável promover a utilização de energia fotovoltaica, de forma a reduzir a utilização de eletricidade da rede e *diesel* para alimentar os sistemas de rega (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2020).

Um esquema típico utilizado na rega com sistema fotovoltaico é apresentado na Figura 9.

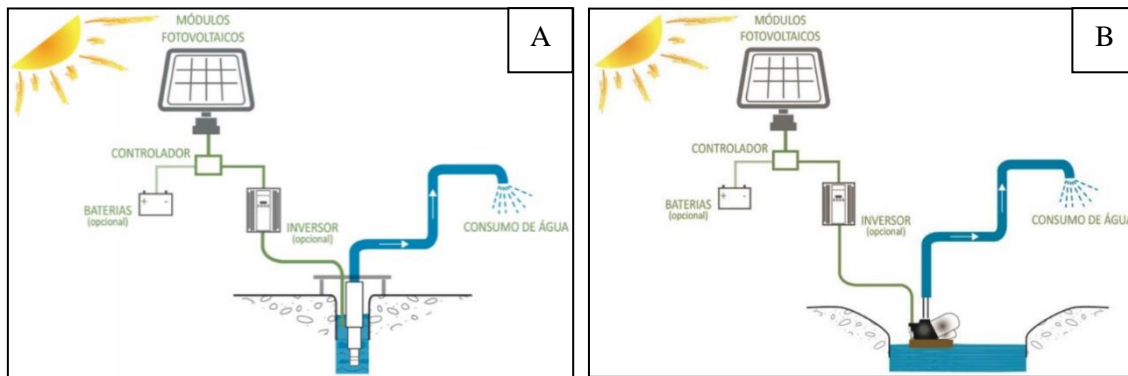


Figura 9 - Sistema de bombeamento fotovoltaico com bomba submersa (A) e com bomba de superfície (B) (fonte: <https://bit.ly/3eTiQEF>).

### 2.3.3. Sistemas de bombeamento

O sistema de bombeamento tem como objetivo gerar pressão na água. Assim, quanto maior a pressão gerada, maior será o caudal transportado nas tubagens. No entanto, não são aconselháveis pressões demasiado elevadas, pois irão aumentar substancialmente os consumos elétricos (Babušík, 2010).

A escolha de uma bomba faz-se em função das características hidráulicas da instalação projetada (caudal, altura manométrica total, etc.) e também em função das condições de utilização (poços, furos, ribeiros, etc.), tendo em conta as necessidades e objetivos do sistema de distribuição de água, de forma a promover um dimensionamento correto e também a otimização do sistema (Oliveira, 2011).

Quando é necessário transportar caudais elevados, mas as alturas manométricas são reduzidas, as bombas centrífugas (Figura 10) são as mais indicadas, já que apresentam baixa eficiência para alturas manométricas elevadas (Abu-Aligah, 2011; Pinho e Galdino, 2014). Estas bombas criam pressão através da rotação a elevada velocidade de pás ou rotores, forçando, assim, o fluxo de água; são acionadas por motores de corrente contínua e adequam-se razoavelmente bem à associação a um gerador fotovoltaico. Para além disso, como o fluxo de água varia conforme a intensidade da corrente elétrica, podem ser ligadas ao sistema fotovoltaico sem necessitar de baterias ou controlos (Abu-Aligah, 2011), sendo muito sensíveis ao valor da radiação solar. Neste caso, o controlador deverá assegurar apenas as funções de segurança. Assim, é importante uma boa correspondência entre o sistema de bombeamento e do sistema fotovoltaico (Abu-Aligah, 2011; Pinho e Galdino, 2014). As bombas centrífugas podem ser divididas em dois tipos: submersíveis, de superfície (necessitam de uma conduta de aspiração).

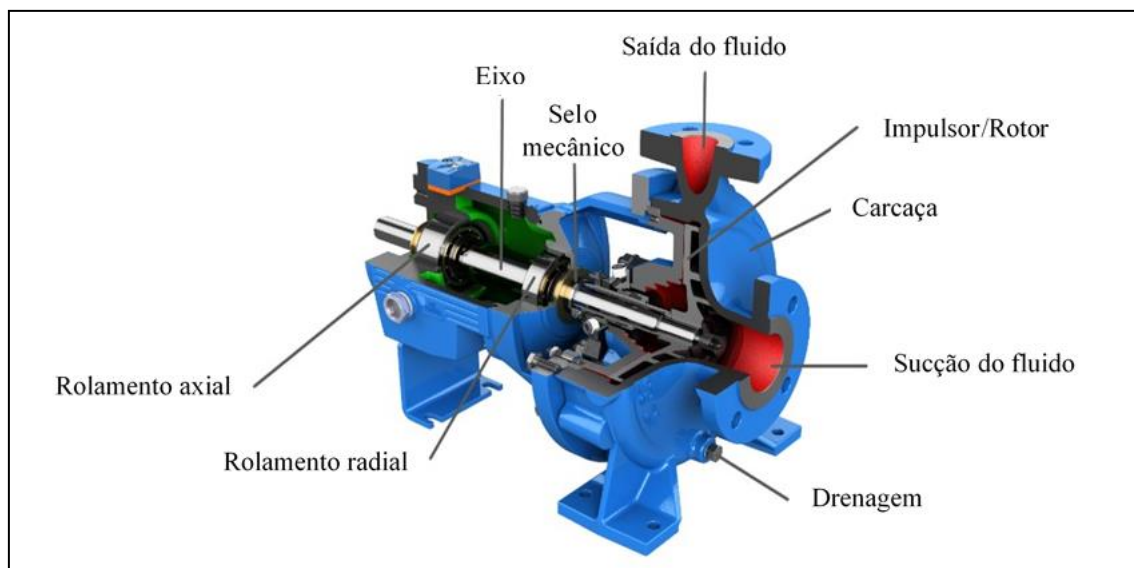


Figura 10 - Bomba centrífuga (fonte: [como-funciona-una-bomba-centrifuga.jpg](http://como-funciona-una-bomba-centrifuga.jpg) ([bombasdeagua.site](http://bombasdeagua.site))).

Por fim, o sistema de bombagem pode ser constituído por mais do que uma bomba, sendo estas instaladas em série ou em paralelo. No primeiro caso, o caudal que passa por cada bomba é o mesmo, no entanto, a altura de elevação consiste na soma das alturas de elevação produzidas por cada bomba. Relativamente às bombas associadas em paralelo, existe grande flexibilidade de adaptação, permitindo o funcionamento de um determinado número de bombas de cada vez, em função do caudal necessário. Mas é importante notar que a associação deve ser realizada com bombas do mesmo tipo e com alturas manométricas iguais (Oliveira, 2011).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Local de estudo

##### 3.1.1. Caracterização geográfica

O local de estudo é a Herdade dos Linharinhos, com uma área de 285 ha de olival super-intensivo. Esta herdade situa-se no concelho de Beja ( $37^{\circ}54'26,55''$  N;  $7^{\circ}56'52,78''$  W), entre as localidades de Beja e Albernoa (Figura 11; Figura 12).

A Herdade dos Linharinhos localiza-se no Baixo Alentejo, região que, devido ao relevo muito atenuado, se designa por peneplanície (Vacas, 1944).

Na Figura 13 é possível observar o hidrante, com estação elevatória, que alimenta a rega do olival. Existe ainda uma pequena charca de forma a precaver situações em que a água da rede não esteja disponível. Assim, a água utilizada para a rega vem da rede de rega do Alqueva. O Sistema Global de Rega de Alqueva apresenta uma rede de rega de elevada extensão, beneficiando cerca de 120000 ha, a partir das suas 69 barragens, reservatórios e

açudes (Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, 2019b). Para além disso, este sistema está dividido em três subsistemas: Alqueva, Ardila e Pedrógão, tendo em conta a origem da água (Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, 2019b). Como se pode observar na Figura 14, o local de estudo encontra-se abrangido pelo subsistema Alqueva, mais precisamente, Bloco Cinco Reis-Trindade (Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, 2019a).

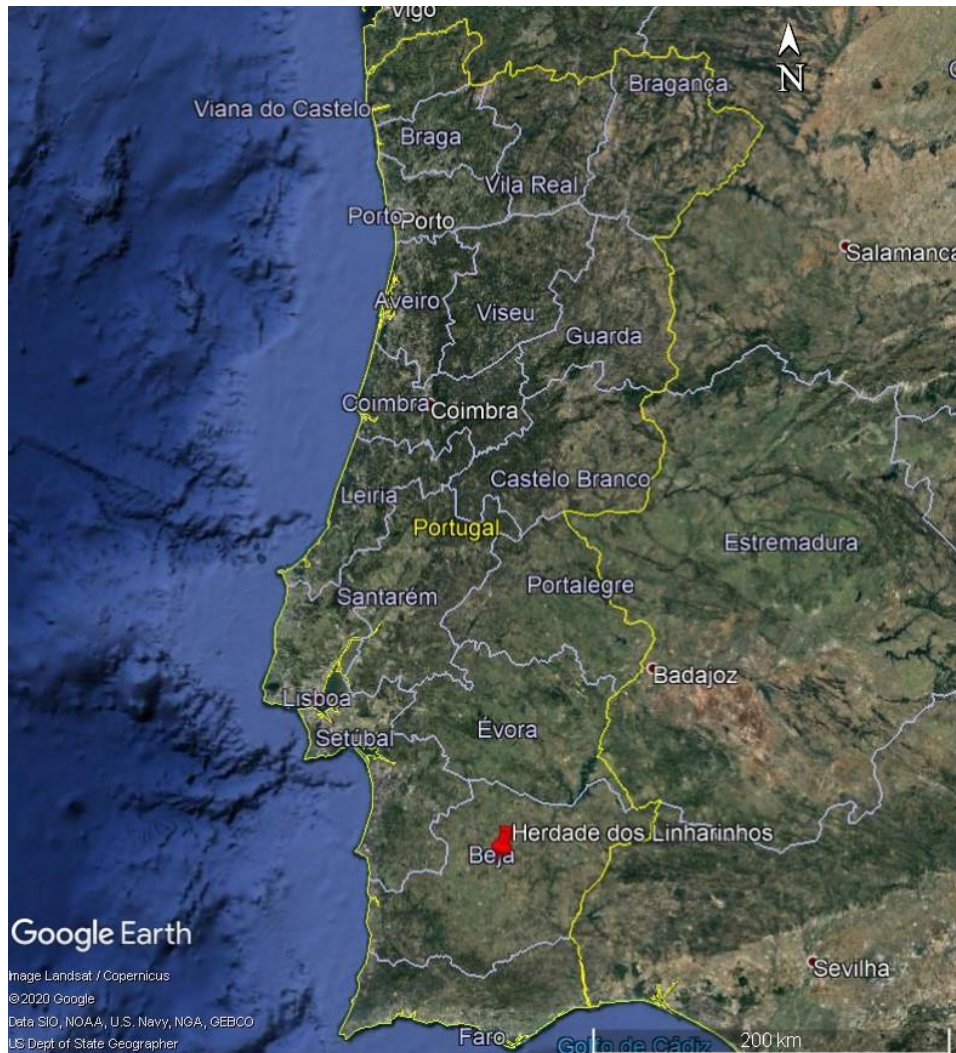


Figura 11 - Localização da Herdade dos Linharinhos no mapa de Portugal (fonte: Google Earth).



Figura 12 - Herdade dos Linharinhos, Beja (fonte: Google Earth).



Figura 13 - Hidrante com estação elevatória (fonte: Google Earth).



Figura 14 - Inserção da herdade dos Linharinhos no perímetro de rega do Alqueva (fonte: EDIA).

### 3.1.2. Caracterização edafo-climática

A Herdade dos Linharinhos apresenta vários tipos de solo, como se pode observar na Figura 15 (Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2020), dos quais se destacam os solos argiluvitados pouco insaturados da parcela hipotética delimitada, que, segundo a Classificação dos Solos de Portugal (Carvalho Cardoso, 1974), são solos mediterrâneos pardos de materiais calcários para-barros, de margas ou calcários margosos, ou calcários não compactos associados com xistos, grés argilosos, argilitos ou argilas ou de grés argilosos calcários de textura franca a franco-argilosa (Pac). Segundo a WRB (2014) (*World Reference Base for Soil Resources*), denominam-se *Luvissols*.

Os parâmetros relativos ao solo do local de estudo encontram-se no Quadro 3. Considerou-se uma profundidade radicular de 60 cm, uma vez que o sistema radicular da oliveira se concentra nos 50 a 70 cm de solo mais próximos da superfície (Tombesi e Tombesi, 2007).

Quadro 3 – Parâmetros médios de solo à profundidade de 60 cm (Carvalho Cardoso, 1965).

Profundidade das Raízes (mm)	600
Teor de água no solo à Capacidade de Campo ( $m^3/m^3$ )	0,2387
Teor de água no solo no Coeficiente de Emurchecimento ( $m^3/m^3$ )	0,09
Densidade Aparente ( $g.cm^{-3}$ )	1,24

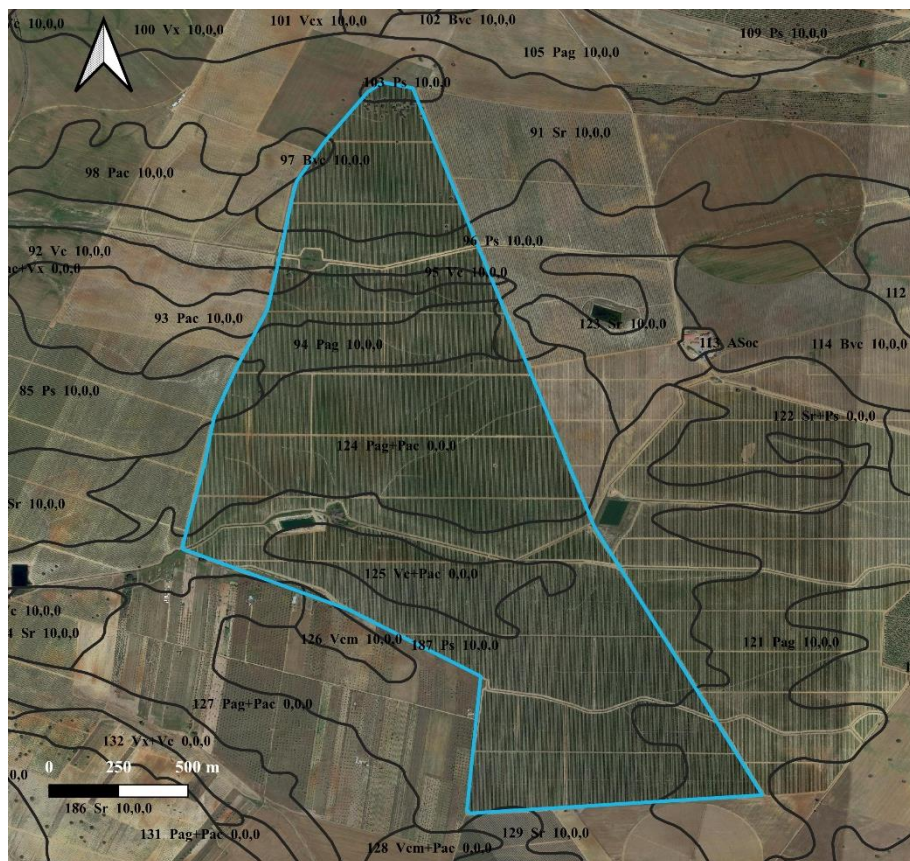


Figura 15 - Carta de solos da Herdade dos Linharinhos (fonte: DGADR).

Relativamente ao clima, esta região, apresenta clima mediterrânico, classificando-se como Csa, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2020) (Figura 16; Figura 17). Este tipo de clima ocorre entre as latitudes de cerca de 30° e 45° e caracteriza-se por invernos frios e chuvosos e verões quentes e secos (Lionello *et al.*, 2006; The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019). É de referir que **C** nos remete para um clima temperado (subtropical) húmido, **s** indica que este clima apresenta estação seca no verão (mediterrâneo), **a** refere que o verão é será longo e quente (com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, e pelo menos 4 meses com temperatura média superior a 10°C) (com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e pelo menos 4 meses com temperatura média superior a 10°C) (Kottek *et al.*, 2006; The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019).

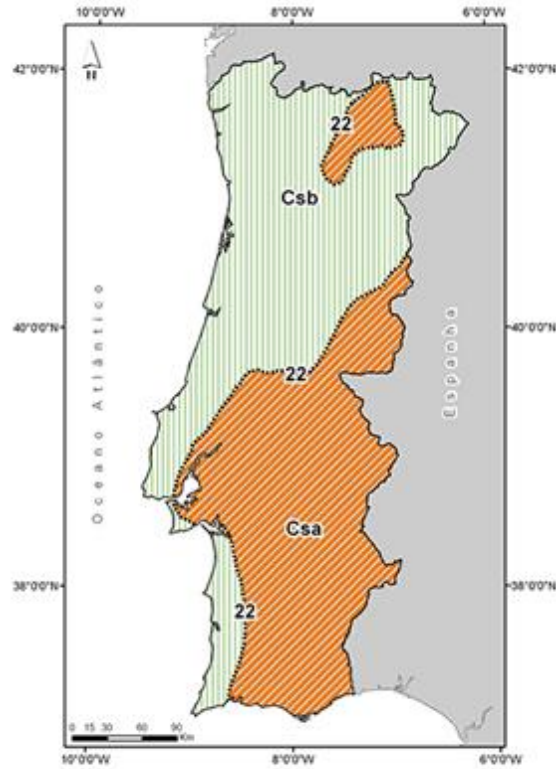


Figura 16 - Clima de Portugal, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger (fonte: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>).

