



## **Metodologias para a condução da rega na cultura do Tomate Industrial na Lezíria Grande de Vila Franca de Xira**

**João Maria Pontes Dias Abreu da Silva**

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

Orientador(es): Doutora Maria do Rosário Conceição Cameira  
Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes

### **Júri:**

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado Jubilado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, Professor Auxiliar Convidado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## **Agradecimentos**

No decorrer desta dissertação várias pessoas, entidades e profissionais ligados ao sector foram importantes para a realização deste projecto, nesse sentido agradeço:

Aos meus orientadores: À Professora Doutora Maria do Rosário Cameira pela sugestão do tema, exigência e organização com que trabalha, e pelo constante diálogo que estabelecemos no desenrolar e conclusões deste trabalho; Ao Professor Doutor João Rolim por todo o seu apoio no desenvolvimento do conhecimento científico, pela ajuda no raciocínio da escrita e pela forma de querer acrescentar sempre mais valor a este trabalho.

À Casa Agrícola Ortigão Costa, a oportunidade que me foi dada, na realização deste trabalho e na utilização de uma parcela propriedade da mesma.

Ao Engenheiro Fernando Pires da Costa, crucial na realização deste trabalho, pela sua constante disponibilidade para me apoiar e aconselhar.

Ao Engenheiro António Wemans, pela sua amizade e ajuda que me ofereceu quer no aconselhamento quer no fornecimento de dados.

Ao Sr. Jorge Ouro, pela sua colaboração, em todos os aspectos ligados à rega.

À Hidrosoph a oportunidade de trabalhar com o seu *software*. À Técnica Raquel Costa da Hidrosoph a sua colaboração em todas as questões ligadas às sondas e ao *software* da empresa.

À Professora Cláudia Cordovil do ISA, que cedeu os tensiómetros, no âmbito do Grupo Operacional “NEP- high Nitrogen Efficient crop Production for better water management”, nº PDR2020-101-031453 integrado na parceria nº 98, iniciativa nº 199 e liderado pelo Instituto Superior de Agronomia (ISA).

Ao Professor José Luís Teixeira pelos esclarecimentos relacionados com o modelo ISAREG.

À Professora Ana Navarro da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pelo auxílio na utilização do programa SNAP para obtenção de imagens de satélite.

Ao Instituto Superior de Agronomia, pela oportunidade que me deu em estudar num instituto com esta reputação e na área que me sempre fascinou, os momentos que passei, as coisas que aprendi, e os amigos que fiz. Agradeço a todos os Professores e encarregados pelo muito que me ensinaram.

Aos meus Pais, pois a eles devo a minha educação e formação. A toda a minha Família, incluindo aos que infelizmente já não estão, que sempre me apoiou.

À Catarina e à sua família. A todos os meus colegas e amigos, por terem feito parte deste meu percurso.

A Deus, por ter estado sempre ao meu lado.

O presente documento não segue as normas do Novo Acordo Ortográfico.

## Resumo

O sucesso da cultura do tomate para processamento industrial requer o uso eficiente da água, com ênfase na condução da rega. Na Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (LGVFX), esta deve visar, entre outros factores, o desenvolvimento adequado do bolbo molhado pela rega gota a gota e o controlo da salinidade do solo.

Os objectivos deste trabalho foram o de avaliar a condução da rega através do balanço hídrico do solo e o da proposta de medidas de adequação da mesma.

Numa parcela da LGVFX monitorizou-se o teor de água no solo em dois locais do camalhão e a diferentes profundidades. Acompanhou-se o desenvolvimento da cultura por observação da morfologia, duração das fases de desenvolvimento e NDVI. Para a avaliação da condução da rega, o balanço hídrico do solo foi realizado pelo programa ISAREG.

A sonda capacitiva não permitiu monitorizar o teor de água no solo devido às deficientes metodologias associadas à sua preparação e instalação. Os tensiómetros permitiram observar o insuficiente desenvolvimento lateral do bolbo molhado pela rega. Por esta razão, o volume útil do camalhão foi utilizado de forma limitada pelas plantas, com um reduzido desenvolvimento radicular. A existência de um teor de sais crescente ao longo do ciclo justificou a aplicação de uma fracção de lavagem que originasse drenagem. No entanto, do ponto de vista ambiental, esta será uma medida pouco aconselhada no âmbito da Zona Vulnerável aos nitratos onde se insere a LGVFX.

As imagens de NDVI juntamente com o acompanhamento da cultura *in situ* corrigiram a maior fonte de erro dos  $K_c$  tabelados da FAO 56, que corresponde à duração de cada fase de desenvolvimento.

Conclui-se que há necessidade de promover o aumento do volume de solo explorado pelas raízes, propondo-se uma adequação do sistema de rega. Propõe-se ainda um calendário de rega melhorado.

**Palavras chave:** Tomate de Indústria, Condução da Rega gota-a-gota, Bolbo molhado, NDVI, Modelação

## **Abstract**

The success tomato for industrial processing requires the efficient use of water, with emphasis on irrigation scheduling. In the context of the Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (LGVFX), this should aim at the proper development of the wet bulb by drip irrigation and soil salinity control.

The objectives of this work were to evaluate the irrigation scheduling through the soil water balance and to propose adequate measures.

In a plot of LGVFX the soil water content was monitored in the soil in two locations of the ridges and at different depths. Crop development was monitored through observations of morphology, development phases and NDVI. For the irrigation scheduling evaluation, the soil water balance was carried out by the program ISAREG.

The capacitive probe did not allow the monitoring of the soil water content due to deficient methods associated with probe preparation and installation. The tensiometers allowed concluding about the insufficient development of the wet bulb. For this reason, the volume of the ridge used by the crop was insufficient causing an insufficient root development. The existence of growing salt content in the soil throughout the crop cycle justified the application of a leaching fraction which originated drainage. However, from an environmental point of view, this is not a recommended measure within the framework of the nitrate vulnerable zone where the LGVFX is located. The NDVI images along the crop cycle corrected the errors of Kcs FAO 56, mainly to the length of the development phases. It is concluded that there is a need to promote the volume of soil explored by roots. An adequation of the irrigation scheduling is also presented.

**Key-words:** Processing Tomato, Irrigation Scheduling, Wet Bulb, NDVI, Modelling

## ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Necessidades hídricas das culturas e sua estimativa .....	3
2.2. Necessidades de rega.....	4
2.2.1. Programação e condução da rega.....	4
2.2.2. Monitorização de água no solo .....	5
2.2.2.1. Sensores capacitivos .....	6
2.2.2.2. Tensiómetros de Vácuo .....	7
2.2.3. Balanço Hídrico do solo.....	7
2.2.3.1. Equação do Balanço hídrico .....	7
2.2.3.2. Balanço hídrico para a condução da rega.....	9
2.2.3.3. Modelo ISAREG .....	9
2.3. Detecção Remota.....	10
2.3.1. Conceitos.....	10
2.3.2. Índices de Vegetação .....	12
2.4. Rega localizada gota-a-gota .....	13
2.5. Cultura do Tomate para indústria .....	14
2.5.1. Importância da cultura no mundo e em Portugal .....	14
2.5.2. Descrição da cultura .....	16
2.5.3. Exigências Edáficas.....	18
2.5.4. Necessidades de Rega.....	19
2.5.5. Fertilização .....	19
2.5.6. Índices de Qualidade .....	21
2.6. O Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira .....	21
2.6.1. Abastecimento de água .....	22
2.6.2. Blocos de Rega .....	23
2.6.3. Rede Primária de Rega .....	23
2.6.4. Rede Secundária de Rega .....	24
2.6.5. Sistema de Distribuição de água para rega .....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1. Ensaio experimental.....	26
3.1.1. Localização.....	26
3.1.2. Caracterização climática.....	26
3.1.3. Solo .....	27
3.1.4. Cultura .....	28
3.1.5. Itinerário Técnico .....	29
3.1.6. Sistema de rega.....	31
3.1.6.1. Esquema e Constituição .....	31
3.1.6.2. Programação/condução da rega .....	33
3.2. Dispositivo experimental .....	34
3.2.1. Caracterização do solo .....	34
3.2.2. Monitorização de água e a salinidade do solo .....	34
3.2.2.1. Tensiómetros .....	35
3.2.2.2. Sondas Capacitivas e Contador volumétrico.....	36
3.2.3. Dados meteorológicos .....	37
3.2.4. Avaliação do Sistema de rega .....	37
3.2.5. Monitorização da cultura do tomate.....	38
3.3. Simulação do Balanço Hídrico do solo com o Modelo ISAREG .....	40
3.3.1. Funcionamento do modelo .....	40
3.3.2. Ficheiros de entrada .....	41
3.3.3. Ficheiros de saída .....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Avaliação do Sistema de Rega .....	46
4.2. Monitorização da água no solo .....	47
4.2.1. Método gravimétrico .....	47
4.2.1.1. Evolução do teor de água no bolbo húmido .....	51
4.2.2. Tensiómetros.....	51
4.2.3. Sondas Capacitivas .....	52

4.3. Monitorização da Condutividade Eléctrica .....	54
4.3.1. Evolução temporal da condutividade eléctrica.....	54
4.3.2. Evolução da Condutividade Eléctrica no bolbo húmido .....	56
4.4. Extracção de parâmetros culturais.....	56
4.4.1. Monitorização da cultura.....	56
4.4.2. Perfil temporal de NDVI .....	57
4.4.3. Coeficientes culturais.....	59
4.5. Balanço Hídrico do solo para avaliação do calendário de rega.....	60
4.5.1. Metodologia Kc FAO 56.....	61
4.5.2. Metodologia K <sub>c</sub> NDVI.....	62
4.6. Produtividade obtida.....	64
4.7. Dotações de Rega Observadas e Produtividade da água.....	65
4.8. Proposta de um calendário de rega .....	66
4.9. Discussão.....	67
5. CONCLUSÕES .....	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
7. ANEXOS .....	76

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Sonda capacitiva EnviroSCAN para medição da humidade do solo (Sentek Tech. 2011).	6
Figura 2.2 – Tensiómetro de vácuo. Adaptado de soilmoisture Corp.(1984).....	7
Figura 2.3 – Esquema do balanço hídrico do solo (Teixeira, 1994). ....	8
Figura 2.4 – Distribuição do coeficiente cultural ao longo do ciclo cultural (Allen <i>et al.</i> 1998).....	10
Figura 2.5 – Aplicação da Detecção Remota na Agricultura (Google, 2018). ....	10
Figura 2.6 – Espectro de radiação electromagnética (NASA, 2013). ....	11
Figura 2.7 – Espectro de absorção dos pigmentos fotossintéticos (Blackburn, 2007). ....	11
Figura 2.8 – Padrões de humedecimento típicos a partir de um emissor (Oliveira, 2011). ....	13
Figura 2.9 – Evolução da área de tomate para indústria no período 2008-2017, em ha (IFAP, 2017).	15
Figura 2.10 – Produtividade de tomate para indústria no período 2008-2017. (INE, 2017).....	16
Figura 2.11 – Produção, Importação, Exportação e Consumo Aparente de Tomate preparado ou conservado, em toneladas, no período 2005-2016 (INE, 2016). ....	16
Figura 2.12– Fases de desenvolvimento da cultura do tomate de indústria em função da fracção de cobertura do solo (%SS) e do desenvolvimento radicular. Adaptado de CICYTEX (2015). ....	17
Figura 2.13 – Portas de água e condutas de adução da ABLGVFX. ....	22
Figura 2.14 – Antena de Telecontrolo situada no Hidrante de Rega.....	25
Figura 3.1 – Parcela " Manuel Marques 1" do ensaio experimental (Google Earth, 2018).....	26
Figura 3.2 – Diagrama Ombrotérmico de Gaussen para Salvaterra de Magos, para o período de 1951 a 1980 (SNIRH, 2018). ....	27
Figura 3.3 – Resíduos da cultura da Aveia.....	29
Figura 3.4 – Pormenor do sistema de rega incluindo a conduta porta rampas (manga flexível de polipropileno branco com diâmetro de 101,6 mm), uniões em T e rampas com gotejadores em linha com diâmetro de 16 mm. ....	31
Figura 3.5 – Hidrante de rega, H343, da parcela "Manuel Marques 1". ....	31
Figura 3.6 – Cabeçal de Rega da parcela " Manuel Marques 1". ....	32
Figura 3.7 – Válvula Hidráulica Dorot de 4" respeitante ao sector 3. ....	32

Figura 3.8 – Tempo de rega; horário de início da rega matinal e da rega nocturna. ....	33
Figura 3.9 – a) Recolha de amostras de solo não perturbadas (curva de pF e densidade aparente); b) Recolha de amostras de solo perturbadas (teor de água e condutividade eléctrica). ....	34
Figura 3.10 – a) Esquema representativo da disposição dos tensiómetros em relação à fita de rega; b) Disposição da bateria de tensiómetros de vácuo instalada na parcela Manuel Marques I .....	36
Figura 3.11 – Sonda EnviroPro de modelo EP100GL, contador volumétrico e <i>data logger</i> . ....	36
Figura 3.12 – Estação, FieldClimate (Pessl Instruments). ....	37
Figura 3.13 – Interface do software SNAP. No canto superior esquerdo encontram-se as bandas importadas, no canto inferior esquerdo, a imagem do satélite S2B (Sentinel 2B) completa e à direita a banda 4 correspondente à banda do vermelho. ....	39
Figura 3.14 – Painel da função Raster Calculator do QGIS utilizada para obtenção de NDVI. ....	40
Figura 3.15 – Esquema genérico do programa ISAREG. Fonte: Teixeira (1994). ....	41
Figura 3.16 – Menu de selecção do tipo de ficheiros de entrada a criar. ....	42
Figura 3.17 – Média de $K_c$ ini relacionado com a $ET_0$ e com o intervalo entre aplicações de água para todos os tipos de solo, com aplicações até aos 10 mm (Adaptado de Allen <i>et al.</i> , 1998). ....	43
Figura 3.18 – Fracção de solo humedecida. Fonte: Adaptado de Allen <i>et al.</i> (1998). ....	44
Figura 4.1 – Curva de retenção de água ou curva de pF para o solo da parcela Manuel Marques. ....	47
Figura 4.2 – Teor de água no perfil do solo sob o camalhão: a) na linha; b) a 40 cm da linha. ....	48
Figura 4.3 – Evolução dos teores de água por camada de solo na linha e a 40 cm da linha, em que: a) 15 cm; b) 30 cm e c) 50 cm. ....	50
Figura 4.4 - Variação da água no volume de solo do camalhão ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, nos dias 31/07, 07/08 e 12/09. Na linha verde, $\theta_{CC} = 0,38 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ; na linha encarnada, $\theta_{CE} = 0,24 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ . ....	51
Figura 4.5 – Evolução dos perfis de carga hidráulica (H), para três dias da época de rega tomados como exemplo a) na Linha e b) a 40 cm da linha. ....	53
Figura 4.6 – Evolução do teor de água volumétrico medido pela sonda EnviroPro EP100GL ( <i>software Irristrat</i> da Hidrosoph), às profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm. ....	53
Figura 4.7 – Evolução da Condutividade Eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) do solo ao longo ciclo do tomate, para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, a) na Linha e b) a 40 cm da Linha. ....	55
Figura 4.8 – Variação da Condutividade Eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) no volume de solo do camalhão, para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, nos dias 31/07, 07/08 e 12/09. Linha Na linha azul tracejada, $C_{e\text{ ar}} = 0,48 \text{ dS m}^{-1}$ . ....	56
Figura 4.9 – Curva de distribuição do NDVI e curva do $K_c$ simples ao longo ciclo do tomate. ....	57
Figura 4.10 – Imagem de NDVI do dia 14/06 da parcela Manuel Marques I, correspondente ao período inicial da cultura. ....	58
Figura 4.11 – Imagem de NDVI do dia 08/08 da com a parcela Manuel Marques I delimitada, correspondente à fase intermédia da cultura. ....	58
Figura 4.12 – Imagem de NDVI do dia 22/09 da parcela Manuel Marques I, correspondente ao período final da cultura. ....	59

Figura 4.13 – Variação da reserva útil de água no solo para a rega observada (metodologia K <sub>c</sub> FAO 56), ISAREG.....	61
Figura 4.14 – Variação da % de água no solo (linha azul) para a estratégia de K <sub>c</sub> FAO 56 na rega observada, ISAREG, em relação com os registos obtidos pelo método gravimétrico (pontos encarnados). ....	62
Figura 4.15 – Recta de regressão que relaciona a Reserva de água no solo obtida através da metodologia de K <sub>c</sub> FAO 56 e a reserva de água no solo observada nos dias de amostragem. ....	62
Figura 4.16 – Variação da reserva útil de água no solo para a rega observada (metodologia de K <sub>c</sub> NDVI), ISAREG. ....	63
Figura 4.17 – Variação da % de água no solo (linha azul) para a estratégia de K <sub>c</sub> _NDVI na rega observada, ISAREG, em relação com os registos obtidos pelo método gravimétrico (pontos encarnados). ....	63
Figura 4.18 – Recta de regressão que relaciona a reserva de água no solo obtida através da metodologia de K <sub>c</sub> NDVI e a Reserva de água no solo observada nos dias de amostragem. ....	64
Figura 4.19 – Variação da reserva útil de água no solo para o calendário de rega proposto, definido com o modelo ISAREG. ....	67

### Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Alguns critérios para a escolha entre os métodos do K <sub>c</sub> simples e dual.....	4
Quadro 2.2 – Comércio global de pasta de tomate (Tomato news, 2016) .....	15
Quadro 2.3 – Classes de salinidade do solo e reacção das culturas aos sais (INIAV, 2006).....	19
Quadro 2.4 – Recomendação de fertilização de macronutrientes principais para a cultra do tomate segundo os seus níveis no solo e para a produção esperada. (Adaptado de INIAP, 2006).....	20
Quadro 2.5 – Extracção média de nutrientes em diferentes fases do ciclo cultural do tomate de indústria. (Almeida, 2006) .....	20
Quadro 2.6 – Portas de água de adução da ABLGVFX .....	23
Quadro 2.7 – Caudais de dimensionamento .....	23
Quadro 2.8 – Principais características do Canal Principal .....	24
Quadro 2.9 – Áreas regadas pelas condutas e a sua divisão por blocos .....	24
Quadro 2.10 – Principais características da Rede de rega dos blocos I e II .....	24
Quadro 3.1 – Descrição do perfil do solo F <sub>fp3</sub> (e). Fonte: Adaptado de DGHEA/DGRAHLR, 1984 .....	28
Quadro 3.2 – Itinerário de aplicação de fertilizantes na parcela "Manuel Marques 1".....	30
Quadro 3.3 – Esquema de rega do sector 3 da parcela "Manuel Marques 1" .....	33
Quadro 3.4 – Imagens descarregadas do satélite Sentinel 2 .....	38
Quadro 4.1 – Caudal médio de cada ponto de avaliação (q <sub>med,i</sub> ).....	46
Quadro 4.2– Intervalos aconselháveis para a uniformidade de emissão em projecto, EU (%). Fonte: Adaptado de ASAE, 2003 (EP 405.1, ASAE, 2003) .....	47
Quadro 4.3 – Parâmetros físicos do solo da parcela Manuel Marques I .....	49
Quadro 4.4 – Análise à água de rega proveniente da EE do Conchoso (Junho 2018) .....	56
Quadro 4.5 – Parâmetros culturais, datas de observação e início das fases fenológicas.....	57
Quadro 4.6 – Valores de NDVI médios e K <sub>c</sub> _NDVI calculados ao longo do ciclo do tomate .....	59



Quadro 4.7 – Duração das fases de desenvolvimento e valores de $K_c$ inicial, médio e final para as duas metodologias de cálculo do $K_c$ simples .....	60
Quadro 4.8 – Dados introduzidos no ficheiro da cultura do tomate para as duas metodologias de cálculo do $K_c$ simples.....	60
Quadro 4.9 – Regas observadas, introduzidas no ISAREG, e fracção de solo humedecido .....	61
Quadro 4.10 – Volume fornecido durante o período de rega, perdido por excesso de água de rega e eficiência de rega, para a rega observada (metodologia $K_c$ FAO 56), ISAREG.....	61
Quadro 4.11 – Erro médio (mm), Erro relativo (%) e Raiz do Erro Quadrático Médio (mm), entre os dados observados e os dados simulados através da metodologia do $K_c$ FAO 56.....	62
Quadro 4.12 – Volume fornecido durante o período de rega, perdido por excesso de água de rega e eficiência de rega, para a rega observada (metodologia $K_c$ NDVI), ISAREG .....	63
Quadro 4.13– Erro médio (mm), Erro relativo (%) e Raiz do Erro Quadrático Médio (mm), entre os dados observados e os dados simulados através da metodologia do $K_c$ NDVI .....	64
Quadro 4.14 – Produtividade obtida, °Brix, Cor, e preço do tomate para a parcela Manuel Marques I64	
Quadro 4.15 – Dotação total de rega e eficiência de uso da água para o ciclo do tomate .....	65
Quadro 4.16 – Custos (€) do sistema de rega.....	65
Quadro 4.17 – Importância económica do sistema de rega na cultura do tomate.....	65
Quadro 4.18 – Volume fornecido proposto para a parcela Manuel Marques I .....	66

## Lista de acrónimos e símbolos

<b>ABLGVFX</b>	Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira
<b>AHLGVFX</b>	Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira
<b>ASAE</b>	American Society of Agricultural Engineers;
<b>CC</b>	Capacidade de Campo;
<b>CE</b>	Coeficiente de Emurchecimento Permanente;
<b>CICYTEX</b>	Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura;
<b>DGADR</b>	Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural;
<b>DGHEA</b>	Direcção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola
<b>DGRAHLR</b>	Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos
<b>DU</b>	Distribution Uniformity;
<b>EE</b>	Estação Elevatória
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FDR</b>	Frequency Domain Reflectometry;
<b>GPP</b>	Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral;
<b>IFAP</b>	Instituto de Financiamento de Agricultura e Pescas;
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatísticas;
<b>INIAV</b>	Instituto Nacional de Investigação Agrícola e Veterinária
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index;
<b>NIR</b>	Near Infrared;

**PCD** Plant Cell Density;  
**PDR** Programa de Desenvolvimento Rural;  
**PPR** Plant Pigment Ratio;  
**PVC** Policloreto de Vinila;  
**PVR** Photosynthetic Vigour Ratio;  
**QGIS** Quantum Geographic Information System  
**SNAP** Sentinels Application Platform  
**SROA** Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário  
**TDR** Time Domain Reflectometry;  
**UN** United Nations;  
**A** área regada;  
**C** capacitância do circuito;  
**D** dotação de rega;  
**DP** fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação;  
**DP<sub>i</sub>** percolação profunda no dia *i*;  
**D<sub>tr</sub>** dotação total de rega;  
**D<sub>ur</sub>** dotação útil de rega;  
**E** evaporação a partir do solo;  
**e<sub>a</sub>** Pressão actual do vapor de água;  
**ef** eficiência global do método de rega;  
**E<sub>i</sub>** eficiência de rega;  
**E<sub>p</sub>** eficiência de bombagem.  
**e<sub>s</sub>** Pressão do vapor de saturação;  
**e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub>** Défice de saturação;  
**ET<sub>0</sub>** Evapotranspiração de referência;  
**ET<sub>a i</sub>** evapotranspiração actual no dia *i*;  
**ET<sub>c</sub>** Evapotranspiração cultural;  
**F** Frequência;  
**fsh** fracção de solo humedecido;  
**G** Densidade do fluxo de calor do solo;  
**GW** fluxo acumulado de ascensão capilar;  
**GW<sub>i</sub>** fluxo ascendente de um lençol freático no dia *i*;  
**H** pressão dinâmica total;  
**R<sub>g</sub>** dotação de rega;  
**I** intervalo entre regas;  
**i** taxa de juro;  
**In<sub>i</sub>** dotação de rega líquida no dia *i*;  
**K** factor de conversão;  
**K<sub>c</sub>** coeficiente cultural;  
**L** indutância do circuito;

**n** número de anos decorridos;  
**p** fracção da água do solo extraível sem afectar a produção.  
**P** precipitação efectiva;  
**PE** energia para bombagem;  
**P<sub>i</sub>** precipitação no dia *i*;  
**Q<sub>r</sub>** escoamento superficial;  
**Q<sub>r,i</sub>** escoamento superficial à superfície do solo no dia *i*;  
**RAW** água do solo facilmente disponível na zona radicular;  
**R<sub>n</sub>** Radiação líquida;  
**T** Temperatura média do ar;  
**T** transpiração da cultura;  
**TAW** água total disponível no solo;  
**U<sub>2</sub>** Velocidade média do vento à altura de 2 m;  
**W<sub>r,FC</sub>** armazenamento de água no solo na zona radicular à capacidade de campo;  
**W<sub>r,WP</sub>** armazenamento de água no solo na zona radicular ao coeficiente de emurchecimento;  
**Z<sub>avg</sub>** quantidade média infiltrada na parcela;  
**Z<sub>iq</sub>** quantidade média infiltrada no menor quartil da área regada;  
**z<sub>r,i</sub>** profundidade radicular no dia *i*;  
**Z<sub>r</sub>** profundidade radicular;  
**Δ** Declive da curva da pressão do vapor;  
**ΔS** variação do armazenamento no solo;  
**θ<sub>i</sub>** teor médio de água no solo na zona radicular no dia *i*;  
**θ<sub>i-1</sub>** teor de água no solo no dia anterior;  
**θ<sub>FC</sub>** teor de água à capacidade de campo;  
**θ<sub>i</sub>** teor de água no solo na zona radicular no dia *i*;  
**θ<sub>WP</sub>** teor de água ao coeficiente de emurchecimento;  
**γ** Constante psicrométrica.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2014) o tema da utilização da água na agricultura reveste-se de grande importância, uma vez que a agricultura de regadio representa 20% da superfície arável do planeta Terra e contribui para 40% dos alimentos produzidos no mundo. Em 2010 as necessidades hídricas globais estimavam-se em 1500 km<sup>3</sup>. O total de água aplicada para rega rondou os 2700 km<sup>3</sup>, correspondendo a uma eficiência de rega global de cerca de 56% (FAO, 2014), com uma contribuição maioritária da rega de superfície.

O aumento da segurança da água na agricultura através da rega, para complementar o défice de humidade no solo tem promovido o melhoramento no rendimento da produção agrícola. A revolução verde baseada no modelo químico mecânico revelou-se num virar de página na agricultura, apoiado na sua não sustentabilidade, resultaram em consequências que levaram tanto à escassez como à falta de qualidade da água. Este sistema causou a diminuição dos caudais dos rios, interrupções nas bacias hidrográficas, défices nos lençóis freáticos e a própria poluição da água (Falkenmark, 2013).

Em Portugal, no âmbito do programa de desenvolvimento rural PDR 2020 foi publicada a Portaria nº50/2015 que abrangeu um conjunto de medidas para conservação do ambiente e eficiência do uso de recursos naturais. Sendo a água um recurso natural cada vez mais escasso, foi criada a Acção 7.5 “Uso Eficiente da Água”. Esta medida visou apoiar os agricultores na adopção de práticas de rega que garantissem as condições necessárias para o uso eficiente da água (DGADR, 2015). A eficiência do uso da água visa a obtenção de benefícios ambientais directos, nomeadamente ao nível da melhor gestão do recurso água. Um aumento na eficiência de rega, traduz-se numa poupança efectiva no consumo de água de rega, assim como, um uso eficiente de energia resulta na mitigação de alterações climáticas, através da redução de emissões de gases com efeito de estufa. Os recursos hídricos são o motor do desenvolvimento socio económico, e na agricultura transformaram-se num dos factores de produção mais influentes do sucesso produtivo. Um uso racional e eficiente da água, reduz os custos de rega, através da factura da água e da energia para a disponibilizar. A sustentabilidade e a optimização do uso de factores de produção, aumentam a competitividade da actividade agrícola.

A Acção 7.5 foi implementada na cultura do tomate para processamento industrial dada a dimensão e importância desta cultura no país. Pretendeu-se maximizar a produção, através do uso eficiente da água. Por outro lado, a qualidade dos frutos é directamente influenciada pela quantidade de água aplicada. Este facto torna imperativa a necessidade da monitorização contínua do teor de água no solo ao longo do ciclo vegetativo para que se mantenha a reputação do tomate nacional. A determinação da humidade do solo através de

sondas tem sido uma via de aplicação desta medida pelos agricultores. No entanto, a falta de conhecimento relativa à interpretação das leituras, os erros que se cometem na localização, instalação e calibração das sondas são frequentemente causa para a deficiente condução da rega. Uma forma de evitar uma aplicação por excesso ou escassez de água será através do cálculo do balanço hídrico diário (Teixeira, 1994), fornecendo mais um apoio de medição do teor de água no solo. As fontes de informação poderão ser alargadas com base na detecção remota, fornecendo imagens multiespectrais que indicam o vigor da planta e que permitem a definição de uma curva de coeficiente cultural segundo índices vegetativos com os quais estão directamente correlacionados (D'Urso *et al.*, 2006). A estimativa do coeficiente cultural e de outros parâmetros da cultura com recurso a índices de vegetação permite, a sua introdução no balanço hídrico e um cálculo mais exacto do teor de água no solo ao longo do ciclo vegetativo. Perante os dados fornecidos pelas sondas e pelo cálculo do balanço hídrico diário com base na detecção remota, abre-se uma janela de oportunidade para a criação de um sistema integrado de rega que poderá ser implementado ao nível de um aproveitamento hidroagrícola. O uso eficiente da água também deverá ser complementado pela validação de um sistema de rega, de forma a garantir a eficiência de aplicação da água de rega. A avaliação de um sistema de rega com base na uniformidade de distribuição, permite verificar o nível de homogeneidade da rega, na produção e qualidade do tomate.

Os objectivos específicos do presente trabalho foram:

- i. Avaliar a condução da rega para as condições edafoclimáticas da região da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira com recurso à modelação (ISAREG);
- ii. Utilização de dados obtidos pelo método gravimétrico para validar as leituras verificadas nas sondas capacitivas e avaliação da modelação do balanço hídrico do solo através do modelo ISAREG;
- iii. Utilização de índices de vegetação para obtenção de alguns parâmetros culturais utilizados no cálculo do balanço hídrico diário do solo;
- iv. Verificar o modo de como a salinidade da água de rega e do solo influencia a gestão da rega na cultura do tomate de indústria na região da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira;
- v. Proposta de um calendário melhorado de rega com base na modelação do balanço hídrico do solo.
- vi. Avaliação dos fluxos de água no solo através de tensiómetros de vácuo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Necessidades hídricas das culturas e sua estimativa

As necessidades em água das culturas, ou necessidades hídricas, correspondem à procura evapotranspirativa dessas culturas em determinado ambiente e sob práticas culturais determinadas (Pereira, 2004). A evapotranspiração corresponde à soma da evaporação da água a partir da superfície do solo e da transpiração das plantas.

De acordo com Allen *et al.* (1998), a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), é a taxa de evapotranspiração que ocorre numa área mais ou menos extensa, cultivada com relva em crescimento activo, com uma altura uniforme entre 8 e 15 cm, cobrindo completamente o solo, sem qualquer restrição de água e livre de doenças. Por outro lado, a evapotranspiração cultural ( $ET_c$ ) representa a evapotranspiração de uma determinada cultura que não a de referência (relva), em qualquer estágio de desenvolvimento do seu ciclo, sendo afectada por factores ambientais e de gestão da parcela.

A evapotranspiração cultural pode ser determinada por métodos directos que se baseiam em medições ou indirectos que se baseiam em cálculos. De entre os métodos directos salientam-se o balanço de energia do copado, o balanço hídrico do solo em lisímetros ou em campos cultivados e o fluxo de seiva. Os métodos indirectos calculam a  $ET_c$  com base em dados climáticos e informações relativas à cultura em estudo. Salientam-se:

(a) A equação de Penman-Monteith, que requer informações muito detalhadas e específicas de cada cultura, nomeadamente as resistências à difusão do vapor de água. É, por isso, predominantemente utilizada em investigação. Esta equação foi alterada de modo a fornecer a evapotranspiração de uma cultura de referência equivalente a um relvado bem abastecido de água (Allen *et al.*, 1998).

(b) A Equação 2.1, que traduz o método do coeficiente cultural simples (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad [2.1]$$

sendo:  $ET_o$  a Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e  $K_c$  o coeficiente cultural (adim).

Neste método, as diferenças entre a cultura de referência (relva) e a cultura em estudo integram-se num único coeficiente cultural, que é influenciado predominantemente pelas características da cultura (tipo e estágio de desenvolvimento) e em extensão limitada pelo clima.

(c) A Equação 2.2, que traduz o método do coeficiente cultural dual (Allen *et al.*, 1998), onde o coeficiente cultural é separado no coeficiente cultural basal ( $K_{cb}$ ) e no coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ):

$$ET_c = ET_o (K_{cb} + K_e) \quad [2.2]$$

Os valores de  $K_c$  para as várias culturas encontram-se tabelados (Allen *et al.*, 1998), sendo necessário proceder ao seu ajustamento para as condições do estudo (frequência de humedecimento do solo, velocidade do vento, humidade relativa do ar, data de colheita, etc).

A aproximação a seguir, simples ou dual, deve ser seleccionada em função do objectivo do cálculo, da precisão exigida, dos dados disponíveis e o passo de tempo.

Quadro 2.1 – Alguns critérios para a escolha entre os métodos do  $K_c$  simples e dual

Método de cálculo da evapotranspiração cultural	
Coeficiente cultural simples	Coeficiente cultural dual
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programação e projecto da rega;</li> <li>• Condução da rega em tempo real de culturas com elevada cobertura do solo;</li> <li>• Esquemas de rega simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada precisão de cálculo;</li> <li>• Investigação;</li> <li>• Condução da rega de alta frequência em culturas esparsas;</li> <li>• Estudos detalhados de balanço hídrico.</li> </ul>
Passo de tempo diário, decendial ou mensal	Passo de tempo diário

## 2.2. Necessidades de rega

As necessidades de rega ( $R$ ) correspondem à quantidade de água que é necessário aplicar através da rega para satisfazer as necessidades hídricas das culturas ( $ET_c$ ). Têm em conta outras possíveis entradas de água no solo tais como, a ascensão capilar e a precipitação, e determinam-se com base na Equação 2.3:

$$R = ET_c - A_c - P_{inf} \quad [2.3]$$

Sendo  $R$  a quantidade de água a aplicar com a rega (mm),  $A_c$ , a ascensão capilar de água a partir de uma toalha freática (mm) e  $P_{inf}$  a precipitação que efectivamente atinge a superfície do solo e que se infiltra.

No entanto, para além da quantidade de rega a aplicar, também o momento para a sua aplicação é muito importante.

### 2.2.1. Programação e condução da rega

A programação da rega visa estimar as necessidades hídricas das culturas para a época seguinte, com recurso a dados climáticos históricos. No âmbito de um projecto de regadio, a programação é direccionada numa vertente de previsão com o principal objectivo de determinar os consumos anuais e as necessidades das culturas no período de ponta. A determinação dos consumos anuais identifica o volume de água necessário face ao armazenamento de água disponível, preconizando a área cultural máxima a ser regada. Quanto às necessidades no período de ponta, permitem a realização do projecto hidráulico para a situação mais desfavorável.

A condução da rega tem como objectivo a determinação das datas de rega e das quantidades a aplicar, tendo em conta a  $ET_c$  calculada numa base diária ou semanal. Este

controlo em tempo real requer a monitorização de água do solo, permitindo a realização do balanço hídrico para aferição do intervalo entre aplicações.

É por vezes erradamente utilizado o termo “gestão da rega” com o objectivo de indicar a condução da rega. De facto, gestão da rega é um conceito muito mais geral podendo abranger todas as etapas desde a captação da água até à reutilização da água resultante do escoamento superficial a jusante da parcela, incluindo quer as técnicas quer os equipamentos (Cameira, 2018).

#### 2.2.2. Monitorização de água no solo

Monitorizar a água do solo é uma ferramenta essencial para a condução da rega, remetendo para a conservação e melhoria da qualidade da água (Muñoz-Carpena *et al.*, 2005).

A monitorização pode ser realizada directamente, com recurso ao método gravimétrico. A recolha da amostra de solo e a quantificação da humidade, antes e após secagem em estufa, determinam o teor de água no solo, assim como os parâmetros hídricos do solo que servirão para calibrar restantes métodos e equipamentos (Pereira, 2004).

Os métodos indirectos recorrem a equipamentos que medem uma variável do solo a partir da qual a humidade é calculada. É, por isso, necessária uma relação conhecida entre o teor de água no solo e a variável, ou seja, a curva de calibração do equipamento. Como exemplos salientam-se as sondas TDR e FDR e os blocos porosos de resistência eléctrica que permitem estimar o teor de água no solo, e os tensiómetros que permitem estimar a energia com que a água é retirada no solo (Oliveira, 2011).

Os blocos de gesso e blocos *watermark* (blocos porosos) avaliam a resistência eléctrica oferecida pelo meio, solo, ao realizar-se a passagem de uma corrente eléctrica entre dois eléctrodos. Esta condutividade eléctrica é assim afectada pelo teor de água no bloco e varia em função do potencial da água no solo (Oliveira, 2011).

Os sensores que ultimamente têm estado mais em destaque são os que recorrem à constante dieléctrica do solo. Esta propriedade consiste na capacidade de um material não condutivo transmitir ondas electromagnéticas de alta frequência. Como o solo é um desses materiais basta este conter água para produzir variações nas propriedades electromagnéticas. A constante dieléctrica pode ser medida através de dois cenários, o TDR e o FDR. O TDR ou *Time Domain Reflectometry* mede o período percorrido pela onda electromagnética, determinada pela velocidade de propagação da mesma e pela quantidade de água existente nesse percurso. Quanto ao FDR ou *Frequency Domain Reflectometry*, mede a frequência eléctrica do impulso eléctrico, através da presença de água no solo. Este método regista também a capacitância eléctrica do solo, sendo mencionados por sensores capacitivos (Canales *et al.*, 2010; Oliveira, I. 2011).



### 2.2.2.1. Sensores capacitivos

No contexto desta dissertação as sondas utilizadas são as sondas capacitivas, apoiadas na técnica do FDR (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Sonda capacitiva EnviroSCAN para medição da humidade do solo (Sentek Tech. 2011).

O princípio de funcionamento baseia-se na capacitância eléctrica de um capacitor que usa a constante dieléctrica do solo. Quando este capacitor é conectado a um oscilador para formar corrente eléctrica, alterações no teor de humidade do solo podem ser detectadas por variações na frequência operadora do circuito. No tipo de sonda que vai ser aplicada na monitorização da água no solo, esta consiste em dois ou três sensores cada um constituído por dois eléctrodos em forma de anel. Esta configuração em anel obriga à estrutura cilíndrica da sonda a ser instalada num tubo de acesso de PVC quando introduzida no solo. Uma vez instalada a sonda ao ser aplicado um campo eléctrico o solo à volta dos dois eléctrodos forma a constante dieléctrica de um capacitor com o objectivo de formar um circuito oscilante, criando um campo eléctrico de alta frequência. A frequência eléctrica criada altera-se quando o teor de água no solo também varia, sendo inversamente proporcionais. A frequência medida pela sonda pode ser expressa pela seguinte equação (Muñoz-Carpena *et al*, 2005; Canales *et al.*, 2010; Oliveira, 2011):

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [2.4]$$

onde:  $L$  indutância do circuito;  $C$  capacitância do circuito.

Neste caso quanto maior o conteúdo de água no solo maior a capacitância, o que se repercute num menor valor de frequência medido pela sonda capacitiva.

Os sensores, estão montados a cada 10 cm, até profundidades variáveis, dependendo das necessidades do utilizador, o que normalmente se deve à profundidade radicular da cultura instalada. Para que a leitura dos sensores não seja perturbada devido à salinidade, ao próprio solo, ou temperatura, a frequência mínima de funcionamento é de 100MHz (Muñoz-Carpena, 2005, Oliveira, 2011).

O sistema que funciona de forma autónoma, é composto por um painel solar e uma bateria que se encontram incorporados numa unidade central. Esta unidade central é a estrutura que está ligada (através dum cabo condutor) aos sensores que compõe a sonda, e onde se encontra um sistema de aquisição de dados (*data logger*), que tem como função armazenar os dados provenientes das medições de cada aparelho (Oliveira, I. 2011).

A periodicidade de medição do teor de água no solo varia entre 1 minuto e 7 dias, dependendo da configuração realizada pelo gestor da rega. Os dados do *data logger* são transferidos para um *software* específico determinado pela empresa que construiu o aparelho, através de um modem GSM via remota, oferecendo ao gestor um acompanhamento em

tempo real do teor de água no perfil do solo referente ao mapa radicular, recorrendo a gráficos e tabelas (Oliveira, I. 2011).

#### 2.2.2.2. Tensiómetros de Vácuo

Os tensiómetros medem o potencial da água do solo, ou seja, a quantidade de energia necessária para extrair água do solo. Por esta razão constituem uma ferramenta que auxilia a condução da rega, com custo de compra e manutenção reduzidos, e elevada precisão, tendo vindo a ganhar destaque nas empresas agrícolas.

O tensiómetro de vácuo é composto por um sistema rígido, com água no seu interior, e que termina numa cápsula porosa na extremidade do aparelho. Para medir a pressão a que está sujeita a água na cápsula porosa, existe um manómetro de vácuo (Oliveira, 2011) como mostra a Figura 2.2.

Na instalação do tensiómetro deverá garantir-se um contacto perfeito entre a cápsula porosa e o solo, para que a água escoe livremente pelos poros da cápsula, enquanto o potencial matricial for inferior ao potencial da água no tensiómetro (Oliveira, I. 2011).

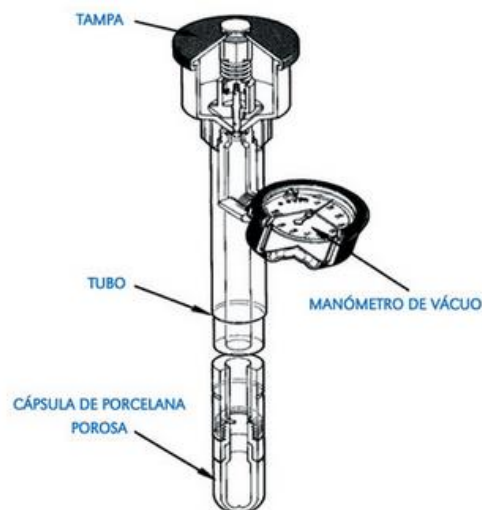


Figura 2.2 – Tensiómetro de vácuo.  
Adaptado de soilmoisture Corp.(1984).

A leitura no manómetro de vácuo procede-se de uma forma dinâmica. Caso haja perdas ou ganhos de água no solo, as variações de pressão negativa, ou tensão, podem ser lidas no manómetro, uma vez que a cápsula é permeável à água e aos solutos do solo. Uma maior quantidade de água no solo indica uma fraca tensão e uma leitura baixa no manómetro. Ao contrário, um baixo teor de água no solo, provoca uma tensão elevada e uma leitura elevada (Oliveira, I. 2011).

#### 2.2.3. Balanço Hídrico do solo

##### 2.2.3.1. Equação do Balanço hídrico

Analisando-se as transferências hídricas na zona de enraizamento da cultura regada, entre as plantas, o solo e a atmosfera, as questões associadas à condução da rega, quando, quanto e como regar, serão respondidas. O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é primordial para a boa gestão e eficiência em regadio (Pereira, 2004). As entradas de água no perfil do solo podem ser devidas à precipitação efectiva, rega e ascensão capilar a partir do lençol freático (Figura 2.3). As saídas podem ocorrer por percolação profunda (ou drenagem), escoamento superficial e evapotranspiração cultural (Teixeira, 1994).

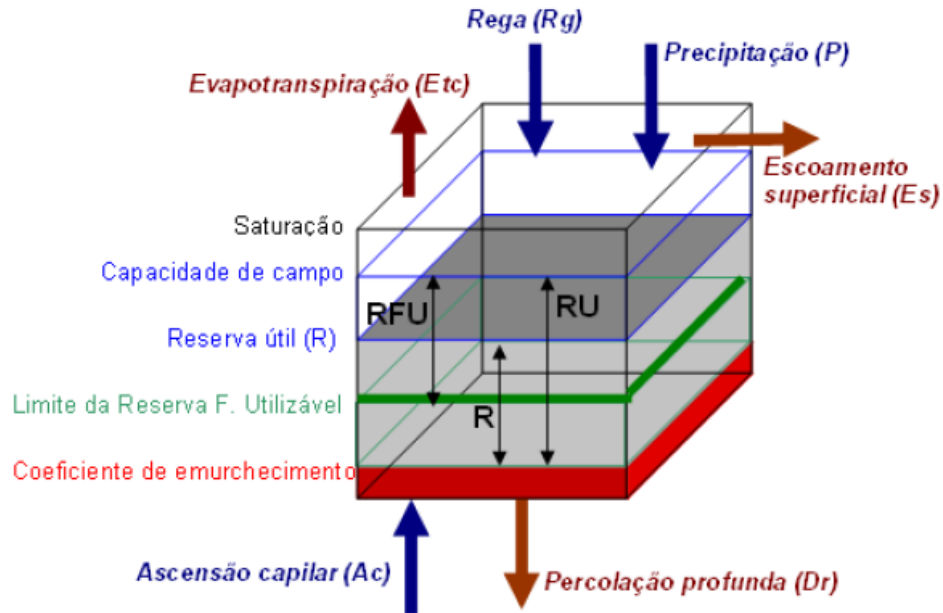


Figura 2.3 – Esquema do balanço hídrico do solo (Teixeira, 1994).

Segundo Pereira (2004), a Equação 2.5 representa o balanço hídrico na zona de enraizamento para um intervalo de tempo  $\Delta t$  (dias) e para uma camada de solo de espessura  $\Delta z$  (m) pode ser calculada através de:

$$\Delta S = (P_e + R_g + A_c) - (E_s + D_r + ET_c) \quad [2.5]$$

onde:  $\Delta S$  variação do armazenamento de água no solo (mm);  $P_e$  precipitação efectiva (mm);  $R_g$  dotação de rega (mm);  $A_c$  fluxo acumulado de ascensão capilar (mm);  $E_s$  escoamento superficial (mm);  $D_r$  fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação (mm);  $ET_c$  evapotranspiração cultural (mm).

Para a determinação das necessidades de rega, podemos realizar o balanço hídrico do solo tendo em conta as quantidades de água retidas até à profundidade radicular ( $Z_r$ , m), expressas em altura de lâmina de água (Pereira, 2004), ou seja, a Reserva Utilizável de água no solo (RU, mm).

$$RU = 1000 * (\theta_{CC} - \theta_{CE}) * Z_r \quad [2.6]$$

onde:  $\theta_{CC}$ , teor de água na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), representa o teor de água que um solo bem drenado contém após terem terminado os fluxos de água relacionados com as forças gravitacionais e de ascensão capilar. (Allen *et al.*, 1998);  $\theta_{CE}$ , teor de água no coeficiente de emurchecimento permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), representa o teor de água no solo abaixo do qual o potencial mátrico é superior ao potencial radicular da planta, tornando-se esta impossibilitada de extrair água.

Quando se pretende conduzir a rega utilizando a metodologia do balanço hídrico, deve calcular-se a Reserva Facilmente Utilizável, RFU (mm).

$$RFU = p \text{ RU} \quad [2.7]$$

sendo  $p$  fracção da água do solo extraível sem afectar a produção.

A RFU corresponde à dotação útil de rega  $D_u$  (mm), ou seja, a quantidade máxima de água a repor no solo em cada rega. O intervalo entre regas IR (dias) é determinado pela relação entre a dotação útil e a evapotranspiração cultural (Pereira, 2004):

$$IR = \frac{D_u}{ET_c} \quad [2.8]$$

Por último, conhecendo a  $D_u$ , para fazer face às perdas de água associadas à distribuição de água na parcela e sua aplicação, é necessário adicionar ao valor de  $D_u$  a quantidade de água que compensa as perdas referidas. Esta quantidade do sistema de rega exprime-se pela eficiência de aplicação do sistema de rega ( $E_f$ ). Obtém-se então a dotação bruta, total ou simplesmente dotação de rega  $R_g$  (mm):

$$R_g = \frac{D_u}{E_f} \quad [2.9]$$

#### 2.2.3.2. Balanço hídrico para a condução da rega

Segundo Martin *et al.* (1990) é possível incutir à condução da rega um parâmetro que define a extracção desejada para a gestão da rega. O MAD ou défice de gestão permissível, é uma fracção da reserva útil que poderá ser expressa no balanço hídrico do solo conforme os objectivos de gestão da rega. A data limite de rega, será quando o teor de água no solo atingir o seguinte valor:

$$\theta_i = \theta_{MAD} = (1 - MAD) * (\theta_{CC} - \theta_{CE}) + \theta_{CE} \quad [2.10]$$

Sendo  $\theta_i$  teor de água no solo na zona radicular no dia  $i$  ( $m^3 m^{-3}$ ).

#### 2.2.3.3. Modelo ISAREG

Dentro dos modelos que realizam o balanço hídrico do solo com o objectivo da condução da rega, alguns, tais como o CropWat e o AquaCrop foram desenvolvidos pela FAO. Em Portugal, o software ISAREG (Teixeira, 1994) desenvolvido no ISA tem tido ampla aplicação na rega.

O ISAREG calcula o balanço hídrico do solo, com o objectivo da calendarização das regas num dado enquadramento de solo, clima e cultura, com periodicidade variável diária, a 10 dias ou mensalmente. O programa permite o cálculo das dotações de rega para a obtenção de máximos rendimentos, podendo o utilizador admitir um limiar de água no solo a partir do qual a dotação é calculada. O ISAREG é utilizado à escala da parcela podendo ser aplicado a qualquer cultura ou método/sistema de rega (Stewart *et al.*, 1976; Doorenbos and Kassam, 1979; Teixeira and Pereira, 1992; Liu *et al.*, 1997; Allen *et al.*, 1998; Pereira *et al.* 2003).

O modelo utiliza dois subprogramas, o EVAPOTW, que calcula a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) recorrendo ao método da FAO Penman-Monteith, e o KcISA para a obtenção dos parâmetros culturais necessários através do método da FAO 56 (Allen *et al.*, 1998).

Para o cálculo do balanço hídrico do solo, o ISAREG utiliza o  $K_c$  simples (Teixeira, 1994). Com base nos  $K_c$  tabelados para cada fase do ciclo cultural,  $K_{c\text{ ini}}$ ,  $K_{c\text{ med}}$  e  $K_{c\text{ fin}}$ , que correspondem ao  $K_c$  no início, na fase intermédia e na fase senescente do ciclo cultural o programa determina a curva de distribuição dos  $K_c$  ao longo do ciclo (Teixeira, 1994) (Figura 2.4). Para tal, o utilizador deve introduzir a duração de cada fase, em dias.

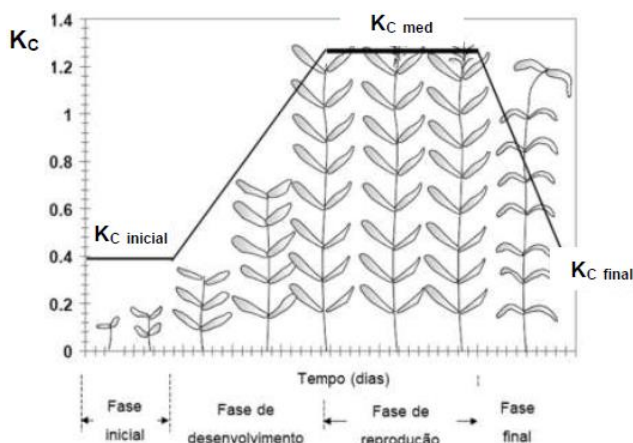


Figura 2.4 – Distribuição do coeficiente cultural ao longo do ciclo cultural (Allen *et al.* 1998).

## 2.3. Detecção Remota

### 2.3.1. Conceitos

A Detecção Remota é considerada a ciência que estuda a obtenção de informação à cerca de um objecto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno sob investigação (Figura 2.5) (Lillesand *et al.*, 2014). É equiparada a um processo de leitura, em que as informações recolhidas através de vários sensores, revelam as variações na distribuição de forças, ondas acústicas, ou de energia electromagnética (Lillesand *et al.*, 2014).

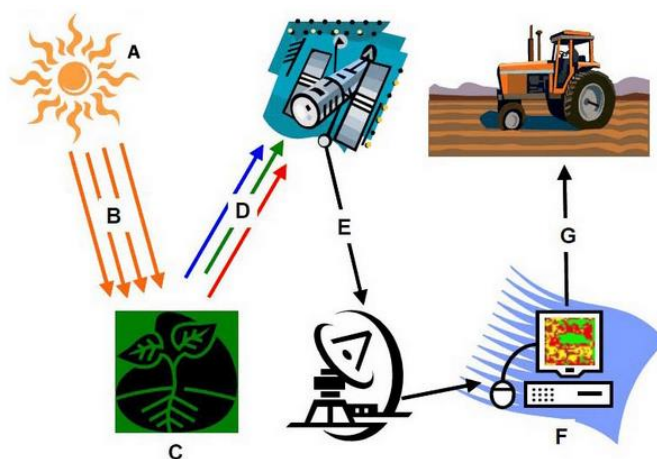


Figura 2.5 – Aplicação da Detecção Remota na Agricultura (Google, 2018).

A radiação electromagnética permite-nos utilizar a detecção remota como forma de reconhecer a variabilidade espacial dos objectos (Chuvienco, 2009).

Centrando o foco deste estudo na energia electromagnética, a detecção remota define-se como uma forma momentânea de registar a quantidade de energia reflectida e emitida pelos corpos presentes na superfície terrestre ao longo do espectro de radiação electromagnético (Figura 2.6) (Braga, 2009).

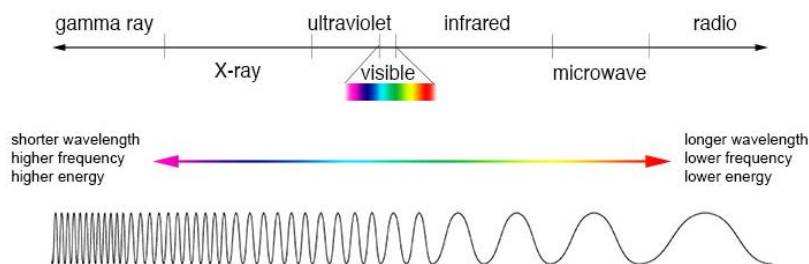


Figura 2.6 – Espectro de radiação electromagnética (NASA, 2013).

Num contexto agronómico e de interesse para as culturas, as bandas do espectro que transmitem informação ocupam uma gama de comprimentos de onda entre os 400 e os 1300 nm. A quantidade de radiação reflectida pelas plantas é inversamente proporcional à radiação absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, variando com o comprimento de onda e a radiação incidente (Pinter *et al.*, 2003; Blackburn, 2007; Mulla, 2013).

A clorofila *a* intersecta radiação no azul aos 430 nm e no encarnado aos 660 nm, enquanto a clorofila *b* absorve no azul aos 450 nm e no encarnado aos 650 nm. Os carotenóides absorvem radiação azul aos 450 nm. As antocianinas demonstram um pico de absorção aos 500 nm referentes à banda do verde (Figura 2.7) (Chappelle *et al.*, 1992; Pinter *et al.*, 2003; Blackburn, 2007; Mulla, 2013).

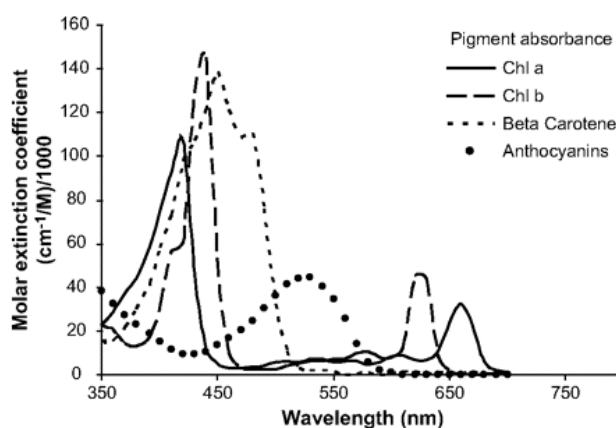


Figura 2.7 – Espectro de absorção dos pigmentos fotossintéticos (Blackburn, 2007).

Em contraste, a reflectância e a transmitância, apresentam ambos níveis elevados na região do *red-edge* (690-730 nm) e no infravermelho próximo (700-1300 nm), como resultado de elevadas densidades e efeitos da estrutura do copado. Na zona do infravermelho médio a reflectância diminui drasticamente devido à absorção por parte da água (Pinter *et al.*, 2003; Blackburn, 2007; Mulla, 2013).

O conhecimento baseado na relação entre as propriedades espectrais da vegetação e alguns parâmetros biofísicos e bioquímicos da vegetação (pigmentos fotossintéticos, teor de água na planta, índice de área foliar, etc) tem permitido a crescente utilização da detecção remota na agricultura, em particular na rega (Navarro, *et al.* 2016; Rolim, *et al.* 2016; Toureiro, *et al.* 2016; Pôças *et al.* 2017). Sendo assim, através da evolução da reflectância do copado ao longo do tempo, é possível inferir as funcionalidades da bioquímica da folha (incluindo os pigmentos), da fisiologia da planta, e as propriedades estruturais e morfológicas do copado. A ocorrência de mudanças de cor na região visível do espectro, deve-se a diferentes concentrações de pigmentos, enquanto que os teores de água nas folhas estão relacionados com interações energéticas com ondas curtas de infravermelho (Chuvieco, 2009). Neste contexto o infravermelho próximo é a banda que melhor representa o estado das culturas e o seu vigor vegetativo (Lamb., 2004).

### 2.3.2. Índices de Vegetação

Dada a necessidade de otimizar a eficiência da água na agricultura, têm sido realizados vários estudos com o recurso a imagens multiespectrais de satélite, oferecendo alternativas de avaliação do estado hídrico das culturas e posteriormente a capacidade de monitorização da rega cada vez mais em tempo real ((Navarro, *et al.* 2016; Rolim, *et al.* 2016; Toureiro, *et al.* 2016). Através da medição dos comprimentos de onda e intensidade de energia reflectida, quer na região do visível quer na região infravermelha, por parte das superfícies medidas, surgiu a possibilidade de criar um índice de forma a quantificar as concentrações de vegetação foliar verde. Esta simples conversão de reflectância espectral num número adimensional foi denominado de índice de vegetação (Proffitt *et al.*, 2006; Roberts *et al.*, 2011; Mulla, 2013).

Dos índices de vegetação mais referenciados pela comunidade científica, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é aquele que mais se destaca. O NDVI é calculado recorrendo à reflectância de uma superfície no infravermelho próximo (NIR) e no vermelho (R), através da seguinte relação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [2.10]$$

O NDVI é o índice de vegetação mais utilizado na agricultura, devido à sua capacidade para descrever os parâmetros biofísicos das plantas, nomeadamente: a linearidade existente entre o NDVI e a fracção de cobertura da vegetação, e a fracção da radiação fotossinteticamente activa; a sua relação com a produção primária (biomassa seca), permitindo estimar a taxa de crescimento da cultura; ainda poderá relacionar-se com o índice de área foliar ou LAI (razão entre a área foliar e a unidade de superfície foliar projectada no solo), e com o conteúdo em azoto (D'Urso *et al.*, 2006). Este parâmetro poderá variar de -1 até +1, sendo que para valores de 0 o solo está nu, para valores próximos de 0 a planta tem

pouca actividade fotossintética, significando plantas jovens (ou senescência) ou em stress hídrico e para valores próximos de 1 ou iguais admite-se conforto hídrico e vigor vegetativo. Apesar disso o NDVI a partir de um certo LAI (3 a 4) atinge um patamar, acabando por saturar (Proffitt *et al.*, 2006; Roberts *et al.*, 2011; Mulla, 2013; NasaEarthObservatory, 2000).

Outros índices surgiram de forma a colmatar essas desvantagens, tais como o *Simple Ratio* ou *Plant Cell Density* (PCD):

$$PCD = \frac{NIR}{R} \quad [2.11]$$

Valores elevados reflectem-se numa biomassa fotossinteticamente activa e em vigor vegetativo, o que não acontece quando se dá o contrário (Proffitt *et al.*, 2006). Outras bandas do visível também foram incorporadas em índices de vegetação, permitindo obter outra gama de respostas:

$$\text{Photosynthetic Vigour Ratio: PVR} = \frac{\text{Verde}}{\text{Vermelho}} \quad [2.12]$$

$$\text{Plant Pigment Ratio: PPR} = \frac{\text{Verde}}{\text{Azul}} \quad [2.13]$$

## 2.4. Rega localizada gota-a-gota

A rega localizada por gota a gota consiste numa forma lenta e pontual (gotas) de fornecimento de água directamente ao solo ao longo das linhas onde as plantas se encontram. A aplicação é feita através de locais pré-fixados e por intermédio de gotejadores, que no decorrer da saída da água do gotejador, consoante as propriedades de condutividade e retenção do solo formar-se-á um bolbo húmido e consequentemente um padrão radicular de acordo com o mesmo (Figura 2.8) (Lopez *et al.*, 1997).

Devido às diferentes formas que toma o bolbo húmido, é necessário determinar criteriosamente a disposição e o espaçamento dos gotejadores, para que o sistema radical da planta não fique atrofiado, e para que a planta receba água suficiente sem que ocorram perdas excessivas por drenagem.

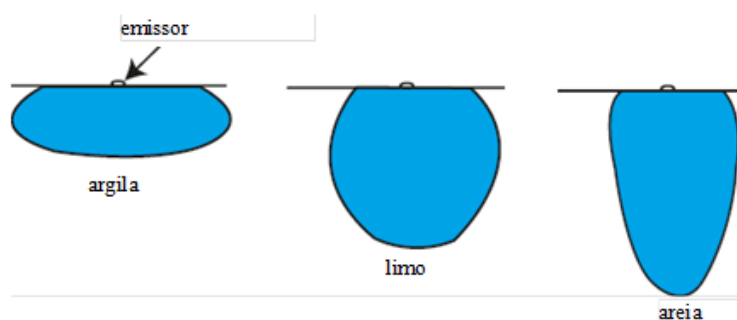


Figura 2.8 – Padrões de humedecimento típicos a partir de um emissor (Oliveira, 2011).



Por outro lado, o sistema deve ser dimensionado para que a pressão com que a água atinge os diferentes gotejadores de uma rampa, e de um sector, se encontre dentro de um intervalo que traduza uma uniformidade de distribuição de caudais aceitável.

O método gota-a-gota potencia o uso eficiente da água na ordem dos 85-95% o que, para contextos de escassez de água e baixa fertilidade, é o mais recomendado (Pereira, 2004).

Ainda que a eficiência e a uniformidade de distribuição sejam importantes na rega, o rendimento e os benefícios que se retiram do uso da água terão de ser considerados. Nesse sentido, vem sendo aplicado o conceito de produtividade da água de rega, quer isto dizer a quantidade de produto relacionada com a quantidade de água aplicada (Pereira, 2004):

$$WP = \frac{\text{Produto (kg ou €)}}{It} \quad [2.14]$$

onde: *WP* produtividade da água de rega (kg ou €/m<sup>3</sup>); *It* volume total de rega aplicado durante o ciclo vegetativo da cultura (mm);

A principal limitação deste sistema é o seu custo de instalação, não obstante como opera a baixa pressão, necessita de menos água e é frequentemente automatizado, o que se repercute num gasto menor de energia.