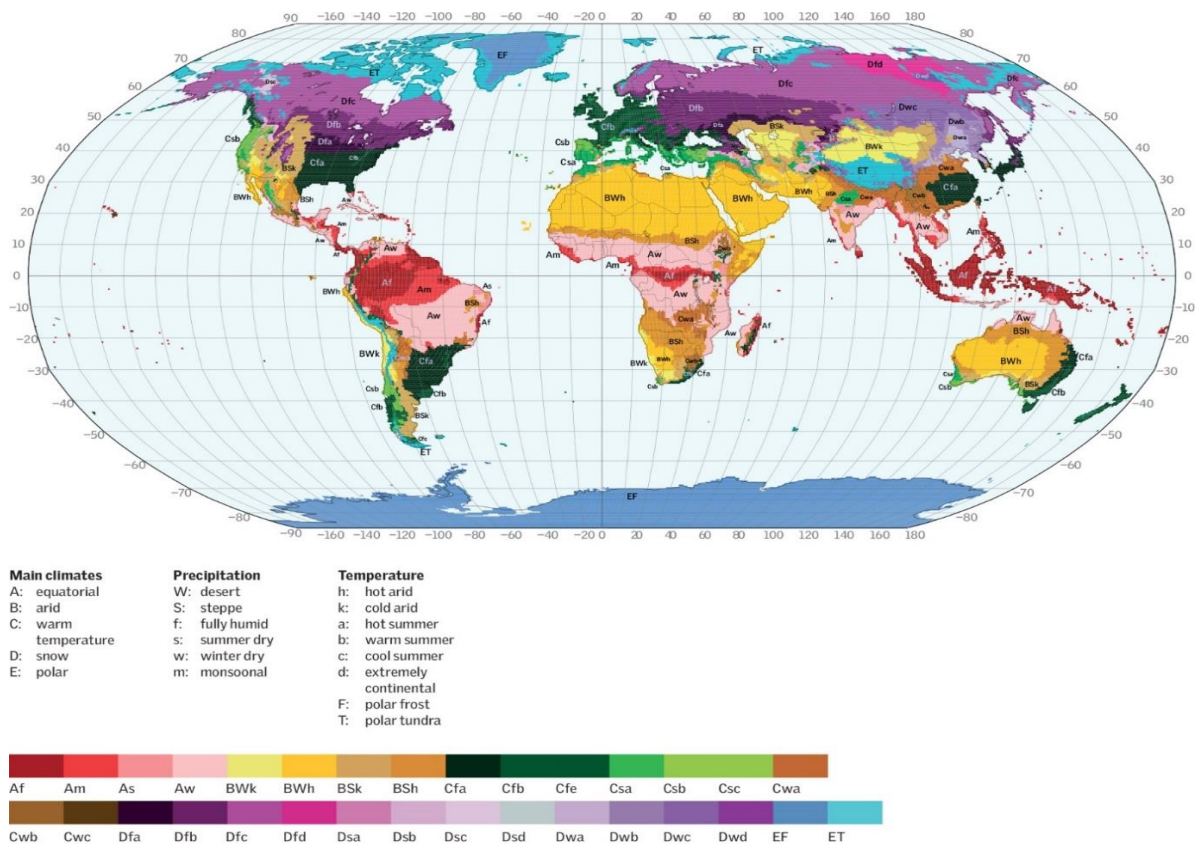


Figura 17 – Clima mundial, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger (fonte: [shorturl.at/tX468](http://shorturl.at/tX468)).

Para a região de Beja, tendo em conta os valores registados na Estação Meteorológica da Quinta da Saúde apresenta-se o diagrama ombrotérmico relativo ao período de 2005 a 2016 (Figura 18). Pode-se verificar que os valores mais elevados de temperatura ocorrem nos meses de Julho e Agosto, com valores máximos de cerca de 34 °C. Por outro lado, as temperaturas mais baixas verificam-se em Dezembro, Janeiro e Fevereiro, com valores mínimos de cerca de 5,4 °C. Relativamente à precipitação, esta apresenta o valor mais elevado no mês de Novembro, com um valor médio de 77,78 mm, concentrando-se, portanto, nos meses mais frios, como é característico do clima mediterrânico. A precipitação média anual para o período de estudo é de 504,37 mm. Por fim, na Figura 19, apresenta-se um padrão anual de evolução da evapotranspiração durante o período de estudo (2005-2016), que passa por um aumento sucessivo dos valores até um máximo, que ocorre no mês de Julho, e uma diminuição a partir deste mês, atingindo o seu valor mínimo em Dezembro,

A Estação Meteorológica da Quinta da Saúde (7,89° W; 38,04° N; altitude: 206 m), em Beja faz parte de um conjunto de 14 estações meteorológicas automáticas, que constituem o projeto SAGRA (Sistema Agrometeorológico para Gestão da Rega no Alentejo) pertencente ao Centro de Competências para o Regadio Nacional (COTR). Esta rede disponibiliza a evapotranspiração da cultura de referência (ET<sub>o</sub>), segundo o método Penman-Monteith (Centro de Competências para o Regadio Nacional, 2020).

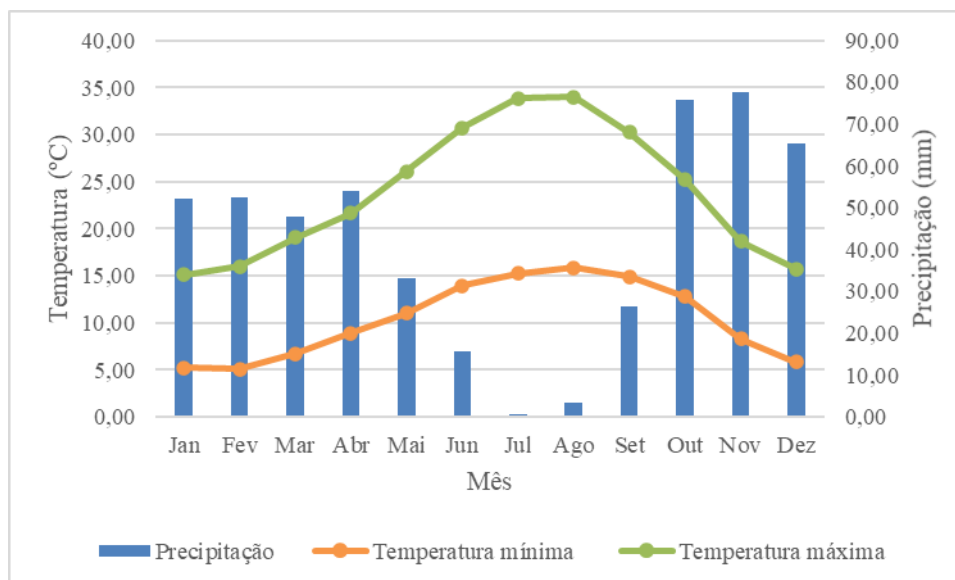


Figura 18 - Diagrama ombrotérmico, 2005-2016 da Estação Meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020).

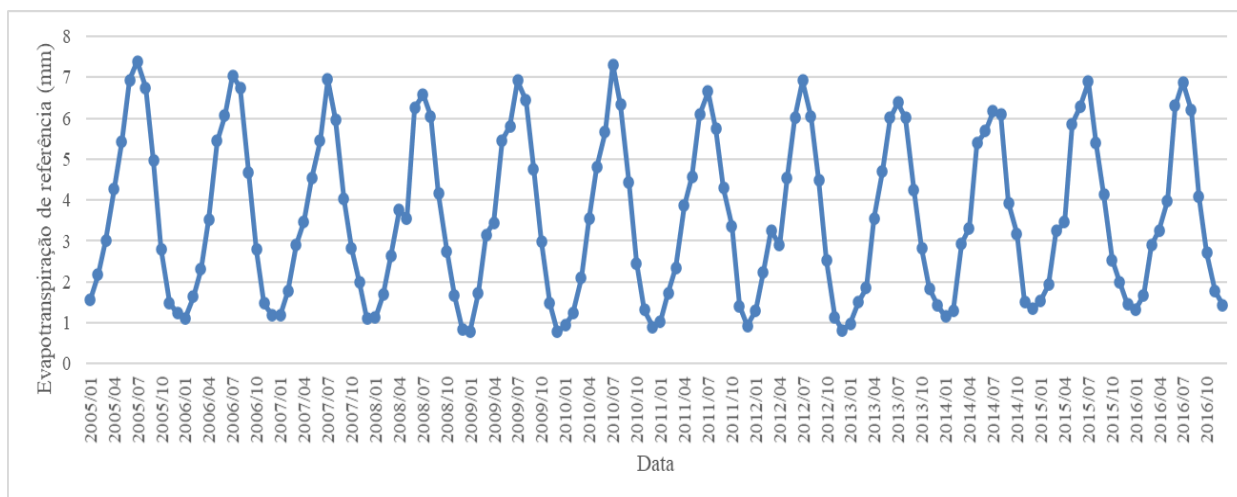


Figura 19 - Evolução da Evapotranspiração de referência, 2005-2016 da Estação Meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020).

### 3.1.3. Caracterização da cultura

No que diz respeito ao olival super-intensivo, instalado na herdade dos Linharinhos são utilizadas duas variedades de oliveira: Arbequina, com um compasso de 4 m x 1,5 m, tendo sido plantada em 2010 e Arbosana, com um compasso de 3,75 m x 1,35 m, plantada em 2015 (Figura 20).



Figura 20 - Olival super-intensivo da Herdade dos Linharinhos.

A variedade Arbequina é bastante precoce e muito produtiva, com elevado rendimento em azeite, sendo este pouco estável devido ao baixo teor de polifenóis. Para além disso, esta variedade caracteriza-se, como já referido, por ser pouco vigorosa, ser resistente a condições climáticas adversas, como frio, geadas e seca e pela facilidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo (Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, 2013).

Relativamente à variedade Arbosana, tal como a Arbequina, apresenta um vigor abaixo da média, um elevado rendimento e elevada capacidade de frutificação (Tombesi e Tombesi, 2007).

No caso deste estudo, considerou-se uma parcela de 15 ha na zona ocupada com oliveiras da variedade Arbosana.

### **3.2. Cálculo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico**

O cálculo da energia produzida por painéis fotovoltaico pode ser realizado utilizando o *software* PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) (EUScienceHub, 2019a). O PVGIS (Figura 21) é uma aplicação on-line, de acesso livre, com várias ferramentas, tais como, o cálculo da produção de energia fotovoltaica a partir da radiação solar para diferentes sistemas fotovoltaicos, em praticamente todo o mundo (EUScienceHub, 2019b). Fornece, ainda ao utilizador dados relativos à radiação solar e temperatura, apresentados em médias mensais ou perfis diários e horários. Para além da função referida acima, o PVGIS apresenta mais duas ferramentas, uma relacionada com a performance de vários tipos de sistemas fotovoltaicos (independentes da rede ou ligados à rede sendo que os últimos podem ou não ter seguidores solares incorporados), e outra que fornece dados relativos ao ano meteorológico típico, para nove variáveis climáticas (EUScienceHub, 2019a).

Este software permite também calcular o preço da energia produzida a partir do sistema fotovoltaico, mas apenas para sistemas fixos, ligados à rede (EUScienceHub, 2019b).

Os dados de radiação solar utilizados são obtidos a partir de imagens de satélites, validadas em estações na Terra. Os satélites utilizados são PVGIS-CMSAF, PVGIS-SARAH, PVGIS-ERA5 e PVGIS-COSMO (EUScienceHub, 2019).

Para obter dados de produção de energia a partir deste *software*, é necessário inserir informação, como as coordenadas do local de estudo, e algumas características do painel escolhido *a priori*, como o tipo de tecnologia fotovoltaica, a posição de montagem, a potência de pico do painel e as perdas do mesmo. Também é necessário seleccionar o satélite a partir do qual se obtêm os dados da radiação solar e o intervalo de tempo que se pretende estudar (EUScienceHub, 2019a).

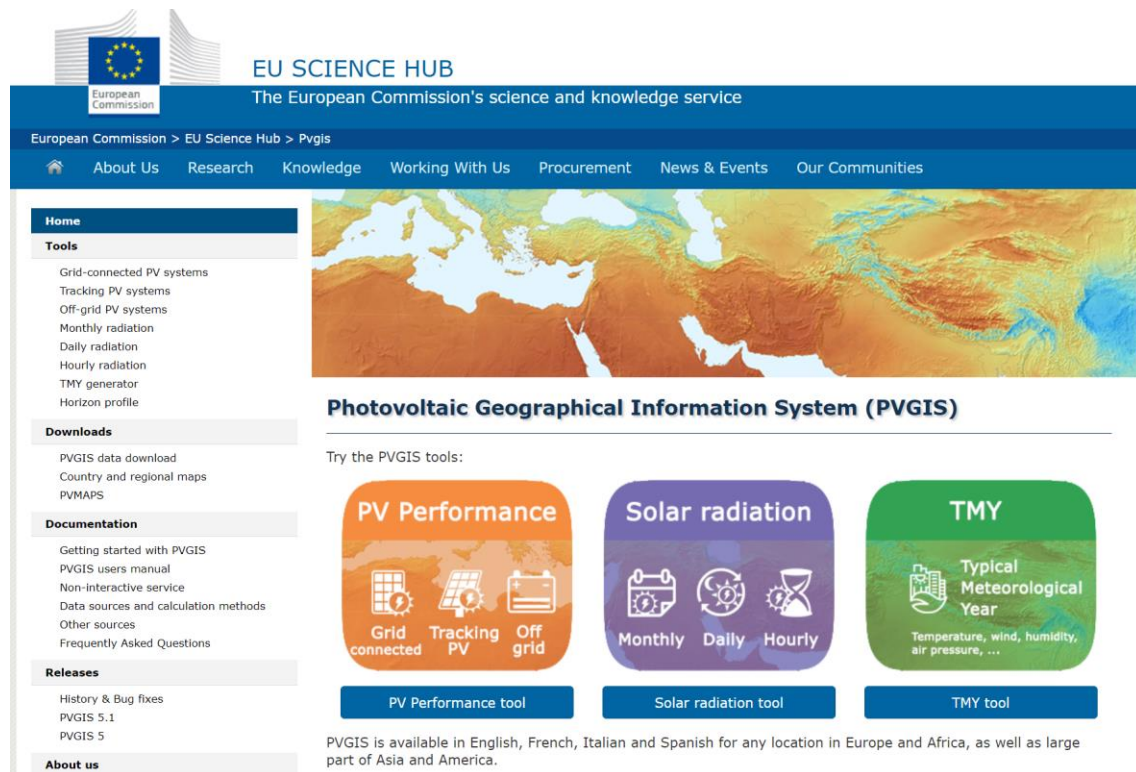


Figura 21 - Página inicial do *software* PVGIS (fonte: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>).

### 3.3. Cálculo das necessidades de rega

O cálculo das necessidades de rega, incluindo dotações, volumes anuais e caudais de ponta, realizou-se com recurso ao modelo de balanço hídrico do solo ISAREG (Figura 22), de acordo com a Equação 1. Neste modelo aplica-se a lei da continuidade a um prisma de solo de área unitária e cuja altura, em cada instante, é igual à profundidade do sistema radical (Teixeira, 1990c).

$$\Delta R = (Prec - ETc + Rg - Es + Ac - Dr) \times \Delta t \quad (1)$$

$\Delta R$  (mm) – Variação do volume de água armazenado no solo durante um determinado intervalo de tempo  $-\Delta t$  (s).

Prec (mm/dia) – Precipitação.

Rg (mm/dia) – Rega.

Ac (mm/dia) – Ascensão capilar.

ETc (mm/dia) – Evapotranspiração cultural.

Es (mm/dia) – Escoamento superficial.

Dr (mm/dia) – Perdas por drenagem e percolação profunda.

A evapotranspiração cultural calcula-se através da Equação 2, isto é, da multiplicação da evapotranspiração de referência por dois coeficientes adimensionais: o cultural ( $K_c$ ) e o de stresse ( $K_s$ ). O primeiro contempla diferenças na evapotranspiração entre a cultura em estudo e a cultura de referência (relva) (Allen *et al.*, 1998). Para além disso, depende da arquitetura do coberto, da fase de desenvolvimento da cultura, da fração de solo coberta pela vegetação, de práticas agrícolas e da variação da precipitação (Paço *et al.*, 2014; Ferreira, 2017). Por outro lado, o coeficiente de stresse tem como objetivo ajustar o valor da  $ET_c$ , considerando os efeitos do stresse hídrico na cultura (Allen *et al.*, 1998).

Equação para o cálculo da Evapotranspiração Cultural ( $ET_c$ , mm/dia):

$$ET_c = K_c \times K_s \times ET_o \quad (2)$$

$K_c$  (adimensional) – Coeficiente cultural.

$K_s$  (adimensional) – Coeficiente de stresse.

$ET_o$  (mm/dia) – Evapotranspiração de referência.

O programa ISAREG é alimentado por ficheiros de texto, e para se proceder à simulação da rega/cálculo das necessidades globais de rega, são necessários ficheiros com diferentes informações. Primeiro, um ficheiro de cultura (Linhar\_2018kc\_CUL.txt), no qual estão presentes os períodos do ciclo cultural (Quadro 4), os valores do coeficiente cultural (Quadro 5), calibrados para as condições da Herdade do Linharinhos por Branquinho (2020), com base nos dados de Pastor Muñoz-Cobo (1994) presentes no Quadro 2, e valores relativos à profundidade das raízes fração de água facilmente utilizável (0,65); de seguida, um ficheiro de solo (linharinhos\_Pac\_SOL.txt), que contém parâmetros pedológicos do local, apresentados no Quadro 3 (ver secção 3.1.2.) (Teixeira, 1990b). São ainda necessários mais dois ficheiros, contendo um deles valores da evapotranspiração de referência (BEJA\_ETo.txt) e o outro os valores da precipitação efetiva do local em estudo (BEJA\_PRE.txt). A partir daqui, será gerado um ficheiro de saída (linh\_SAI.txt), tendo em consideração a percentagem da Reserva Utilizável preenchida na zona inicial, bem como nas restantes camadas do solo não se tendo imposto quaisquer restrições na rega.

Quadro 4 – Períodos do ciclo do olival (Branquinho, 2020).