Um sistema típico de rega localizada, é constituído por uma unidade de regulação e de controlo (cabeçal de rega) incluindo os equipamentos de filtragem, tanque de fertilizantes e a respectiva bomba doseadora, controladores e reguladores de pressão e caudal, válvulas e dispositivos de controlo automático da rega. Para transportar a água para jusante do cabeçal existe a conduta primária, que ligada às condutas secundárias através de válvulas, abastecem as porta-rampas e as rampas onde se situam os gotejadores (Keller e Bliesner, 1990; Pereira, 2004; Oliveira, 2011).

## **2.5. Cultura do Tomate para indústria**

### **2.5.1. Importância da cultura no mundo e em Portugal**

O tomate de indústria é a cultura horto-industrial líder a nível mundial (FAO, 2016). Actualmente os principais produtores mundiais de tomate de indústria são os Estados Unidos da América, Itália, China, Espanha, Turquia, Portugal e Japão. Em 2017/2018, a capacidade total das 40 maiores empresas processadoras de tomate a nível mundial atingiu as 35,7 milhões de toneladas (Tomato news, 2018).

O Quadro 2.2 apresenta as transacções entre os 13 países maiores exportadores de pasta de tomate e as 26 regiões mais consumidoras no ano de 2016. China, Estados Unidos da América e Itália representam mais de metade das exportações, ainda que no caso de

Portugal consiga atingir 7% das exportações. No mercado das importações os líderes são a UE, África Ocidental e o leste asiático (Tomato news, 2016).

Quadro 2.2 – Comércio global de pasta de tomate (Tomato news, 2016)

2016 Global Trade of Tomato Paste from the 13 main exporting countries to the 26 importing regions														
to // from	China	Italy	USA	Spain	Portugal	Iran	Turkey	Chile	Greece	Ukraine	Germany	NthL	France	Total
EU15	106 270	435 982	113 720	227 904	177 570	174	10 449	6 978	37 026	6 610	11 069	13 800	11 093	1 158 645
WestAfrica	325 185	26 075	19 961	210	534	207	124	0	4	3	5	4	63	372 375
Far East	103 370	10 922	50 093	15 261	24 506	14	7 663	9 123	115	365	24	424	33	221 913
NorthAfrica	42 730	110 863	14 966	4 359	1 317	57	22 900	154	113	2 729	2	6	0	200 196
Iraq	1 429	580	0		17	92 109	76 604			0	0	0		170 739
EU13	33 148	46 573	2 130	18 793	9 452	96	195	492	6 291	26 343	7 907	4 502	1 899	157 821
NAFTA	2 554	16 734	117 372	1 004	44	170	1 727	3 549	162	7	16	1	124	143 464
Russia	100 677	7 788	3 683	9 826	7 713	2 913	1 209	7 055	152	364	136	0	63	141 579
CentrAmer	15 500	2 644	55 265	489	3	0	3	27 786	0	0	4	1	6	101 701
Arab Penins.	31 616	4 116	1 348	2 047	12 562	774	10 090	9 023	418	0	1	0	2	71 997
UAE Oman	30 464	2 412	18 298	514	6 003	1 751	4 395	721	397	303	6	11	5	65 280
Central Asia	16 317	106	19	164	0	42 930	278		0	128	1	0	0	59 943
SouthAfrica	42 351	10 461	2 629	1 203	1 737	0	7	0	804	0	5	2	22	59 221
Andean America	10 361	736	2 959	63	0		0	43 364	0	0	0	0	0	57 483
Austr NZeal	9 105	15 540	18 596	197	768	176	912	0	3	0	1	5	111	45 414
othEur	3 382	20 972	3 623	4 521	3 100	22	439	0	340	1 854	833	40	578	39 704
EastAfrica	14 847	9 510	1 780	0	96	752	25		2		0	0	0	27 012
Indian Penins.	14 279	279	2 474	14	23	551	76	19	0	1 202	0	0	0	18 917
Brazil	2 732	3 363	4 130	216	20		0	8 378	0		0	0	0	18 839
Turkey	2 826	152	9 340	1 096	0	27	4 024	172	0	0	6	9	0	17 652
Yemen	16 481	0	0	0		3	0	0			0			16 484
Ukraine	719	135	0	11	19	20	1	0	120	2 120	24	0	7	3 176
China	326	744	1 983	40	10		2	0	0	0	7	12	3	3 127
Chile	811	206	1 695	7	34						3	0	0	2 756
Iran	114	2		0			1 482				0	0		1 598
other	0	22	56	0	0	1	23	0	0	0	42	0	0	144
Total	927 594	726 917	446 120	287 939	245 528	142 747	142 628	116 814	45 947	42 028	20 092	18 817	14 009	3 177 180

The global trade of tomato paste amounted to 3.3 million metric T in 2016  
 TOP13 countries accounted for 96% of global trade figures

28,1%	22,1%	13,5%	9%	7%	4%	4%	4%	1%	1,3%	0,6%	0,6%	0,4%
-------	-------	-------	----	----	----	----	----	----	------	------	------	------

Em Portugal o tomate de indústria é a cultura horto-industrial que detém maior importância económica. Na campanha de 2017 plantaram-se 19.513 ha (Figura 2.9) de tomate com destino à transformação, com um aumento de 6% em relação ao ano de 2016 (IFAP, 2017).

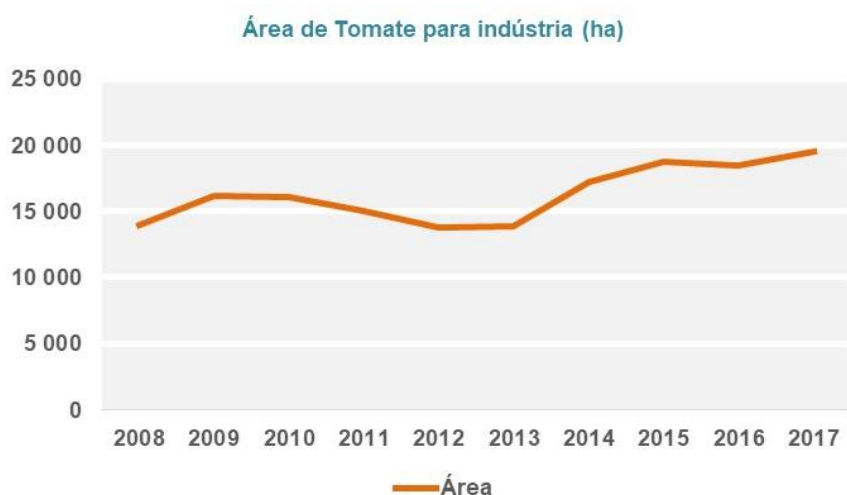


Figura 2.9 – Evolução da área de tomate para indústria no período 2008-2017, em ha (IFAP, 2017).

Apesar da área ocupada pelo tomate ser inferior às áreas ocupadas por outras culturas anuais de primavera-verão (arroz, milho, girassol e batata), o rendimento obtido supera o conjunto de todas estas culturas (GPP, 2017). O elevado preço de uma *commodity* como o tomate convergiu nas elevadas produções. A campanha de tomate em Portugal no ano de 2017 atingiu 1,7 milhões de toneladas (IFAP, 2017).

As elevadas produtividades das searas de tomate têm sido uma constante, com a média dos últimos 10 anos a ultrapassar 80 ton/ha (Figura 2.11) (INE, 2017).

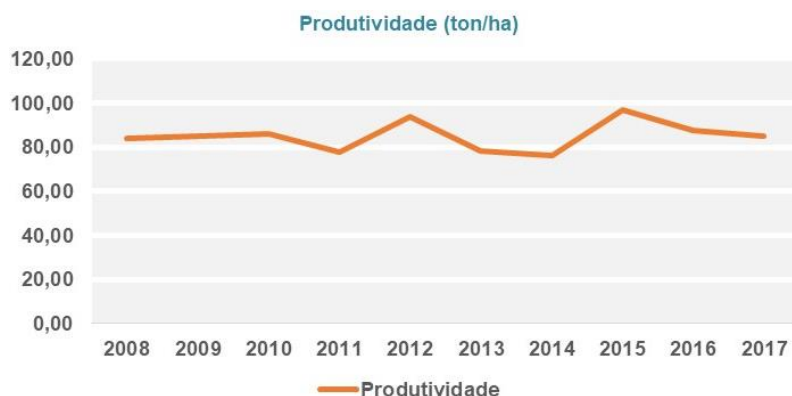


Figura 2.10 – Produtividade de tomate para indústria no período 2008-2017. (INE, 2017).

O consumo aparente tem vindo a aumentar, fruto da qualidade do tomate nacional e do aumento do poder de compra dos portugueses. A qualidade do tomate transformado nacional é repartida pelo mundo, o que se verifica na importância das exportações na produção nacional (Figura 2.11) (INE, 2016).



Figura 2.11 – Produção, Importação, Exportação e Consumo Aparente de Tomate preparado ou conservado, em toneladas, no período 2005-2016 (INE, 2016).

### 2.5.2. Descrição da cultura

Apesar da cultura do tomate comportar diversas espécies e variedades, para o sector e tecnologia de produção do tomate de indústria foi seleccionada a espécie *Lycopersicon esculentum* Miller pertencente à família das Solanáceas. É uma planta perene de estrutura vegetativa e arbustiva, porém cultivada como anual, ainda assim perante condições climáticas favoráveis pode prolongar-se durante vários anos (Maroto, 2002).

Constituído por um sistema radicular amplo, apresentando uma raiz principal que normalmente alcança os 50-80 cm de profundidade, e por raízes secundárias e adventícias provenientes da base do caule principal. No caso do tomate de indústria, as cultivares são de crescimento determinado, findando o seu crescimento pelo surgimento de uma inflorescência terminal e após ter produzido lateralmente várias inflorescências (Maroto, 2002). Existem variedades de ciclo curto (90-100 dias), médio (100-120 dias), longo (>120 dias), que podem ser seleccionadas dependendo da data de sementeira (Almeida, 2006). A polinização é

predominantemente autogâmica, sendo favorecida pelo auxílio de insectos. O fruto é uma baga plurilocular globosa ou piriforme de cor vermelha à maturação, com um peso a variar entre os 50-70g (Maroto, 2002; Almeida, 2006).

### Desenvolvimento e exigências climáticas

Para que o tomate cumpra o seu ciclo, necessita de valores de integral térmico entre 3000-4400°C (Maroto, 2002). É uma cultura sensível ao frio, sendo que temperaturas inferiores a 0°C destroem totalmente a planta. Para que ocorra uma correcta germinação da semente a temperatura do solo terá de se situar entre os 18-30°C. Posteriormente para que haja uma emergência sem problemas, as sementes precisam de acumular 90-100°C graus dia com uma temperatura base de 6°C, durante 6 dias a 25°C (Almeida, 2006).

O ciclo vegetativo do tomate de indústria está dividido nos seguintes estádios de desenvolvimento: germinação; desenvolvimento vegetativo; floração; frutificação (Almeida, 2006). O desenvolvimento vegetativo ocorre 4 semanas após a sementeira e é de curta duração, visto que o aparecimento da primeira inflorescência ocorre quando a terceira folha verdadeira está em expansão e com temperaturas diurnas de 18-20°C. A entrada em floração é acompanhada pelo parâmetro do fotoperíodo e pela integral de radiação. Vários autores (Aung, 1976; Kinet, 1977; Almeida, 2006) assinalam que o tomate é uma planta indiferente ao fotoperíodo, porém sob irradiância constante a floração ocorre mais cedo e em dias-curtos.

O surgimento de precipitação, vento e temperatura do ar maior que 36°C ou menor que 10°C, comprometem a fecundação e o vingamento dos frutos. Segundo o CICYTEX (2015), para uma variedade de ciclo médio de 120 dias, o período entre o transplante e a colheita poderá dividir-se em 4 fases de desenvolvimento (Figura 2.12). Naturalmente a duração de cada uma delas, está dependente do ciclo da variedade e das condições climáticas, principalmente a temperatura.

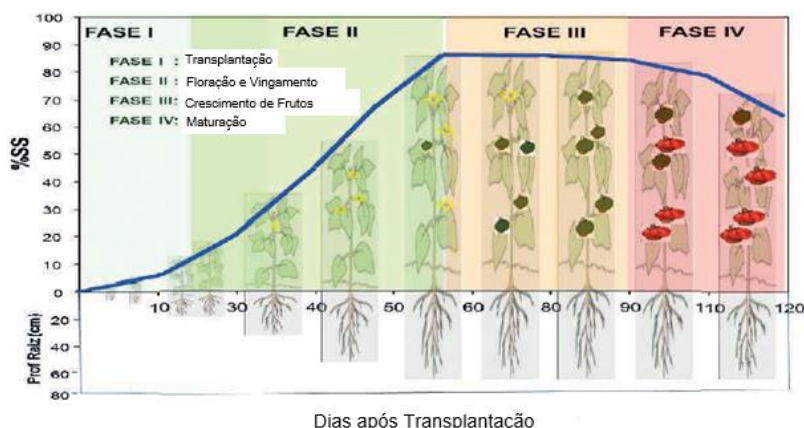


Figura 2.12– Fases de desenvolvimento da cultura do tomate de indústria em função da fracção de cobertura do solo (%SS) e do desenvolvimento radicular. Adaptado de CICYTEX (2015).

Fase I – Pós-Transplante: inicia-se com o transplante e finda quando o cordão de plantas apresenta 5% de solo coberto. A duração está dependente do stress provocado pelo transplante, o que tende a agravar-se quando as plantas são transplantadas tardiamente.

Fase II – Fase de crescimento rápido: a cobertura do solo passa rapidamente de 5% para 80-85%. Face a este grande desenvolvimento vegetativo, também o sistema radicular desenvolve-se paralelamente, alcançando a máxima profundidade no final da fase. Durante a fase ocorrem a floração e o vingamento, assim como a estimativa da performance produtiva, com base no número de frutos vingados e na vegetação disponível para o crescimento e maturação dos frutos. Sendo assim é essencial chegar a esta fase com um bom desenvolvimento vegetativo já que o número de flores está ligado entre outros factores ao tamanho da parte aérea do tomateiro. As necessidades hídricas e nutricionais aumentam exponencialmente neste período. A falta destes factores de produção, levam a abortos florais, menor número de frutos vingados, alongamento da floração e vingamento, levando a uma menor uniformidade na maturação.

Fase III – Crescimento dos frutos: inicia-se com o estabelecimento do crescimento vegetativo e após o vingamento, ocorrendo de forma escalonada, visto que uma mesma planta apresenta estádios de desenvolvimento diferentes. Nesta fase distinguem-se dois períodos, o primeiro, em que o fruto cresce rapidamente, o segundo, em que o fruto para o seu crescimento, em que acumula grande parte de açúcares e antioxidantes. No primeiro é importante manter o programa de rega e nutrição. No segundo, as plantas parecem depender menos de água e nutrientes, sendo possível ocorrerem stresses durante este intervalo.

Fase IV – Maturação: os frutos verdes durante este período, passam gradualmente a vermelhos.

Para que a indústria da pasta possa responder à chegada do tomate proveniente do campo é necessário que o vingamento e a maturação sejam concentrados no tempo (Nuez, 1995). Esta conciliação é marcada quando 75 a 99 % dos frutos estão maduros à data de colheita (Lukyanenko, 1991). Ainda assim Nuez (1995) refere que caso a proporção de frutos maduros não exceder os 60-70% deprecia a sua rentabilidade económica.

### **2.5.3. Exigências Edáficas**

O tomateiro vinga em texturas de solo arenosas a argilosas desde que a drenagem seja assegurada, visto que as raízes são pouco tolerantes a períodos prolongados de alagamento e o surgimento de doenças é provável (Lamont, 1996; Jones Jr, 1999).

As reacções do solo adequadas para a cultura do tomate correspondem a um intervalo de pH entre 5,5 e 7,0, no entanto o óptimo situa-se entre 6,0 e 6,5. A cultura é moderadamente sensível à salinidade, sendo a máxima condutividade eléctrica tolerada sem perda significativa de rendimento de 2,5 dS/m. A partir deste valor por cada dS/m o decréscimo de rendimento

será de 10%, não obstante Mizrahi *et al.* (1998) constataram que valores de salinidade acima do valor crítico, melhoraram o sabor, devido ao aumento do teor de sólidos solúveis e açúcares. Segundo a *Reference Soil Test Methods for the Southern Region of the United States* (1983), os solos onde se cultiva o tomate de indústria poderão ser moderadamente salinos (Condutividade eléctrica no extracto 1:2, entre 1,61 e 2,40), como se mostra no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classes de salinidade do solo e reacção das culturas aos sais (INIAV, 2006)

Classificação do solo	Reacção das culturas	Condutividade Eléctrica mS/cm a 25°C	
		No extracto de saturação	No extracto 1:2 (solo:água)
Solo sem efeitos salinos	Sem problemas	0 – 2	< 0,40
Solo muito pouco salino	Culturas muito sensíveis aos sais podem ser afectadas	2 – 4	0,41 – 0,80
Solo pouco salino	Culturas sensíveis aos sais podem ser afectadas	4 – 8	0,81 – 1,60
Solo moderadamente salino	Só culturas tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	8 – 12	1,61 – 2,40
Solo fortemente salino	Só culturas muito tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	12 – 16	2,41 – 3,20
Solo muito fortemente salino	Só algumas culturas altamente tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	> 16	> 3,20

#### 2.5.4. Necessidades de Rega

As exigências hídricas da cultura do tomate para indústria em clima mediterrânico, tornam o recurso água no principal factor limitante no que à produtividade diz respeito. A água para rega sendo bem gerida e conduzida ao longo do ciclo, é considerado um factor determinante na qualidade final do tomate e no uso eficiente de recursos.

Dependendo do clima e das variedades, para que uma cultura de tomate instalada no campo após transplantação permaneça entre 90-120 dias, é necessário um total de 4000-6000m<sup>3</sup>/ha. Estas necessidades não são constantes, variando em função do índice de área foliar e, portanto, variando consoante o coeficiente cultural ( $K_c$ ) e o respectivo estado de desenvolvimento da cultura. As fases de floração e vingamento são as mais críticas em termos de necessidades hídricas, ou seja, a ocorrência de stress hídrico nestas fases confirmará uma diminuição na produção, em virtude do número de flores abortadas. Já em termos de qualidade, a fase final do ciclo, nomeadamente à maturação é a fase mais crítica, pois uma má gestão da rega neste contexto desvalorizará os frutos (Almeida, 2006).

#### 2.5.5. Fertilização

Planear a fertilização na cultura do tomate, assim como nas restantes culturas, enquadra-se no conceito da agricultura sustentável, impondo-se uma utilização racional dos fertilizantes, de forma a assegurar a saúde do meio ambiente e a rentabilidade económica.



No caso do tomate de indústria, considera-se como principal objectivo a produção do fruto. No Quadro 2.4 encontra-se a recomendação de fertilização para cada nutriente dependendo da produção esperada e da classe de fertilidade para cada nutriente. No entanto, uma vez que a parcela estudada no presente trabalho se localiza na Zona Vulnerável aos Nitratos do Tejo, a quantidade máxima de azoto a aplicar para a produção de 90 t ha<sup>-1</sup> é de 205 Kg ha<sup>-1</sup>. Por cada aumento/diminuição da produção de 5 t ha<sup>-1</sup>, o acréscimo /redução de azoto a aplicar é de 12.5 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a quantidade máxima admissível 260 kg ha<sup>-1</sup> (Programa de Acção Nacional para as Zonas Vulneráveis a Nitratos, Portaria 83/2010).

Quadro 2.4 – Recomendação de fertilização de macronutrientes principais para a cultra do tomate segundo os seus níveis no solo e para a produção esperada. (Adaptado de INIAP, 2006)

Produção Esperada (t/ha)	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – níveis no solo (kg/ha)						K <sub>2</sub> O – níveis no solo (kg/ha)					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
90	220	240	200	170	140	100	90	280	240	200	150	120	100
100	240	250	210	180	150	110	100	290	250	210	160	130	120
120	280	260	220	190	160	120	110	300	260	220	170	140	130

A aplicação de azoto deve ser fraccionada, aplicando cerca de metade a um terço na instalação e as restantes aplicações via fertirrega, com duas coberturas no início da floração e a segunda na maturação dos primeiros frutos (INIAP, 2006). As aplicações de fósforo e potássio são realizadas em fundo, e depois fraccionadamente ao longo do ciclo, de forma a não ocorrerem desequilíbrios nutritivos, excesso de sais no solo, e a não ocorrência de precocidade na maturação. No Quadro 2.5 apresenta-se a variação das necessidades em macronutrientes principais ao longo do ciclo do tomate.

Quadro 2.5 – Extracção média de nutrientes em diferentes fases do ciclo cultural do tomate de indústria. (Almeida, 2006)

Fase do ciclo cultural	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Transplantação-início da floração	8	6	6
Início da Floração – Aparecimento do 1º fruto	18	16	23
1º fruto – Início Maturação	30	25	19
Início Maturação - Colheita	44	53	52

O tomate para além das necessidades em macronutrientes principais, apresenta elevada sensibilidade às carências de Cálcio e Magnésio, muitas vezes associadas ao excesso de azoto e potássio, deficiente gestão da rega, características varietais e condições ambientais adversas. No caso do Cálcio leva a ocorrência de podridão apical, sendo necessário uma manutenção de uma faixa adequada de pH do solo e um equilíbrio da relação Ca/Mg. Já o Magnésio, influencia directamente a síntese de clorofila na planta, sendo também um factor de qualidade, nomeadamente nos índices de firmeza e textura do fruto (Hao e Papadopoulos, 2004) na assimilação de sólidos solúveis (Chapagain e Wiesman, 2004). Para uma produção esperada de 100t ha<sup>-1</sup> aplicam-se 30 kg Mg ha<sup>-1</sup> e 200 Kg Ca ha<sup>-1</sup>.

#### 2.5.6. Índices de Qualidade

No tomate de indústria para além da quantidade produzida a qualidade surge como um factor diferenciador no que ao preço a ser pago pela indústria diz respeito. A qualidade deve definir-se em função do uso para qual é destinado o produto. Neste contexto o tomate está inserido em características como uma cor vermelha intensa, níveis de elevada firmeza, sabor e aroma (Kalamaki *et al.*, 2003).

O sabor do tomate está relacionado com a sua composição química, principalmente com os açúcares redutores e ácidos orgânicos, variando em função da cultivar e do grau de maturação do fruto (Roselló y Nuez, 2006). O conteúdo em sólidos solúveis totais, ou Brix °, é dependente da quantidade de açúcares totais, sendo que os frutos devem deter um mínimo de sólidos solúveis para serem colhidos. Esta característica é particularmente importante na indústria do processado, visto que, é a que a mais influencia no rendimento industrial (Ciruelos *et al.*, 2007), quando o objectivo deste processo de transformação é aumentar a concentração de sólidos solúveis até ao limite imposto pela legislação.

O vermelho do fruto é determinado pelo conteúdo em Licopeno (Martínez-Valverde *et al.*, 2002). O teor em Licopeno está correlacionado com a cor vermelha medida pelo espectrofotómetro de Hunter a/b. A cor, como índice de qualidade, é avaliada no rácio a/b, portanto quanto maior este rácio, maior o teor em licopeno, reflectindo-se numa maior valorização do tomate (Brandt *et al.*, 2006).

### 2.6. O Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira

A Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (LGVFX) é uma faixa de terreno alongada, situada na margem esquerda do rio Tejo, nos concelhos de Vila Franca de Xira e Azambuja, distrito de Lisboa, limitada a Oeste e a Este pelos rios Tejo e Sorraia, respectivamente. A zona delimitada abrange aproximadamente 13420 ha encontrando-se dividida pelo troço da Estrada Nacional nº10, dando origem a duas subzonas, designadas por Lezíria Norte e Lezíria Sul.

A LGVFX é uma zona de cotas baixas (entre 1 e 2 m) circundada por um dique de defesa com 62 km com a finalidade de a proteger das marés e das inundações dos rios Tejo e Sorraia. O elevado potencial agrícola desta área, determinaram várias intervenções nos recursos hídricos, de forma a contrariar problemas relacionados com o fornecimento de água para rega, drenagem e salinidade.

Em toda esta área foram, ou estão a ser desenvolvidas diversas obras de fomento hidroagrícola, definidas nos termos do artigo 1º do Decreto-Lei nº 269/82 de 10 de Julho com a redacção que lhe foi dada pelo Decreto-Lei nº 86/2002 de 6 de Abril, cujo conjunto constitui, o Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Com o objectivo de gestão do Aproveitamento foi celebrado, em 22 de Julho de 2009, o “Contrato de Concessão para a Gestão do Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira”,



entre a Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) e a Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira.

### 2.6.1. Abastecimento de água

A água para rega tem origem em várias captações no rio Tejo, no rio do Risco (braço do Tejo) e no rio Sorraia pertencente à bacia hidrográfica do Tejo. A adução faz-se por gravidade através de portas de água existentes no dique de defesa. Actualmente, a única captação do Tejo é realizada pela tomada de água do Conchoso. Para além desta captação

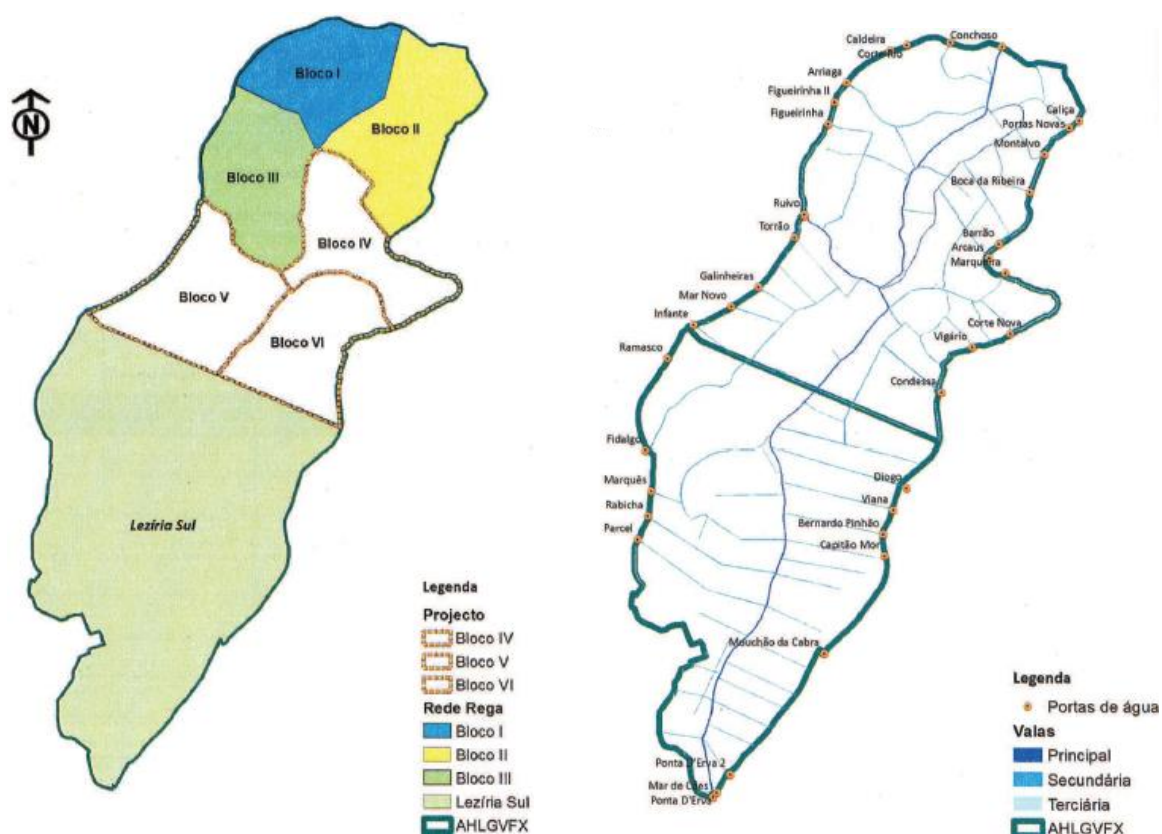


Figura 2.13 – Portas de água e condutas de adução da ABLGVFX.

principal, a água para rega pode também ser captada no rio do Risco por três portas e no rio Sorraia por outras duas. A captação de água, é realizada excepcionalmente, nestas portas, quando os teores de salinidade são superiores aos convenientes, principalmente em épocas de estiagem. No Quadro 2.6 e Figura 2.13 apresentam-se as portas de água e as condutas para adução de água para rega, situadas na Lezíria Norte.

Quadro 2.6 – Portas de água de adução da ABLGVFX

Rio Tejo			Rio Risco			Rio Sorraia		
Porta de Água	Função	Comporta	Porta de Água	Função	Comporta	Porta de Água	Função	Comporta
Conchoso	Rega e Drenagem	Mural	Barrão	Rega e Drenagem	Mural	Condessa	Rega e Drenagem	Mural
			Arcaus	Rega e Drenagem	Mural	Corte Nova	Rega e Drenagem	Mural
			Marqueira	Rega e Drenagem	Mural			

### 2.6.2. Blocos de Rega

A área do Aproveitamento Hidroagrícola está dividida em vários blocos de rega, sendo que alguns foram melhorados ao longo dos anos, e os restantes encontram-se neste momento submetidos a projecto. Esta divisão em blocos permitiu níveis de uniformidade substancialmente melhores, assim como a realização de uma obra mais barata.

### 2.6.3. Rede Primária de Rega

#### Estações elevatórias

Para fornecimento de água para rega com pressão às redes de rega em condutas fechadas, o desenho actual do AHLGVFX apresenta as seguintes estações elevatórias (EE):

EE do Conchoso, para os blocos I e II; EE do Ramalhão, para os blocos III e IV; EE das Galés, para os blocos V e VI.

A EE do Conchoso não só fornece água sob pressão aos blocos I e II, assim como, os caudais aduzidos ao Rio Tejo através do sistema de Derivação da EE do Conchoso, fornece os restantes blocos da lezíria, quer na parte Norte, quer na parte Sul.

Para a EE do Conchoso, canal principal e tomada de água, dimensionaram-se caudais, com duas fases de dimensionamento (Quadro 2.7).

Quadro 2.7 – Caudais de dimensionamento

	1ª Fase	2ª Fase
<b>Estação Elevatória do Conchoso</b>	2,75 ± 5% m³/s	2,75 ± 5% m³/s
<b>Derivação/Canal Principal</b>	32,8 m³/s	51,6 m³/s
<b>Tomada de água</b>	35,7 m³/s	54,5 m³/s

#### Canal Principal

A rede primária de rega tem início no canal principal que é alimentado pela tomada de água e derivação do Conchoso, atravessando toda a lezíria, abastecendo a EE do Ramalhão

e EE das Galés. Apresenta tanto funções de rega como drenagem, com cerca de 12,5 km de desenvolvimento e uma secção transversal trapezoidal constante em toda a sua extensão (Quadro 2.8).

Quadro 2.8 – Principais características do Canal Principal

Comprimento (km)	Cota do Fundo (m)	Rasto (m)	Inclinação dos Taludes
1,6	(-1,75)	9,0	1:2
10,4	(-1,50)	9,0	1:2

#### 2.6.4. Rede Secundária de Rega

##### Condutas R1, R2 e R3

A rede secundária de rega da Lezíria Norte é constituída por um sistema de condutas com água sob pressão, que se desenvolve nos seis blocos. Nos blocos de rega I e II, apresentam uma extensão de cerca de 36300 m. As condutas R1, R2 e R3 abastecem os blocos I e II, em que R1 beneficia o bloco I, R3 apenas o bloco II, e R2 os dois blocos I e II, simultaneamente, como se pode verificar no Quadro 2.9. As principais características da rede de rega do bloco I e II apresentam-se no Quadro 2.10.