Período do ciclo da cultura	Data início	Data fim
Inicial	1/Janeiro	20/Abril
Crescimento rápido	21/Abril	28/Maio
Intermédio	29/Maio	9/Julho
Maturação	10/Julho	30/Outubro
Colheita	30/Outubro	

Quadro 5 - Valores de Kc do olival em estudo (Branquinho, 2020).

Coeficiente cultural (Kc)								
Jan	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,60	0,65

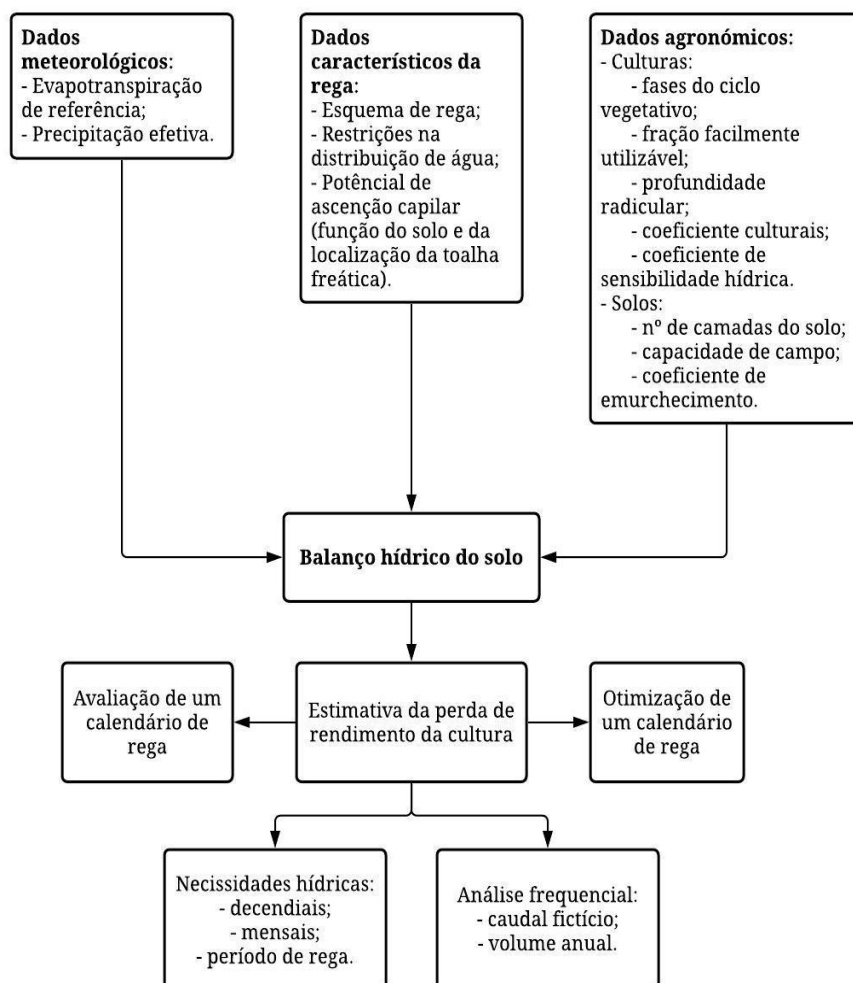


Figura 22 - Fluxograma do programa ISAREG (adaptado de: Teixeira, 1990a).

### 3.4. Metodologia proposta para o dimensionamento de sistemas de rega fotovoltaica com setores assimétricos

O dimensionamento do sistema de rega fotovoltaica, com setores assimétricos, realizou-se recorrendo aos dados fornecidos pelo programa ISAREG e aos dados fornecidos pelo PVGIS, para o período de estudo (2005-2016), como se pode observar na Figura 23. Assim, será possível dimensionar um sistema de rega baseado na utilização de energia solar, para bombear a água diretamente para o sistema de rega (rega direta), sem necessitar de sistemas de armazenamento de energia, como tanques de armazenamento de água ou baterias. Neste sistema, como não existe armazenamento da energia, a rega é feita durante as horas de sol, e varia durante a campanha, tendo em conta as necessidades da cultura e a disponibilidade de energia solar (Mérica García *et al.*, 2018).

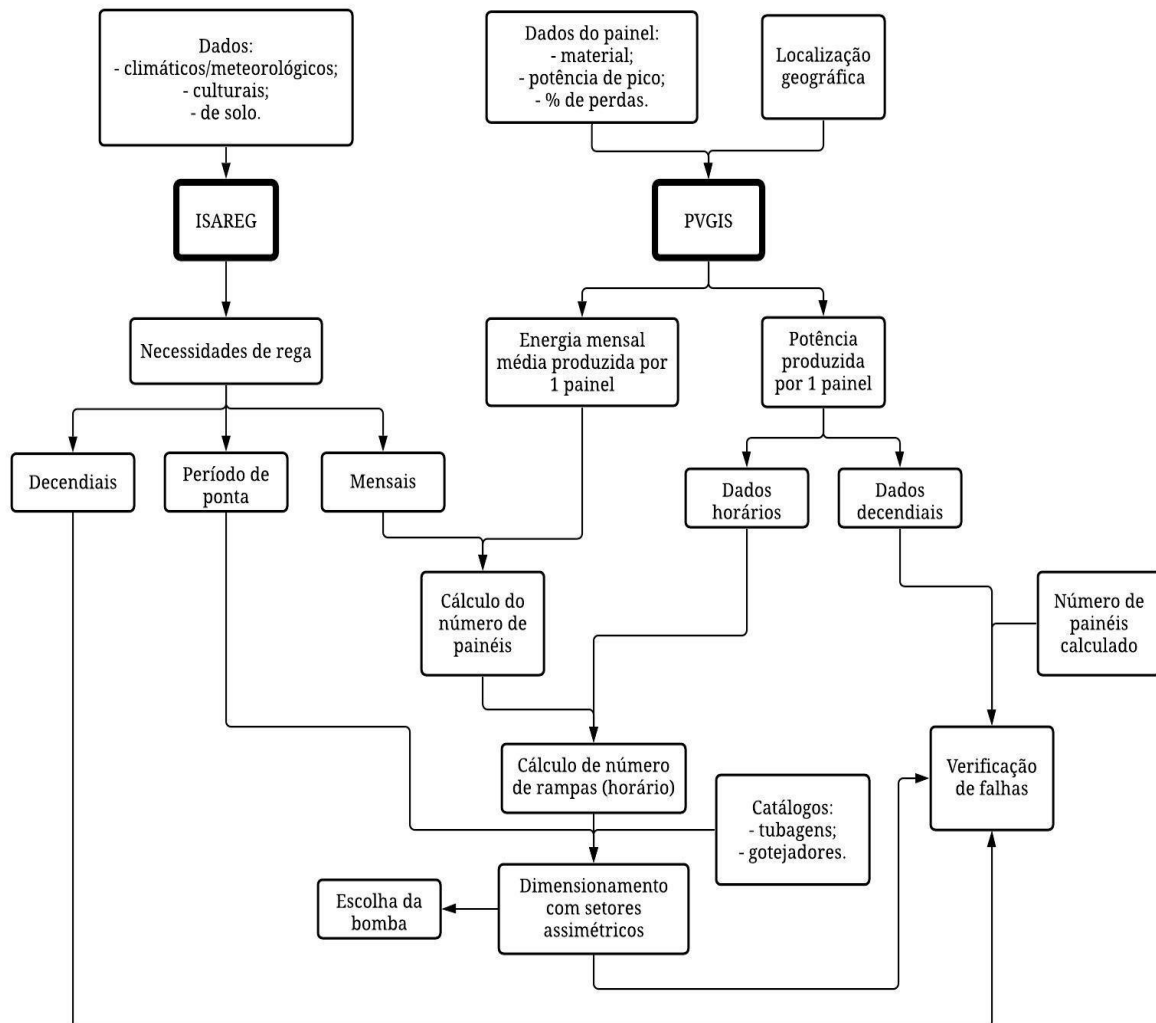


Figura 23 - Fluxograma com a metodologia proposta.

### 3.4.1. Dimensionamento da área de painéis e cálculo da produção de energia

O dimensionamento da área de painéis necessária para a rega é realizado de acordo com a metodologia apresentada na Figura 24.

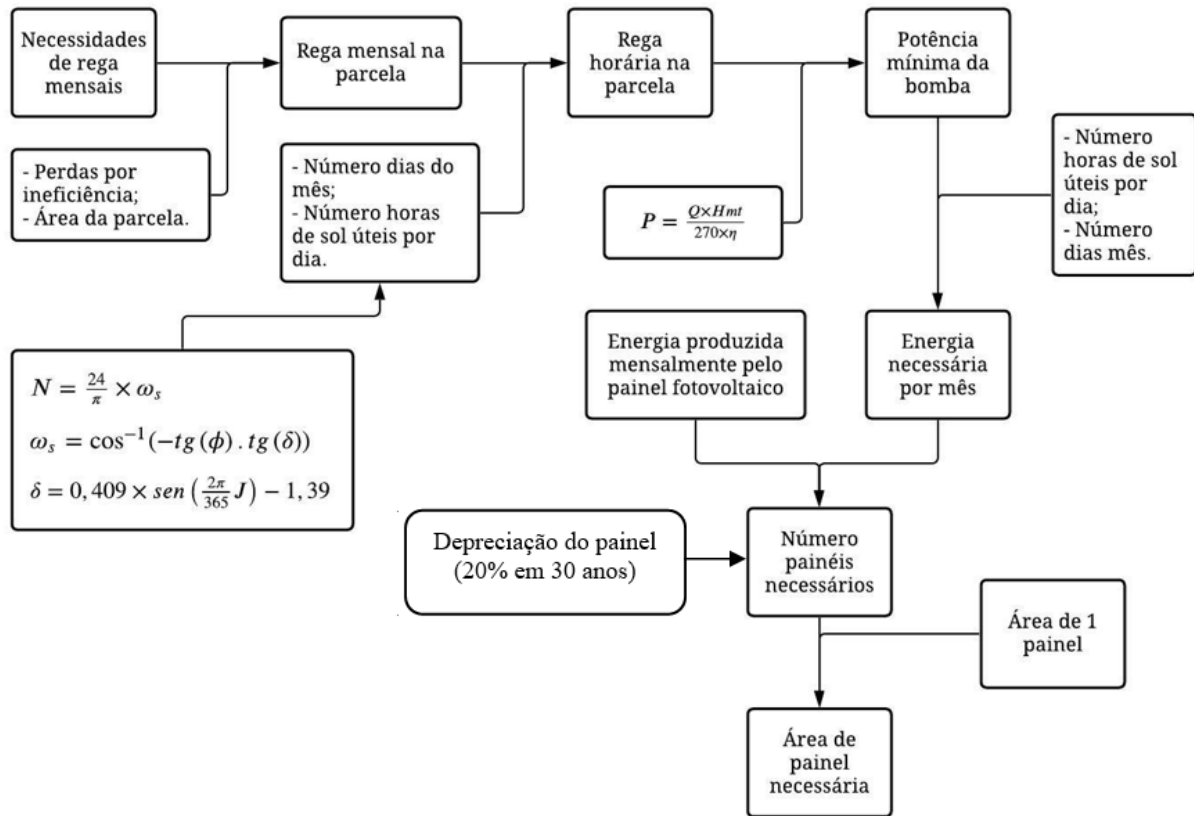


Figura 24 - Fluxograma da metodologia de cálculo da área de painéis a instalar.

#### Cálculo da energia produzida

Através do *software* PVGIS (ver secção 3.2.) obtiveram-se os valores relativos à produção de energia por um sistema fotovoltaico constituído por painéis fotovoltaicos de 265 W (ENREPO, 2017), com células policristalinas (Anexo 1), localizado na área de estudo. É de referir que foi seleccionada a opção de optimização da inclinação dos módulos, bem como do seu azimute, de forma a obter os valores de produção mais elevados possível. Na Figura 25 encontram-se as interfaces do *software* PVGIS contendo os parâmetros relativos ao local de estudo e ao painel utilizado (Anexo 1).

**Cursor:**  
Selected: 37.913, -7.979  
Elevation (m): 158

**Use terrain shadows:**  
 Calculated horizon  
 Upload horizon file

Escolher Ficheiro Não foi escolhi... ne

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

### MONTHLY IRRADIATION DATA

Solar radiation database\* PVGIS-SARAH

Start year\* 2005 End year\* 2016

**Irradiation:**

Global horizontal irradiation  
 Direct Normal Irradiation  
 Global irradiation optimum angle  
 Global irradiation at angle: (0-90)

**Ratio:**

Diffuse/global ratio

**Temperature:**

Average temperature

**Cursor:**  
Selected: 37.913, -7.979  
Elevation (m): 158

**Use terrain shadows:**  
 Calculated horizon  
 Upload horizon file

Escolher Ficheiro Não foi escolhi... ne

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

### HOURLY RADIATION DATA

Solar radiation database\* PVGIS-SARAH

Start year\* 2005 End year\* 2016

**Mounting type\*:**

Fixed  Vertical axis  Inclined axis  Two axis

Slope [\*] (0-90)  Optimize slope  
Azimuth [\*] (-180-180)  Optimize slope and azimuth

**PV power**

PV technology\* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]\* 0.265  
System loss [%]\* 16

**Cursor:**  
Selected: 37.913, -7.979  
Elevation (m): 158

**Use terrain shadows:**  
 Calculated horizon  
 Upload horizon file

Escolher Ficheiro Não foi escolhi... ne

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

### PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database\* PVGIS-SARAH

PV technology\* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]\* 0.265  
System loss [%]\* 16

**Fixed mounting options**

Mounting position\* Free-standing

Slope [\*] 35  Optimize slope  
Azimuth [\*] 0  Optimize slope and azimuth

**PV electricity price**

PV system cost (your currency)   
Interest [%/year]   
Lifetime [years]

Figura 25 - Interfaces com o utilizador do software PVGIS ([https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)) relativas a [A] dados mensais de radiação; [B] dados horários de radiação e potência produzida pelo painel; [C] dados mensais médios de energia produzida pelo painel.

### Cálculo das necessidades de rega

As necessidades de rega do olival em estudo foram obtidas a partir do modelo ISAREG, tendo sido necessário seguir um determinado conjunto de passos. Em primeiro lugar, criaram-se os ficheiros com os dados mensais de precipitação e evapotranspiração (ET<sub>o</sub>), dados estes fornecidos pela estação meteorológica da Quinta da Saúde e, de seguida, criou-se o ficheiro relativo ao solo. Por fim, procedeu-se à simulação da rega, a partir destes ficheiros, obtendo-se, então as necessidades de rega decendiais e mensais da cultura, assim como os caudais de ponta.

Depois, os valores obtidos foram multiplicados por um fator de redução (0,55), determinado para este olival por Branquinho (2020), que é função da fração de terreno efetivamente coberta pelas plantas em projeção vertical (Rasquilho Raposo, 1994), e foi ainda feita a divisão pela eficiência da rega (90%), para a determinação das necessidades globais de rega.

### Determinação do período útil para rega

Calcularam-se as horas de sol diárias (N) para o dia 15 de cada mês, Quadro 6 através da seguinte Equação (Allen *et al.*, 1998).

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (3)$$

$\omega_s$  (rad) – ângulo do ocaso do sol.

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (4)$$

$\varphi$  (rad) - latitude do local.

$\delta$  (rad) – declinação solar.

$$\delta = 0,409 \sin \frac{2\pi}{365} J - 1,39 \quad (5)$$

J – dia juliano.

Ao número de horas de sol obtido com a Equação 3, subtraíram-se duas horas e meia de manhã e duas horas e meia de tarde, já que nas primeiras horas de sol e ao final do dia os

níveis de radiação são relativamente baixos, como aliás, podemos verificar na Figura 8 (ver secção 2.3.2.).

Quadro 6 - Número de horas de sol diárias para cada mês.

Mês	J	$\delta$ (rad)	$\omega_s$	N	Horas sol úteis
1	15	-0,37	1,26	9,65	4,65
2	46	-0,23	1,39	10,60	5,60
3	74	-0,05	1,53	11,72	6,72
4	105	0,17	1,70	13,00	8,00
5	135	0,33	1,84	14,05	9,05
6	166	0,41	1,91	14,61	9,61
7	196	0,37	1,88	14,38	9,38
8	227	0,24	1,76	13,46	8,46
9	258	0,04	1,60	12,22	7,22
10	288	-0,17	1,44	10,98	5,98
11	319	-0,33	1,30	9,90	4,90
12	349	-0,41	1,23	9,38	4,38

#### Cálculo da potência da bomba necessária para a rega

As necessidades de rega mensais foram divididas pelo número de dias do mês e também pelo número de horas de sol diárias úteis do mesmo (Quadro 6), para gerar os caudais médios diários (para cada mês), para os quais se calcularam as necessidades de energia para bombagem. Nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto consideraram-se oito horas de sol úteis, para criar uma margem de segurança para compensar eventuais períodos nublados, e permitir o aumento dos tempos de rega em caso de necessidade. Com base nestes valores, calculou-se a potência P (cv) da bomba que seria necessária para satisfazer estas necessidades, a partir da Equação 6 (Pastor Muñoz-Cobo *et al.*, 2005). Considerou-se um rendimento do grupo eletrobomba de 70%, já que segundo Rasquilho Raposo (1996), o rendimento de um grupo eletrobomba varia normalmente entre 60 e 75%. Por fim, converteu-se o valor obtido para quilowatts (kW). Relativamente à altura manométrica, considerou-se, numa primeira aproximação, a correspondente ao dimensionamento clássico, tendo sido corrigida numa segunda etapa pela altura manométrica do sistema com setores assimétricos.

$$P = \frac{Q \times H_{mt}}{270 \times \eta} \quad (6)$$

P (cv) – Potência da bomba.

$H_{mt}$  (m.c.a.) – altura manométrica.

Q (m<sup>3</sup>/h) – caudal.

$\eta$  - rendimento do grupo eletrobomba.

Tendo em conta a potência da bomba e as horas de sol diárias, calcula-se a energia necessária por dia para a rega da parcela, em kWh, através da multiplicação dos dois valores. E depois converte-se este valor em necessidades de energia mensais.