Quadro 2.9 – Áreas regadas pelas condutas e a sua divisão por blocos

Condutas	Bloco	Área (ha)
R1	I	704,0
R2	I	208,0
	II	682,0
R3	II	492,0
Total		2.086,0

Quadro 2.10 – Principais características da Rede de rega dos blocos I e II

	Bloco I e II
Área total (ha)	2.086,0
N.º de tomadas	79
Área regada por tomada (ha)	26,4
Comprimento da rede (m)	53.110
Densidade da rede (m/ha)	25,5
Comprimento da tubagem em FFD (m)	21.953
Comprimento da tubagem em PEAD (m)	31.157

#### 2.6.5. Sistema de Distribuição de água para rega

O sistema de distribuição de água é realizado a pedido, permitindo regar como, quando e durante o período que desejar. Este modelo permite fornecer água à medida das necessidades das culturas, utilizando o caudal disponível na rede, representando um compromisso económico para cada caso em particular.

Para que o sistema de distribuição a pedido se torne real, a automatização e a monitorização dos consumos, terão de ser realizados através da existência de um comando de rede ao nível da boca de rega.

Neste perímetro, a boca de rega, considerada de hidrante de rega, é um equipamento compacto que disponibiliza água à parcela proveniente da rede. Cada bloco de rega é constituído por um determinado número de hidrantes de rega, como se pode verificar no Quadro 2.10, assinalado como tomadas de água.

Este Aproveitamento Hidroagrícola controla a saída de água para o hidrante através de um sistema de automatização por telecontrolo (Figura 2.14). Simultaneamente através deste sistema, permite a abertura e fecho das válvulas dos hidrantes, como a leitura de contadores volumétricos instalados nos hidrantes, fornecendo informação momentânea à central, localizada na Associação.



Figura 2.14 – Antena de Telecontrolo situada no Hidrante de Rega.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Ensaio experimental

##### 3.1.1. Localização

O ensaio experimental decorreu entre 22 de Maio e 12 Setembro de 2018 numa parcela cultivada com tomate para processamento industrial (*Lycopersicon esculentum* Miller) localizada no concelho de Vila Franca de Xira (38°59'51,32"N; 8°54'22,93"O) e inserida no Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. A parcela designada "Manuel Marques 1", apresenta uma área de 35 ha (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Parcela " Manuel Marques 1" do ensaio experimental (Google Earth, 2018).

##### 3.1.2. Caracterização climática

A caracterização climática da área da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira foi realizada com base nos registos referentes às Normais Climáticas do período de 1951-1980 da Estação Meteorológica da Barragem de Magos (38,992246°N, -8,690213°O) do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

De acordo com a Classificação climática de Köppen-Geiger (1936), verifica-se que o clima da região onde se insere a Lezíria Grande é do tipo Csa, ou seja: C – clima temperado ou temperado quente, mediterrânico; s – clima das estepes, com precipitação anual total entre 380 e 760 mm; a – Verão mediterrânico, com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C; nos três meses mais frios maiores que -3°C; no mês mais quente maior ou igual a 22°C, como se pode observar no diagrama ombrotérmico de Gaussen (Figura 3.2).

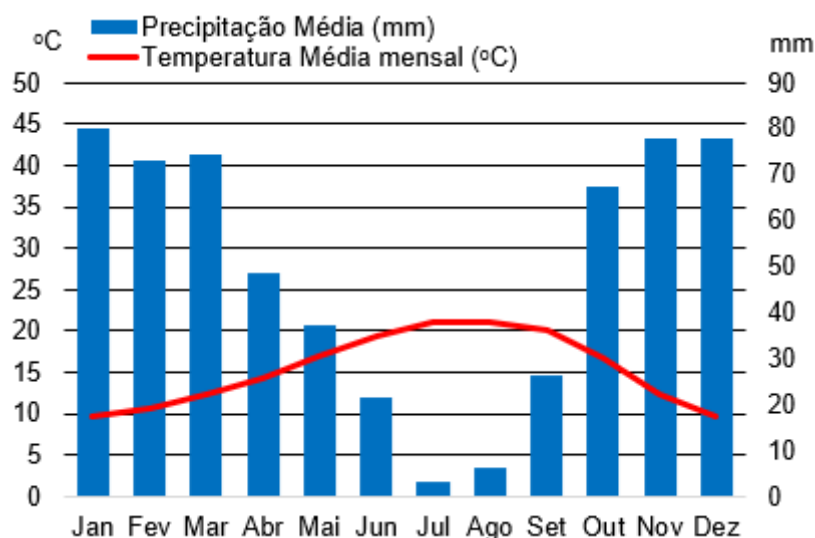


Figura 3.2 – Diagrama Ombrotérmico de Gaussen para Salvaterra de Magos, para o período de 1951 a 1980 (SNIRH, 2018).

Para o caso da classificação climática de Thorntwaite (1948), baseada na variável Evapotranspiração Potencial, estamos perante um tipo de clima  $B_1 B'_2 b'_4$ , correspondendo a um clima húmido ( $B_1$ ); mesotérmico ( $b'_2$ ); com características continentais ( $b'_4$ ).

A Temperatura média anual do ar ronda os 15,4°C (Figura 3.2). A amplitude térmica registada, entre o mês mais quente e o mais frio, foi de 11,5 °C, sendo que em Agosto e em Janeiro, registam-se temperaturas médias de 21,2 °C e 9,7 °C, respectivamente.

A precipitação anual atinge, em média, 594 mm, apresentando uma considerável variabilidade inter anual. A sua ocorrência concentra-se entre Outubro e Maio. O mês mais chuvoso é o de Janeiro (80 mm) seguido dos meses de Novembro, Dezembro, Fevereiro e Março com valores próximos de si (Figura 3.2).

### 3.1.3. Solo

Na parcela em estudo, segundo a carta de solos de Portugal (S.R.O.A., 1974), o solo classifica-se, dentro dos solos incipientes, como um Ac – Aluviossolo Moderno, Calcário, (Para-Solos Calcários).

De acordo com a análise de solo (Anexo 1) realizada pela empresa agrícola, o solo apresenta 48% em argila; 13 % em areia e 39% em limo, o que corresponde a uma textura argilo-limosa.

No âmbito do projecto “Estudo de Viabilidade da AHLGVFX”, constituída por uma parceria entre Portugal e Holanda, liderada pela Direcção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola e pela Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (DGHEA/DGRAHLR, 1984), foi realizada uma classificação e caracterização detalhada para os solos da Lezíria, tendo o solo da parcela em estudo sido classificado como  $F_{fp3}$  (e) (Quadro 3.1). Nesta nomenclatura, F representa depósitos de sedimentos fluviais recentes com granulometria variável calcários; f representa a textura superficial franco-argiloso-limosa a

argilo-limoso; p representa substrato de textura fina, em geral depositado sob a influência de águas mais ou menos salinas, frequentemente sódico e/ou salino, pelo menos no nível inferior e também no nível intermédio; e o número 3 representa o nível a que ocorre a camada salina, até 1,20 m de profundidade; nível 3 (0,50/0,80m).

Quadro 3.1 – Descrição do perfil do solo F<sub>fp3</sub> (e). Fonte: Adaptado de DGHEA/DGRAHLR, 1984

Espessura (cm)	Características
0-30/35	Pardo, 10YR 5/3 (s) e pardo escuro, 10YR 3/3 (h); argiloso limoso; anisoforme, anguloso médio e fino, moderado e prismático grosseiro; permeabilidade rápida (p <sub>1</sub> ); efervescência moderada; bastantes raízes;
30/35-60	Pardo, 10YR 5/4 (s) e pardo escuro, 10YR 4/3 (h); franco argilo limoso; prismático grosseiro muito fraco; permeabilidade rápida a moderada (p <sub>1/2</sub> ); efervescência moderada; algumas raízes;
60-85	Pardo escuro, 10YR 3/2 (h); manchado; argilo limoso, com infiltrações de solo da camada superior; prismático grosseiro e médio; permeabilidade moderada/lenta (p <sub>2/3</sub> );
85-150	Cinzento escuro, 5Y 4/1 (h), manchado; argilo limoso; prismático grosseiro e médio; p <sub>3</sub> ; acumulações de calcário dispersas;
150-270	Cinzento escuro, 5Y 4/1 (h), pouco manchado; argilo limoso; p <sub>3</sub> ;
270-330	Cinzento escuro a negro; argiloso limoso; p <sub>4</sub> ; <i>half-ripened</i> .

#### 3.1.4. Cultura

O tomate proveniente de viveiro com cerca de 12-15 cm de altura e com quatro folhas expandidas foi transplantado no dia 22 de Maio com um compasso 1,5 x 0,2 m, correspondendo a uma densidade de plantação aproximada de 35000 plantas ha<sup>-1</sup>.

A cultivar “Heinz 1015” foi a variedade seleccionada com a finalidade do processamento industrial, sendo actualmente a variedade mais cultivada para esse fim a nível mundial. O mesmo se verifica em Portugal, onde ocupa cerca de 40 % da área de produção (Nextera, 2018). Trata-se de uma variedade de referência devido à sua plasticidade agro cultural e boa qualidade industrial. Apresenta um grau Brix médio alto, uma elevada cor e um bom *holding* no campo (Nextera, 2018). Apresenta um ciclo semi-precoces, com duração entre 110 e 115 dias. Devido às condições meteorológicas verificadas após a transplantação, nomeadamente precipitação e temperaturas abaixo do óptimo vegetativo (18°C), ocorreu um desenvolvimento inicial lento e, conseqüentemente, um alargamento do ciclo cultural para os 124 dias.

A cultura precedente ao tomate de indústria para além da componente económica e de uso da terra, teve como objectivo a cobertura total do solo. Neste ponto de vista a cultura de cobertura seleccionada foi a aveia (*Avena sativa*). Grandes benefícios derivam do uso de culturas de cobertura na rotação e na produtividade da cabeça de rotação (tomate). O teor em sais moderado, a necessidade de haver uma boa estrutura de solo, a supressão de infestantes, e o facto de se situar numa zona vulnerável, são factores que justificaram o uso da aveia. Tanto no excesso de sais como no excesso de nutrientes, a aveia tende a retê-los e a consumi-los, evitando assim lixiviações. O melhoramento das características físicas do solo, deve-se ao facto de a aveia apresentar um sistema radicular denso e fibroso com grande

capacidade de penetração, e com elevada produção em matéria seca, cerca de 2000 kg ha<sup>-1</sup> nos primeiros 40 cm de solo (Gabriel *et al.*, 2012).

Os resíduos, uma vez decompostos, serão uma fonte de nutrientes contribuindo positivamente para o sequestro de carbono (Follett, 2001). Por ser uma cultura de rápido estabelecimento e possuidora de compostos alelopáticos, exerce supressão sobre grande parte das infestantes, funcionando como um herbicida natural (Parkin *et al.* 1997). O raizame desenvolvido pela cultura da aveia, Figura 3.3, é vasto.



Figura 3.3 – Resíduos da cultura da Aveia.

### 3.1.5. Itinerário Técnico

#### Preparação do terreno

A preparação do solo de forma a permitir uma boa adaptação das plantas e a diminuir os efeitos do stress de transplantação é um dos factores fundamentais de sucesso desta cultura. As intervenções na parcela iniciaram-se com a aplicação de um herbicida total, à base de Glifosato.

A preparação do solo iniciou-se com duas gradagens cruzadas com uma grade de discos pesada, permitindo um controlo mais eficaz das infestantes que, no contexto deste perímetro de rega, são difíceis de controlar. De seguida aplicou-se um correctivo alcalinizante (gesso) e um correctivo orgânico (estrume de vaca). Para a sua incorporação, e do restolho da cultura precedente realizaram-se mais duas passagens de grade. Posteriormente, para uma mobilização profunda realizou-se uma passagem de subsolador a 50 cm, garantindo um bom arejamento e facilitando o movimento de água para camadas mais profundas. Para garantir o esmiuçamento e a fragmentação de torrões realizaram-se duas passagens de rototerra.

O terreno foi armado em camalhões com duas passagens de um armador fresador com o objectivo de aumentar o volume de solo em redor das plantas, melhorar a drenagem, facilitar as operações de transplantação, de colocação do sistema de rega e colheita mecânica. O período decorrente entre as duas passagens do armador fresador foi cerca de 10 dias, para que o nematodocida (metade de sódio) aplicado na primeira passagem cumprisse o seu efeito de fumigante de solo. As mobilizações realizadas podem ser consultadas no Anexo 2.



## Fertilização

As operações relacionadas com a aplicação de fertilizantes que se desenvolveram na parcela “Manuel Marques 1” foram registadas, com a respectiva data, fórmula de adubo, produto comercial associado, e a respectiva taxa de aplicação. No final da campanha contabilizou-se a quantidade de fertilizantes e correctivos aplicados por unidade de área, tal como se apresenta no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Itinerário de aplicação de fertilizantes na parcela "Manuel Marques 1"

Sema na	Dias da Plantação	Tipo Operação/Produto	Produto	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
-4	-22 a -28	Correctivo	Gesso	12000	0	0	0
-4	-22 a -28	Correctivo	Estrume de Frango	15m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	76,5	120,0	168,0
-1	-1 a -7	Sólido	6-10-20	400	24	40	80
-1	-1 a -7	Líquido	8-24-0	200	16	48	0
1	1 a 7	Fortificante	Condor	1	0	0	0
1	1 a 7	Fortificante	Growel	0,7	0,021	0	0,112
,02	8 a 14	Fortificante	Retenol	0,4	0	0	0
2	8 a 14	Fortificante	F-Bac	4	0,2	0,6	0
2	8 a 14	Líquido	Nitrato De Cálcio	100	23,25	0	0
3	15 a 21	Fortificante	Carbonpower	230	0	0	0
3	15 a 21	Fortificante	CHAMAE	100	0	0	0
3	15 a 21	Fortificante	Retenol	0,4	0	0	0
4	22 a 28	Fortificante	Impro-Set	0,6	0	0	0
4	22 a 28	Fortificante	F-Ret	6	0	0	0
5	29 a 35	Sólido	18-18-18	100	18	18	18
5	29 a 35	Líquido	Adubo Solução 32 N	100	32	0	0
5	29 a 35	Líquido	Nitromais Micro	300	83,16	0	0
6	36 a 42	Fortificante	Impro-Set	0,6	0	0	0
9	57 a 63	Líquido	Ácido fosfórico	20	0	10	0
10	64 a 70	Fortificante	CaMagic	20	0	0	0
12	78 a 84	Fortificante	Retenol	0,4	0	0	0
12	78 a 84	Líquido	6-3-12	100	6,72	3,36	13,44
13	85 a 91	Líquido	Nitrato de Cálcio com Potássio	100	5,16	0	3,87
13	85 a 91	Fortificante	Retenol	0,4	0	0	0
Total					285,0	240,0	283,4

## Protecção Fitossanitária

A cultura do tomate apresenta vários problemas fitossanitários. Neste contexto contabilizaram-se o tipo de operação requerida na sua aplicação, assim como a data, substância activa, o problema associado, produto comercial e a taxa de aplicação. Face às vulnerabilidades da planta em virtude das condições climáticas, e ao modo de produção, o surgimento de pragas e doenças é recorrente. Relativamente às doenças da cultura os tratamentos realizados são sobretudo preventivos com a aplicação de fitofármacos efectuada em função do índice de folha molhada. Quanto às pragas, recorre-se geralmente ao nível

económico de ataque para efectuar as aplicações. Neste ciclo cultural fizeram-se tratamentos contra as seguintes pragas e doenças (Anexo 3):

- Doenças: Míldio (*Phytophthora infestans*); Oídio (*Leveillula taurica*).
- Pragas: Afídeos (*Myzus persicae*); Lagartas (*Helicoverpa armígera*); Mosca branca (*Trialeurodes Vaporarirum* e *Bemisia tabaci*); Larvas Mineiras (*Liriomyza trifolii*); Traça do Tomateiro (*Tuta absoluta*); Ácaros (*Tetranychus urticae*).

### 3.1.6. Sistema de rega

#### 3.1.6.1. Esquema e Constituição

O sistema de rega instalado na parcela em estudo é um sistema de rega localizada, do tipo gota-a-gota (Figura 3.4). O *layout* da parcela apresenta-se no Anexo 4.



Figura 3.4 – Pormenor do sistema de rega incluindo a conduta porta rampas (manga flexível de polipropileno branco com diâmetro de 101,6 mm), uniões em T e rampas com gotejadores em linha com diâmetro de 16 mm.

A tomada de água da parcela “Manuel Marques 1” é realizada através do Hidrante de rega pertencente à Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira, identificado com o código H343, como se pode verificar na Figura 3.5. Junto ao hidrante de rega está localizado o cabeçal de rega (Figura 3.6), constituído pelos seguintes elementos: 1 - Hidrante H343 da ABLGVFX; 2 - bomba doseadora de fertilizantes - “Tefen 5” 200L H<sup>-1</sup>; 3 - válvula de corte do Hidrante; 4 - filtro de malha “Filtomat M100 6800”; 5 - válvula de escape de 2”; 6 - solenóide 24 V c/programador de retrolavagem; 7 - válvula reguladora de pressão *dorot 6* “ c/ piloto, solenóide 24 V e programador;



Figura 3.5 – Hidrante de rega, H343, da parcela “Manuel Marques 1”.

8 - manómetro de entrada de 4 bar; 9 - manómetro de saída de 4 bar; 10 - tubo de lavage, do filtro de malha. No Anexo 5 apresentam-se os elementos do cabeçal de rega.



Figura 3.6 – Cabeçal de Rega da parcela " Manuel Marques 1".

A parcela encontra-se dividida em cinco sectores de rega, variando os caudais de projecto de cada sector entre 148 e 160 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (Anexo 4). A maioria dos sectores tem uma área aproximada de 7 ha, apresentando o sector em estudo, sector 3, a área de 7,15 ha. A água proveniente do hidrante, após ser filtrada, é transportada por uma conduta principal com 200 mm de diâmetro. Daí deriva uma conduta secundária, com 140 mm, até à válvula sectorial. Esta é uma electroválvula hidráulica da marca *Dorot* (Figura 3.7) de 4" (101,6 mm), associada a um solenóide, uma válvula piloto de 3 vias e um programador.



Figura 3.7 – Válvula Hidráulica Dorot de 4" respeitante ao sector 3.

Estes elementos permitem abrir ou fechar a válvula de forma automática, consoante a programação prévia. A válvula hidráulica alimenta o porta rampas, que é uma manga flexível de polipropileno branca (Figura 3.4) com 101,60 mm (4") de diâmetro e apresentando saídas com o espaçamento de 1,52 m. A ligação das mangas às rampas é realizada com uniões em T de 16 mm de diâmetro. As rampas que abastecem cada linha de cultura são constituídas por tubos de polietileno preto com 16,60 mm de diâmetro (16,20 mm de diâmetro interno),



onde estão inseridos, em linha, os gotejadores de caudal fixo, com um espaçamento de 30 cm, caudal nominal de 1,05 L h<sup>-1</sup>, e pressão nominal de 1,2 bar (Netafim, 2018).

### 3.1.6.2. Programação/condução da rega

A condução de rega, ou seja, a decisão de quando regar e do tempo de rega (e consequentemente da dotação) foi realizada pelo técnico da empresa agrícola. A condução da rega é feita tendo por base um tempo de rega fixo de 2,26 horas, em que durante os períodos iniciais e finais, com menores necessidades hídricas é efectuada uma rega de 2,26 horas com intervalos de tempo variáveis, até se tornarem diárias, e no período de ponta são efectuadas duas regas diárias de 2,26 horas. Este tempo de rega foi definido de modo a ser possível efectuar a rega de todos os sectores durante um dia (2 regas x 2,26 horas x 5 sectores = 22,6 horas) com uma pequena margem de segurança.

A rega é efectuada de modo automático com recurso a um programador do tipo temporizador, parametrizado manualmente. A programação da rega, está expressa na Figura 3.8, onde se observa o tempo de rega para o sector, e os dois horários de rega.



Figura 3.8 – Tempo de rega; horário de início da rega matinal e da rega nocturna.

O Quadro 3.3 mostra as dotações de rega aplicadas ao longo do ciclo e no Anexo 6 apresenta-se o calendário de rega completo. Os valores observados no quadro 3.3, foram obtidos recorrendo à equação 4.1.

Quadro 3.3 – Esquema de rega do sector 3 da parcela "Manuel Marques 1"  
Frequência de rega    Dotação de rega (mm)

Diária	4,7
Bi diária	9,5

## 3.2. Dispositivo experimental

### 3.2.1. Caracterização do solo

Foram recolhidas amostras de solo não perturbadas com o objectivo de complementar as informações já existentes relativas ao solo para permitir o cálculo preciso do balanço hídrico. As amostras obtiveram-se com recurso a cilindros de volume conhecido ( $150\text{ cm}^3$ ) para determinação da curva de pF ou de retenção da água e da densidade aparente do solo (Figura 3.9a). A recolha foi efectuada no início da campanha de rega, em três locais do sector de rega, na linha e a 40 cm da linha, às profundidades representativas das camadas de solo 0-20 cm e 20-40 cm. As amostras foram enviadas para o laboratório de física de solos do INIAV (Instituto Nacional de Investigação Agrícola e Veterinária) em Oeiras.



Figura 3.9 – a) Recolha de amostras de solo não perturbadas (curva de pF e densidade aparente); b) Recolha de amostras de solo perturbadas (teor de água e condutividade eléctrica).

### 3.2.2. Monitorização de água e a salinidade do solo

A monitorização do teor de água do solo foi realizada directamente através do método gravimétrico e indirectamente com recurso a uma sonda capacitiva instalada na parcela pela empresa agrícola, de acordo com a medida 7.5, relativa ao uso eficiente de água. Foram ainda instalados tensiómetros com o objectivo de avaliar qualitativamente o movimento da água no solo após a rega de modo a perceber se ocorre contribuição significativa da água subterrânea para a satisfação das necessidades hídricas da cultura.

O método gravimétrico permite a medição directa do teor de água através da determinação do peso da água numa amostra. Foram colhidas amostras de solo perturbadas com recurso a uma sonda de meia cana, uma marreta, uma faca, uma fita métrica, 27 caixas herméticas de alumínio e nove sacos de plástico (Figura 3.9b). A recolha efectuou-se às profundidades de 20, 40 e 60 cm, uma vez que a profundidade radicular do tomateiro estende-se até esse valor. Cada amostra foi dividida em 2 subamostras, uma para avaliar o teor de água do solo pelo método gravimétrico e outra para determinação laboratorial da condutividade eléctrica. As amostras foram colhidas em três locais do sector de rega

(repetições). Em cada local colheu-se em três pontos, dois no camalhão: um próximo da planta e outro próximo da extremidade do bolbo húmido; e outro na entrelinha. A amostragem foi efectuada com periodicidade semanal durante a campanha de rega. No total foram colhidas 12 amostras de solo. Em laboratório as amostras e os recipientes foram pesados e colocados numa estufa à temperatura constante de 105 °C durante 48 h. Após a secagem a amostra foi pesada, e calculada a diferença para com a amostra inicial, determinando-se o peso da água removida. O teor de água gravimétrico ( $\theta_p$ ) é calculado pela Equação 3.1 (Pereira, 2004):

$$\theta_p = \frac{P_{hum} - P_{seco}}{P_{seco} - Tara} \quad [3.1]$$

onde:  $\theta_p$  é o teor de água gravimétrico (g/g);  $P_{hum}$  é o peso do solo húmido (g);  $P_{seco}$  é o peso do solo seco (g);  $Tara$  é o peso da caixa hermética vazia (g).

O teor de água volumétrico é obtido pela Equação 3.2 (Pereira, 2004):

$$\theta_v = \theta_p \times Dap \quad [3.2]$$

em que:  $\theta_v$ , teor de humidade em volume (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>);  $\theta_p$ , teor de humidade em peso (g/g);  $Dap$ , densidade aparente do solo (g/cm<sup>3</sup>).

Os teores de água no solo obtidos ao longo do tempo com o método gravimétrico foram utilizados para validação dos resultados das simulações do balanço hídrico com o modelo ISAREG e dos dados fornecidos pela sonda capacitiva instalada na parcela pela empresa.

#### 3.2.2.1. Tensiómetros

No dia 24 de Julho, foram instalados dois grupos de tensiómetros de manómetro mecânico para obtenção dos perfis de carga hidráulica (H). A análise destes perfis permitiu avaliar o sentido dos fluxos de água no perfil do solo (drenagem ou ascensão capilar). O primeiro grupo foi instalado nas linhas dos gotejadores e o segundo grupo no camalhão a 40 cm da linha. Em cada grupo instalaram-se 3 tensiómetros às profundidades de 30, 50 e 70 cm. Os tensiómetros foram instalados junto à sonda para posteriormente serem relacionadas as leituras de ambos os instrumentos (Figura 3.10a).

Para a instalação dos tensiómetros foi utilizada uma sonda de meia cana com diâmetro ligeiramente inferior ao da cápsula do tensiómetro. Antes de se introduzirem os tensiómetros no solo envolveu-se a sua cápsula com uma mistura de terra e água, sendo também esta última introduzida no orifício antes do tensiómetro, por forma a garantir um bom contacto entre o solo e a cápsula (Anexo 7).

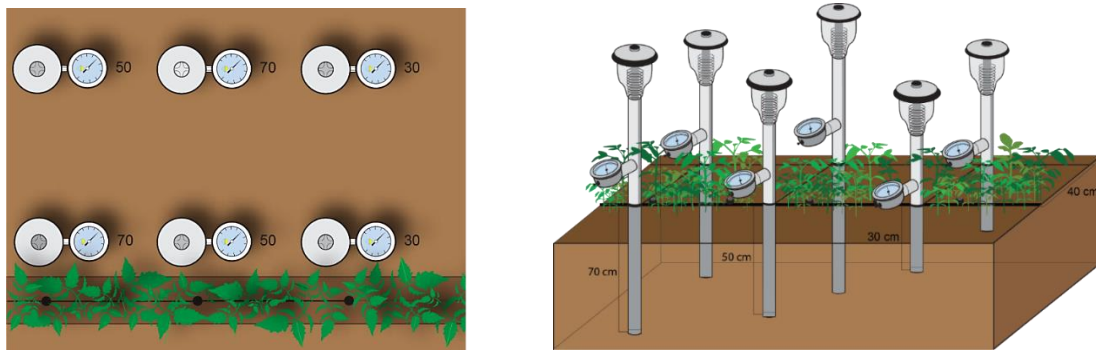


Figura 3.10 – a) Esquema representativo da disposição dos tensiómetros em relação à fita de rega; b) Disposição da bateria de tensiómetros de vácuo instalada na parcela Manuel Marques I

Em cada dia, efectuaram-se três medições da pressão efectiva da água no solo,  $h$ , uma antes da rega, uma hora e três horas após a rega.

A carga hidráulica  $H$  (cm) é calculada por:

$$H = h - Z \quad [3.3]$$

onde:  $h$  é a pressão efectiva em cm, e  $Z$  é o potencial gravitacional que é igual ao simétrico da profundidade, num referencial colocado na superfície do solo e com o eixo OZ orientado positivamente para baixo e com a origem à superfície do solo. Na figura 3.10b estão representadas as profundidades de cada tensiómetro.

### 3.2.2.2. Sondas Capacitivas e Contador volumétrico

A monitorização contínua no tempo do teor de água do solo foi efectuada com uma sonda capacitiva do tipo *EnviroPro* com 40 cm de profundidade com sensores colocados a cada 10 cm. A Figura 3.11 mostra a sonda instalada no local, de coordenadas 38°59'49.7"N 8°54'19.1"W e o respectivo *data logger*.



Figura 3.11 – Sonda EnviroPro de modelo EP100GL, contador volumétrico e *data logger*.

Esta sonda, instalada no dia 21 de Julho, permitiu fazer uma determinação diária do armazenamento de água no solo a várias profundidades. Tratando-se de um sistema de rega gota-a-gota, a melhor localização da sonda para efeito de condução da rega é no volume de solo que recebe a água de rega. Por essa razão a sonda foi instalada no bolbo húmido. A



sonda foi instalada num ponto da parcela (requisito da medida 7.5), tendo servido para monitorizar toda a área.

Para confirmar a informação fornecida pela sonda recorreu-se a um contador volumétrico ligado ao *data logger* que permite registar a data e hora que ocorreram as regas.

### 3.2.3. Dados meteorológicos

O presente estudo utilizou dados meteorológicos diários registados na estação meteorológica de Vila Franca de Xira (38.980809° N, -8.917928° W) pertencente à plataforma *FieldClimate* (Pessl Instruments). Esta aplicação online do software disponibiliza as variáveis meteorológicas necessárias ao cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e a precipitação (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Estação, FieldClimate (Pessl Instruments).

### 3.2.4. Avaliação do Sistema de rega

Foi efectuada a avaliação da uniformidade de distribuição do sistema de rega no sector em estudo, de acordo com a metodologia descrita em Oliveira (2003). Foram seleccionadas três rampas, a primeira à entrada do sector, a segunda a meio, e a terceira no final do sector. Em cada rampa, utilizaram-se quatro pontos de avaliação. Em cada ponto de avaliação, registaram-se os volumes de água recolhidos em quatro gotejadores, de forma a obter-se o caudal médio ( $q_{med,i}$ ). A recolha dos volumes dos gotejadores em cada ponto foi realizada durante 4 minutos. As medições iniciaram-se 10 minutos após o início da rega do sector, de forma a assegurar um regime de escoamento permanente. Para tal recorreu-se a quatro latas, um cronómetro, uma proveta volumétrica de 250 mL, e a um funil.

O cálculo do caudal médio do sector ( $L h^{-1}$ ) foi realizado segundo a equação 3.4:

$$q_{med} = (\sum_{i=1}^n q_{med,i}) / n \quad [3.4]$$

onde  $q_{med,i}$  é o caudal médio de cada ponto de avaliação ( $L h^{-1}$ ) e  $n$  é o número de pontos de medição no sector.

Por fim calculou-se o coeficiente de uniformidade dos caudais do sector,  $CU$  (%) com recurso à fórmula 3.5:

$$CU = \frac{q_{min}}{q_{med}} \times 100 \quad [3.5]$$

onde  $q_{min}$  representa o caudal médio recolhido no quartil mínimo ( $L h^{-1}$ ).



### 3.2.5. Monitorização da cultura do tomate

Realizou-se a monitorização de alguns parâmetros da cultura ao longo da campanha de rega, de modo a identificarem-se os dados culturais de entrada no modelo ISAREG. Esta monitorização consistiu no acompanhamento da altura das plantas, da profundidade das raízes, e das datas de início e duração das fases de desenvolvimento da cultura. Também se estimaram os valores do coeficiente cultural ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, tendo por base o perfil temporal de NDVI da cultura.

#### Curva do coeficiente cultural Kc NDVI

Para a determinação da curva do coeficiente cultural da cultura do tomate procedeu-se à construção do perfil temporal do índice de vegetação NDVI ao longo do ciclo cultural. Este perfil foi determinado através da utilização de imagens multiespectrais disponibilizadas pelo satélite Sentinel 2, que tem como características, a obtenção de imagens de 13 bandas espectrais distintas, com uma resolução espacial de 10 m e uma resolução temporal de 5 dias (ESA, 2018), que permitem a monitorização do desenvolvimento das plantas ao longo do seu ciclo.

#### - Obtenção das imagens Sentinel 2

As imagens multiespectrais do Sentinel 2 foram obtidas através do programa *Copernicus* da Agência Espacial Europeia (ESA). As imagens descarregadas no formato JPEG, foram posteriormente inseridas na aplicação informática SNAP (*Sentinels Application Platform*) disponibilizada pela ESA (Figura 3.13), de forma a ser recortada a área de estudo para posteriormente ser introduzida no software QGIS. Qualquer um dos dois *softwares* está disponível para qualquer utilizador, da forma *opensource*, sendo mais uma ferramenta de acompanhamento da cultura sem qualquer custo para a empresa agrícola o que reforça o interesse na sua utilização. As imagens descarregadas poderão ser de dois níveis de processamento, 2A ou 1C, consoante a disponibilidade de imagens na base de dados do satélite. As imagens do nível 2A, corrigem as reflectâncias de nuvens e aerossóis da atmosfera, *Bottom of Atmosphere*. Sendo o nível 1C, um formato mais básico de processamento de imagem. Neste trabalho utilizaram-se preferencialmente as imagens 2A só se utilizando imagens 1C, quando aquelas não se encontravam disponíveis na base de dados. Devido à presença de nuvens em algumas imagens não foi possível a utilização da totalidade das imagens disponíveis, apresentando-se no Quadro 3.4 as imagens descarregadas.

Quadro 3.4 – Imagens descarregadas do satélite Sentinel 2

Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Dias	25	19, 14 e 24	4 e 29	3, 6, 8, 13, 18, 23 e 26	2, 7, 9, 15, 17 e 22

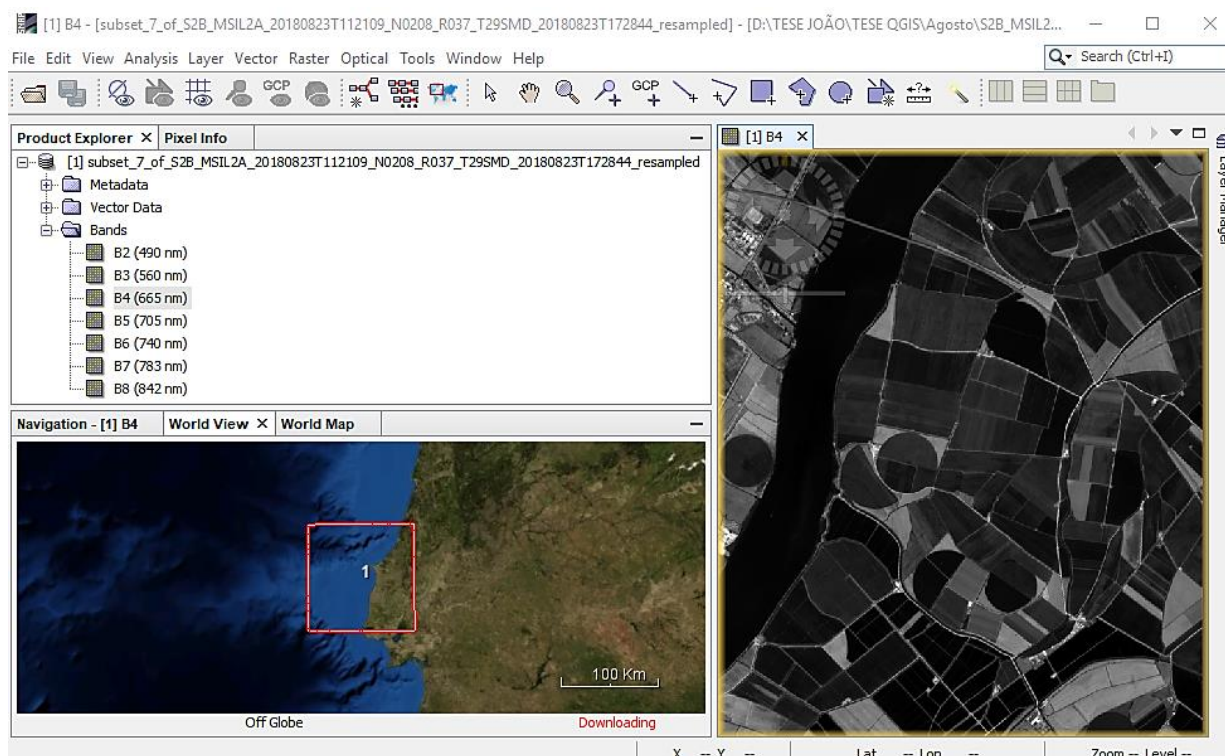


Figura 3.13 – Interface do software SNAP. No canto superior esquerdo encontram-se as bandas importadas, no canto inferior esquerdo, a imagem do satélite S2B (Sentinel 2B) completa e à direita a banda 4 correspondente à banda do vermelho.

#### - Perfil temporal do índice de vegetação NDVI

Uma vez ajustadas as imagens no *SNAP*, procedeu-se ao cálculo do índice de vegetação *NDVI*, através do *plugin* do *QGIS*, *Raster calculator*. Aplicando a equação 3.6 e seleccionando as bandas 4 e 8 (bandas *R* (Vermelho) e *NIR* (Infravermelho Próximo) respectivamente) calcula-se o *NDVI*, como se apresenta na Figura 3.14. Após a determinação dos valores de *NDVI* para cada imagem, realizou-se uma estatística zonal, para obter o valor médio da parcela para cada dia. Com o cálculo realizado para cada dia, foi possível realizar a curva temporal do *NDVI*, para o grupo de imagens das datas disponíveis. Com base nesta curva foi possível extrair as datas fenológicas da cultura e a obtenção da curva de *Kc*.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [3.6]$$

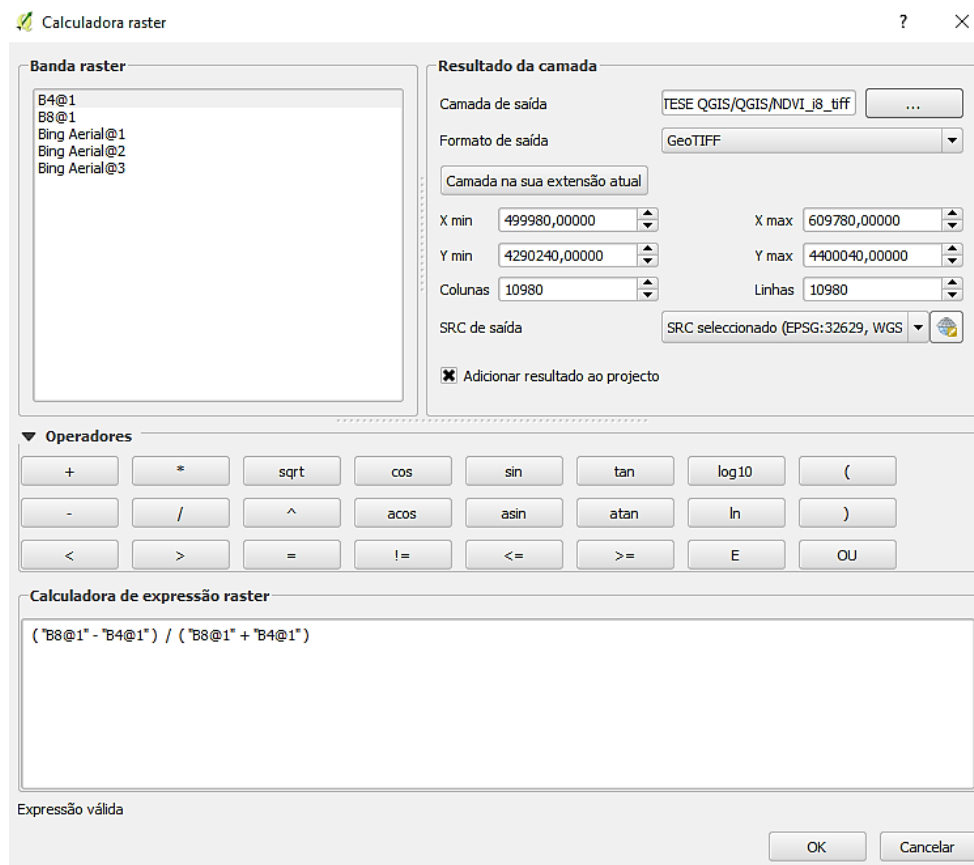


Figura 3.14 – Painel da função Raster Calculator do QGIS utilizada para obtenção de NDVI.

#### - Curva Kc\_NDVI para a cultura do tomate

Após a obtenção do valor médio de NDVI da parcela para todas as imagens e dias disponíveis, procedeu-se à determinação do Kc através de duas equações propostas por D'Urso *et al.* (2006). A equação 3.7 aplica-se ao cálculo do Kc na fase inicial e intermédia do ciclo. Para a fase final do ciclo D'Urso *et al.* (2006) corrige a fórmula anterior para a equação 3.8.

$$Kc = 1.25 NDVI + 0.2 \quad [3.7]$$

$$Kc = 1.5625 NDVI - 0.05 \quad [3.8]$$

### 3.3. Simulação do Balanço Hídrico do solo com o Modelo ISAREG

#### 3.3.1. Funcionamento do modelo

A avaliação da rega efectuada pela empresa agrícola foi realizada através do cálculo do balanço hídrico diário do solo, recorrendo ao modelo ISAREG, cujo esquema se apresenta na Figura 3.15 (Teixeira, 1994). Pretendeu-se, com o uso deste modelo o cálculo da reserva útil de água no solo armazenada na zona radicular do tomateiro ao longo da campanha de rega, permitindo avaliar a exactidão dos diferentes métodos de cálculo do Kc. O programa permite estimar as necessidades de rega e drenagem profunda ocorrida na parcela. Após a avaliação

da rega, utilizou-se o modelo ISAREG para a definição de um calendário de rega otimizado, que permite eliminar a drenagem profunda.

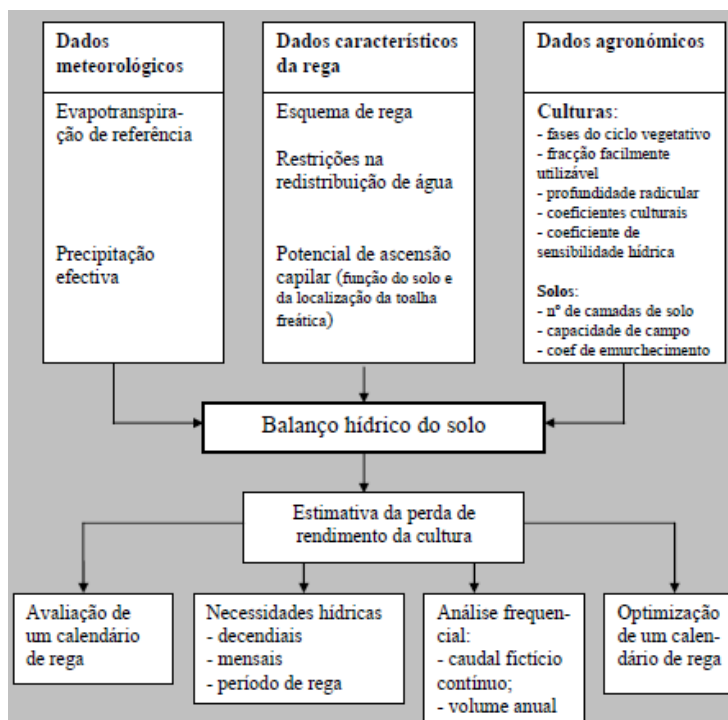


Figura 3.15 – Esquema genérico do programa ISAREG. Fonte: Teixeira (1994).

### 3.3.2. Ficheiros de entrada

Para o funcionamento do modelo é necessário fornecer os dados de entrada que vão ser utilizados na simulação do balanço hídrico. Os dados de base estão divididos em ficheiros agronómicos (solo e cultura), ficheiros de dados meteorológicos e ficheiros característicos de rega como se verifica na Figura 3.16. Todos estes ficheiros são do tipo txt., e devem ser guardados numa mesma directoria, definida no modelo para a leitura dos ficheiros.

#### Ficheiro de dados meteorológicos

Os ficheiros de dados meteorológicos são referentes aos valores da Evapotranspiração de referência e à Precipitação. Os dados das variáveis meteorológicas para o cálculo da  $ET_0$ , foram importados para uma folha de cálculo Excel, provenientes do *website FieldClimate (Pessl Instruments)*, e posteriormente gravados como texto separado por tabulações (.txt), de forma a permitir a leitura por parte do programa.

Para o cálculo da  $ET_0$ , foi utilizada a fórmula de Hargreaves-Samani.

$$ET_0 = 0.0135 \times k_{RS} \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \times Ra \times \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + 17.8 \right) \quad [3.9]$$

em que:

$ET_0$  Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $Ra$  Radiação no topo da atmosfera ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $T_{\max}$  Temperatura Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\min}$  Temperatura Mínima ( $^{\circ}\text{C}$ );  $K_{RS}$  varia entre 0.19 nas zonas costeiras e 0.16 nas zonas interiores. Geralmente a equação aparece escrita para um valor de  $K_{RS} = 0.17$ .

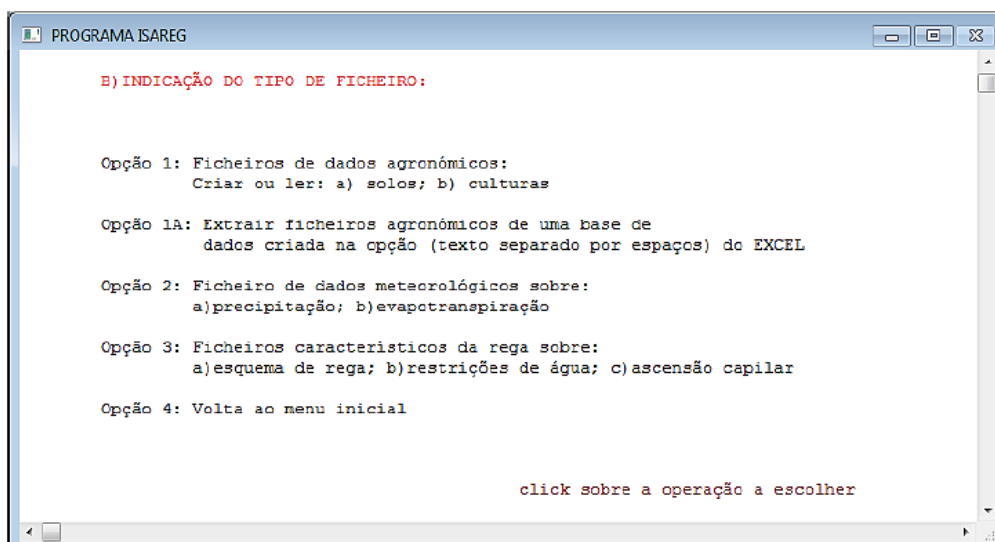


Figura 3.16 – Menu de selecção do tipo de ficheiros de entrada a criar.

#### - Ficheiros Agronómicos

Os ficheiros agronómicos são compostos por ficheiros pedológicos e ficheiros culturais.

#### - Ficheiros pedológicos:

Os ficheiros pedológicos são aqueles ficheiros que particularizam as características do solo a ser utilizado no modelo, como a capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento permanente, e a profundidade potencial de exploração pelas raízes. A obtenção destes parâmetros foi resultado das análises de solo realizadas.

#### - Ficheiros culturais

Quanto aos ficheiros culturais, indicam a variação ao longo do ciclo cultural, de características como, a profundidade radicular ( $z_r$ ), o coeficiente cultural ( $K_c$ ), da fracção facilmente utilizável ( $p$ ) e as fases de desenvolvimento da cultura.

Na generalidade das culturas e no caso da cultura do tomate de indústria, o coeficiente cultural, reveste-se de grande importância uma vez que incorpora as características da cultura no cálculo da  $ET_c$ . A simulação da rega é feita de acordo com as duas metodologias de cálculo de  $K_c$  simples ao longo do ciclo cultural: 1.  $K_{c\_FAO\ 56}$  ajustado (Allen *et al.*, 1998) e 2.  $K_{c\_NDVI}$ .

#### 1. $K_{c\_FAO\ 56}$ ajustado (Allen *et al.*, 1998)

Utilizou-se a metodologia do  $K_c$  simples definido em Allen *et al.* (1998) que corresponde ao método de referência no cálculo da evapotranspiração cultural.

Este método apesar de possuir base científica sólida necessita que se obtenham no campo a duração de cada uma das fases de crescimento da cultura para evitar a principal fonte de erro deste método que consiste numa incorrecta caracterização das fases da cultura.

Nesta metodologia os valores tabelados de  $K_c$  têm de ser corrigidos para as condições edafoclimáticas da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Para estas condições a forma de

ajustamento do  $K_c$  simples é, a que é utilizada para climas sub húmidos com média de humidade relativa mínima diária de 45% e com baixa ou moderada velocidade do vento de  $2 \text{ m s}^{-1}$  (Allen *et al.*, 1998). O ajustamento do coeficiente cultural, segundo o método da FAO 56 (Allen *et al.*, 1998), abrangeu todo o ciclo cultural, nesse sentido foram corrigidos os três coeficientes correspondentes às três fases do ciclo.

Para a fase inicial do ciclo, visto que a principal componente corresponde à evaporação do solo, recorreu-se à Figura 3.17. O esquema da Figura 3.17 estima o  $K_{c \text{ ini}}$ , de acordo com as aplicações de água, seja pela precipitação ou pela rega, com dotações menores que 10 mm.

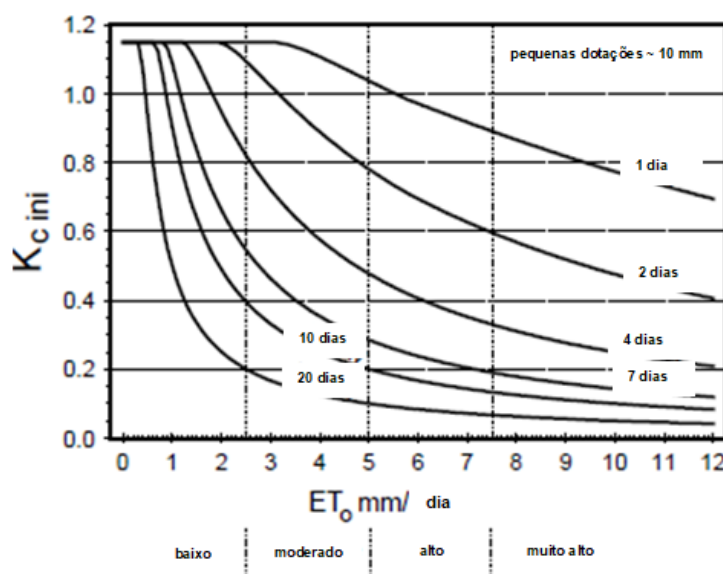


Figura 3.17 – Média de  $K_{c \text{ ini}}$  relacionado com a  $ET_0$  e com o intervalo entre aplicações de água para todos os tipos de solo, com aplicações até aos 10 mm (Adaptado de Allen *et al.*, 1998).

Quanto à fase intermédia, o  $K_{c \text{ mid}}$  é ajustado para as mesmas condições de humidade relativa e velocidade do vento, segundo a seguinte equação:

$$K_{c \text{ mid}} = K_{c \text{ mid (Tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0.3} \quad [3.10]$$

onde:  $K_{c \text{ mid (Tab)}}$  é o valor de  $K_{c \text{ mid}}$  tabelado;  $u_2$  é a média da velocidade do vento;  $RH_{\text{min}}$  é a média da humidade relativa mínima diária e  $h$  é a altura das plantas.

Para a fase final da cultura, o  $K_{c \text{ end}}$  é ajustado para as mesmas condições de Humidade Relativa e velocidade do vento, conforme a seguinte equação:

$$K_{c \text{ end}} = K_{c \text{ end (Tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0.3} \quad [3.11]$$

em que  $K_{c \text{ end (Tab)}}$  é o valor de  $K_{c \text{ end}}$  tabelado.

## 2. $K_{c\_NDVI}$

Esta metodologia assenta na obtenção de imagens multiespectrais através do satélite Sentinel 2, para cálculo do perfil temporal do índice de vegetação NDVI, com uma posterior determinação da curva do coeficiente cultural médio recorrendo às equações anteriormente

referidas de D'Urso *et al.* (2006). Esta forma de determinação do  $K_c$  simples, é um método recente e ainda não tem uma utilização generalizada na prática de campo. Com a curva de NDVI ao longo do ciclo do tomate, é possível observar a variabilidade do vigor vegetativo ao longo do tempo, permitindo uma caracterização mais rigorosa do início e duração das fases de desenvolvimento da cultura.

#### Ficheiro do Esquema de rega

A realização da modelação do balanço hídrico no ISAREG teve de ter em linha de conta a fracção de solo que foi efectivamente regada. Segundo Allen *et al.* (1998), o ajustamento necessário de forma a aproximar a quantidade de água aplicada à parcela por ha, à quantidade de água efectivamente aplicada somente na região do solo humedecida pela rega, é efectuado de acordo com o esquema apresentado na Figura 3.18.

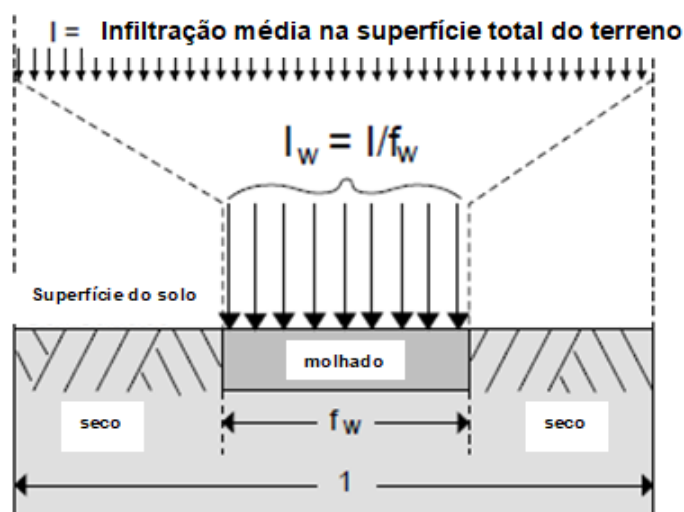


Figura 3.18 – Fracção de solo humedecida. Fonte: Adaptado de Allen *et al.* (1998).

O cálculo que se efectuou para realizar o ajustamento referido utilizou a equação:

$$I_w = \frac{I}{f_w} \quad [3.12]$$

onde:  $I_w$  é a dotação de rega de parte da superfície que é molhada (mm);  $I$  é a dotação de rega para o hectare regado (mm);  $f_w$  é a fracção de solo humedecida pela rega.

Relativamente ao esquema de rega, criaram-se dois esquemas de rega.

Um primeiro esquema para avaliação da rega efectuada pela empresa agrícola, com fixação dos dias em que se realizou a rega, de acordo com o calendário de rega e dotações aplicadas, definidos no ficheiro com o esquema de rega construído em excel (Anexo 6). Os ficheiros de cultura introduzidos na simulação da rega, foram os correspondentes às metodologias anteriormente referidas. O objectivo deste esquema de rega foi avaliar o calendário de rega observado na parcela, com base nos resultados das amostras de solo para

o teor de água volumétrico, e verificar qual das duas metodologias de cálculo de  $K_c$  simples se aproximava mais e mais exacta no cálculo da  $ET_c$ .

O segundo esquema de rega foi definido tendo por objectivo a proposta de um calendário de rega optimizado em que se eliminam as perdas de água por drenagem profunda. Para esta simulação, definiu-se um calendário de rega com o objectivo de optimização do calendário de rega, em que cada rega foi realizada para se atingir 100% da RU. Seleccionou-se a opção do programa para regar todos os dias uma vez que o sistema de rega utilizado é do tipo gota-a-gota.

### **3.3.3. Ficheiros de saída**

Para exportar os resultados provenientes das simulações, o programa cria automaticamente ficheiros de saída. Estes ficheiros de saída relacionados com a simulação da rega apresentam as datas e dotações de rega, a dotação total aplicada, a drenagem e a eficiência de rega. Para que fosse possível ter acesso aos valores da reserva útil de água no solo para todos os dias do ciclo, o programa criou um ficheiro de saída com informação especializada, dbf.txt. Estes valores foram utilizados para comparar com os dados obtidos com o método gravimétrico para avaliação da precisão dos dois métodos de cálculo do  $K_c$ .



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação do Sistema de Rega

Segundo o catálogo (Netafim, 2018), os gotejadores existentes no sistema de rega em estudo apresentam um caudal nominal de  $1,05 \text{ L h}^{-1}$  e um coeficiente de variação de 0,03. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 4.1 e que foram obtidos após o tratamento dos dados da avaliação da rega, o caudal médio do sector,  $q_{med}$ , foi 9.5 % menor, ou seja,  $0,95 \text{ L h}^{-1}$ . Apesar desta diferença, a variabilidade na emissão de caudais foi pequena (caudal mínimo debitado =  $0.93 \text{ L h}^{-1}$ ).

Quadro 4.1 – Caudal médio de cada ponto de avaliação ( $q_{med,i}$ )

Ramal	$Q_{med,i} (\text{L h}^{-1})$				
	Início	1/3 do início	2/3 do início	fim	média
1	0,94	0,94	0,91	0,95	0,93
2	1,05	1,01	0,92	1,02	1,00
3	0,95	0,92	0,91	0,92	0,93
média	0,98	0,96	0,91	0,96	0,95

Os valores ordenados dos caudais medidos encontram-se na seguinte listagem:

1ºquartil	2ºquartil	3ºquartil	4ºquartil
0,91; 0,91; 0,92	0,92; 0,92; 0,94	0,94; 0,95; 0,95	1,01; 1,02; 1,05

Para a aplicação da metodologia referida em 3.2.4 para o cálculo da uniformidade, calculou-se o caudal médio do primeiro quartil, tendo-se obtido o valor  $q_{min} = 0,91 \text{ L h}^{-1}$ . Aplicando a fórmula 3.5 ( $CU = \frac{0,91}{0,95} \times 100$ ) obteve-se um coeficiente de uniformidade de 96%.

Pode afirmar-se que o sector é regado de forma uniforme. Segundo a ASAE (2003) os emissores em linha, com qualquer espaçamento e topografia do solo uniforme/ondulada, declive menor do que 2%, devem apresentar uma uniformidade de emissão de 80-90%. Por outro lado, Oliveira (2011), classifica uma uniformidade do sector superior a 95% de excelentes. Conclui-se que o coeficiente de uniformidade obtido encontra-se dentro dos padrões recomendados para os sistemas de rega gota-a-gota. Daqui resulta que as conclusões baseadas nas observações efectuadas podem ser estendidas a todo o sector de rega. Segundo *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE) as uniformidades de emissão em rega gota-a-gota no projecto devem ser as apresentadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2– Intervalos aconselháveis para a uniformidade de emissão em projecto, EU (%). Fonte: Adaptado de ASAE, 2003 (EP 405.1, ASAE, 2003)

Tipo de emissor	Espaçamento (m)	Topografia	Declive (%)	EU (%)
Emissor em ponto, culturas perenes	> 4	Uniforme ou ondulada	<2 >2	90 a 95 85 a 90
Emissor em ponto, culturas anuais e semi-permanentes	< 4	Uniforme ou ondulada	> 2 > 2	85 a 90 80 a 90
Emissores em linha contínua	qualquer	Uniforme ou ondulada	< 2 > 2	80 a 90 70 a 85

## 4.2. Monitorização da água no solo

### 4.2.1. Método gravimétrico

A Figura 4.1 mostra as curvas de retenção da água no solo, ou curvas de pF, obtidas nas amostras não perturbadas (secção 3.2.1.). A Figura 4.1 mostra o comportamento típico de solos de textura pesada, ou seja, valores elevados de teor de água na saturação ( $pF = 0$ ) e declives suaves nas linhas. Esta última característica reflecte a libertação lenta de água por parte do solo, uma vez que contém boa distribuição de diâmetros dos poros, e consequentemente, uma boa capacidade de retenção para a água. Com efeito, sendo o teor médio de água à capacidade de campo ( $pF\ 2.5$ ) de  $0,38\text{ cm}^3\text{ cm}^{-3}$ , e o teor de água no coeficiente de emurchecimento ( $pF\ 4.2$ ) de  $0,24$ , a capacidade utilizável deste solo toma o valor de  $140\text{ mm m}^{-1}$ .

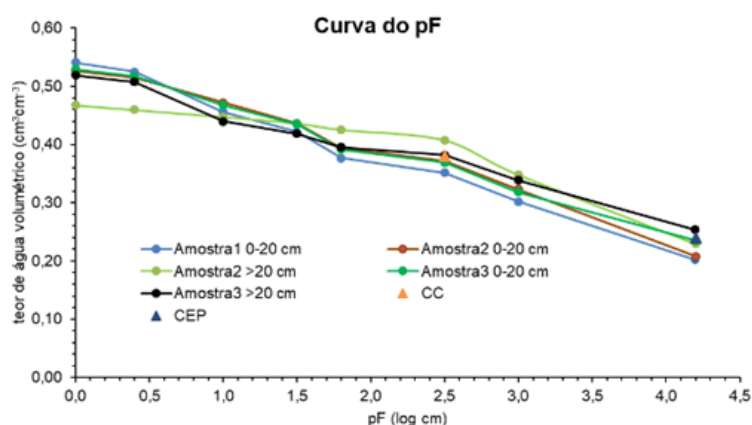


Figura 4.1 – Curva de retenção de água ou curva de pF para o solo da parcela Manuel Marques.

A colheita de amostras de solo com a finalidade de monitorizar a humidade do solo na linha e a 40 cm da linha ao longo do ciclo cultural, iniciou-se no dia 11 de Junho e findou a 12 de Setembro. A Figura 4.2 representa a evolução do teor de água no solo no período referido, e para as profundidades de 15, 30 e 50 cm. Cada ponto apresentado corresponde à média de três repetições sendo o desvio padrão representado pelas barras verticais. Os pontos estão

unidos por linhas tracejadas indicando que não se tratou de medições contínuas, mas que se optou por uni-los para melhor visualizar as tendências de evolução.

Verifica-se que o teor volumétrico de água no solo ( $\theta_v$ ), foi sempre superior ao coeficiente de emurchecimento (CE), para as três profundidades. O  $\theta_v$  não apresenta grandes variações ao longo do tempo (na linha), como é de esperar na rega gota-a-gota uma vez que se trata de uma rega de alta frequência destinada a repor diariamente as perdas por evapotranspiração. A maior variação ocorre aos 15 cm, estando provavelmente relacionada com a evaporação da água à superfície do solo. O facto de se manter relativamente constante aos 50 cm indica que a água de rega atingiu esta profundidade na zona por baixo da linha de rega. Efectivamente, nesta profundidade registaram-se alguns valores acima da CC, o que indica que pode ter ocorrido percolação profunda correspondente a alguma ineficiência na rega.

No período compreendido entre 31 de Julho e 9 de Agosto, o sector recebeu uma dotação de rega bastante significativa. Este período correspondeu aos dias de intenso calor, que se fizeram sentir entre os dias 1 e 5 de Agosto com temperaturas máximas de 45°C registadas na estação meteorológica (04-08-2018, 16:00:00). A condução da rega efectuada pela empresa neste período teve como objectivo minimizar o impacto das temperaturas elevadas, fornecendo água abundantemente às raízes e a manutenção de uma temperatura fresca no solo. Durante este período efectuaram-se duas regas diárias o que explica o aumento do teor de água no solo (Figura 4.2).