#### Determinação da área de painéis fotovoltaicos a instalar

Com base na energia produzida mensalmente pelo painel fotovoltaico selecionado, estimada a partir do PVGIS, em kWh, fez-se a divisão entre a energia necessária e a energia produzida, de forma a obter o número de painéis necessários.

Os painéis fotovoltaicos, com o tempo, degradam-se, sofrendo uma perda de eficiência, a que se adicionam sujidades, avarias, entre outros problemas. Para além disso, a ocorrência de dias nublados tem impacto na produção de energia elétrica, tornando-se conveniente a consideração de um coeficiente de segurança. Observando a Figura 26, verifica-se que, num período de funcionamento de 30 anos, a potência produzida pelo painel diminui cerca de 20%. Desta forma, aconselha-se uma majoração do número de painéis obtido em 20%.

Por fim, multiplicou-se este valor pela área de um painel de forma a obter a área ocupada pelo sistema fotovoltaico.

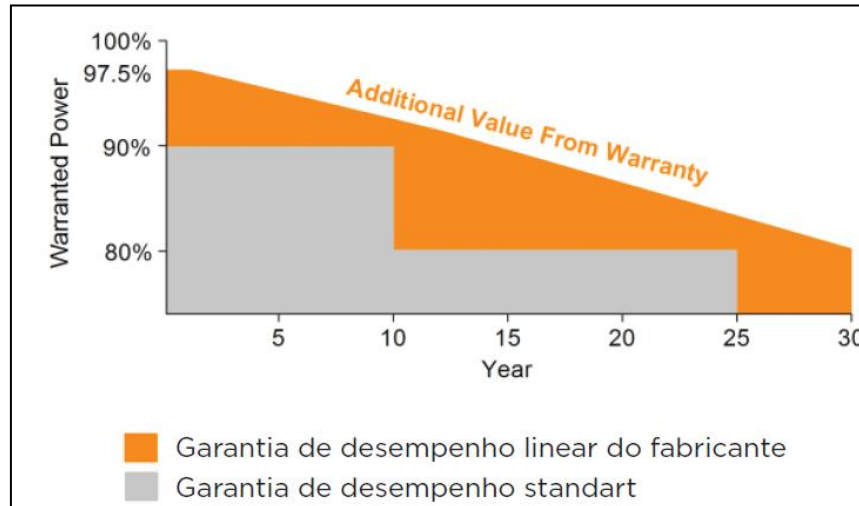


Figura 26 - Variação na potência produzida pelo sistema fotovoltaico ao longo do tempo (ENREPO, 2017).

### 3.4.2. Dimensionamento do sistema de rega com setores assimétricos

#### 3.4.2.1. Dimensionamento dos setores assimétricos

A metodologia de dimensionamentos dos setores assimétricos apresenta-se na Figura 27.

A partir dos dados horários de potência do sistema fotovoltaico obtidos através do *software* PVGIS para o período em estudo, da altura manométrica calculada no dimensionamento clássico e do rendimento da bomba, aplicou-se a Equação 6 de forma a obter o caudal médio bombeado a cada hora. De seguida, fez-se a divisão deste caudal pelo caudal de uma rampa, de forma a obter o número de rampas que será possível regar a cada hora. Note-se que, após o dimensionamento hidráulico dos setores assimétricos, a altura manométrica para o cálculo do número de painéis é corrigida para a correspondente ao setor de maior dimensão (mais desfavorável).

Como se pode constatar no Quadro 6, em Julho, estão disponíveis 9,38 horas de sol úteis por dia. No entanto, apenas se consideraram oito horas de sol, quando se fez a divisão em intervalos de duas horas. Tal deve-se ao facto de ser importante haver sempre uma folga, de forma a poder reparar avarias, ou compensar regas insuficientes de dias anteriores.

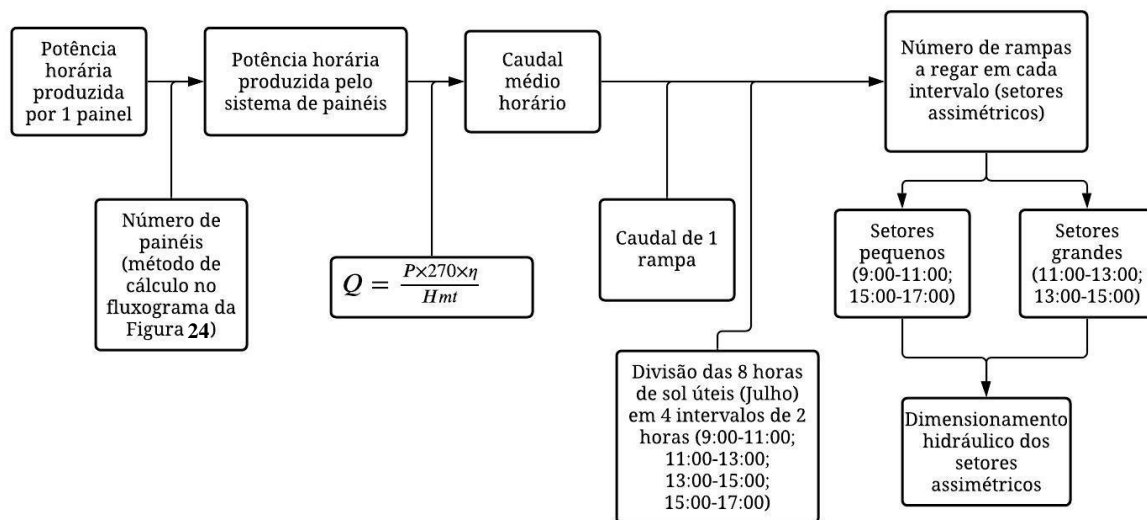


Figura 27 - Fluxograma da metodologia do dimensionamento dos setores assimétricos.

Relativamente aos dados horários de potência do sistema fotovoltaico, os valores utilizados resultaram de uma média da potência produzida à mesma hora de todos os dias 15 do mês de Julho do período em causa (2005-2016).

A utilização de setores assimétricos pode ser uma solução para a gestão da rega com caudais variáveis ao longo do dia. A definição de setores assimétricos permite adaptar o caudal necessário ao caudal produzido, sendo que a dimensão de cada setor será variável

(Shahidian *et al.*, 2014) e, por conseguinte, também o número de setores. Tradicionalmente, o tempo de rega seria um parâmetro de projeto, fixo. No entanto, neste caso, este tempo não será constante ao longo da campanha, já que a bombagem da água depende do número de horas de sol diário, que é variável.

Para além do dimensionamento do sistema de rega com setores assimétricos, também se efetuou o dimensionamento clássico de um sistema de rega gota-a-gota, para permitir fazer uma análise comparativa do efeito da adoção dos setores assimétricos no dimensionamento dos sistemas de rega.

### 3.4.2.2. Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento de um sistema de rega passa por três fases: inventário dos recursos existentes, dimensionamento agronómico e, por fim, o dimensionamento hidráulico.

No que toca à primeira fase, é necessário analisar os solos da parcela, cobertura vegetal, a sua topografia, verificar o abastecimento de água e de energia, e a cultura e suas características.

Relativamente ao dimensionamento agronómico, procede-se ao cálculo das necessidades de rega da cultura e dos parâmetros de rega, tais como a dotação útil máxima (Equação 7), o intervalo entre regas (Equação 10), a dotação útil de rega (Equação 11) e o tempo de rega (Equação 14). A partir destas necessidades de rega, determina-se o caudal de projeto (Equação 15), do qual depende o dimensionamento das tubagens.

A metodologia de dimensionamento do sistema de rega localizada utilizada nesta dissertação baseou-se na metodologia descrita em Keller e Bliesner (1990), Rasquilho Raposo (1994), Oliveira (2011) e Quintela (2014).

Dotação útil máxima (mm):

$$DU_{m\acute{a}x} = F_{sh} \times RFU \quad (7)$$

$F_{sh}$  – Fração de solo humedecida (razão entre área a humedecer e a área explorada pela planta).

$$F_{sh} = \frac{N_e \times A_{hum/emi}}{a'b'} \quad (8)$$

$N_e$  – Número de emissores.

$A_{hum/emi}$  ( $m^2$ ) – Área humedecida por emissor.

$a'b'$  ( $m^2$ ) – Área à superfície do solo correspondente ao volume de solo explorado pelo raizame.

A Reserva Facilmente Utilizável, RFU (mm) calcula-se através da Equação 9 (Pereira, 2004). Este valor reflete a fração da Reserva Utilizável do solo que uma cultura pode extrair da zona radical sem que sofra de stress hídrico (Allen *et al.*, 1998).

RFU (mm) – Reserva Facilmente Utilizável (Pereira, 2004).

$$RFU = (\theta_{CC} - \theta_{CE}) \times z_r \times p \quad (9)$$

$\theta_{CC}$  ( $m^3/m^3$ ) – Teor de água no solo à capacidade de campo.

$\theta_{CE}$  ( $m^3/m^3$ ) – Teor de água no solo no coeficiente de emurchecimento.

$z_r$  (mm) – Profundidade radicular.

$p$  – Fração de água facilmente utilizável.

Intervalo máximo entre regas ( $I_R$  – dias):

$$I_R = \frac{DU_{máx}}{ET_c} \quad (10)$$

Neste caso, considerou-se  $I_R = 1$  pois rega-se todos os dias, porque o solo é utilizado como reservatório de água/energia.

Dotação útil de rega (DU – mm):

$$DU = I_R \times ET_c \quad (11)$$

Dotação de rega (D – mm):

$$D = \frac{DU}{\varepsilon} \quad (12)$$

Volume de água a aplicar à planta ( $V_p$  – L):

$$V_p = D \times a'b' \quad (13)$$

O tempo durante o qual se rega um setor (Tempo de rega,  $T_r$  (h)) calcula-se a partir da Equação 14.

$$T_r = \frac{V_p}{N_p \times q_e} \quad (14)$$

$N_p$  – Número de emissores por árvore.

$q_e$  (L/h) – Caudal dos emissores em catálogo.

Equação para cálculo do Caudal de Projeto,  $Q_{pr}$  (L/s):

$$Q_{pr} = \frac{ET_{pr} \times A \times 31}{\varepsilon \times t} \quad (15)$$

$ET_{pr}$  (mm/dia) – Evapotranspiração de projeto.

$A$  (m<sup>2</sup>) – Área da parcela.

$\varepsilon$  – Eficiência de rega.

$t$  (s) – número de segundos em que se rega no mês de ponta num qualquer setor da área total.

No que diz respeito ao dimensionamento hidráulico, há que escolher os emissores e determinar a sua disposição, calcular o caudal por setor e por rampa, definir os setores de rega, a sua disposição e das condutas. Para além disso, é necessário determinar os diâmetros das tubagens, variações de pressão e calcular as perdas de carga associadas, determinar a disposição das válvulas e dimensionar a estação de bombagem da água.

Número de setores de rega ( $N_s$ ):

$$N_s < \frac{I_r \times T_D}{T_R} \quad (16)$$

$T_D$  (h) – Tempo disponível para rega num dia.

Tempo total de rega ( $TT_R$  – h):

$$TT_R = N_s \times T_R \quad (17)$$

Caudal total por setor ( $Q_s$  – L/h):

$$Q_s = N_{e/s} \times q_e \quad (18)$$

$N_{e/s}$  – Número de emissores por setor.

No que diz respeito à variação de pressão admitida num setor,  $\Delta h_s$  (m), aplica-se a Equação (19).

$$\Delta h_s = 2,5 \times (h_{med} - h_{min}) \quad (19)$$

$h_{med}$  (m) – Pressão de funcionamento que origina o caudal médio.

$h_{min}$  (m) – Pressão que origina o caudal mínimo.

$$h_{min} = h_{med} \times \left( \frac{q_{min}}{q_{med}} \right)^{1/x} \quad (20)$$

$q_{med}$  (L/h) – Caudal médio dos emissores, referido no catálogo.

$q_{min}$  (L/h) – Menor valor de caudal debitado por algum emissor do setor.

$x$  – Expoente da Equação de descarga do emissor.

$$q_{min} = \frac{q_{med} \times (UE/100)}{1,0 - 1,27 \times \left( \frac{cv}{\sqrt{N_p}} \right)} \quad (21)$$

UE (%) – Uniformidade de emissão.

cv – Coeficiente de variação dos emissores, presente no catálogo.

$N_p$  = Número de emissores de cada árvore.

O caudal de entrada em cada rampa,  $Q_R$  (L/h) vai ser calculado a partir de:

$$Q_R = N_{e/R} \times q_e \quad (22)$$

$N_{e/R}$  – Número de emissores por rampa.

$q_e$  (L/h) – Caudal de cada emissor.

Relativamente ao diâmetro das tubagens das rampas, deve ter-se em conta que na situação mais económica, a variação de pressão na rampa,  $\Delta h_R$  (m) (Equação 23) deve ser inferior ou igual a 55% da variação de pressão no setor (Equação 24).

$$\Delta H_R + \Delta N_R = \Delta h_R \quad (23)$$

$$\Delta h_R \leq 0,55 \times \Delta h_S \quad (24)$$

$\Delta H_R$  – Perda de carga na rampa.

$\Delta N_R$  – Desnível da rampa.

Importante referir, também, que a perda de carga máxima na rampa deve ser inferior a 20% da pressão de catálogo do gotejador, de forma a que a eficiência de rega seja a melhor e a situação seja a mais económica possível (Oliveira, 2011).

No que toca a perdas de carga unitárias, tanto nas rampas, como nos porta-rampas e conduta principal ( $j - m/m$ ), aplica-se a fórmula de Scoobey:

$$j = k \times \frac{Q^{1,75}}{\phi^{4,75}} \quad (25)$$

$\phi$  (mm) - Diâmetro da tubagem (seleccionada de um catálogo).

É de notar que o valor dos expoentes varia conforme as tubagens sejam de polietileno (expoentes presentes na Equação 25) ou de PVC (1,76 e 4,76). O valor de  $k$  também é influenciado pelo material das tubagens, bem como pelo diâmetro das mesmas, e pelas unidades em que se encontra o caudal.

Para além disso, na determinação dos diâmetros teóricos das tubagens, considera-se o caudal que irão transportar e uma velocidade teórica (normalmente 1,2 m/s), aplicando as equações (26), (27) e (28). De seguida, selecciona-se no catálogo um diâmetro próximo do calculado. Saliente-se que, de forma a otimizar os diâmetros das tubagens dos porta-rampas, devido ao serviço contínuo no percurso, utiliza-se o método troço a troço. Assim, o diâmetro da tubagem utilizada (catálogo) deve ser tal que promova uma velocidade entre 0,5 e 1,5 m/s, contribuindo para um aumento da eficiência do transporte da água.

$$Q = A \times v \quad (26)$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (27)$$

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (28)$$

Q (m<sup>3</sup>/s) – Caudal a transportar na rampa.

A (m<sup>2</sup>) – Área interna da tubagem.

$\phi$  (m) - Diâmetro interno da tubagem.

As perdas de carga contínuas, J (m) serão calculadas a partir de:

$$J = j \times L \times F \quad (29)$$

L (m) – Comprimento da rampa.

F – Coeficiente de Christiansen para o serviço uniforme no percurso (depende do número de saídas nas tubagens).

No caso das perdas de carga singulares,  $\Sigma H_s$  (m), o seu cálculo realiza-se a partir de:

$$\sum H_s = J \times (0,1 \text{ a } 0,3) \quad (30)$$

A perda de carga total em escoamento sob pressão vai ser resultado da soma das perdas de carga contínuas e singulares.

No que respeita à pressão à entrada das rampas,  $h_{ER}$  (m), aplica-se a seguinte Equação:

$$h_{ER} = h_{cat} + k\Delta H_R + \Delta N_R \quad (31)$$

$h_{cat}$  (m) – Pressão de catálogo.

k – Coeficiente que varia de acordo com o número de diâmetros existente nas tubagens (considerou-se  $k=0,75$ , já que as rampas têm diâmetro constante).

$\Delta N_R$  (m) – Desnível máximo entre emissores na rampa.

Em relação aos porta-rampas, a variação de pressão permitida,  $\Delta h_{PR}$  (m) calcula-se a partir de:

$$\Delta h_{PR} = \Delta h_s - \Delta h_R \quad (32)$$

A última tubagem a dimensionar será a conduta principal.

Por fim, é necessário dimensionar a bomba para o setor mais desfavorável, isto é, o setor que necessita de uma pressão mais elevada à entrada. Para tal, calcula-se, em primeiro lugar, a altura manométrica,  $Hmt$  (m) e, de seguida, a potência mínima da bomba,  $P$  (W).

$$Hmt = \frac{v^2}{2g} + h_{ES} + DN + \Delta H \quad (33)$$

$$P = Hmt \times Q \times 9810 \quad (34)$$

$Q$  (m<sup>3</sup>/s) – Caudal do setor.

Note-se que em ambos os sistemas dimensionados a rega é realizada por rampas com emissores integrais autocompensantes.

#### **3.4.2.3. Situação de inverno**

No caso da situação de inverno, tendo como base o dimensionamento já realizado, irá determinar-se o número de rampas que é possível regar. Considerando a energia produzida pelo sistema de painéis que foi projetado, o número de horas de sol úteis por dia no mês de Março e o rendimento e altura manométrica da bomba, obtém-se o caudal de rega para cada dia e, por conseguinte, o número de rampas que será possível regar. Efetuou-se esta verificação para o mês de Março, pois nas simulações efetuadas constatou-se que é o primeiro mês em que ocorrem necessidades de rega para esta cultura.

#### **3.4.3. Análise comparativa da energia fotovoltaica produzida com as necessidades energéticas da rega**

De forma a analisar a fiabilidade do sistema dimensionado com a metodologia proposta, foi-se simular o seu funcionamento, para se estimarem os decêndios em que o sistema falha, não sendo capaz de satisfazer as necessidades de rega, ao longo do período em estudo (2005-2016). Para tal, utilizaram-se dois indicadores: i) número de dias em que o sistema falha e ii) défice de volume de água aplicado.