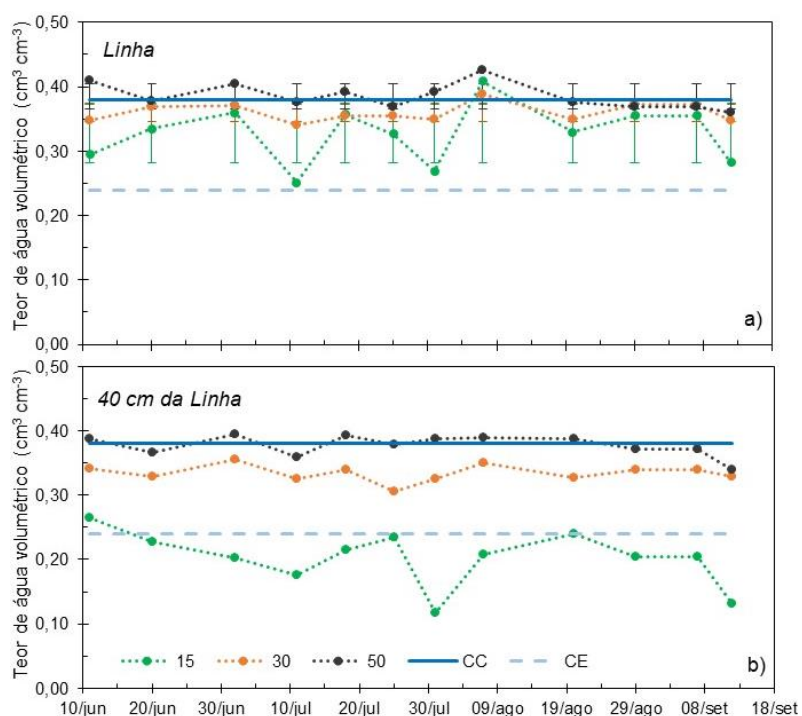


Figura 4.2 – Teor de água no perfil do solo sob o camalhão: a) na linha; b) a 40 cm da linha.

O perfil da curva de distribuição do teor de água no solo a 40 cm da linha, permite definir a dimensão do bolbo húmido. O solo apresenta diferenças texturais ao longo do perfil. Nos primeiros 20 cm a densidade aparente é de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ , para profundidades superiores a 20 cm a densidade aparente é de  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$ , com uma maior percentagem de argila e limo em relação à camada anterior (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Parâmetros físicos do solo da parcela Manuel Marques I			
Profundidade (cm)	dap ( $\text{g cm}^{-3}$ )	CC ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	CE ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )
0-20	1,30	0,36	0,22
20-40	1,42	0,39	0,24

Esta diferença textural, permite uma maior infiltrabilidade para camada superior, e uma maior retenção de água para a camada inferior. Neste sentido o bolbo húmido só se estende para as extremidades do camalhão (40 cm da linha) a partir dos 30 cm de profundidade. Na camada dos 15 cm (40 cm da linha) devido à intensa evaporação o teor de água no solo andou próximo ou abaixo do CE. No entanto, verifica-se que nos dias de dotações intensas houve um aumento do teor de água no solo, para valores próximos do CE. A Figura 4.3 compara a evolução dos teores de água no solo, em cada profundidade, entre a linha e a 40 cm desta, ainda no camalhão.

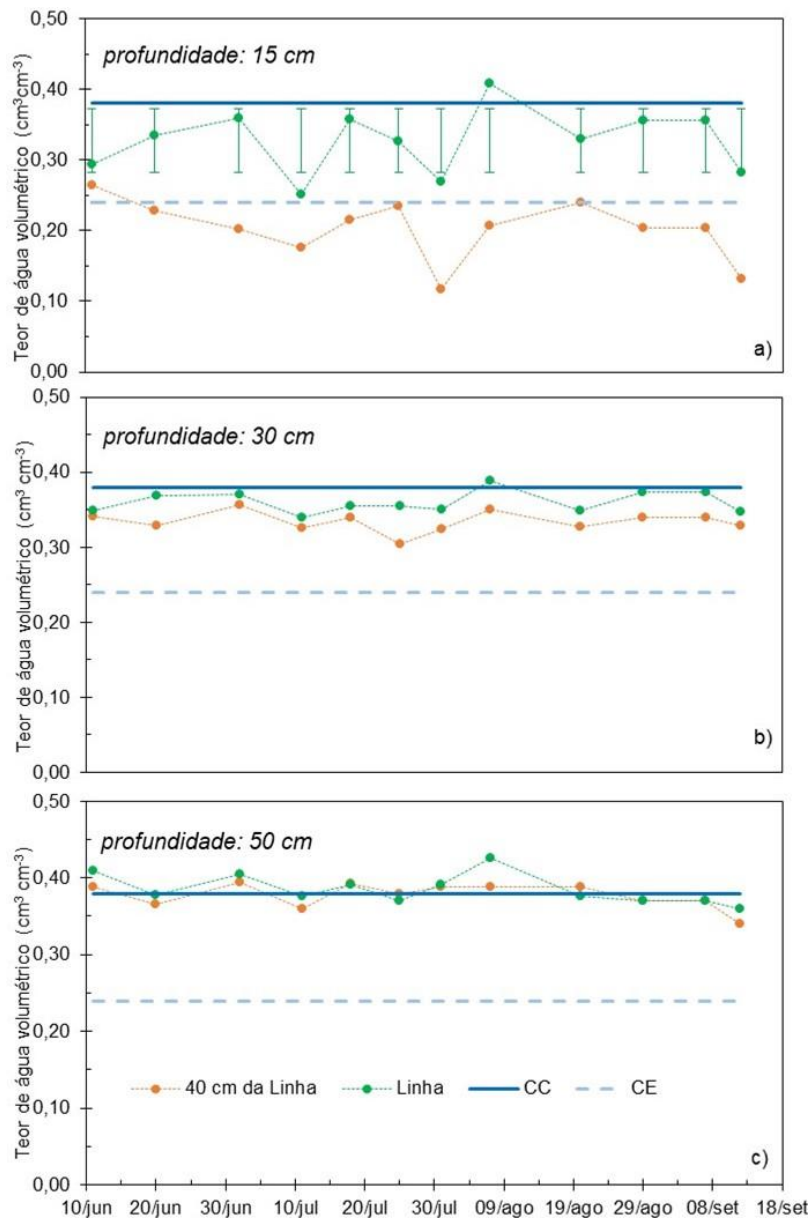


Figura 4.3 – Evolução dos teores de água por camada de solo na linha e a 40 cm da linha, em que: a) 15 cm; b) 30 cm e c) 50 cm.

Visualizando o perfil de solo por camada, aos 15 cm, verifica-se a discrepância entre a zona que é regada e a que não é regada, em que o  $\theta_v$  na linha de rega apresenta-se sempre acima do CE, e a 40 cm da linha, que na maior parte das vezes surge inferior ao mesmo.

Aos 30 cm o  $\theta_v$  em ambas as regiões, surgiu sempre dentro da RU. Ainda assim, não ocorreram situações de ter ultrapassado a CC, o que revela a redistribuição de água no solo e uma extracção pelas plantas. Excepção feita ao dia 8 de Agosto.

À profundidade de 50 cm o  $\theta_v$  manteve-se, durante todo o ciclo, próximo da CC. Estes valores justificam-se por uma maior percentagem de argila e limo e a sua proximidade à toalha freática, com ocorrência de ascensão capilar.

#### 4.2.1.1. Evolução do teor de água no bolbo húmido

Como se observa na Figura 4.4, a variação do  $\theta_v$  no camalhão é dependente do tempo de rega e frequência de rega.

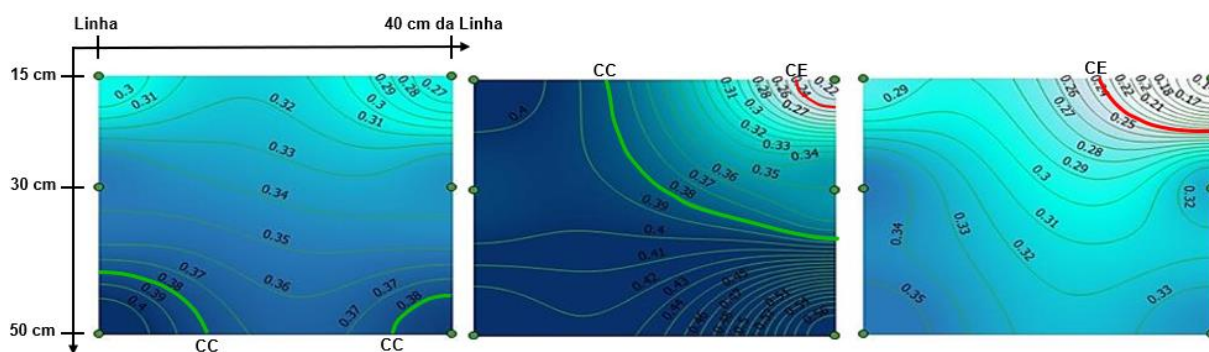


Figura 4.4 - Variação da água no volume de solo do camalhão ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, nos dias 31/07, 07/08 e 12/09. Na linha verde,  $\theta_{CC} = 0,38 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ; na linha encarnada,  $\theta_{CE} = 0,24 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ .

Entre os dias 31/07 e 07/08, realizaram-se as duas regas diárias, o que resultou na saturação do solo ao longo do perfil, com a maior parte da água a acumular-se nas camadas de solo próximas dos 50 cm. Nestes exemplos, são visíveis os pontos correspondentes às leituras do teor de água no solo, e a forma como se distribui, com a frente de humedecimento a chegar a 40 cm da linha. Na Figura encontram-se representadas as linhas de CC e CE, verificando-se o excesso de água nos dias 31/07 e 07/08, e na redução acentuada do teor de água na zona dos 40 cm da linha para a última data.

#### 4.2.2. Tensiómetros

A Figura 4.5 mostra os perfis de carga hidráulica,  $H$ , construídos com as leituras dos dois grupos de tensiómetros (secção 3.2.2.2.), antes, durante e após a rega, com o objectivo de analisar qualitativamente o sentido dos fluxos de água no perfil do solo. Apresentam-se como exemplos os dias 31 de Julho, 7 de Agosto e 12 de Setembro. No Anexo 8 apresentam-se todos os dias de registo e os respectivos cálculos. Em qualquer dos dias apresentados na Figura 4.5 a), para a linha, nota-se a chegada da água à profundidade de 70 cm, 3 h após a rega. No dia 31/07, todo o perfil do solo apresenta um perfil de  $H$  de drenagem, enquanto que no dia 12/09 o perfil é de drenagem abaixo dos 50 cm e de ascensão capilar acima dos 50 cm, provavelmente devido à elevada  $ET_c$  registada nesta fase do ciclo, e consequentemente uma elevada extracção de água pelas raízes.

Na linha, detectaram-se as menores pressões nos tensiómetros, em virtude de ser a região onde se localizavam os gotejadores. Ainda assim no dia 07/08 por ter sido um dia de elevadas temperaturas, denotou-se um aumento de pressão nos tensiómetros aos 30-50 cm, o que devido à elevada evapotranspiração da cultura e ser esta a região de maior densidade radicular.

Os maiores valores de H, em módulo, foram obtidos para os tensiómetros instalados a 40 cm da linha, devido à não aplicação de água de rega nessa área do solo. No entanto, em virtude das características físicas do solo, o bolbo húmido apresentou um desenvolvimento lateral considerável, ocupando grande parte do camalhão. Verifica-se a existência de perfis de ascensão capilar acima dos 50 cm devido à evaporação à superfície de solo nu e à absorção de água pelas raízes que se desenvolveram lateralmente, como se observa na Figura 4.5 b).

O facto de os valores de H nunca serem muito baixos (em módulo) aos 50 cm parece indicar que há chegada de água lateralmente, pertencendo este ponto ao bolbo molhado formado pela rega. Abaixo dos 50 cm, o perfil de carga hidráulica mostra equilíbrio, ou seja, deverá existir uma toalha freática perto, que mantém o teor de água no solo relativamente constante, embora o fluxo de ascensão capilar não seja elevado.

#### 4.2.3. Sondas Capacitivas

A Figura 4.6 representa os registos armazenados pelo *data logger* da sonda *EnviroPro*, no *software Irristrat*, que mostram a evolução do teor de água volumétrico no solo (% volume) na parcela Manuel Marques I. Os registos dizem respeito aos 4 sensores que constituem a sonda *EnviroPro*, cada um responsável por ler 10 cm de solo.

Através da visualização da Figura 4.6, verifica-se que a evolução do teor de água no solo indicado pela sonda, iniciou-se com valores anómalos, constatando-se que a 10 e 20 cm apresentaram um funcionamento deficiente durante toda a campanha. No início do mês de Agosto, que foi quando a dotação de rega aumentou (tempo de rega), face ao elevado calor que se fez sentir, esperava-se que os sensores respondessem a esse aumento de humidade. Como se demonstra, nessa altura, não há picos sucessivos que correspondam a essas regas. Segundo o relatório do dia 22 de Agosto disponível na aplicação *Irristrat* fornecido pela empresa de monitorização de rega, não existe uma resposta evidente da sonda às regas. Sendo que segundo este relatório esta falta de coerência dos valores é devida a uma má instalação do aparelho causando a presença de ar entre os sensores e o solo envolvente. Como se pode verificar nesta situação, a correcta instalação da sonda, num local representativo da parcela, assim como a respectiva calibração reveste-se de importância para que, o desempenho do aparelho seja de acordo com o esperado e funcione como uma ferramenta de apoio à condução da rega.

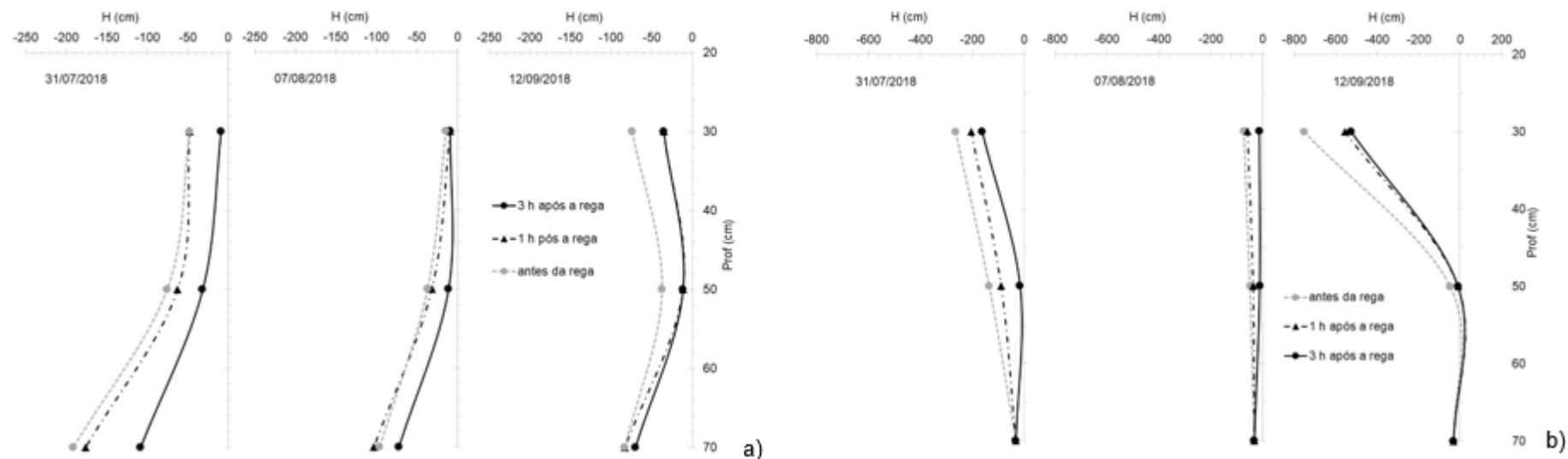


Figura 4.5 – Evolução dos perfis de carga hidráulica (H), para três dias da época de rega tomados como exemplo a) na Linha e b) a 40 cm da linha.

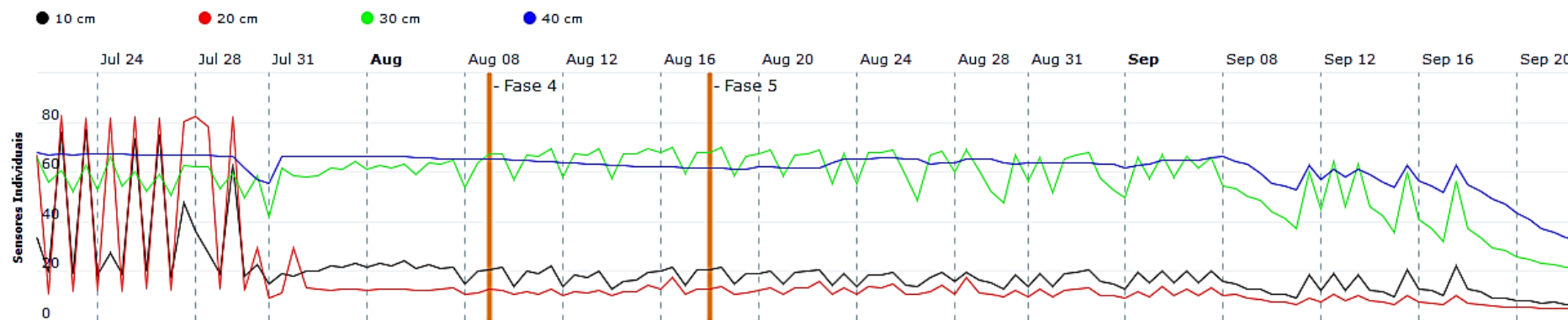


Figura 4.6 – Evolução do teor de água volumétrico medido pela sonda EnviroPro EP100GL (*software Irristrat* da Hidrosoph), às profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm.



A medida 7.5 para além da utilização de sondas, requiere a realização do balanço hídrico para a condução da rega com uma periodicidade mínima semanal. Com a realização do balanço hídrico, efectua-se uma calendarização da rega servindo as sondas de humidade do solo para monitorizar a sua aplicação. Um mau funcionamento da sonda, não pondo em causa a correcta condução da rega, não permite efectuar eventuais correcções que sejam necessárias. Sendo, que de acordo com a medida 7.5, o que distingue um regante de classe A de um regante de classe B é a monitorização de água no solo através de uma sonda de humidade do solo, salienta-se, assim, a necessidade da sua correcta instalação por parte de técnicos especializados para garantir o seu correcto funcionamento.

### **4.3. Monitorização da Condutividade Eléctrica**

#### **4.3.1. Evolução temporal da condutividade eléctrica**

As condutividades eléctricas recolhidas às profundidades de 15, 30 e 50 cm, tanto para a linha como para 40 cm da linha, estão representadas na Figura 4.7. Observa-se a deposição dos sais no camalhão ao longo do tempo em virtude da aplicação de água de rega. É possível observar um maior valor de sais a 40 cm da Linha em relação à Linha, na maior parte do perfil de solo, o que está de acordo com a sua acumulação no exterior do bolbo húmido.

Como o perfil de solo na Linha (Figura 4.7 a), é a região do camalhão onde ocorre rega, devido ao gradiente hidráulico, os sais são deslocados para as camadas mais profundas, ocorrendo acumulação a partir dos 50 cm. Aos 15 cm uma maior acumulação de sais, deve-se à aplicação de adubos líquidos provenientes da fertirrega associados, que transportam sais que se acumulam devido à evaporação do solo.

A 40 cm da Linha (Figura 4.7 b) e aos 15 cm de profundidade, registaram-se os maiores teores de sais da amostragem. Um número elevado de tratamentos fitossanitários, o facto deste volume de solo estar no limite exterior do volume do bolbo húmido, associado à evaporação, leva a acumulação de sais nesta região. Aos 30 cm de profundidade manteve-se constante, e com teores de sais baixos, em resultado do bolbo húmido estender-se até esta zona do perfil, como verificado nos tensiómetros e à extracção das raízes. Ainda assim, o teor de sais neste volume de solo, é superior ao registado na Linha, uma vez que este, já representa o limite do bolbo húmido.

Quanto à evolução da condutividade eléctrica do solo, verifica-se que a tendência foi de um aumento generalizado, ao longo do ciclo cultural. O teor de sais, no início do ciclo foi baixo, devido à precipitação do período Outono-Inverno que lixiviou os sais e à cultura de cobertura da aveia que extraiu os sais. Porém, com o desenrolar do ciclo, o teor de sais, foi visivelmente aumentando, em virtude do aumento da temperatura, tratamentos fitossanitários, e fertirrega. O técnico de rega, na calendarização da rega, teve em conta as necessidades hídricas, assim como a fracção de lavagem de sais, aumentando assim a dotação de rega. Na Figura 4.7 (a

e b) apresenta-se uma recta a tracejado que corresponde à condutividade eléctrica da água de rega (CE ar), sendo que abaixo desse valor, verifica-se que o teor de sais mantém-se relativamente constante ao longo do ciclo e que é a partir desse valor que se expressa a fracção de lavagem. Caso o técnico não aplicasse a fracção de lavagem e não se tivesse realizado a cultura de cobertura, provavelmente, o teor de sais no solo iria continuar a aumentar ao longo do tempo. A proximidade da toalha freática e da camada salina (0,80-1,00m), associada ao fenómeno de ascensão capilar, provocaria o agravar desta situação.

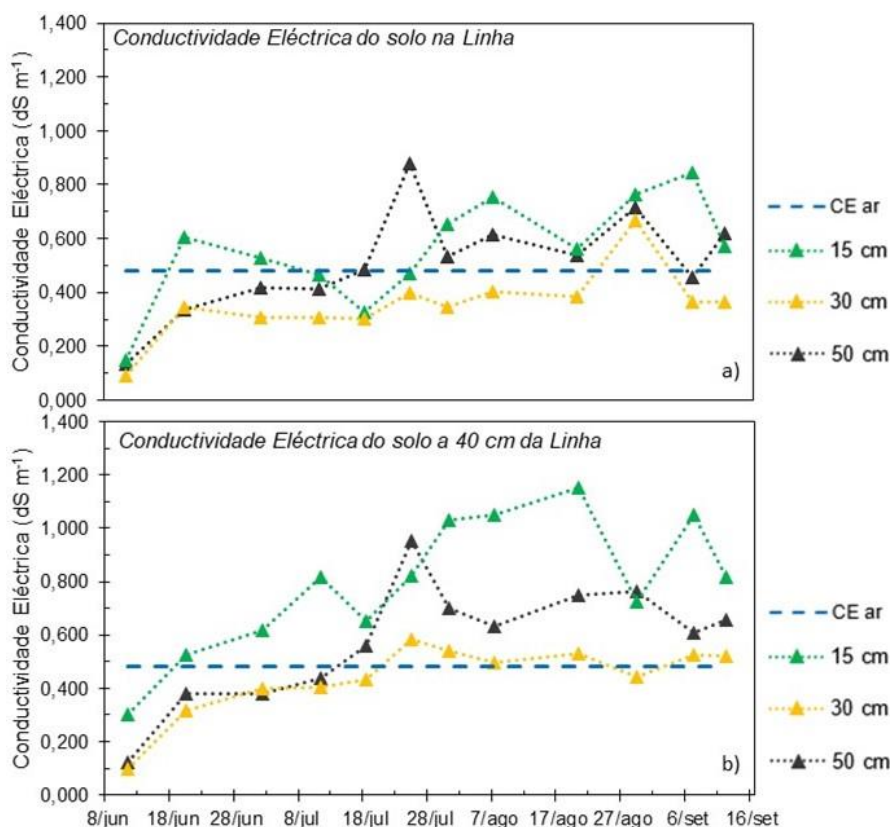


Figura 4.7 – Evolução da Condutividade Eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) do solo ao longo ciclo do tomate, para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, a) na Linha e b) a 40 cm da Linha.

No entanto, face aos resultados provenientes do laboratório, através do extracto de saturação, considera-se que o solo, é um solo sem efeitos salinos e sem problemas para as culturas (*Soil Test Methods for the Southern Region of the United States*, 1983), visto que a condutividade eléctrica do solo a  $25^{\circ}\text{C}$  situa-se entre os 0 e os  $2 \text{ dS m}^{-1}$ . Este resultado vai de acordo com Jones (1999), que refere que a máxima condutividade eléctrica tolerada sem perda significativa de rendimento, ronda os  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ , para o tomate de indústria.

Um dos factores que levou à necessidade de aumentar os valores das dotações de rega, para além das próprias necessidades hídricas das plantas, foram os sais provenientes da água do rio Tejo e do subsolo através da ascensão capilar, sendo por esse motivo necessário considerar a fracção de lavagem no cálculo das dotações de rega. No Quadro 4.4 apresentam-

se as principais propriedades da água de rega, mostrando no Anexo 9 esta análise mais detalhada.

Quadro 4.4 – Análise à água de rega proveniente da EE do Conchoso (Junho 2018)

pH	6,5
$C_{e\ ar}$ (dS m <sup>-1</sup> )	0,48

#### 4.3.2. Evolução da Condutividade Eléctrica no bolbo húmido

Na Figura 4.8, verifica-se a distribuição da concentração de sais no volume de solo do camalhão. Como pode observar-se pelas imagens, foi aplicada uma fracção de lavagem na condução da rega, o que se repercutiu em menores valores de condutividade eléctrica registados na região da linha. É visível, que a difusão da água no bolbo leva a acumulação de sais na zona dos 40 cm da linha, como é característico do bolbo húmido.

Na zona destacada pela linha azul a tracejado, que representa o valor da condutividade eléctrica da água de rega, observa-se uma diminuição dos valores de salinidade devido à extracção radicular.

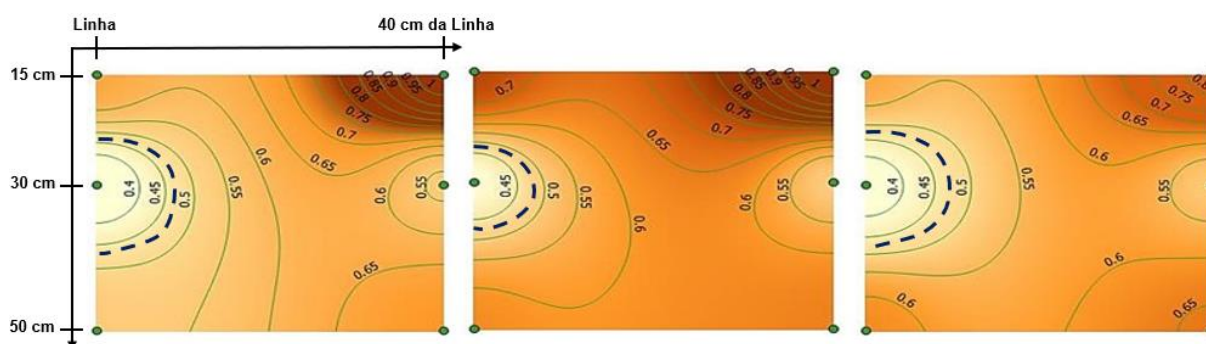


Figura 4.8 – Variação da Condutividade Eléctrica (dS m<sup>-1</sup>) no volume de solo do camalhão, para as profundidades de 15, 30 e 50 cm, nos dias 31/07, 07/08 e 12/09. Linha Na linha azul tracejada,  $C_{e\ ar}$  = 0,48 dS m<sup>-1</sup>.

#### 4.4. Extracção de parâmetros culturais

##### 4.4.1. Monitorização da cultura

Através da monitorização da cultura com base em observações *in situ*, realizou-se a extracção de parâmetros culturais, que ofereceram um apoio importante na delimitação das fases de desenvolvimento da cultura e consequentemente na definição do calendário de rega através da realização do balanço hídrico do solo.

Observou-se a profundidade radicular, a altura das plantas e foram registadas as datas em que houve alteração de fases fenológicas (Quadro 4.5). Nesse contexto registou-se ainda a duração de cada fase, que resultou num ciclo de 124 dias, conforme referido na secção na 3.1.4.

Quadro 4.5 – Parâmetros culturais, datas de observação e início das fases fenológicas

Data de observação	Altura das plantas(cm)	Profundidade radicular (cm)	Início/Fase Fenológica	L (dias)
22/mai	13,0	10,0	22/5 Transplantação	24
11/jun	25,0	10,0		
20/jun	32,9	15,0		
2/jul	51,1	20,0	14/6 Desenvolvimento Vegetativo	34
11/jul	59,9	40,0		
18/jul	62,7	40,0		
25/jul	65,3	40,0	18/7 Fase Intermédia (Floração + Vingamento)	39
31/jul	65,3	40,0		
7/ago	65,5	40,0		
20/ago	55,0	40,0		
29/ago	50,0	40,0	26/8 Maturação	27
7/set	50,0	40,0		
12/set	50,0	40,0		
			22/9 Colheita	Total:124

#### 4.4.2. Perfil temporal de NDVI

Uma vez importadas todas as imagens com qualidade (ausência de nuvens) do satélite Sentinel 2, e a selecção das bandas NIR e R, procedeu-se ao cálculo do NDVI recorrendo à ferramenta *Raster calculator* do QGIS.

A realização de uma estatística zonal, permitiu a obtenção dos valores médios de NDVI para a parcela em estudo, correspondente a cada dia. A partir dos valores de NDVI obtidos, aplicou-se a equação de D'Urso *et al.* (2006), e o consequente cálculo de  $K_c$ . De seguida foi construída a curva de distribuição de NDVI e a curva de distribuição de  $K_c$  para o ciclo do tomate como mostra a Figura 4.9. Pode visualizar-se na Figura 4.9, que a curva de  $K_c$ -NDVI equipara-se à curva de variação típica de  $K_c$  descrita no FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). Um menor vigor vegetativo, reflecte-se num  $K_c$  menor, e em menores necessidades hídricas, já num maior vigor, a planta surge com maiores necessidades de rega, e com um  $K_c$  superior (Quadro 4.6).

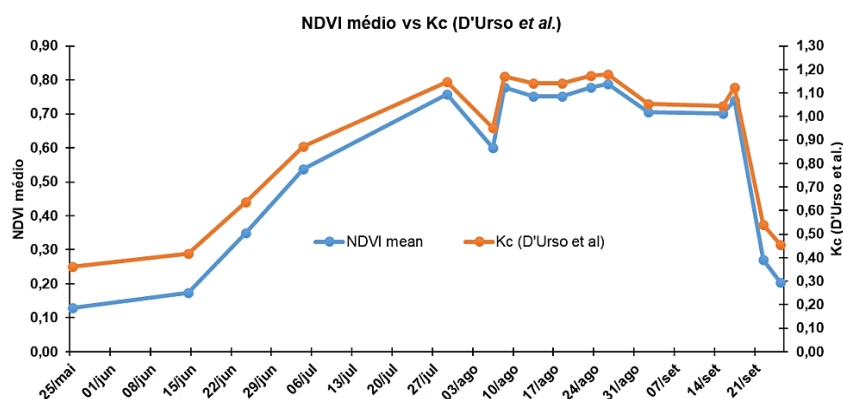


Figura 4.9 – Curva de distribuição do NDVI e curva do  $K_c$  simples ao longo ciclo do tomate.

Na fase inicial, relativo ao período de 22/5 a 14/06, registou-se um desenvolvimento lento, marcado pela crise de transplantação e devido às baixas temperaturas (Figura 4.10). A partir do dia 14/06, nota-se o começo da fase de crescimento rápido, em que a cultura, cresce linearmente, emitindo flores, e atingindo a fase intermédia no máximo valor de NDVI, verificado a 08/08 (Figura 4.11).

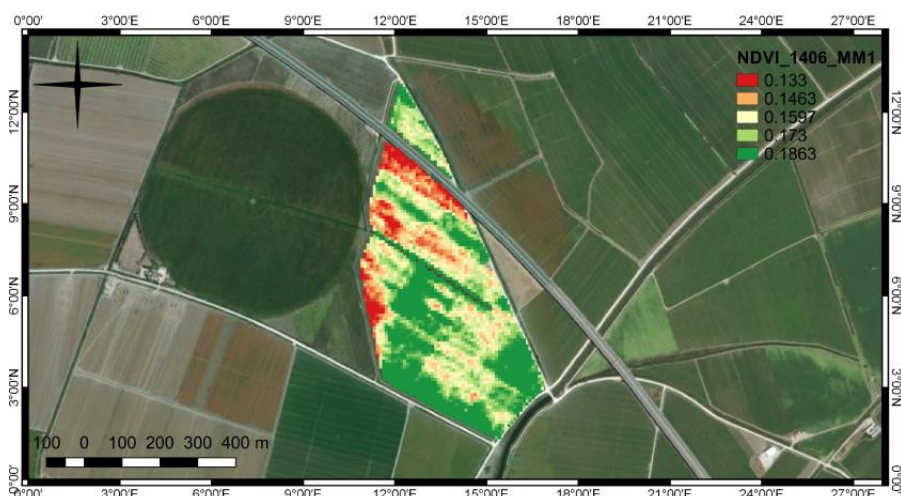


Figura 4.10 – Imagem de NDVI do dia 14/06 da parcela Manuel Marques I, correspondente ao período inicial da cultura.