Assim, tendo em conta o sistema fotovoltaico dimensionado (número de painéis calculado e a energia produzida pelos mesmos), bem como as necessidades de rega decendiais obtidas através do modelo ISAREG, que são convertidas em necessidades de energia, realizou-se uma

simulação na qual se compara a energia produzida pelo sistema e a energia necessária para a rega. De seguida, identificaram-se os decêndios em que a energia necessária é inferior à produzida, ou seja, aqueles em que não é possível suprir as necessidades de rega de toda a parcela. A partir daí, tendo em conta a energia em falta, calculou-se o volume de água também em falta, de forma a determinar qual o défice de rega no decêndio. Note-se que no cálculo da potência mínima necessária para rega consideramos a média das alturas manométricas de ambos os tipos de setores assimétricos.

#### **3.4.4. Comparação sistema proposto com o sistema de rega clássico**

De forma a avaliar os impactos que a rega fotovoltaica tem no dimensionamento hidráulico dos sistemas de rega, dimensionou-se também um sistema de rega clássico. Assim, será possível fazer-se uma comparação entre este e o sistema dimensionado de acordo com a metodologia proposta, uma vez que as duas abordagens têm princípios de dimensionamento diferentes.

No sistema de rega clássico, procede-se de forma a que o caudal de rega seja o mais próximo possível do caudal fictício contínuo e, também de forma a que a bomba seja de baixa potência. Assim, rega-se o maior número de horas por dia possível, deixando, apenas um pequeno intervalo de horas livre para o caso de haver necessidade de reparações.

Por outro lado, na rega fotovoltaica, rega-se quando está sol, ou seja, durante um menor intervalo de horas. Por conseguinte, irão existir caudais de projeto mais elevados, e, portanto, bombas de maior potência.

As diferenças referidas irão levar a divergências do ponto de vista do dimensionamento, tanto das bombas como das tubagens e divisão dos setores.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1. Necessidades de rega e caudais de ponta**

A utilização do programa ISAREG para o cálculo dos caudais de ponta e das necessidades de rega resultou nos dados apresentados no Quadro 7 e no Quadro 8, respetivamente.

Considerando a frequência relativa a cada ano, observa-se que com a probabilidade de não excedência de 80%, as necessidades de rega da cultura, no período de ponta serão de 1,98 mm/dia (3,6 x 0,55) (Quadro 7), ocorrendo nos anos de 2008 e 2013. Este valor será utilizado no dimensionamento hidráulico do sistema de rega.

Quadro 7 - Análise frequencial dos caudais de ponta.

Frequência (%)	Necessidades ponta (mm/dia)		Ano
	Linha de cultura	Parcela (fator de redução)	
7,7	3,1	1,71	2011
15,4	3,2	1,76	2014
23,1	3,3	1,82	2006
30,8	3,3	1,82	2007
38,5	3,3	1,82	2009
46,2	3,3	1,82	2012
53,8	3,3	1,82	2016
61,5	3,4	1,87	2015
69,2	3,5	1,93	2010
76,9	3,6	1,98	2008
84,6	3,6	1,98	2013
92,3	3,7	2,04	2005

Quadro 8 - Análise frequencial das necessidades anuais.

Frequência (%)	Necessidades consumo anuais (mm)		Ano
	Linha de cultura	Parcela (fator de redução)	
7,7	291	160,05	2011
15,4	293	161,15	2007
23,1	311	171,05	2008
30,8	313	172,15	2014
38,5	352	193,60	2010
46,2	358	196,90	2016
53,8	396	217,80	2006
61,5	406	223,30	2013
69,2	422	232,10	2012
76,9	441	242,55	2009
84,6	446	245,30	2015
92,3	568	312,40	2005

## 4.2. Dimensionamento da área de painéis

### 4.2.1. Correlação entre os dados de radiação obtidos pelo *software* PVGIS e os dados obtidos na estação meteorológica

Em primeiro lugar, analisaram-se os dados relativos à radiação solar, produzidos pelo *software* PVGIS, para avaliar a sua qualidade. Verificou-se que os dados obtidos através do PVGIS apresentam um elevado grau de concordância com os dados observados na estação meteorológica da Quinta da Saúde, durante o período 2005-2016. Tal pode ser confirmado através do coeficiente de determinação entre as duas variáveis de 0,9991 (Figura 28).

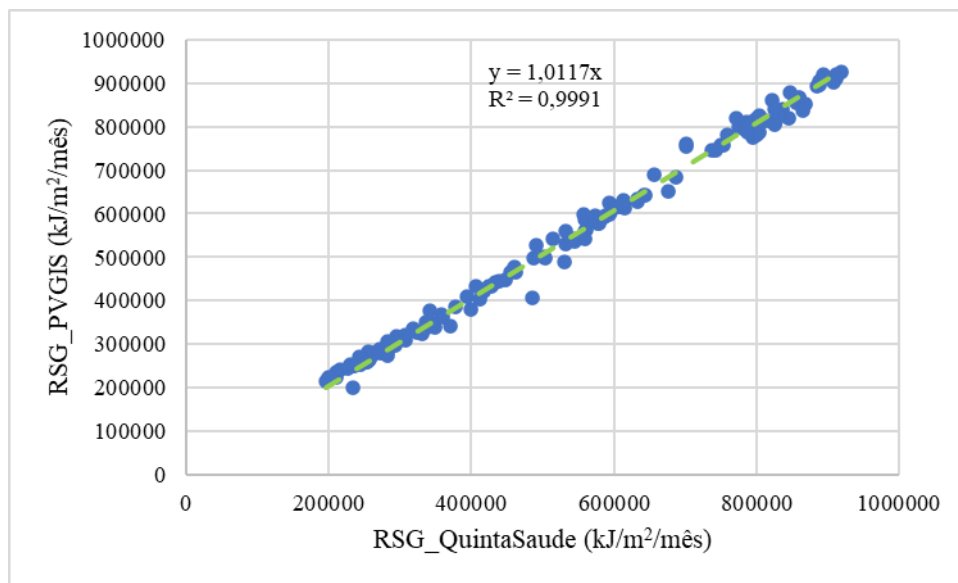


Figura 28 - Comparação dos dados de radiação obtidos pelo PVGIS com os dados observados na estação meteorológica da Quinta da Saúde (fonte: COTR, 2020).

### 4.2.2. Número de painéis necessários e energia produzida pelo sistema fotovoltaico

Relacionando a produção de energia de um painel com as necessidades de energia de rega permitiu calcular o número de painéis que seriam necessários em cada mês para proceder à rega de parcela do local em estudo. Assim, o dimensionamento realizou-se tendo em conta os painéis que seriam necessários para a rega no mês de Julho (período de ponta), ou seja, 27 painéis (Quadro 9), e, como cada painel tem uma área de  $1,63 \text{ m}^2$ , obtém-se uma área de painéis de  $44,01 \text{ m}^2$  (cerca de  $3 \text{ m}^2$  de painel/ha). Uma vez que os painéis considerados apresentam uma perda de potência de 20 % ao longo de 30 anos é necessário majorar o número de painéis resultando num total de 33 painéis ( $53,79 \text{ m}^2$ ) a instalar.

Quadro 9 - Determinação do número de painéis necessários (médias mensais no período em estudo).

Mês	Necessidades mensais reais (mm)	Rega mensal na parcela (m <sup>3</sup> )	Rega horária na parcela (m <sup>3</sup> /h)	Potência mínima bomba (kW)	Energia necessária por mês (kWh)	Energia produzida por painel (kWh)	Número de painéis
1	0	0	0,00	0,00	0,00	27,69	0
2	1,58	237,00	1,49	0,20	32,21	29,61	2
3	6,16	925,05	4,44	0,60	125,74	36,57	4
4	7,28	1093,24	4,56	0,62	148,60	37,29	4
5	22,87	3432,61	13,84	1,88	466,60	41,2	12
6	43,64	6551,77	27,30	3,71	890,59	41,05	22
7	58,46	8776,46	35,39	4,81	1192,99	45,45	27
8	50,98	7652,65	30,86	4,19	1040,23	44,37	24
9	31,83	4778,13	19,91	2,71	586,14	38,55	16
10	11,31	1697,19	9,15	1,24	230,70	33,52	7
11	0	0	0,00	0,00	0,00	27,55	0
12	0	0	0,00	0,00	0,00	26,26	0

Num estudo elaborado por Mérida García *et al.* (2018), conclui-se que, para regar uma área de 13,4 ha (divididos em três setores) é necessária uma área de 168 m<sup>2</sup> (cerca de 12,5 m<sup>2</sup> de painel/ha). Note-se que estes valores são mais elevados que os apresentados no sistema proposto, tendo em conta uma área de estudo e um número de setores muito próximos. A diferença na área de painel entre os dois sistemas deve-se sobretudo ao desnível, que no caso do estudo de Mérida García *et al.* (2018) apresenta um valor máximo de 24 m, ao invés dos 2 m existentes na Herdade dos Linharinhos, a que se soma a profundidade a que está colocada a bomba submersível no primeiro caso, o que leva a uma potência necessária muito mais elevada no primeiro caso. Valores diferentes da potência de pico dos painéis utilizados nos dois casos também poderão contribuir para esta diferença.

### 4.3. Setores assimétricos

Considerando que durante o mês de Julho se rega durante oito horas por dia, dividiu-se o dia em quatro intervalos de duas horas. Assim, tendo em conta o número de painéis já referido acima, a potência média produzida pelo sistema fotovoltaico de hora a hora (Figura 29), o rendimento médio do grupo eletrobomba e a altura manométrica calculada para o sistema clássico, foi possível determinar o número de rampas a regar em cada intervalo (Quadro 10). O número de rampas obtido para cada intervalo foi depois ajustado de forma a considerar as 288 rampas existentes na parcela e também as alturas manométricas relativas à

rega de cada setor, obtendo-se dois setores de 60 rampas (setores pequenos) e dois setores de 84 rampas (setores grandes). Salienta-se que os setores a regar em primeiro (das 9 h às 11 h) e último lugar (das 15 h às 17 h) são de menor dimensão, porque a disponibilidade de radiação é menor. Portanto, durante o horário das 11h às 15h regam-se os setores de maior dimensão. Assim, é possível regar toda a parcela num dia, utilizando apenas como fonte de energia a radiação solar.

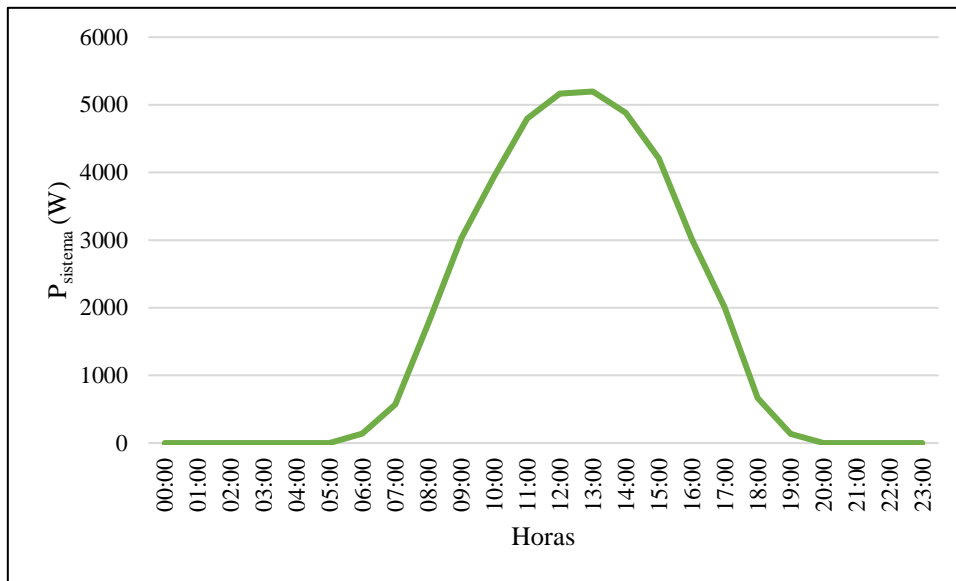


Figura 29 – Potência média produzida pelo sistema de 27 painéis ao longo do dia 15 no mês de Julho (PVGIS).

Quadro 10 - Horário de rega da parcela.

Horário	P <sub>27 painéis</sub> (W)	Q <sub>médio</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Nº rampas (local)
9:00-11:00	6969,49	50,75	60
11:00-13:00	9961,74	66,38	84
13:00-15:00	10077,14	67,15	84
15:00-17:00	7225,29	52,61	60

Na organização dos setores de rega, consideramos que temos disponíveis duas horas para regar cada setor, no entanto, apenas precisamos de 1,77 horas. Assim, existe mais esta pequena margem de segurança.

Tendo em conta as necessidades de rega obtidas, e seguindo a metodologia já descrita, dimensionou-se o sistema de rega gota-a-gota, apresentando-se, de seguida, os parâmetros do dimensionamento, assim como as características do sistema dimensionado. O sistema apresentado é relativo a apenas uma parcela hipotética delimitada no interior da herdade, com

uma área de aproximadamente 15 ha (dividida em 4 setores), cujas características se apresentam no Quadro 11 e o esquema se pode observar nas Figura 30 e Figura 31.

Quadro 11 - Características da parcela.

	Parcela	Setor grande	Setor pequeno
Comprimento (m)	540	139	139
Largura (m)	278	315	225
Área (m <sup>2</sup> )	150120	43785	31275
Desnível Parcela/Ponto água (m)	2		
Desnível Setor/Rampa (m)		0	0
Variação de pressão admitida (m)		10	10

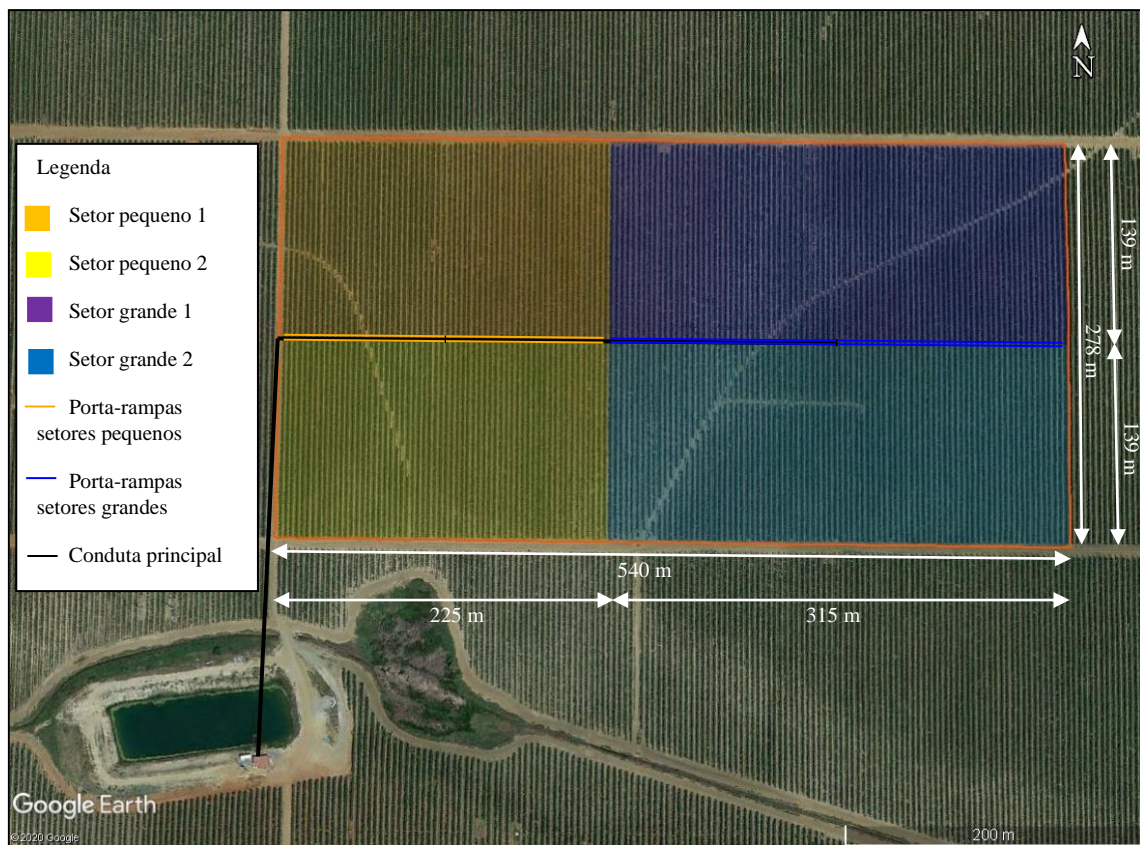


Figura 30 - Parcela em estudo.

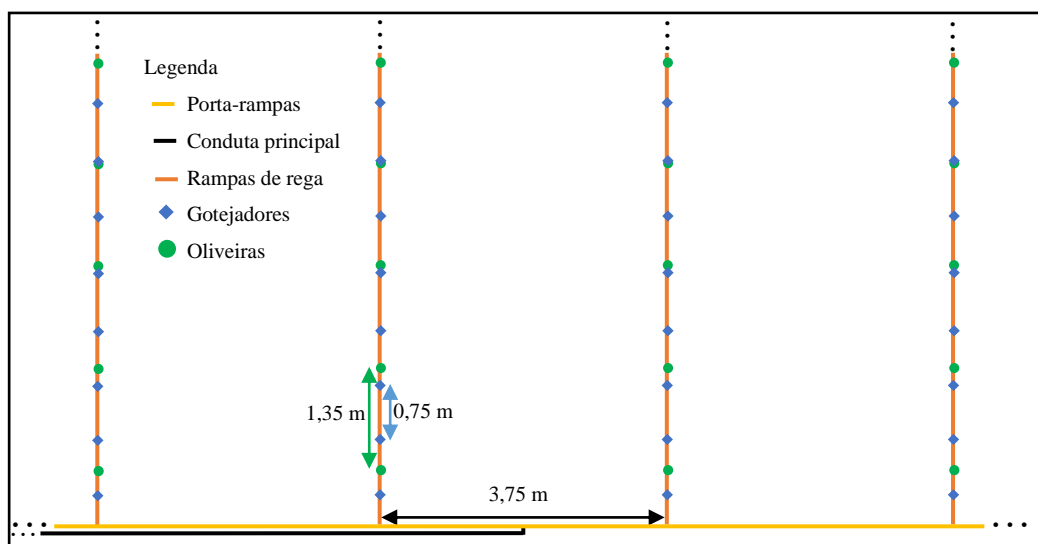


Figura 31 - Esquema de um setor de rega (excerto).