Entre os dias 27/07 e 08/08, registou-se um significativo abaixamento de NDVI, em especial no dia 03/08, justificado pela onda de calor que invadiu Portugal, com temperaturas máximas de 45°C (04-08-2018, 16:00:00), registadas na estação meteorológica da empresa. Estas condições tiveram um efeito nefasto sobre o processo fotossintético, alterando a assinatura espectral das folhas e assim diminuindo o valor de NDVI.

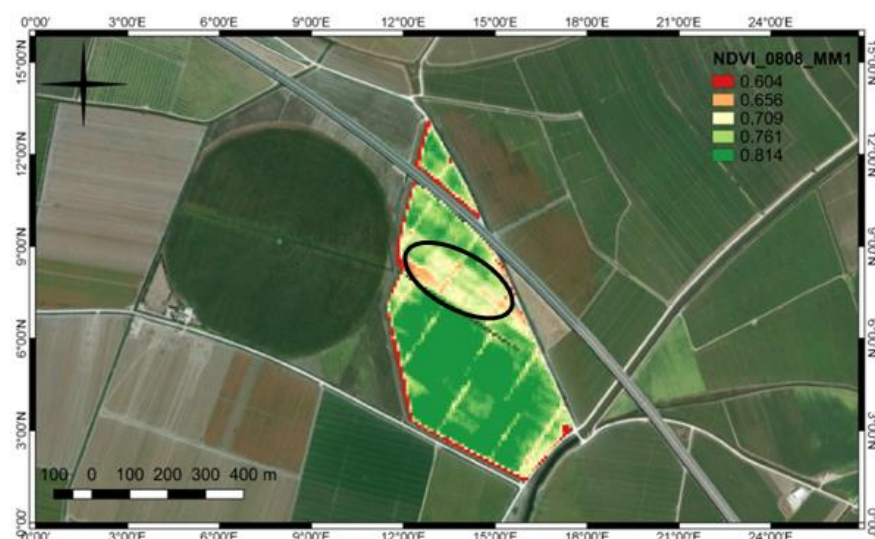


Figura 4.11 – Imagem de NDVI do dia 08/08 da com a parcela Manuel Marques I delimitada, correspondente à fase intermédia da cultura.

Uma vez terminado esse período, as plantas mostraram resiliência, tendo recuperado, e voltaram a ter o índice NDVI próximo de 0,8 no dia 10/08. A fase reprodutiva terminou no



dia 26/08, com a cultura a entrar na fase final, correspondendo ao período de maturação dos frutos e à diminuição gradual de NDVI (Figura 4.12).

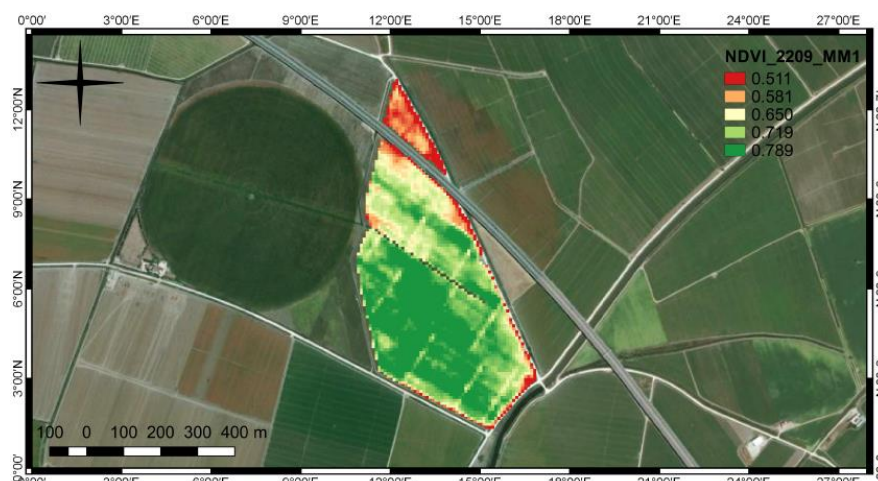


Figura 4.12 – Imagem de NDVI do dia 22/09 da parcela Manuel Marques I, correspondente ao período final da cultura.

Na maioria das imagens (Anexo 10) registaram-se manchas que comprovam a variabilidade na topografia e na textura da parcela Manuel Marques I, que resultam numa heterogeneidade da produtividade final. Na parcela surgiu um local que se destaca pelos baixos valores de NDVI, verificado em todos os mapas realizados ao longo do ciclo. A meio da parcela surge uma depressão no terreno. As plantas presentes nessa região foram alvo de um excesso de água ao longo do ciclo, causadas pelas características físicas referidas. Esse excesso de água, provocou encharcamentos, o que levou ao enfraquecimento e apodrecer de algumas raízes devido ao pouco arejamento do solo. Como está indicado na Figura 4.11, a região da parcela relatada, é a que surge com NDVI entre 0,656 e 0,709, e envolta a negro.

Quadro 4.6 – Valores de NDVI médios e Kc\_NDVI calculados ao longo do ciclo do tomate

Data	NDVI médio	Kc (D'Urso <i>et al.</i> )
25/mai	0,129	0,362
14/jun	0,173	0,417
24/jun	0,349	0,636
4/jul	0,538	0,872
29/jul	0,757	1,146
6/ago	0,600	0,950
8/ago	0,777	1,171
13/ago	0,752	1,140
18/ago	0,753	1,141
23/ago	0,778	1,173
26/ago	0,788	1,181
2/set	0,706	1,053
15/set	0,756	1,131
17/set	0,701	1,046
22/set	0,739	1,124
25/set	0,272	0,539
27/set	0,203	0,454

#### 4.4.3. Coeficientes culturais

Definido a duração das fases de desenvolvimento da cultura através da monitorização das características morfológicas (como a profundidade radicular, altura, e data de início das

fases fenológicas) e da curva de NDVI obtida, determinou-se para cada um desses períodos o valor médio do  $K_c$ , quer para a metodologia da FAO 56 quer para a do NDVI, como mostra o Quadro 4.7. Os valores de  $K_c$  obtidos para a metodologia da FAO 56, tem em conta o ajuste climático. Nesse sentido o  $K_c$  apresentado no Quadro 4.7, é o  $K_c$  ajustado para as condições climáticas locais.

Quadro 4.7 – Duração das fases de desenvolvimento e valores de  $K_c$  inicial, médio e final para as duas metodologias de cálculo do  $K_c$  simples

Metodologia	L ini	L desen	L inter	L final	Total	$K_c$ ini	$K_c$ med	$K_c$ final
FAO 56 ajustado	24	34	39	27	124	0,6	1,14	0,8
NDVI						0,4	1,13	1,0

O Quadro 4.8 apresenta os dados de entrada da cultura introduzidos no modelo ISAREG para a simulação do calendário de rega e através da realização do balanço hídrico.

Quadro 4.8 – Dados introduzidos no ficheiro da cultura do tomate para as duas metodologias de cálculo do  $K_c$  simples

Fases:	A	B	C	D	E	F
Início das fases do ciclo vegetativo	22/5	14/6	18/7	29/7	26/8	18/9
Fracção fácil/ utilizável, p (%)	40	40	40	40	40	40
Profundidade das raízes(m)	0.1	0.2	0.35	0.35	0.35	0.35
Coefficientes culturais:	FAO 56		NDVI			
Fase de estabelecimento	22/5 a 14/6	0.6	0.4			
Fase de desenvolvimento vegetativo	14/6 a 18/7	0.6 a 1.14	0.4 a 1.13			
Fase intermédia	18/7 a 26/8	1.14	1.13			
Fase final da cultura	26/8 a 19/9	1.14 a 0.8	1.13 a 1.0			

#### 4.5. Balanço Hídrico do solo para avaliação do calendário de rega

Efectuou-se a modelação do balanço hídrico do solo com o modelo ISAREG, para avaliação do calendário de rega na parcela Manuel Marques I. Houve a necessidade de definir o volume de controlo. Apesar da distância entre linhas ser 1,5 m, a fracção regada considera apenas a zona ocupada pelas raízes onde se aplica a água de rega (bolbo húmido). Esta fracção foi definida em função da observação das raízes e dos teores de água no solo tendo sido atribuído um valor de 0,6, o que corresponde à fracção de solo humedecida no camalhão. Esta medida permite fazer um ajustamento, da dotação de rega aplicada no hectare regado à dotação de rega realizada no camalhão, que é o caso da rega localizada (secção 3.3.2). A dotação de rega aplicada na parcela foi de 522,5 mm para o hectare, no camalhão e para o volume de controlo foram aplicados 870,9 mm, que é o volume que se definiu para a simulação no ISAREG (Quadro 4.9).

Para o cálculo da dotação de rega recorreu-se a seguinte equação:

$$D = \frac{q \text{ médio} \times N^{\circ} \text{ horas de rega}}{a \times f_w} \quad [4.1]$$

Em que  $a$  corresponde área da malha dos gotejadores. Esta equação foi aplicada considerando que o caudal médio é de  $0,95 \text{ L h}^{-1}$ ,  $a = 1,5 \times 0,3 \text{ m}^2$  e  $f_w = 0,6$ .

Quadro 4.9 – Regas observadas, introduzidas no ISAREG, e fracção de solo humedecido		
Dotação de Rega observada (mm)	Dotação de Rega Ajustada ao camalhão no ISAREG (mm)	Fracção de solo humedecido (adimensional)
522,5	870,9	0,6

#### 4.5.1. Metodologia Kc FAO 56

Efectuou-se a avaliação do calendário de rega com o valor de  $K_c$  obtido pelo método do FAO 56 (Quadro 4.10). Verificou-se que para a dotação total de rega aplicada de 522,5 mm, originou-se uma drenagem de 154,0 mm. Este valor representa a perda de água devido ao excesso de rega, culminando numa eficiência de rega de 70,5% (Quadro 4.10). A reserva útil de água no solo, como é apresentada na Figura 4.13, andou sempre próxima ou superior à CC, à excepção da fase final da cultura. Nas fases de crescimento rápido (Junho) e intermédia (Agosto) da cultura, verificaram-se os maiores casos de perda de água por drenagem.

Quadro 4.10 – Volume fornecido durante o período de rega, perdido por excesso de água de rega e eficiência de rega, para a rega observada (metodologia Kc FAO 56), ISAREG

Dotação de Rega (mm)	Drenagem (mm)	Eficiência de Rega (%)
522,5	154,0	70,5

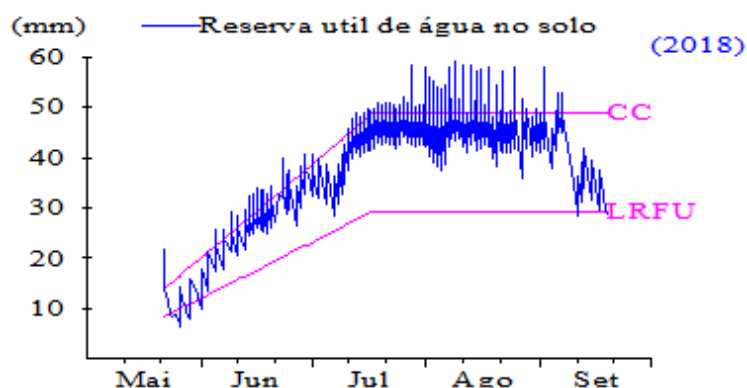


Figura 4.13 – Variação da reserva útil de água no solo para a rega observada (metodologia Kc FAO 56), ISAREG.

Comparando os valores simulados pelo modelo, % de água no solo com os valores do método gravimétrico, observa-se a sua semelhança para os dias em que se realizou a amostragem (Figura 4.14).

De forma a confirmar a semelhança entre os dados simulados e os dados observados, realizou-se uma recta de regressão linear como mostra a Figura 4.15, com base no valor da reserva útil de água no solo. O resultado foi uma nuvem de pontos disposta ao longo da recta de regressão, com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,907, confirmando uma boa correlação existente entre os dados simulados e os dados observados.



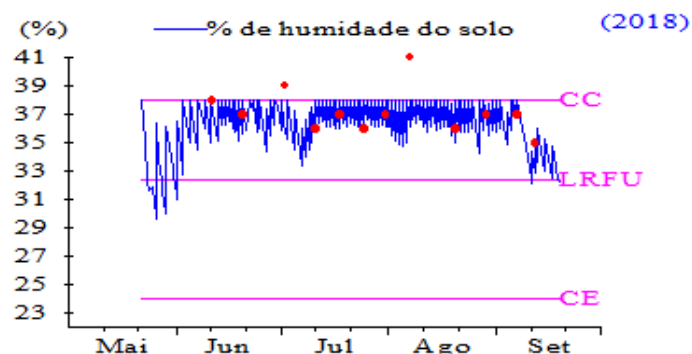


Figura 4.14 – Variação da % de água no solo (linha azul) para a estratégia de  $K_c$  FAO 56 na rega observada, ISAREG, em relação com os registos obtidos pelo método gravimétrico (pontos encarnados).

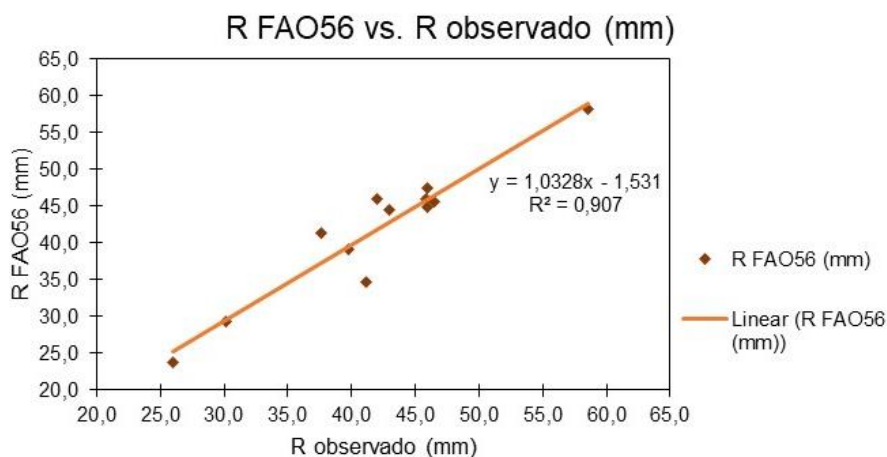


Figura 4.15 – Recta de regressão que relaciona a Reserva de água no solo obtida através da metodologia de  $K_c$  FAO 56 e a reserva de água no solo observada nos dias de amostragem.

Para avaliar a incerteza desta metodologia, recorreu-se à variável estatística Raiz do Erro Quadrático Médio, que se apresenta no Quadro 4.11. O valor obtido para essa variável estatística foi de 2,66 mm. Este valor, revela que entre os valores da Reserva de água no solo simulados e os observados, há um erro aproximado de 2,66 mm. Ainda se determinou o erro médio e o erro relativo de forma a verificar, a magnitude da diferença existente entre os dados observados e os estimados pelo modelo. Verifica-se que quanto ao erro médio há uma ligeira tendência para sobrestimar o valor observado em 0,2 mm, no caso do erro relativo, informa que ocorre um erro de 5% do valor estimado em relação ao observado.

Quadro 4.11 – Erro médio (mm), Erro relativo (%) e Raiz do Erro Quadrático Médio (mm), entre os dados observados e os dados simulados através da metodologia do  $K_c$  FAO 56

Erro médio	0,2
Erro relativo	5%
REQM	2,66

#### 4.5.2. Metodologia $K_c$ \_NDVI

Quanto a avaliação da rega observada com a metodologia  $K_c$ \_NDVI, para um volume fornecido durante o período de rega de 522,5 mm, as perdas de água por drenagem rondaram os 179,0 mm, correspondendo a uma eficiência de rega de 65,7% (Quadro 4.12). A reserva

útil de água no solo, como está apresentado na Figura 4.16, andou sempre próxima da CC, à excepção da fase final. Os maiores casos ligados às perdas de água por drenagem deram-se nas fases de crescimento rápido e intermédia da cultura.

Quadro 4.12 – Volume fornecido durante o período de rega, perdido por excesso de água de rega e eficiência de rega, para a rega observada (metodologia  $K_c$ -NDVI), ISAREG

Dotação de Rega (mm)	Drenagem (mm)	Eficiência de Rega (%)
522,5	179,0	65,7

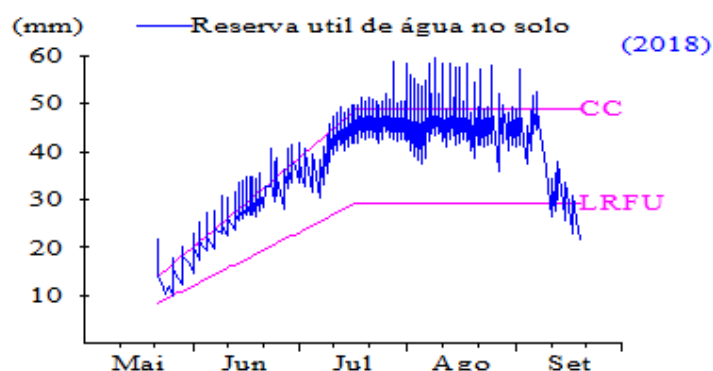


Figura 4.16 – Variação da reserva útil de água no solo para a rega observada (metodologia de  $K_c$ -NDVI), ISAREG.

Segundo a Figura 4.17, o teor de água no solo, na maior parte do ciclo, permaneceu acima da LRFU. Os dados observados acompanham os teores de água calculados pelo modelo.

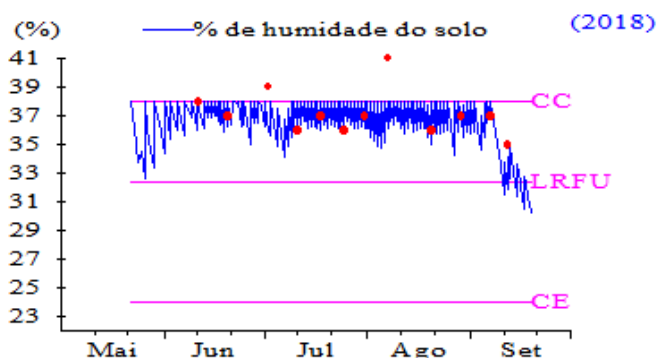


Figura 4.17 – Variação da % de água no solo (linha azul) para a estratégia de  $K_c$ -NDVI na rega observada, ISAREG, em relação com os registos obtidos pelo método gravimétrico (pontos encarnados).

Para avaliar a correlação entre os dados simulados e os dados observados, utilizou-se o mesmo método do caso anterior, com base na reserva útil de água no solo. A recta de regressão obtida pode ser observada na Figura 4.18, e confirma a elevada correlação entre os dados simulados e os dados observados, com um  $R^2$  de 0,909, e uma nuvem de pontos disposta ao longo da recta.

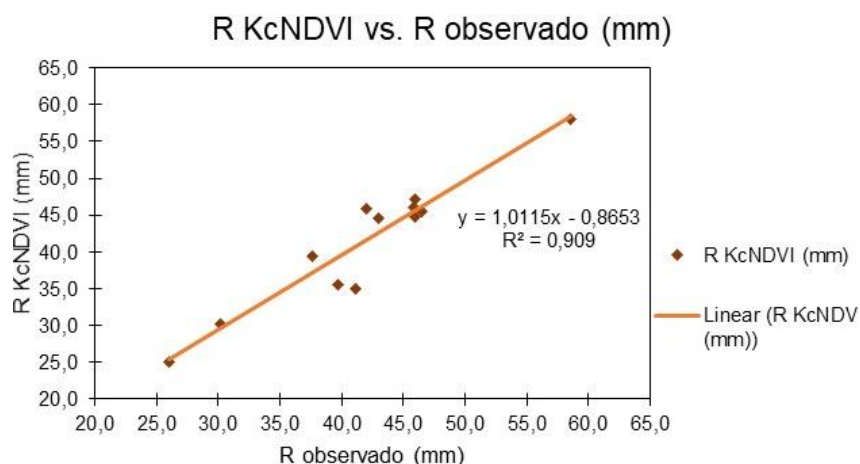


Figura 4.18 – Recta de regressão que relaciona a reserva de água no solo obtida através da metodologia de Kc NDVI e a Reserva de água no solo observada nos dias de amostragem.

A incerteza desta metodologia, foi avaliada no Raiz do Erro Quadrático Médio, foi de 2,59 mm, como se pode verificar no Quadro 4.13. Este valor permite que a reserva de água no solo obtida pela metodologia K<sub>c</sub>\_NDVI está em média, 2,59 mm afastada dos valores da reserva de água no solo observados. Neste cenário também se determinou a magnitude da diferença existente entre os dados observados e os estimados pelo modelo. Quanto ao erro médio há uma ligeira tendência para sobrestimar o valor observado em 0,4 mm, no caso do erro relativo, informa que ocorre um erro de 5% do valor estimado em relação ao observado.

Quadro 4.13– Erro médio (mm), Erro relativo (%) e Raiz do Erro Quadrático Médio (mm), entre os dados observados e os dados simulados através da metodologia do K<sub>c</sub> NDVI

Erro médio	0,4
Erro relativo	5%
REQM	2,59

#### 4.6. Produtividade obtida

A colheita do tomate, na parcela Manuel Marques I, realizada no dia 23 de Setembro, resultou numa produtividade de 87,70 t ha<sup>-1</sup>. Em termos qualitativos a produção apresentou indicadores positivos com um teor em sólidos solúveis de 5,23°Brix, e a percentagem de tomates encarnados rondou os 90% (Qualidade A) em relação aos tomates alaranjados e verdes que rondou os 10% (Qualidade B). Na relação de Hunter a/b (Davis *et al.*, 2003), que permite avaliar o teor em Licopeno obteve-se um valor de 2,00. Perante os parâmetros de qualidade obtidos, o preço do tomate estipulado foi de 73,39 € t<sup>-1</sup> (Quadro 4.14).

Quadro 4.14 – Produtividade obtida, °Brix, Cor, e preço do tomate para a parcela Manuel Marques I

Variedade	Área (ha)	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	°Brix	Cor (a/b)	Qualidade (A/B)	Preço do Tomate (€ t <sup>-1</sup> )
H1015	35	87,70	5,23	2,00	89,86/10,14	73,39

#### 4.7. Dotações de Rega Observadas e Produtividade da água

Durante a campanha de rega registou-se um total de 91 regas, com uma dotação total de rega de  $5225 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Apesar da dotação de rega estar previamente programada, devido ao intenso calor que se fez sentir no início do mês de Agosto, os técnicos optaram por aplicar mais água, com o teor de água no solo a ultrapassar a CC e a aproximar-se da saturação.

Para a determinação da produtividade da água realizou-se o rácio entre a produtividade da cultura (kg ou €) e a dotação total de rega (Quadro 4.15).

Quadro 4.15 – Dotação total de rega e eficiência de uso da água para o ciclo do tomate

Dotação ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )	Produtividade ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Produtividade da água ( $\text{kg m}^{-3} \text{ água}$ )	Produtividade da água ( $\text{€ m}^{-3} \text{ água}$ )
5225,00	87,70	16,78	12,32

Para avaliar a importância do sistema de rega na cultura do tomate, compilaram-se todos os custos ligados ao sistema de rega. Os custos totais do sistema foram calculados a partir da soma dos custos fixos e dos custos variáveis. Os custos fixos do sistema referem-se ao custo de instalação dos ramais e porta ramais e dos acessórios:

- Fita de Rega: Streamline 16080 bobina 2500m –  $0,035 \text{ € m}^{-1}$ ;
- Mangas + União em T: Polynet 4" + T 16 c/anel azul bobina 100m –  $2,90 \text{ € m}^{-1}$ .

Os custos variáveis nesta cultura referem-se ao consumo de água, preço da água imposto pela ABLGVLFX =  $0,0592 \text{ € m}^{-3}$ , ao qual está associado ao custo de captação, conservação e exploração da água.

Determinou-se ainda o custo total do sistema de rega (valores médios para o hectare), com base num tubo de rega de 6700 m, numa manga de rega + uniões em T de 100 m, e na dotação de rega observada durante a campanha, como está indicado no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Custos (€) do sistema de rega

Custo Fita de Rega (€)	Custo Manga + T (€)	Custo da água (€)	Custos Totais ( $\text{€ ha}^{-1}$ )
234,50	290,00	309,38	833,88

Para estudar a importância do custo da rega na produção de tomate, realizou-se a razão entre os custos totais do sistema e a produtividade obtida, como se verifica no Quadro 4.17. Sendo assim para produzir uma tonelada de tomate o custo da rega ronda os 9,51 €, sendo função do volume total de rega aplicado, e dos custos do equipamento que dependem de um correcto dimensionamento e gestão do sistema de rega.

Quadro 4.17 – Importância económica do sistema de rega na cultura do tomate

Custo do Sistema por ton de tomate ( $\text{€ t}^{-1}$ )	Produtividade ( $\text{t ha}^{-1}$ )
9,51	87,70

#### 4.8. Proposta de um calendário de rega

A metodologia de cálculo de  $K_c$  seleccionada para a construção de um calendário de rega proposto, foi a da FAO 56. Ainda que a metodologia  $K_c$ \_NDVI tenha produzido melhores resultados (REQM), verificou-se que a diferença entre ambos os métodos é desprezável, e tendo o método da FAO um erro médio menor, optou-se pelo  $K_c$ \_FAO 56. O principal problema do método da FAO 56 acabou por ser resolvido através da monitorização de parâmetros culturais, nomeadamente através das imagens de NDVI e da sua curva; e ainda pelo acompanhamento do crescimento e desenvolvimento da cultura *in situ*, que permitiram caracterizar as fases fenológicas de forma exacta. Esta desvantagem do método seleccionado FAO 56, acabou por ser complementado pela metodologia do NDVI.

A realização do calendário de rega proposto, visou a optimização e o rendimento máximo, de forma a que a planta estivesse sempre em conforto hídrico e não houvesse perdas de água por drenagem, ou seja com uma eficiência de rega de 100%. Para que todo o volume de solo disponível fosse utilizado pelas raízes, a fracção molhada correspondeu à largura total do camalhão, sendo  $f_w=0,73$ . As regas calendarizadas para este cenário foram diárias, de forma a colmatar a procura evapotranspirativa diária. As regas com dotações inferiores a 3 mm foram agrupadas às regas anteriores ou posteriores, de forma a evitar dotações demasiado baixas que são irrealistas. De formaO calendário de rega proposto para a parcela Manuel Marques I está detalhado em Anexo (Anexo 11), no Quadro 4.18 está o volume fornecido para este cenário, sendo que o total de regas realizadas foram de 106 regas. Para que se particulariza-se o calendário de rega proposto às condições edáficas da Lezíria Grande e ao sistema de rega gota-a-gota aplicou-se a fracção de lavagem de sais e a eficiência de rega. Com a aplicação destes dois parâmetros nas necessidades de rega líquidas obteve-se as necessidades de rega brutas.

Quadro 4.18 – Volume fornecido proposto para a parcela Manuel Marques I

Necessidades de Rega líquidas (mm)	Eficiência de Rega (%)	Fracção de lavagem	Necessidades de Rega brutas (mm)
456,6	95	0,15	565,5

A Figura 4.19 representa a reserva de água no solo. Como referido anteriormente as regas propostas foram diárias em que a reserva de água no solo manteve-se sempre próxima da CC, sem haver drenagem, tendo-se cortado a rega cinco dias antes da colheita.

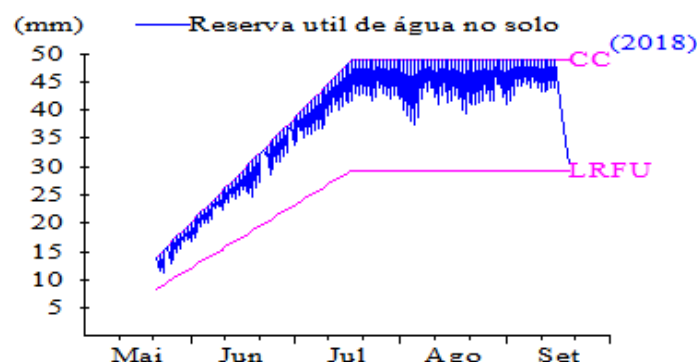


Figura 4.19 – Variação da reserva útil de água no solo para o calendário de rega proposto, definido com o modelo ISAREG.

#### 4.9. Discussão

Um dos objectivos principais foi a avaliação da condução da rega na cultura de tomate-indústria realizada na região da LGVFX (parcela Manuel Marques I). Recorrendo ao programa ISAREG para avaliar a condução da rega verificou-se que esta foi realizada de um modo razoável, sem ocorrência de stress hídrico. No entanto, observou-se algum excesso de água aplicado e consequentes perdas por percolação profunda principalmente durante o período intermédio. Na fase inicial, devido a factores tais como as baixas temperaturas, o teor de água acumulado devido à precipitação ocorrida no período Outono-Inverno, e um lento desenvolvimento vegetativo e radicular aplicaram-se pequenas dotações, não se tendo verificado drenagem neste período.

Durante a fase intermédia, que coincidiu com o período de intenso calor (final do mês de Julho/início do mês de Agosto), a condução de rega foi gerida de forma a aumentar o fornecimento de água às plantas, tendo-se efectuado duas regas diárias. Após este período, não ocorreram dias de calor similares, mas pelo contrário, verificou-se um abaixamento repentino da evapotranspiração. As regas, mantiveram-se bi diárias, e não tiveram em conta esse abaixamento das temperaturas. Com isso decorreram períodos de perdas de água por drenagem profunda e o surgimento de fungos.

A rega efectuada visou também a obtenção de uma boa qualidade do tomate, tendo sido aumentado o intervalo entre regas no final do ciclo, até ao seu corte 5 dias antes da colheita, de forma a promover a maturação dos frutos e o aumento do grau Brix.

Verificou-se que o desfasamento entre a condução da rega e as necessidades reais das plantas se deveu em grande medida ao sistema de controlo da rega. Este é composto por um temporizador autónomo junto à electroválvula do sector, que necessita de ser parametrizado manualmente no local, sendo que as dotações são apenas ajustadas semanalmente ou quinzenalmente, impondo uma certa rigidez no calendário de rega. Ao nível de uma parcela de grandes dimensões com um elevado número de sectores, como é o caso

deste trabalho, este sistema é limitativo, impedindo que a condução da rega possa ser substancialmente melhorada. Se a empresa pretender melhorar a gestão da rega, deverá proceder à alteração do sistema de controlo, para programadores de média ou alta capacidade que permitem a integração da informação de sondas externas e a possibilidade de controlo remoto para actualização dos calendários de rega em tempo real.

Verificou-se, finalmente, que a ocorrência de drenagem profunda é agravada pelo reduzido desenvolvimento lateral do bolbo molhado, em que ao se aplicar a dotação de rega numa fracção de solo relativamente reduzida origina um excesso de água que leva a perdas substanciais por drenagem. Por outro lado, as plantas limitaram o crescimento das raízes a este bolbo húmido não expandindo as suas raízes ao longo do perfil e do camalhão, o que resultou num desenvolvimento radicular reduzido.