Os parâmetros de rega, apresentados no Quadro 12 serviram de base para a escolha dos emissores. Neste caso, optou-se por tubagens de rega com emissores incorporados.

Quadro 12 - Parâmetros de rega.

Dotação Útil Máxima (mm)	32,97
Reserva Utilizável (mm)	92,22
Reserva Facilmente Utilizável (mm)	59,94
Fração Solo Humedecido	0,55
Área humedecida por emissor (m <sup>2</sup> )	1,55
Número de emissores por árvore	2 (1,80)
Área correspondente ao volume explorado raízes (m <sup>2</sup> )	2,78
Compasso (m x m)	3,75 x 1,35
Eficiência de rega (%)	90
Intervalo máximo entre regas (dias)	1
Dotação Útil de Rega (mm)	3,60
Dotação de Rega (mm)	4
Volume de água por árvore (L)	11,14
Tempo disponível para rega (h)	8
Tempo de rega de 1 setor (h)	1,77
Número de emissores por rampa	180
Distância entre emissores (m)	0,75
Número de árvores por linha	100
Número de linhas por setor	84 (setor grande) 60 (setor pequeno)
Número total de rampas	288
Número de setores	4 (2 grandes + 2 pequenos)

Relativamente às rampas de rega (Quadro 14), é importante dizer que são constituídas por polietileno, com emissores autocompensantes incorporados. A variação de pressão na rampa é inferior a 55% da variação de pressão no setor, bem como a 20% da pressão de catálogo dos gotejadores, condições que se devem verificar para uma situação o mais económica possível.

As principais especificações das rampas de rega utilizadas apresentam-se no Quadro 13. As suas restantes características encontram-se no Anexo 2.

Quadro 13 - Características principais das rampas de rega selecionadas.

Marca	Modelo	Caudal (L/h)	Diâmetro interno tubagem (mm)
NETAFIM	UNIRAM CNL 20010	3,5	17,5

Quadro 14 - Características das rampas.

Comprimento rampa (m)	135
Caudal rampa (m <sup>3</sup> /h)	0,63
Diâmetro interno da tubagem (mm)	17,5
Velocidade água (m/s)	0,73
Perda de carga totais (m)	2,8
Variação pressão rampa (m)	2,8
55% de $\Delta h_s$ (m)	5,5
20% pressão catálogo (m)	5
Pressão necessária entrada rampa (m)	27,1
Pressão catálogo (m)	25

Os porta-rampas (Quadro 15) encontram-se ligados à conduta principal a meio do setor (Figura 31), de forma a diminuir as perdas de carga. Para além disso, existem 4 porta-rampas na parcela (um para cada setor).

As tubagens utilizadas nos porta-rampas são de polietileno de baixa densidade da marca ECOLINE (Anexo 3).

Quadro 15 - Características dos porta-rampas.

Tipo de setor	Grande					Pequeno				
Comprimento porta-rampas (m)	311,25					221,25				
Diâmetro interno da tubagem (mm)	96,8	66	44	28	21	79,2	55,4	35,2	21	
Comprimento do troço (m)	153,75	90	37,5	15	15	116,25	60	30	15	
Variação pressão permitida (m)						7,20				
Perda de carga totais (m)	2,36					1,88				
Pressão entrada setor (m)	29,46					28,68				

No que respeita à conduta principal (Quadro 16), isto é, a tubagem que faz o transporte da água entre a bomba e os porta-rampas, podem-se observar diferenças no comprimento considerado para os cálculos das perdas de carga e, também nos valores das mesmas. Tal deve-se ao facto de os setores de menor dimensão estarem mais próximos da bomba e também de o caudal a transportar ser inferior. Adicionalmente, a potência mínima da bomba necessária aumenta aproximadamente 1,5 vezes quando passamos de um setor de pequeno para um setor grande. Note-se, ainda que o diâmetro interno da tubagem tem uma dimensão relativamente elevada de forma a que as perdas de carga sejam as menores possíveis.

A tubagem da conduta principal do dimensionamento fotovoltaico é de PVC, apresenta um diâmetro interno de 150,6 mm e é da marca EUROTUBO (Anexo 4).

Tendo em conta a informação presente no Quadro 16, selecionaram-se duas bombas (uma para cada tipo de setor), cuja identificação se encontra no Quadro 17 e as restantes características apresentam-se no Anexo 5.

Quadro 16 - Características da conduta principal, altura manométrica e potência mínima da bomba.

Tipo de setor	Grande	Pequeno
Comprimento (m)	666,38	396,38
Caudal setor (m <sup>3</sup> /h)	52,92	37,80
Diâmetro interno tubagem (mm)	150,6	
Velocidade água (m/s)	0,83	0,59
Perda de carga totais (m)	3,20	1,05
Altura manométrica (m)	34,69	31,75
Potência mínima necessária da bomba (kW)	5,00	3,27

Quadro 17 - Bombas selecionadas.

Tipo de setor	Grande	Pequeno
Marca	LOWARA	
Modelo	40-160/75	40-160/55
Potência Nominal (kW)	7,5	5,5

Optou-se pela utilização de duas bombas (uma para os setores pequenos e outra para os setores grandes), uma vez que a diferença entre a potência mínima de bomba necessária para cada um dos tipos de setores é considerável. Caso se optasse por apenas uma bomba dimensionada para o setor de maior dimensão, quando se procedesse à rega do setor menor, a bomba iria ser muito menos eficiente.

### 4.3.1. Situação de inverno

No caso da situação de inverno, considerou-se o mês de Março, uma vez que as simulações realizadas mostram a necessidade de efetuar regas neste mês em alguns dos anos considerados. No mês de Março apenas estão disponíveis 6,72 horas de rega por dia, dividindo-se, então o dia em quatro intervalos de uma hora e meia. Assim, tendo em conta a potência média horária produzida pelo sistema de 27 painéis fotovoltaicos, o rendimento médio do grupo eletrobomba e a alturas manométricas calculadas para o sistema de rega fotovoltaico no período de ponta, foi possível determinar o número de rampas a regar em cada intervalo. Posteriormente, o número de rampas a regar em cada dia ajustou-se tendo em conta o número de rampas existente em cada setor. Concluiu-se, assim, que poderão regar-se dois setores por dia (Quadro 18) (um setor pequeno, dividido entre o início da manhã e o final da tarde, e um setor grande nas horas de maior calor), tendo em conta alguma folga. Esta rega corresponderá a uma dotação de 1,48 mm/dia, sendo bastante mais elevada que a necessária para o mês de Março (10,1 mm/mês, o que se traduz em aproximadamente 0,33 mm/dia).

Na Figura 32 pode-se observar a potência média horária produzida pelo sistema de 27 painéis fotovoltaicos no dia 15 dos meses de Março e Julho e verificar que a diferença não é muito elevada. A potência produzida em Março, ainda que considerando menos horas para rega, corresponde a cerca de 85% da potência produzida em Julho.

Note-se que não existe um decréscimo muito acentuado na produção de energia quando se passa do verão para o inverno, já que a eficiência do sistema de painéis no verão é inferior devido ao calor.

Para a avaliação da situação de inverno, manteve-se o dimensionamento hidráulico efetuado anteriormente para o período de ponta, tendo-se considerado a bomba dimensionada para os setores pequenos (BOMBA LOWARA 40-160/55) (Anexo 5). Assim, esta bomba poderá ser utilizada para cobrir falhas ao longo da época de rega (ao invés do gerador a gásóleo), bem como no caso de se querer proceder à fertirrega.

É de realçar que quando se dimensionou o sistema para o período de ponta, considerou-se uma pressão de funcionamento dos gotejadores autocompensantes próxima do limite superior, de forma a que o caudal não diminua quando a potência disponível é inferior (situação de inverno ou de céu encoberto).

Adicionalmente, na Figura 33, podemos observar o esquema de um setor de rega, incluindo as duas eletroválvulas que irão fazer a divisão de cada setor em dois setores de igual dimensão. Assim, durante o inverno, estará aberta apenas uma electroválvula de cada vez e no verão estarão as duas abertas simultaneamente.

Quadro 18 - Horário de rega de Inverno da parcela.

Horário	P27 painéis (W)	Qmédio (m <sup>3</sup> /h)	Nº rampas (local)
10:00-11:30	5601,015	40,79	30
11:30-13:00	6488,888	47,25	42
13:00-14:30	6880,523	50,10	42
14:30-16:00	6043,275	44,01	30

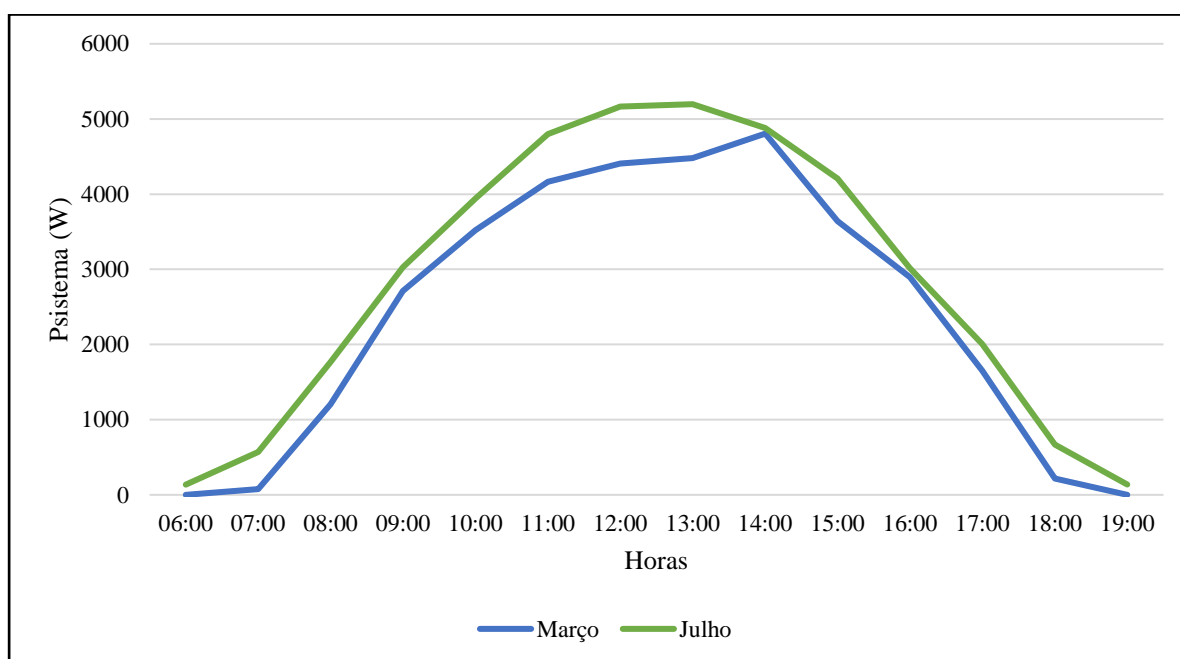


Figura 32 - Comparação da potência média produzida pelo sistema de 27 painéis ao longo do dia 15 dos meses de Março e Julho (PVGIS).

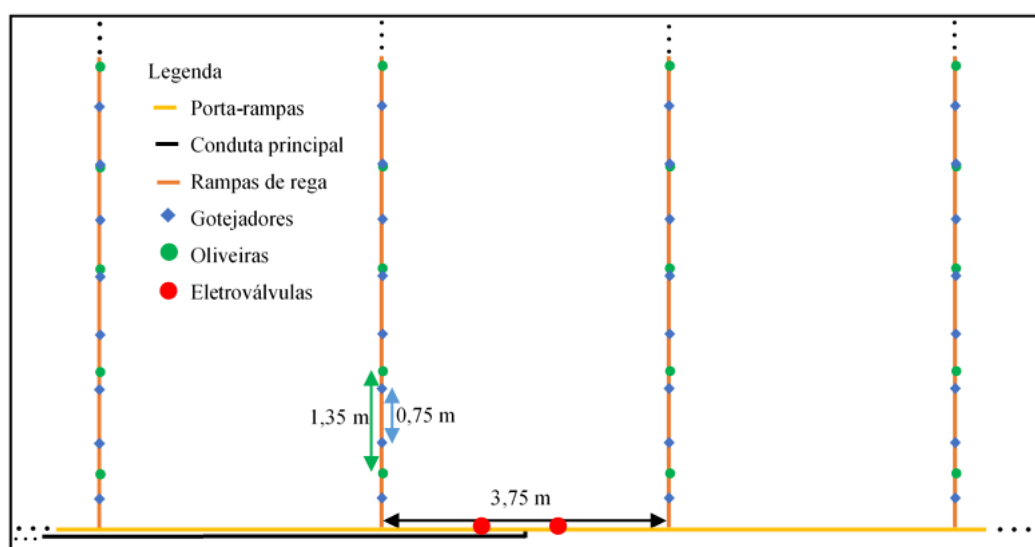


Figura 33 - Esquema de um setor de rega (excerto).

#### 4.4. Comparação da energia fotovoltaica produzida com as necessidades energéticas da rega

Comparando a energia produzida pelo sistema fotovoltaico (27 painéis – 44,01 m<sup>2</sup>) e a energia necessária para regar a parcela durante o período de estudo, obteve-se um total de 14 falhas. Assim, nos 432 decêndios que constituem o período de estudo, em 14 (3,24%) destes não foi possível suprir totalmente as necessidades de rega da cultura, utilizando o sistema fotovoltaico (Figura 34).

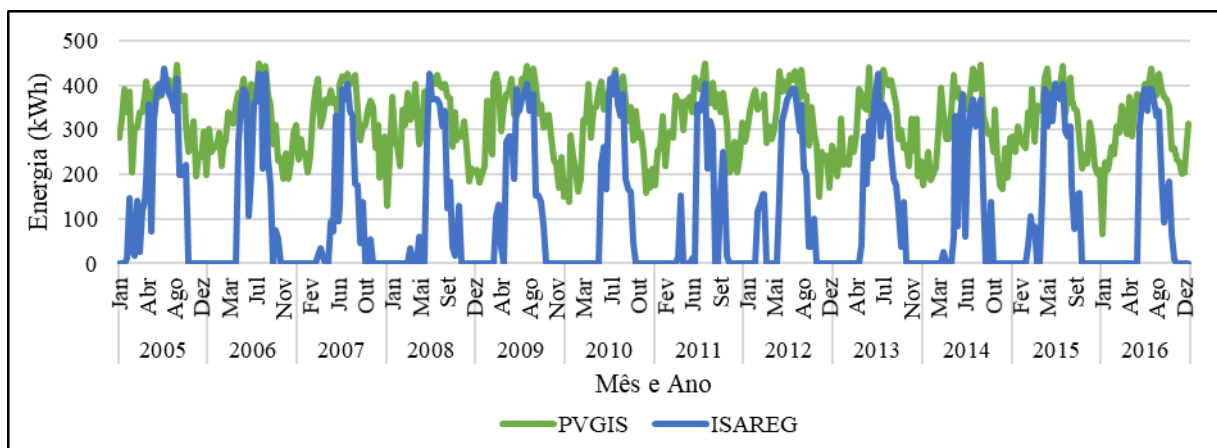


Figura 34 - Comparação da energia produzida pelo sistema fotovoltaico de 27 painéis com as necessidades energéticas para rega.

No Quadro 19 apresenta-se a lista de decêndios em que as necessidades de rega da cultura não são supridas na sua totalidade. Atente-se ao facto de os decêndios em causa ocorrerem nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto, meses de verão, nos quais a oliveira apresenta menor sensibilidade ao stress hídrico. Para além disso, a percentagem média de défice é de 4,66%, um valor relativamente baixo. Será de realçar que olival é uma cultura bem adaptada ao clima mediterrânico, como, aliás, se referiu anteriormente e, portanto, a ocorrência destas falhas não será preocupante, pois devido ao ajustamento estomático, será possível compensar algumas destas falhas nos dias posteriores.

Para avaliar o desempenho do sistema devemos ainda ter em conta o fator de majoração de 20% considerado para compensar a perda de potência ao longo dos 30 anos e que resultou na necessidade de se instalarem 33 painéis. Se se considerar que as simulações realizadas correspondem ao período intermédio de vida dos painéis, está-se a considerar implicitamente um coeficiente de segurança médio de 10%. Assim, pode-se observar na Figura 35 a comparação entre a energia necessária para rega e a produzida por um sistema de 30 painéis (coeficiente de segurança de 10%) na qual se obtém apenas uma falha na rega. Verifica-se

assim que a área de painéis fotovoltaicos considerada permite satisfazer as necessidades energéticas do sistema de rega dimensionado.

Quadro 19 - Lista de decêndios cujas necessidades de rega não são supridas na totalidade (27 painéis).

Ano	Mês	Decêndio	Energia necessária (kWh)	Energia produzida (kWh)	Diferença (kWh)	Caudal em falta (m <sup>3</sup> /s)	Volume em falta (mm)	Necessidades decendiais (mm)	% déficit
2005	Jun	2	403,39	375,12	-28,27	0,0076	1,46	20,78	7,01
2005	Jun	3	379,66	377,83	-1,82	0,0005	0,09	19,56	0,48
2005	Jul	1	438,978	410,11	-28,86	0,0077	1,49	22,61	6,58
2006	Jun	1	379,66	371,87	-7,79	0,0021	0,40	19,56	2,05
2006	Jul	2	367,79	364,27	-3,52	0,0009	0,18	18,94	0,96
2008	Jun	3	427,11	399,12	-27,99	0,0075	1,44	22,00	6,55
2009	Jun	2	391,52	331,12	-60,40	0,0162	3,11	20,17	15,43
2010	Jul	1	415,25	395,33	-19,91	0,0053	1,03	21,39	4,80
2013	Jun	3	403,39	394,28	-9,10	0,0024	0,47	20,78	2,26
2013	Jul	1	427,11	392,76	-34,36	0,0092	1,77	22,00	8,04
2014	Jun	2	379,66	365,63	-14,02	0,0038	0,72	19,56	3,69
2015	Jun	1	379,66	369,17	-10,49	0,0028	0,54	19,56	2,76
2015	Jun	3	403,39	402,97	-0,41	0,0001	0,02	20,78	0,10
2016	Jun	2	367,79	351,00	-16,80	0,0045	0,87	18,94	4,57

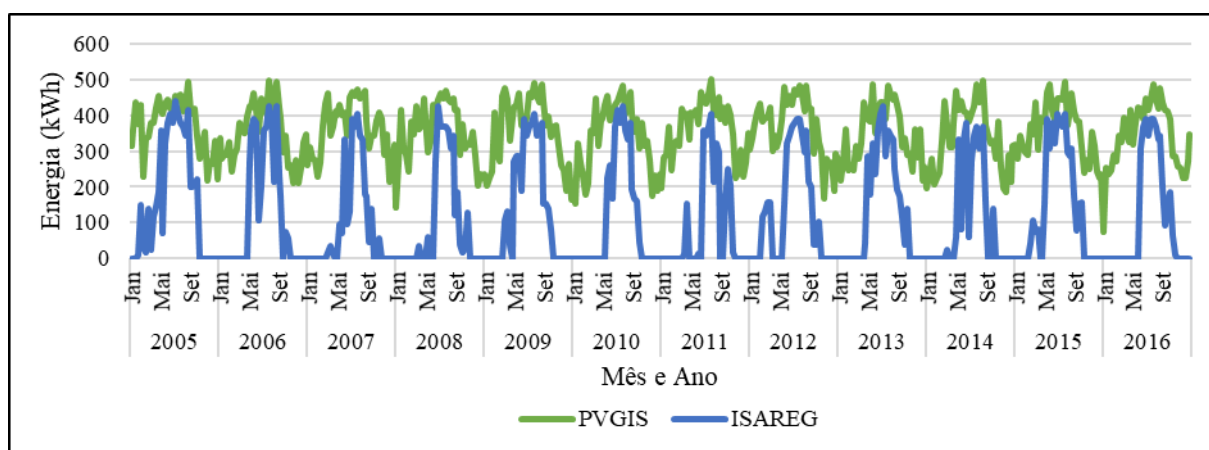


Figura 35 - Comparação da energia produzida pelo sistema fotovoltaico de 30 painéis (coeficiente de segurança de 10%) com as necessidades energéticas para rega.

#### 4.5. Comparação com o sistema de rega clássico

No que toca ao dimensionamento clássico, os parâmetros de rega apresentam-se no Quadro 20, podendo-se, desde já observar que existem o dobro dos setores em relação ao dimensionamento fotovoltaico, porque o tempo disponível para rega é bastante superior. O tempo de rega para cada setor também é superior, no entanto, a dimensão dos setores é menor.

As características das rampas de rega apresentam-se no Quadro 22, no qual se pode ver que o caudal e o diâmetro são inferiores aos aplicados no dimensionamento fotovoltaico, até porque o tempo disponível para regar é superior. Relativamente aos porta-rampas, como podemos ver no Quadro 23, que o seu comprimento vai ser diferente dos utilizados no dimensionamento fotovoltaico com setores assimétricos, porque o número de setores utilizados em cada dimensionamento é diferente.

Quadro 20 - Parâmetros de rega.

Dotação Útil Máxima (mm)	32,97
Reserva Utilizável (mm)	92,22
Reserva Facilmente Utilizável (mm)	59,94
Fração Solo Humedecido	0,55
Área humedecida por emissor (m <sup>2</sup> )	1,55
Número de emissores por árvore	2 (1,80)
Área correspondente ao volume explorado raízes (m <sup>2</sup> )	2,78
Compasso (m x m)	3,75 x 1,35
Eficiência de rega (%)	90
Intervalo máximo entre regas (dias)	1
Dotação Útil de Rega (mm)	3,60
Dotação de Rega (mm)	4
Volume de água por árvore (L)	11,14
Tempo disponível para rega (h)	22
Tempo de rega 1 setor (h)	2,69
Número de emissores por rampa	180
Distância entre emissores (m)	0,75
Número de árvores por linha	100
Número de linhas por setor	36
Número total de rampas	288
Número de setores	8

Relativamente às rampas de rega (Quadro 22), é importante dizer que são constituídas por polietileno, com emissores autocompensantes incorporados. A variação de pressão na rampa é inferior a 55% da variação de pressão no setor, bem como a 20% da pressão de catálogo dos gotejadores, condições que se devem verificar para uma situação o mais económica possível.

As principais especificações das rampas de rega utilizadas apresentam-se descritas no Quadro 21. As suas restantes características encontram-se no Anexo 2.

Quadro 21 - Características principais dos gotejadores selecionados.

Marca	Modelo	Caudal (L/h)	Diâmetro interno tubagem (mm)
NETAFIM	UNIRAM CNL 16010	2,3	14,2

Quadro 22 - Características das rampas.

Comprimento rampa (m)	135
Caudal rampa (m <sup>3</sup> /h)	0,414
Diâmetro interno da tubagem (mm)	14,2
Velocidade água (m/s)	0,73
Perda de carga totais (m)	3,63
Variação pressão rampa (m)	3,63
55% de $\Delta h_s$ (m)	5,5
20% pressão catálogo (m)	5
Pressão necessária entrada rampa (m)	27,72
Pressão catálogo (m)	25,00

Os porta-rampas (Quadro 23) encontram-se ligados à conduta principal a meio do setor, de forma a diminuir as perdas de carga. Para além disso, existem 8 porta-rampas na parcela (um para cada setor).

As tubagens utilizadas nos porta-rampas são de polietileno de baixa densidade da marca ECOLINE (Anexo 3).

Quadro 23 - Características dos porta-rampas.

Comprimento (m)	131,25
Diâmetro interno da tubagem (mm)	44 28 17
Comprimento dos troços (m)	86,25 30 15
Variação pressão permitida (m)	6,37
Perda de carga totais (m)	2,38
Pressão entrada setor (m)	30,10

As características da conduta principal encontram-se no Quadro 24. Para além disso, pode-se observar também elementos a partir dos quais se irá determinar a bomba a utilizar (caudal, altura manométrica e potência).

A tubagem da conduta principal de polietileno de baixa densidade da marca ECOLINE (Anexo 3).

Quadro 24 - Características da conduta principal, altura manométrica e potência mínima necessária da bomba.

Comprimento (m)	688,88
Diâmetro interno tubagem (mm)	97,8
Velocidade água (m/s)	0,55
Perda de carga totais (m)	2,79
Altura manométrica (m)	34,91
Potência mínima necessária da bomba (kW)	1,42

Assim, a bomba escolhida para este sistema de rega é da marca LOWARA, modelo 32-160/40, com uma potência de 4 kW. Pode-se constatar que o dimensionamento clássico necessita apenas de uma bomba, com uma potência mínima consideravelmente inferior às necessárias para o dimensionamento fotovoltaico, cuja bomba para os setores grandes é de 7,5 kW e de 5,5 kW para os setores pequenos. Verifica-se igualmente um aumento dos diâmetros da conduta principal, porta-rampas e rampas quando se passa do dimensionamento clássico para o fotovoltaico. Neste caso, verifica-se ainda um aumento do caudal dos gotejadores do sistema clássico com 2,3 L/h para os 3,5 L/h do sistema fotovoltaico.

Deste modo, pode-se concluir que a rega com energia fotovoltaica aumenta os custos de instalação dos sistemas de rega, mas que deverão ser compensados por um custo de exploração mais baixo, em virtude de não se estar ligado à rede elétrica. Para além disso, esta solução permite reduzir a pegada de CO<sub>2</sub> da rega do olival, contribuindo positivamente para o objetivo de se atingir a neutralidade carbónica. No seguimento deste trabalho será pertinente a realização de um estudo económico para avaliar a viabilidade da solução proposta.

## 5. Conclusões e Perspetivas Futuras

Neste trabalho desenvolveu-se uma metodologia de dimensionamento de sistemas de rega gota-a-gota, alimentados exclusivamente por energia fotovoltaica, baseados em setores assimétricos, utilizando o solo para armazenamento de energia, regando-se quando exista radiação solar disponível. Desta forma, não são necessárias baterias (investimento caro e de duração limitada) nem reservatórios elevados de água, eliminando-se, assim, o maior constrangimento à adoção desta tecnologia (o elevado custo do armazenamento da energia).

Este tipo de sistema de rega é particularmente interessante e adequado para o olival, já que é uma cultura com ajustamento estomático, sendo possível compensar a falta de rega de um dia, por falta de radiação solar suficiente, no dia seguinte.

Também, no que toca à redução da pegada de CO<sub>2</sub> na rega dos pomares e culturas permanentes, em que a rega é uma das principais fontes de emissões, este sistema torna-se interessante, já que se deixa de alimentar as bombas com energia proveniente de combustíveis fósseis.

Realizou-se um estudo de forma a avaliar a qualidade do sistema, com dados relativos à exploração considerada. Chegou-se à conclusão que se deveria utilizar um coeficiente de segurança, já que, quando se realizou a simulação de trabalho do sistema verificou-se a existência de períodos com rega insuficiente, quando este não é considerado.

Como já se referiu, pretende-se que este sistema seja independente da rede elétrica, regando-se apenas quando há sol, portanto, há necessidade de bombas com maior potência e dimensão, tubagens de maior diâmetro, em comparação com sistemas clássicos, aplicando-se, também, caudais maiores. É, ainda, necessário ter em consideração a possível ocorrência de avarias no sistema que poderão levar à diminuição da produção de energia e, portanto, a falhas na rega, sendo necessário a majoração (coeficiente de segurança) da área dos painéis para fazer face a imprevistos.

A organização da parcela em setores assimétricos é um conceito fundamental na rega com recurso a energia fotovoltaica sem armazenamento de energia, permitindo ajustar a área regada à disponibilidade de energia fotovoltaica ao longo do dia.

No futuro será interessante analisar do ponto de vista económico os custos associados à implementação deste sistema, bem como a eventual necessidade de um gerador *backup* a diesel. Adicionalmente, seria interessante testar a aplicação deste tipo de sistema numa área experimental, de forma a determinar as correções necessárias, já que o sistema desenvolvido é teórico, carecendo da necessária validação através da sua implementação e utilização no campo.

## Referências Bibliográficas

- Abu-Aligah, M. (2011) «Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump», *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(3), pp. 273–280.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2019) *Roteiro para a Neutralidade Carbónica - Apresentação Pública*.
- Allen, R., Pereira, L. e Raes, D. (1998) «Crop evapotranspiration», *FAO Irrigation and Drainage Paper*, (56).
- Babušík, M. (2010) *Riego en 3 Passos - Guía práctica*. 1.<sup>a</sup> ed. Sencelles, Islas Baleares: Lotus Mallorca, S.L.
- Bacelar, E., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J. e Correia, C. (2009) «Botânica e Morfologia da Oliveira», em Rodrigues, M. e Correia, C. (eds.) *Manual da Safra e Contra Safra do Olival*. Bragança: Instituto Plitécnico de Bragança, pp. 9–15.
- Barroso, J. M., Peça, J. O., Dias, A. B., Pinheiro, A. C. e Santos, F. L. (2013) «Inovação Técnica em Olivicultura», em Böhm, J. (ed.) *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite*. 1.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Dinalivro, pp. 86–147.
- Boteta, L., Guerreiro, C., Catronga, H. e Lourenço, C. (2005) «A rega do olival: gestão e controlo», *Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio*, (1), pp. 1–11.
- Branquinho, S. (2020) *Definição de medidas de adaptação às alterações climáticas na rega do olival superintensivo na região do Alentejo*. Instituto Superior de Agronomia.
- Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., de la Veja Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., Fungtammasan, B., Garg, A. Hertwich, E., *et al.* (2014) «Energy systems», em *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1.<sup>a</sup> ed. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, pp. 511–597.
- Carvalho Cardoso, J. (1965) *Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese*. Lisboa: Secretaria de Estado da Agricultura.
- Carvalho Cardoso, J. (1974) «Classificação dos solos de Portugal», *Boletim de Solos do SROA*, (17), pp. 14–46.

- Centro de Competências para o Regadio Nacional (2020) *SAGRA - Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo*. Disponível em: <http://www.cotr.pt/servicos/sagra.php> (Acedido: 15 de Junho de 2020).
- Cook, G., Billman, L. e Adcock, R. (1995) *Photovoltaic Fundamentals*. Editado por P. Pitchford, J. Jones, e B. Glenn. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- Cordeiro, A. M., Santos, M. L., Morais, N. C. e Miranda, A. P. (2013) «As Variedades de Oliveira», em Böhm, J. (ed.) *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite*. 1.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Dinalivro, pp. 174–233.
- D’Andria, R. e Lavini, A. (2007) «Irrigation», em Sbitri, M. e Serafini, F. (eds.) *Production techniques in olive growing*. 1.<sup>a</sup> ed. Naples: International Olive Council, pp. 169–210.
- De la Rosa, R., León, L., Guerrero, N. e Barranco, D. (2007) «Olival superintensivo: realidade ou utopia?», *Revista de Ciências Agrárias*, pp. 546–551.
- Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2020) *Carta de Solos e Capacidade de Uso, Série SROA/CNROA*. Disponível em: <https://www.dgadr.gov.pt/cartografia/cartas-solos-cap-uso-digital> (Acedido: 11 de Dezembro de 2020).
- Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (2013) *Instalação do olival e variedades*. Disponível em: [http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/instalacao\\_olival\\_e\\_variedades\\_2013.pdf](http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/instalacao_olival_e_variedades_2013.pdf) (Acedido: 15 de Abril de 2020).
- Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva (2019a) *Bloco de Rega de Cinco Reis-Trindade - Normas de Exploração*. Beja.
- Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva (2019b) *Sistema Global de Rega de Alqueva*. Disponível em: <https://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/sistema-global-de-alqueva/> (Acedido: 19 de Agosto de 2020).
- ENREPO (2017) *Módulo Policristalino 265 W AS-6P30*. Disponível em: <https://www.enrepo.com/produtos/energia-fotovoltaica/modulos-fotovoltaicos/modulo-policristalino-250-w-as-6p30-566.html> (Acedido: 4 de Junho de 2020).
- European Parliament (2019) *What is carbon neutrality and how can it be achieved by 2050?* Disponível em:

- <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-how-can-it-be-achieved-by-2050> (Acedido: 4 de Março de 2020).
- EUScienceHub (2019a) *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (Acedido: 22 de Janeiro de 2020).
- EUScienceHub (2019b) *PVGIS users manual*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual> (Acedido: 22 de Janeiro de 2020).
- EUScienceHub (2019) *PVGIS data sources and calculation methods*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods> (Acedido: 22 de Janeiro de 2020).
- FAO/WRB (2014) *World reference base for soil resources 2014, World Soil Resources Reports No. 106*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernández, J. E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J. M., Cuevas, M. V., Rodriguez-Dominguez, C. M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J. M., Hernandez-Santana, V. e Diaz-Espejo, A. (2013) «A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density», *Plant and Soil*, 372(1–2), pp. 279–295.
- Ferreira, M. (2017) «Stress Coefficients for Soil Water Balance Combined with Water Stress Indicators for Irrigation Scheduling of Woody Crops», *Horticulturae*, 3(38), p. 33.
- Ghasemi-Mobtaker, H., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K. e Nabavi-Pelesaraei, A. (2020) «Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran», *Renewable Energy*, 160, pp. 1316–1334.
- Girona Gomis, J., Hidalgo Moya, J. e Pastor Muñoz-Cobo, M. (2005) «Riego deficitario controlado», em Pastor Muñoz-Cobo, M. (ed.) *Cultivo del olivo con riego localizado*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca & Ediciones Mundi-Prensa, pp. 139–163.
- Grattan, S. R., Berenguer, M. J., Connell, J. H., Polito, V. S., e Vossen, P. M. (2006) «Olive oil production as influenced by different quantities of applied water», *Agricultural Water Management*, 85(1–2), pp. 133–140.
- Hartung, H. e Pluschke, L. (2018) *The benefits and risks of solar-powered irrigation - a global overview*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Deutsche Gesellschaft für

Internationale Zusammenarbeit.

Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2019) *Estatísticas Agrícolas 2018*. Lisboa.

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2020) *Área educativa - Clima de Portugal Continental*. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/> (Acedido: 12 de Junho de 2020).

Jones, M. A., Odeh, I., Haddad, M., Mohammad, A. H. e Quinn, J. C. (2016) «Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture», *Desalination*. Elsevier B.V., 387, pp. 35–45.

Keller, J. e Bliesner, R. (1990) *Sprinkle and Trickle irrigation*. 1.<sup>a</sup> ed. New York: Springer Science US.

Khatib, T., Saleh, A., Eid, S. e Salah, M. (2019) «Rehabilitation of Mauritanian oasis using an optimal photovoltaic based irrigation system», *Energy Conversion and Management*. Elsevier, 199(May), p. 111984.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. e Rubel, F. (2006) «World map of the Köppen-Geiger climate classification updated», *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), pp. 259–263.

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. e Boscolo, R. (eds.) (2006) *Mediterranean climate variability*. 1.<sup>a</sup> ed. Amsterdam: Elsevier.

Maheshwari, T. K., Kumar, D. e Kumar, M. (2017) «Solar Photovoltaic Irrigation Pumping System», *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), pp. 1884–1889.

MASLOWATEN (2018). Disponível em: [https://maslowaten.eu/?page\\_id=201&lang=pt](https://maslowaten.eu/?page_id=201&lang=pt) (Acedido: 21 de Janeiro de 2020).

Mendonça, M. (2016) *Modelação da evapotranspiração de um olival intensivo utilizando o modelo SIMDualKc* Mariana Goulão Travassos Correia de Mendonça *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em*. Instituto Superior de Agronomia.

Mérida García, A., Fernandez-García, I., Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P. e Rodríguez Díaz, J. A. (2018) «Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system», *Journal of Cleaner Production*, 175, pp. 670–682.

- Mestre, F. (2009) «Maneio do olival em sebe - 10 anos de experiência», em Bento, A. e Barba, N. G. (eds.) *V Simpósio Nacional de Olivicultura*. Santarém: APH - Associação Portuguesa de Horticultura, pp. 81–90.
- Niajalili, M., Mayeli, P., Naghashzadegan, M., Poshtiri, A. M. (2017) «Techno-economic feasibility of off-grid solar irrigation for a rice paddy in Guilan province in Iran: A case study», *Solar Energy*. Elsevier Ltd, 150, pp. 546–557.
- Oliveira, I. (2011) *Técnicas de Regadio*. 2.<sup>a</sup> ed. Beja: Rolo & Filhos, S.A.
- Paço, T. A., Pôças, I., Cunha, M., Silvestre, J. C., Santos, F. L., Paredes, P. e Pereira, L. S. (2014) «Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations», *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 519(Part B), pp. 2067–2080.
- Parvaresh Rizi, A., Ashrafzadeh, A. e Ramezani, A. (2019) «A financial comparative study of solar and regular irrigation pumps: Case studies in eastern and southern Iran», *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 138, pp. 1096–1103.
- Pastor Muñoz-Cobo, M. (1994) «Riego deficitario del olivar - Los programas de recorte de riego en olivar», *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (746), pp. 768–776.
- Pastor Muñoz-Cobo, M. (2005) «Ciclo anual del olivo y sensibilidad al déficit hídrico», em Pastor Muñoz-Cobo, M. (ed.) *Cultivo del olivo con riego localizado*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca & Ediciones Mundi-Prensa, pp. 61–81.
- Pastor Muñoz-Cobo, M., Vega Macías, V. e García-Liñán Lopez, J. (2005) «Instalaciones y costes de bombeo para el riego de olivar», em Pastor Muñoz-Cobo, M. (ed.) *Cultivo del olivo con riego localizado*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca & Ediciones Mundi-Prensa, pp. 347–391.
- Peixe, A., Calado, M. L. e Porfírio, S. (2013) «Inovação Técnica em Olivicultura», em Böhm, J. (ed.) *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite*. 1.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Dinalivro, pp. 86–147.
- Pereira, L. (2004) *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Editado por T. Castro. Publicações Europa-América, Lda.
- Pinho, J. T. e Galdino, M. A. (eds.) (2014) *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB.
- Puerto, H. (2010) «Automatización de instalaciones en parcela. Sistemas de riego localizado»,

- em Ruiz, A. e Molina, J. M. (eds.) *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. 1.<sup>a</sup> ed. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, pp. 69–87.
- Quintela, A. (2014) *Hidráulica*. 13.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Rasquilho Raposo, J. (1994) *A rega localizada (gota-a-gota e microaspersão)*. Lisboa: Edições Correio Agrícola.
- Rasquilho Raposo, J. (1996) *A Rega - Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega*. 1.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Serviço de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Reca-Cardena, J. e López-Luque, R. (2018) «Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems», em Yahyaoui, I. (ed.) *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*. 1.<sup>a</sup> ed. Amsterdam: Elsevier, pp. 295–333.
- Reis, P. (2014) *O Olival Em Portugal - Dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural*. Lisboa: ANIMAR.
- Ribeiro, I. (2019) «Energia solar e a rega de um moderno olival: um desafio possível», *Cultivar - Cadernos de análise e prospetiva*, (18), p. 120.
- Ribeiro, O. (1998) *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico*. Lisboa: Livraria Sá da Costa.
- Rodrigues, M. e Correia, C. (2009) «O Ciclo Bienal da Oliveira», em Rodrigues, M. Â. e Correia, C. M. (eds.) *Manual da Safra e Contra Safra do Olival*. Bragança: Instituto Plitécnico de Bragança, pp. 17–20.
- Santos, F., Valverde, P., Reis, J., Ramos, A. e Castanheira, N. (2007) «Rega deficitária controalada de olival tradicional convertido ao regadio», *II Congresso Nacional de Rega e Drenagem*, pp. 1–9.
- Santos, F., Correia, M., Coelho, R., Sousa, A., Paço, T. A. e Pereira, L. (2013) «Efeitos da rega e do regime hídrico em olival super intensivo no Alentejo», *Revista de Ciências Agrárias*, 36(2), pp. 206–219.
- Shahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J. e Sousa, A. (2014) «Rega Com Energia Solar : Questões Relacionadas Com O Dimensionamento», pp. 1–5.
- Singh, D. B., Mahajan, A., Devli, D., Bharti, K., Kandari, S. e Mittal, G. (2021) «A mini review on solar energy based pumping system for irrigation», *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd, pp. 1–9.
- Stikić, R., Savić, S., Jovanović, Z., Jacobsen, S. E., Liu, F. e Jensen, C. R. (2010) «Deficit

- irrigation strategies: Use of stress physiology knowledge to increase water use efficiency in tomato and potato», *Horticulture in the 21st Century*, (October 2018), pp. 161–178.
- Teixeira, J. L. (1990a) «Apresentação do Programa», em *Manual do Programa ISAREG*, p. 31.
- Teixeira, J. L. (1990b) «Dados Agronómicos», em *Manual do programa ISAREG*, p. 30.
- Teixeira, J. L. (1990c) «Modelo de Balanço Hídrico do Solo», em *Manual do programa ISAREG*, p. 15.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica (2019) *Mediterranean climate*, *Encyclopaedia Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Mediterranean-climate> (Acedido: 10 de Abril de 2020).
- Tombesi, A. e Tombesi, S. (2007) «Orchard planning and planting», em Sbitri, M. e Serafini, F. (eds.) *Production techniques in olive growing*. 1.<sup>a</sup> ed. Perugia: International Olive Council, pp. 17–40.
- Vacas, M. N. (1944) *Aspectos Antropogeográficos do Alentejo*. 1.<sup>a</sup> ed. Coimbra: Oficinas Gráficas da «Coimbra Editora, Lda».

# ANEXOS

Anexo 1 - Características do painel fotovoltaico utilizado ([Módulo Policristalino 250 W AS-6P30 \(enrepo.com\)](http://Módulo Policristalino 250 W AS-6P30 (enrepo.com))).

### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC)

Potência nominal (Pmax)	265W
Voltagem do circuito Aberto (Voc)	38.3 V
Corrente em Curto-Circuito (ISC)	8.98 A
Voltagem na Potência Nominal (Vmp)	30.9 V
Corrente na Potência Nominal (Imp)	8.58 A
Eficiência do Módulo (%)	16.29 %
Temperatura em Funcionamento	-40°C para +85°C
Voltagem máxima do Sistema	1000V DC
Resistência a Incêndios	Tipo 1 (UL1703) / Classe C (IEC61730)
Fusíveis série (máx.)	15A

STC: Radiação 1000W/m<sup>2</sup>, Célula temperatura 25°C, AM1.5

## Módulo AS-6P30

## POLICRISTALINO

Painel Fotovoltaico

### Características Eléctricas (STC)

Potência nominal (Pmax)	177 W	180 W	184 W	188 W	191 W	195 W	199 W	202 W
Voltagem do Circuito Aberto (Voc)	34.7 V	34.9 V	35.0 V	35.1 V	35.2 V	35.3 V	35.4 V	35.5V
Corrente em Curto-Circuito (ISC)	6.94 A	7.01 A	7.09 A	7.15 A	7.21 A	7.27 A	7.34 A	7.41 A
Voltagem na Potência Nominal (Vmp)	27.2 V	27.4 V	27.6 V	27.8 V	27.9 V	28.1 V	28.3 V	28.5 V
Corrente na Potência Nominal (Imp)	6.51 A	6.57 A	6.67 A	6.77 A	6.85 A	6.94 A	7.04 A	7.09 A

NOCT: Radiação 800W/m<sup>2</sup>, Temperatura Ambiente 20°C, Velocidade do vento 1 m/s

### Características da Temperatura

Descrição	
Funcionamento Nominal Temperatura Célula	45° C ± 2° C
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0.43%/°C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0.33%/°C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0.056%/°C

### Características Mecânicas

Descrição	
Tipo de Célula	Policristalina 156 x 156 mm
Número de Células	60 (6x10)
Medidas do Módulo (AxLxP)	1640 x 992 x 40mm
Peso	18.5 Kg
Cobertura Frontal	Vidro temperado de 3.2 mm
Estrutura	Aluminio anodizado
Caixa de Junção	IP67, 3 diodos
Cabo	4mm <sup>2</sup> , 900mm
Ligação	MC4 ou MC4 compatível

### CURVAS

The top graph shows Current (A) and Power (W) vs Voltage (V) for irradiances of 1000, 800, 600, 400, and 200 W/m<sup>2</sup>. The bottom graph shows Current (A) vs Voltage (V) for temperatures of -25°C, 0°C, 25°C, 50°C, and 75°C.

### DESENHO TÉCNICO

Unit: mm

Dimensions: 1640 (total height), 1240 (height to junction box), 992 (total width), 640 (height to mounting holes).


Features: Bar code, Label, Junction box, 2x 4 Grounding holes (Orifícios de aterramento), 8-9x14 Mounting holes (Orifícios de montagem), 4-7.5x7.5 Drainage holes (Orifícios de drenagem), 16-3.5x8.5 Drainage holes.

Section A-A shows a cross-section of the panel with a total thickness of 40mm and a mounting hole diameter of 9mm.

Anexo 2 - Características dos gotejadores e suas tubagens ([drippers-and-driplines-catalog-2020.pdf](#) ([netafim.com](#))).

## UNIRAM™ CNL

INTEGRAL PRESSURE-COMPENSATING,  
CONTINUOUSLY SELF-CLEANING, ANTI-SIPHON AND  
ANTI-DRAIN MECHANISM DRIPPER



16009 - 16010 - 16012 - 17012 - 20010 - 20012 - 23010

---

**APPLICATIONS**

- Greenhouse, deciduous and tree irrigation.
- Sub-surface multi seasonal row crops.
- Precise irrigation, Multiple pulse Irrigation

**FEATURES AND BENEFITS**

- Pressure compensated: Precise and equal amounts of water are delivered over a broad pressure range. 100 % uniformity of water and nutrient distribution along the laterals.
- Anti-Siphon mechanism: Prevents contaminants from being drawn into the dripper, which is needed in sub surface applications.
- Anti-drain (CNL) system: Eliminates drainage and refill effect, and improves efficiency in pulse irrigation.
- Continuously self flushing: Continuously flushing debris, throughout operation, not just at the beginning or end of a cycle, ensuring uninterrupted dripper operation.
- Self-flushing system with wide filtration area improves resistance to clogging thus making UniRam™ highly resistant when using low quality water, which leads in reduction in filtraion requirements, hence increasing filtration efficiency.
- Physical root barrier: Better protection against root intrusion without reliance on chemicals.
- TurboNet™ labyrinth assures wide water passages, large deep and wide cross section improves clogging resistance.

**SPECIFICATIONS**

- Pressure-compensating range: 1.0-4.0 bar.
- Anti-Siphon and Anti-Drain mechanism.
- Largest filter in each dripper. Recommended filtration: 130 micron / 120 mesh.  
Filtration method is to be selected based on the kind and concentration of the dirt particles existing in the water. Wherever sand exceeding 2 ppm exists in the water, a Hydrocyclone is to be installed before the main filter. When sand/ silt/ clay solids exceed 100 ppm, pre treatment will be applied according to Netafim™ expert team's instructions.
- Double TurboNet™ labyrinth with large water passage.
- To be "welded" into thick-walled dripperlines (0.90, 1.00, 1.20 mm).
- Injected dripper, very low CV.
- Injected silicon diaphragm.
- High UV resistant. Resistant to standard nutrients used in agricultural.
- UniRam™ dripperlines meet ISO 9261 Standards with production certified by the Israel Standards Institute (SII).

**DRIPPERS TECHNICAL DATA**

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM²)	CONSTANT K	EXPONENT* X	RECOMMENDED FILTRATION (MICRON)/(MESH)	SHUT OFF PRESSURE (BAR)
0.7	1.0 – 4.0	0.70 x 0.65 x 40	110	0.7	0	130/120	0.14
1.0	1.0 – 4.0	0.83 x 0.74 x 40	130	1.0	0	130/120	0.14
1.6	1.0 – 4.0	1.07 x 0.79 x 40	130	1.6	0	130/120	0.14
2.3	1.0 – 4.0	1.26 x 0.95 x 40	130	2.3	0	130/120	0.14
3.5	1.0 – 4.0	1.59 x 1.10 x 40	150	3.5	0	130/120	0.14

\* Within working pressure range

**UNIRAM™ CNL 20010**  
Catalog number **14560** - (any of below 6 digits)

FLOW RATE (L/H)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)													
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.33	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.7														
1.0		000900	000950	001000		001200	001300	001400			001500	001550		002000
1.6	004200	004300	004400	004500		004600	004700	004800			004900	005000		005200
2.3		005500	005600	005700		005800	005900	006000			006100	006300		006500
3.5			006950	007000		007200	007300	007400			007500	007550		007600
Bundled coil length (m)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Missing catalog numbers available upon request.

**DRIPPERLINES TECHNICAL DATA**

MODEL	INSIDE DIAMETER (MM)	WALL THICKNESS (MM)	OUTSIDE DIAMETER (MM)	MAX. WORKING PRESSURE (BAR)	MAXIMUM FLUSHING PRESSURE (BAR)	KD
20010	1750	1.00	19.50	3.5	4.6	0.40

**DRIPPERLINES PACKAGE DATA (ON BUNDLED COILS)**

MODEL	WALL THICKNESS (MM)	COIL LENGTH (M)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)	AVERAGE* COIL WEIGHT (KG)	COILS IN A 40 FEET CONTAINER (UNITS)	TOTAL IN A 40 FEET CONTAINER (M)
20010	1.00	300	0.15 to 1.00	174	330	99000

\* Calculated weight average. For further details see "Average Coil Weight Disclaimer".

**UNIRAM™ CNL 16010**

Catalog number **13900** - (any of below 6 digits)

FLOW RATE (L/H)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)													
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.33	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.7	000217	000250					000001							
1.0	001000	001100	001150	001200	001230	001260	001300	001325			001350	001400	001800	002000
1.6	004400	004500	004550	004600	004630	004700	004800	004900	004950	004960	005000	005200		005300
2.3	005600	005700	005900	006000	006050	006200	006400	006500	006550	006670	006700	006800	006900	007000
3.5	007300	007350	007400	007500	007530	007600	007700	007900		008100	008200	008300	008400	008500
Bundled coil length (m)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500

Missing catalog numbers available upon request.

**DRIPPERLINES TECHNICAL DATA**

MODEL	INSIDE DIAMETER (MM)	WALL THICKNESS (MM)	OUTSIDE DIAMETER (MM)	MAX. WORKING PRESSURE (BAR)	MAXIMUM FLUSHING PRESSURE (BAR)	KD
16010	14.20	1.00	16.20	3.5	4.6	1.30

**DRIPPERLINES PACKAGE DATA (ON BUNDLED COILS)**

MODEL	WALL THICKNESS (MM)	COIL LENGTH (M)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)	AVERAGE* COIL WEIGHT (KG)	COILS IN A 40 FEET CONTAINER (UNITS)	TOTAL IN A 40 FEET CONTAINER (M)
16010	1.00	500	0.15 to 1.00	22.1	330	165000

\* Calculated weight average. For further details see "Average Coil Weight Disclaimer".

<b>TUBO POLIETILENO BAIXA DENSIDADE ECOLINE - USO AGRÍCOLA</b>						
<b>TUBO POLIETILENO BAIXA DENSIDADE - ECOLINE RAMAIS DE IRRIGAÇÃO</b>						
PN ( bar )	Diâmetro Ø ( mm )	Espessura ( mm )	Bobines mts	Código		
<b>2,5</b>	16 *	1,2	50	100106		
			100	100107		
			400	100108		
	20 *	1,3	100	100119		
	25 *	1,4	100	100319		
<b>4</b>	12 *	1,1	100	100097		
			500	100099		
	16 *	1,4	50	100102		
			100	100100		
			400	100104		
20 *	1,5	100	100120			
			200	100121		
<b>* - ANTI CRACKING</b>						
<b>TUBO POLIETILENO BAIXA DENSIDADE - ECOLINE CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA</b>						
PN ( bar )	Diâmetro Ø ( mm )	Espessura ( mm )	Bobines mts	Código		
<b>4</b>	25	2,0	50	100279		
			100	100280		
	32	2,0	50	100281		
			100	100282		
	40	2,4	50	100283		
			100	100284		
	50	3,0	50	100285		
			100	100286		
	63	3,8	50	100287		
			100	100288		
	75	4,5	50	100289		
		90	5,4	100	100290	
		110	6,6	50	100294	

**ECOLINE**  
LISTA LARANJA

Tubo não indicado para  
condução de água potável.



<b>TUBO Pressão TL - Tubo Liso</b>			
	Ø mm	Esp. (mm)	6Kg/cm <sup>2</sup>
	32	-	-
	40	-	-
	50	-	-
	63	1,9	2,50
	75	2,2	2,95
	90	2,7	3,75
	110	3,2	4,23
	125	3,7	5,52
	140	4,1	6,91
	160	4,7	8,95
	200	5,9	13,66
	250	7,3	21,64
	315	9,2	33,61
	400	11,7	61,07
500	14,6	95,77	
630	18,4	173,68	