A monitorização da água no solo, foi efectuada recorrendo ao método gravimétrico, tensiómetros e sonda capacitiva. Estas metodologias foram importantes ao nível da correcta interpretação da dinâmica da água no solo, o que permitiu estimar a dimensão do bolbo húmido no camalhão, assim como a evolução da humidade e do sentido dos fluxos no solo ao longo da campanha de rega, permitindo estimar a percolação profunda ocorrida. O método gravimétrico foi a forma mais fiável de determinação do teor de água no solo. Ainda que determinado com uma periodicidade semanal, permitiu validar as leituras das sondas capacitivas e avaliar a parametrização do modelo ISAREG. Nos dias em que não se realizou amostragem gravimétrica, a informação fornecida pelo *software Irristrat* proveniente do contador volumétrico permitiu fazer um acompanhamento contínuo no tempo das regas realizadas. Em virtude do funcionamento anómalo da sonda capacitiva, não foi possível a sua utilização. Os tensiómetros permitiram identificar o sentido dos fluxos de água no perfil do solo. Nas fases intermédia e final do ciclo cultural, durante o mês de Agosto, os tensiómetros instalados na linha registaram vários dias com um perfil de drenagem profunda acentuado. Para esses mesmos dias, os tensiómetros localizados a 40 cm da linha, registaram perfis de drenagem lateral. Estes dispositivos, confirmaram que para este período, houve perdas de água acentuadas por drenagem, e não ocorreu um consumo condizente por parte das plantas. Com os registos obtidos pelos tensiómetros instalados a 40 cm da linha, observou-se até onde se desenvolve o bolbo húmido através da observação dos perfis de drenagem lateral.

A monitorização da Condutividade Eléctrica confirmou a tendência para a concentração de sais a 40 cm da linha do que na linha, principalmente devido à dimensão do bolbo húmido. Os perfis de drenagem registados pelos tensiómetros, foi aplicada uma fracção de lavagem de sais, que permitiu a manutenção da electro condutividade com um valor baixo e relativamente constante à profundidade de 30 cm, na linha. A proximidade da camada salina e o aumento da condutividade eléctrica ao longo do ciclo justificaram esta estratégia por parte da empresa agrícola. Por outro lado, a utilização da aveia como cultura de cobertura permite



diminuir o teor de sais até aos 50 cm de solo, devido à capacidade da mesma para extrair o excesso de sais e de outros nutrientes existentes.

A utilização da tecnologia da detecção remota, baseada na realização do perfil temporal do NDVI ao longo do ciclo do tomate, foi uma ferramenta essencial na caracterização da duração das fases de desenvolvimento da cultura do tomate para a cultivar H1015. A bibliografia existente disponibiliza valores indicativos para a duração de cada fase que poderão estar bastante afastados dos valores reais. Recorrendo ao cálculo do NDVI e à construção da respectiva curva, ligado à sua relação com a curva de  $K_c$  simples, foi possível obter valores mais ajustados para a duração das fases do ciclo, o que é muito relevante para o cálculo das necessidades de rega, uma vez que esta má caracterização do ciclo cultural é apontada por Allen *et al.* (1998) como a maior fonte de erro no método do  $K_c$  simples. Cruzando a informação proveniente do perfil temporal do NDVI, com a monitorização da cultura *in situ*, foi possível fazer uma caracterização da duração das fases de desenvolvimento da cultura do tomate de indústria cv. H1015, para as condições edafoclimáticas da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Salienta-se que esta alternativa de apoio à condução da rega, é isenta de qualquer custo de *software* para a exploração agrícola, porém com a necessidade de ser tratado por um técnico especializado.

Com as imagens de NDVI é possível monitorizar o vigor vegetativo das plantas, sendo possível avaliar a variabilidade espacial da cultura. A observação das imagens de NDVI permitiu identificar uma zona com níveis de produção mais baixos ligada à heterogeneidade topográfica e pedológica da parcela, que corresponde a uma zona em que existe uma depressão no terreno.

O balanço hídrico realizado com recurso à modelação do programa ISAREG, e baseado nas duas metodologias de cálculo de  $K_c$  simples utilizadas, estiveram de acordo com os valores das amostragens realizadas na parcela Manuel Marques I pelo método gravimétrico. Ambas as metodologias estimaram de forma correcta o balanço hídrico com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de aproximadamente 0,9, e que comprovam o bom desempenho do modelo ISAREG para avaliação da calendarização da rega efectuada.

Com base na comparação dos resultados obtidos na modelação do balanço hídrico do solo com as duas metodologias não se verificou uma diferença assinalável entre ambas.

Em termos genéricos, perante os resultados obtidos, verificou-se que uma correcta caracterização do perfil do solo, associada ao cálculo das necessidades hídricas da cultura em função das condições meteorológicas, é uma forma indicada de realizar uma correcta condução da rega. A gestão eficiente da água de rega implica que o gestor da rega efectue observações no campo, e a utilização de um programador de rega automático, com controlo remoto, capaz de realizar alterações ao plano de rega, diárias a semanais, como forma de ganhar antecipação e flexibilidade perante estas variações.

Uma vez que o técnico nem sempre está no campo, a monitorização de água no solo através de sondas de humidade torna-se essencial. No entanto para tal seriam necessárias mais sondas, e que estas estivessem calibradas para o solo em questão. Uma forma mais segura de conduzir a rega consiste em complementar a leitura das sondas com a realização do balanço hídrico do solo em tempo real, preparando o plano de rega e precavendo possíveis falhas nos dispositivos.

A compilação de todos os dados observados neste trabalho, permitiu definir o volume de solo útil explorado pelas raízes (correspondente ao bolbo húmido). A maior parte das raízes esteve confinada até aos 30 cm de profundidade e 30 cm para a entrelinha, deixando bastante espaço de solo por explorar. A produção obtida de  $87,70 \text{ t ha}^{-1}$ , que em parte é justificada pelo deficiente desenvolvimento radicular, esteve bastante abaixo do potencial produtivo da cultura,  $100 \text{ t ha}^{-1}$ . Esta conclusão remete para a necessidade de fomentar o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e em largura, de forma a aumentar a produtividade e a qualidade.

## 5. CONCLUSÕES

Verificou-se que o movimento da água no solo é algo complexo e composto por vários factores que determinam a reserva de água no solo, particularmente no caso da rega por gotejamento.

A rega observada na parcela Manuel Marques I, no geral, foi realizada globalmente de forma racional e equilibrada, ainda que se tenham verificado casos de excesso de água aplicada, resultando em desperdício de água para rega.

A monitorização do teor de água no solo, recorrendo ao método gravimétrico, com uma periodicidade semanal, foi a metodologia mais fiável correspondendo a um menor erro nas leituras. Parte das amostras recolhidas, serviram, simultaneamente, para o acompanhamento da condutividade eléctrica do solo. Um teor de sais crescente ao longo do ciclo assim como a proximidade da camada salina proveniente do lençol freático, levam a que seja necessária a aplicação de um fracção de lavagem de sais na dotação de rega.

Para a monitorização contínua do teor água no solo, a sonda capacitiva apresentou leituras inadequadas, em virtude da sua deficiente instalação e funcionamento. Ainda assim, recorreu-se ao contador volumétrico que ligado ao mesmo *software* da sonda, permitiu um registo mais rigoroso do calendário de rega.

O acompanhamento da cultura, para além das observações no campo, foi realizado através de imagens de NDVI. O recurso à detecção remota permitiu construir o perfil temporal do NDVI ao longo do ciclo, e assim definir a duração das fases de desenvolvimento para a cv. H1015 e para as condições locais.

Na realização do balanço hídrico diário através do programa ISAREG recorreu-se a duas metodologias de cálculo do  $K_c$  simples. Verificou-se que este programa modelou correctamente o balanço hídrico diário do solo, o que foi comprovado pela elevada correlação dos resultados da simulação com os resultados do método gravimétrico.

Neste estudo verificou-se que a rega localizada aplicada numa faixa de terreno, apresenta uma dinâmica de água no solo complexa que corresponde ao desenvolvimento do bolbo húmido. Os dados dos tensiómetros ajudaram a definir a dimensão do bolbo molhado no camalhão e confirmaram as perdas de água por drenagem

O uso eficiente da água na rega localizada requer uma boa caracterização do solo, visto que é o tipo de solo (principalmente a textura) que define a dimensão e a forma do bolbo húmido. Para além disso a cultura do tomate de indústria apresentou um sistema radicular com um desenvolvimento reduzido, aumentando a necessidade do técnico de rega perceber o desenvolvimento do bolbo húmido. Nesse sentido, o uso de dispositivos e metodologias capazes de determinar a reserva de água no solo são da maior importância para a eficiente calendarização da rega. Como se verificou neste trabalho é a conjugação de várias metodologias que permite interpretar e posteriormente conduzir a rega da melhor forma.

Uma alteração tecnológica para um programador automático, com sistema de controlo remoto, poderia viabilizar uma actuação mais rápida e cuidada por parte do técnico de rega, o que aumentaria a capacidade de responder em tempo real às variações da reserva de água no volume de solo do camalhão, em virtude das variações meteorológicas e consequentemente das necessidades hídricas da cultura.

Em termos futuros, seria interessante a realização de ensaios de forma a avaliar formas de promover a expansão do sistema radicular no camalhão e melhorar a eficiência de rega, com a alteração do sistema de rega. Recomendar-se-ia a realização de um ensaio de uma fita de rega com gotejadores de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , com um tempo e frequência de rega mais reduzidos. O aumento do caudal poderia provocar o alargar do bolbo húmido para a entrelinha, estimulando um desenvolvimento lateral mais significativo por parte das raízes, contemplando simultaneamente a necessidade da lavagem de sais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56, FAO, Rome, 300p.
- Almeida, D., 2006. Manual de Culturas Hortícolas, Vol. 2. Editorial Presença, Lisboa. 304pp.
- Aung, L. H. (1976). Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. [tomatoes]. Journal American Society for Horticultural Science. 101, 358-360.
- Blackburn, G. A. (2007). Hyperspectral remote sensing of plant pigments. Journal of Experimental Botany, 58, 855-867.
- Braga, R. (2009). Viticultura de Precisão. AJAP–Associação dos Jovens Agricultores de Portugal (editores).
- Brandt, S.; Pék, Z.; Barna, É.; Lugasi, A. y Helyes, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions; J. Sci. Food Agric. 86(4); pp. 568-572.
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, L. A., Howell, T.A., and Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Journal of irrigation and drainage engineering, ASCE 123(6): 423-442.
- Cameira, M.R. (2018). Comunicação pessoal.
- Canales, A. R., Martínéz Molina J. M. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo ediciones técnicas. Murcia. 426pp.
- Chapagain, B. P., & Wiesman, Z. (2004). Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Scientia horticulturae, 99(3-4), 279-288.
- Chappelle, E.W., M.S. Kim, and J.E. McMurtrey, 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS) – An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll-a, chlorophyll-b, and carotenoids in soybean leaves, Remote Sensing of Environment, 39(3):239–247.
- Chuvieco, E. (2009). Fundamentals of satellite remote sensing. CRC press. 468 pp.
- Ciruelos, A.; de la Torre, R. y González, C. (2007): Parámetros de calidad en el tomate para indústria; Informe 2007: La agricultura y ganadería extremeñas. Caja de Ahorros de Badajoz; pp. 157-170.
- D'Urso, G., & Calera Belmonte, A. (2006, August). Operative approaches to determine crop water requirements from Earth Observation data: methodologies and applications. In AIP conference proceedings (Vol. 852, No. 1, pp. 14-25). AIP.
- Davis, A. R., Fish, W. W., & Perkins-Veazie, P. (2003). A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products. Postharvest Biology and Technology, 28(3), 425-430.
- DGDAR, Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural <http://www.dgadr.gov.pt/rec/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua>. Acedido em: 09/05/2018.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979) Yield Response to Water. FAO Irrig. and Drain. Pap. 33, FAO, Rome.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. (1977) Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage. Paper no 24. FAO. Roma. 1977.
- Falkenmark, M. (2013). Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. Phil. Trans. R. Soc. A, 371(2002), 20120410.
- FAO (2014), AQUASTAT <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acedido em 03/05/2018.

- FAO (2018), Tomato <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>. Acedido em: 03/04/2018.
- Fischbach, P.E. (1975). Mechanical moved sprinkler systems and gated pipe with a reuse system. Proc. Ann. Tech. Conf. Sprinkler Irrig. Assoc., Silver Springs, MD, p. 63-70.
- Follett, R.F. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration in cropland.
- Gabriel, J. L., Almendros, P., Hontoria, C., & Quemada, M. (2012). The role of cover crops in irrigated systems: soil salinity and salt leaching. *Agriculture, ecosystems & environment*, 158, 200-207.
- GPP, Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral. <http://213.30.17.29/GlobalAgriMar/informacao/>. Acedido em: 02/05/2018.
- Hao, X., & Papadopoulos, A. P. (2004). Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience*, 39(3), 512-515.
- IFAP, Instituto de Financiamento de Agricultura e Pescas. [http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap\\_publico](http://www.ifap.min-agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico). Acedido em: 02/05/2018.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine\\_main&xpid=INE](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE). Acedido em: 02/05/2018.
- Jensen, M. E. (Ed.). (1980). Design and operation of farm irrigation systems (No. 631.587/J51). American Society of Agricultural Engineers.
- Jones Jr, J. B. (1999). Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC press.
- Kalamaki, M. S.; Harpster, M. H.; Plays, J. M.; Labavitch, J. M.; Reid, D. S. y Brummell, D. A. (2003). Simultaneous transgenic suppression of Lpg and Leexp1 influences rheological properties of juice and concentrates from a processing tomato variety; *J. Agric. Food Chem.* (51); pp. 7456-7464.
- Keller, J. Bliesner, R.D. (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN: 0-442-24645-5.
- Kinet, J. M. (1977). Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*, 6(1), 15-26.
- Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. V. (2004). Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 46-54.
- Lamont, Jr., W.J. (1996). What are the components of a plastoculture vegetable system? *HortTechnology*. 6(3):150-154.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. 736 pp.
- Liu, Y., Teixeira, J.L., Zhang, H.J., Pereira, L.S. (1997) Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 36: 233-246.
- Lopez, R. L.; Abreu, J.M.H; Regalado, A.P.; Hernandez, J.F.G. (1997). Riego Localizado. 2ªEdición.
- Lukyanenko, A. N. (1991). Breeding tomato for mechanized harvesting. In: Kallo, G. (Ed.) Genetic Improvement of Tomato Monographs T.A.G. 14. Berlin-Heidelberg, pp. 213-230.
- Maroto Borrego, J. V. (2002). Horticultura herbácea especial. Mundiprensa. 704pp.
- Martin, D. L., Stegman, E. C., & Fereres, E. (1990). Irrigation scheduling principles. IN: G. J. Hoffman, T. A. Howell e K. H. Solomaon (eds.), Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990. p 155-203.

- Martínez-Valverde, I.; Periago, M. J.; Provan, G. y Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in comercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*); *J. Sci. Food Agric.* (82); pp. 323-330.
- Mizrahi, E. *et al.*: A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing field. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113 (2), 1988, págs. 202-205.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114(4), 358-371.
- Muñoz-Carpena, R., Shukla S., Morgan K. (2005). *Field Devices For Monitoring Soil Water Content*. University of Florida, IFAS Extension, 15pp.
- NasaEarthObservatory.[https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_1.php](https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php). Acedido em: 22/03/2018.
- Navarro, A., Rolim, J., Miguel, I., Catalão, J., Silva, J., Painho, M., & Vekerdy, Z. (2016). Crop monitoring based on SPOT-5 take-5 and Sentinel-1A data for the estimation of crop water requirements. *Remote Sensing*, 8(6), 525.
- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793pp.
- Oliveira, I. (2011). *Técnicas de Regadio*. 2ª Edição. Edição de autor. Beja. 1765pp.
- Pair, C. H., Hinz W. W., Reid, C., and Frost. K. R. (1975) *Sprinkler Irrigation*. Chapter XVIII, Silver Springs, MD.
- Parkin, T. B., Kaspar, T. C., & Cambardella, C. A. (1997). Small grain cover crops to manage nitrogen in the Midwest. In *Proc. Cover Crops, Soil Quality, and Ecosystems Conference* (pp. 12-14).
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Lisboa, Publicações Europa-América. 316pp.
- Pereira, L. S., Teodoro, P. R., Rodrigues P. N., And Teixeira, J. L. (2003). *IRRIGATION SCHEDULING SIMULATION: THE MODEL ISAREG*. Agricultural Engineering Research Center, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, Portugal.
- Pinter, P. J., Jr., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Daughtry, C. S. T., *et al.* (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 647e664.
- Pôças, I., Cunha, M. (2017). A detecção remota hiperespectral na determinação do estado hídrico das culturas. *Agrobótica*. 10: 12-15.
- Proffitt, A. P. B., Bramley, R., Lamb, D., & Winter, E. (2006). *Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production*. Ashford, Winetitles.
- Roberts, D. A., Roth, K. L., and Perroy, R. L. (2011). "Hyperspectral vegetation indices", in *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, P. S. Thenk-abail, J. G. Lyon, and A. Huete, Eds. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2011.
- Rolim, J., Ferreira, A. N., Saraiva, C., & Catalão, J. (2016, October). A synergistic approach using optical and SAR data to estimate crop's irrigation requirements. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII* (Vol. 9998, p. 99980W). International Society for Optics and Photonics.

Sentek technologies (2011). EnviroSCAN Standard installation guide (V 1.0). <http://www.sentek.com.au/>. Acedido em: 14/03/2018.

soils. Soil Tillage Research, 61: 77–92.

Stations, E. (1983). Reference Soil Test Methods for the Southern Region of the United States.

Stewart, J.L., Hagen, R. M., Pruitt, W.O. (1976) Water production functions and predicted irrigation programs for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency. University of California, Dep. Land, Air and Water Resources, Davis, and USDI/BR, Denver, CO.

Teixeira, J. L. (1994). Guia do Utilizador do Programa ISAREG. DER/ISA. Lisboa.

Teixeira, J. L., & Pereira, L. S. (1992). ISAREG, an irrigation scheduling model. ICID Bulletin, 41(2), 29-48.

Tomato news. <http://www.tomatonews.com/en/>. Acedido em: 02/05/2018.












Toureiro, C., Serralheiro, R., Shahidian, S., & Sousa, A. (2017). Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management*, 184, 211-220.



## 7. ANEXOS

### Anexo 1 – Resultados da análise solo

Parâmetro	Resultado	U	Unidade	Recuperação (%)	LC	Procedim.	Técnica
<b>Aníons</b>							
* Cloruros en el extracto saturado	134		mg/l			PEE104	Cromatografía iónica
* Nitratos en el extracto saturado	83.9		mg/l		5,00	PEE50/104	Cromatografía iónica
* Sulfatos en el extracto saturado	184		mg/l		20,0	PEE50/104	Cromatografía iónica
<b>Cationes</b>							
* Amonio en el extracto saturado	1.69		mg/l		1,00	PEE50/104	Cromatografía iónica
<b>Cationes de cambio</b>							
* Aluminio de cambio	0.43		meq/100 g		0,0010	PEE50/49	ICP/MS
<b>Ensayos varios</b>							
* Carbono orgánico total	2.69		%			Interno	Calcinación
<b>Análisis de suelo: bases de cambio</b>							
Parâmetro	Resultado	U	Unidade	Recuperação (%)	LC	Procedim.	Técnica
<b>Cationes de cambio</b>							
* Calcio de cambio	15.1		meq/100 g		0,50	PEE50/49	ICP/MS
* Magnesio de cambio	5.03		meq/100 g			PEE50/49	ICP/MS
* Potasio de cambio	0.90		meq/100 g			PEE50/49	ICP/MS
* Sodio de cambio	0.80		meq/100 g			PEE50/49	ICP/MS
* Capacidad de intercambio catiónico	23.3		meq/100 g			PEE66	Cálculo
<b>Análisis de suelo: microelementos</b>							
Parâmetro	Resultado	U	Unidade	Recuperação (%)	LC	Procedim.	Técnica
<b>Micronutrientes</b>							
* Cobre extraíble en DTPA	4.71		mg/Kg			PEE50/49	ICP/MS
* Hierro extraíble en DTPA	36.6		mg/Kg			PEE50/49	ICP/MS
* Manganeso extraíble en DTPA	7.70		mg/Kg			PEE50/49	ICP/MS
* Zinc extraíble en DTPA	1.58		mg/Kg			PEE50/49	ICP/MS
<b>Análisis de suelo: normal</b>							
Parâmetro	Resultado	U	Unidade	Recuperação (%)	LC	Procedim.	Técnica
<b>Cationes asimilables</b>							
* Calcio extraíble con NH <sub>4</sub> Ac	25.6		meq/100 g			PEE50/49	ICP/MS
* Magnesio extraíble con NH <sub>4</sub> Ac	5.28		meq/100 g			PEE50/49	ICP/MS
* Potasio extraíble con NH <sub>4</sub> Ac	0.96		meq/100 g		0,020	PEE50/49	ICP/MS
* Sodio extraíble con NH <sub>4</sub> Ac	0.88		meq/100 g		0,020	PEE50/49	ICP/MS
<b>Ensayos varios</b>							
* Materia orgánica total	4.64		%		0,50	PEE48	Calcinación
<b>Micronutrientes</b>							
* Boro extraíble con CaCl <sub>2</sub>	0.37		mg/Kg		0,20	PEE50/09	Espectrofotometría UV-Vis
<b>Propiedades físicas</b>							
* Color	7.5YR 4/2 brown					Interno	Munsell Soil Color Charts

Propiedades sobre la fertilidad					
* Caliza activa	0.72	%	0,10	PEE46	Calcimetría
* Carbonatos	1.56	% CaCO <sub>3</sub>	0,10	PEE46	Calcimetría
Conductividad eléctrica a 25°C 1:5	470	µS/cm	50,0	PEE50/02	Conductimetría
* Fósforo Olsen	66.3	mg/Kg	0,80	PEE79	Espectrofotometría UV-Vis
* Materia orgánica oxidable	1.60	%		Interno	Espectrofotometría UV-Vis
* Nitrógeno Total	1884	mg/Kg		PEE57	DUMAS
pH a 25° C 1:5	8.2		2,0	PEE50/01	Potenciometría
* Relación C/N	4.92			PEE84	Cálculo
Nitrógeno Nitró	< 10	mg/Kg	10	PEE05	Espectrofotometría UV-Vis
* Relación Ca/Mg	4.85			PEE84	Cálculo
* Relación K/Mg	0.18			PEE84	Cálculo
Textura					
* Arcilla según clasificación USDA	48	%		PEE47	Densimetría
* Arena según clasificación USDA	13	%		PEE47	Gravimetría
* Limo según clasificación USDA	39	%		PEE47	Cálculo
* Textura según normas USDA	Arcilloso			PEE47	Cálculo
Parámetro	Resultado	Valoración *	Gráfica *		Unidad
* Boro extraíble con CaCl <sub>2</sub>	0.37	Bajo			mg/Kg
* Caliza activa	0.72	Bajo			%
* Capacidad de intercambio catiónico	23.3	Elevada			meq/100 g
* Carbonatos	1.56	No calcáreo			% CaCO <sub>3</sub>
* Cloruros en el extracto saturado	134	Muy bajo			mg/l
* Cobre extraíble en DTPA	4.71	Alto			mg/Kg
Conductividad eléctrica a 25°C 1:5	470	Ligeramente salino			µS/cm
* Fósforo Olsen	66.3	Excesivo			mg/Kg
* Hierro extraíble en DTPA	36.6	Alto			mg/Kg
* Manganeso extraíble en DTPA	7.70	Alto			mg/Kg
* Materia orgánica oxidable	1.60	Pobre			%

* Nitratos en el extracto saturado	83.9	Muy bajo	83.9 <sup>▲</sup>	248 - 372	mg/l
* Nitrógeno Total	1884	Bajo	1884 <sup>▲</sup>	2000 - 5000	mg/Kg
pH a 25° C 1:5	8.2	Ligeramente básico	6.6 - 7.3 8.2 <sup>▲</sup>		
* Potasio extraible con NH4Ac	0.96	Correcto		0.65 - 0.99 0.96 <sup>▲</sup>	meq/100 g
* Relación C/N	4.92	Baja	4.92 <sup>▲</sup>	10 - 15	
* Relación Ca/Mg	4.85	Adecuada	4.85 <sup>▲</sup>	2.4 - 12	
* Relación K/Mg	0.18	Adecuada	0.18 <sup>▲</sup>	0.06 - 1.19	
* Sulfatos en el extracto saturado	184	Muy bajo	184 <sup>▲</sup>	900 - 1440	mg/l
* Zinc extraible en DTPA	1.58	Alto	0.5 - 0.99 1.58 <sup>▲</sup>		mg/Kg

## Anexo 2 – Mobilizações e Outras operações

Semana	Dias da Plantação	Serviço/Produto	Grupo Operações	Tipo Operação/Produto	Q (por hectare)
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Grader	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Grader	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Grader	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Subsolar	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Grader	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Grader	1
-4	-22 a -28	Serviço	Mobilização	Rototerra	1
-3	-15 a -21	Serviço	Mobilização	Armar Directo	1
-1	-1 a -7	Serviço	Mobilização	Armar	1
1	1 a 7	Serviço	Plantação	Plantar	1
1	1 a 7	Produto	Planta	Tomate/H1015	35000
1	1 a 7	Produto	Rega	FITA REGA 16 a 30 cm	7000
1	1 a 7	Produto	Rega	Acessórios/Uniãos Manga-Manga	1
1	1 a 7	Produto	Rega	Acessórios/Uniãos Fita-Fita 16	12
4	22 a 28	Serviço	Amanhos	Multifresa	1
18	120 a 125	Serviço	Colheita	Transporte Colheita	90
18	120 a 125	Serviço	Colheita	Colheita	90
18	120 a 125	Serviço	Colheita	Puxar Galeras	4

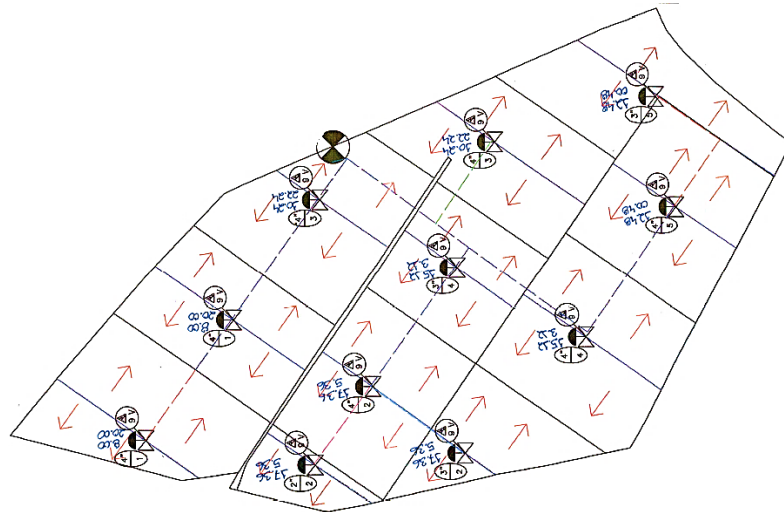
### Anexo 3 – Tratamentos Fitossanitários

Semana	Dias da Plantação	Tipo Produto	Nome comercial	Substância Activa	Problema	Dose (Kg ha <sup>-1</sup> )
-5	-29 a -35	Herbicida	Roundup Flex	Glifosato (28,85%)	Infestantes	6
-3	-15 a -21	Nematodicida	Raisan 50	Metame de Sódio (50%)	Tudo	200
2	8 a 14	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)	Infestantes	0,8
2	8 a 14	Herbicida	Titus	Rinsulfurão (25%)	Infestantes	0,05
3	15 a 21	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)	Infestantes	0,8
3	15 a 21	Herbicida	Titus	Rinsulfurão (25%)	Infestantes	0,05
3	15 a 21	Herbicida	Targa Gold	Quizalope-P-etilo (5,2%)	Infestantes	1,5
4	22 a 28	Fungicida	Cimofarm	Cimoxanil (4%) + Mancozebe (40%)	Míldio	3
4	22 a 28	Fungicida	Vitra Micro 40	Hidróxido de cobre (30%)	Míldio/Bacteriose	2
4	22 a 28	Insecticida	Steward	Indoxacarbe (30%)	Lagarta	0,125
5	29 a 35	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)	Infestantes	0,6
5	29 a 35	Herbicida	Titus	Rinsulfurão (25%)	Infestantes	0,05
6	36 a 42	Fungicida	Melody	Folpete (56,3%) + Iprovalicarbe (9%)	Míldio	1,3
6	36 a 42	Fungicida	Vitra Micro 40	Hidróxido de cobre (30%)	Míldio/Bacteriose	2
6	36 a 42	Insecticida	Affirm	Emamectina (0,85%)	Traça do Tomateiro	1,5
6	36 a 42	Insecticida/Acaricida	Corsário	Imidaclopride (17,8%)	Mosca branca/Afídeos/Ácaros	0,5
8	50 a 56	Fungicida	Vitipecc	Cimoxanil (6%) + Folpete (37,5%)	Míldio	1,5
8	50 a 56	Insecticida	EFORIA	Lambda-cialotrina (1,46%) + Tiametoxame (2,91%)	Mosca branca/Lagarta	1,2
8	50 a 56	Fungicida	Vitra Micro 40	Hidróxido de cobre (30%)	Míldio/Bacterioses	2
10	64 a 70	Fungicida	Bago Ouro de	Enxofre (98,5%)	Oídio	25










11	71 77	a	Fungicida	Equation pro	Cimoxanil (30%) Famoxadona (22,5%)	+	Míldio	0,4
11	71 77	a	Insecticida	Movento O-Teq	Espirotetramato (15,3%)		Mosca branca/Afídeo	0,5
11	71 77	a	Fungicida	Vitra Micro 40	Hidróxido de cobre (30%)		Míldio/Bacteriose	2
11	71 77	a	Insecticida	Steward	Indoxacarbe (30%)		Lagartas	0,125
12	78 84	a	Herbicida	Terafit	Flazasulfuron (25%)		Infestantes	0,12
13	85 91	a	Fungicida	Valis Plus	Valifenalato (6%) Mancozebe (60%)	+	Míldio	2,5
13	85 91	a	Insecticida	Coragen	Clorantraniliprol (18,4%)		Lagarta	0,2
13	85 91	a	Fungicida	Bago de Ouro	Enxofre (98,5%)		Oídio	25
13	85 91	a	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)		Infestantes	0,6
13	85 91	a	Herbicida	Targa Gold	Quizalope-P-etilo (5,2%)		Infestantes	2
15	99 105	a	Fungicida	Calda Bordalesa	Sulfato de Cobre e Cálcio (20%)		Míldio	5

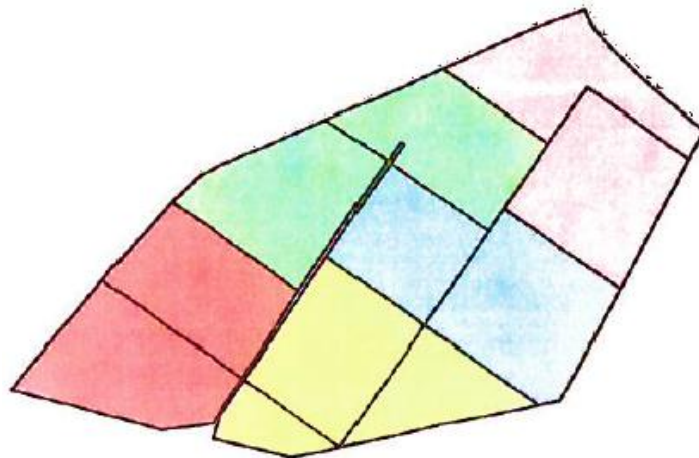
## Anexo 4 – Sistema de Rega






### Layout da Parcela Manuel Marques I



## LEGENDA

-  HIDRANTE
-  VÁLVULA HIDRAULICA C/ SELONOIDEDE 24V C/ REG PRESSÃO
-  CONDUTA PRINCIPAL 200 MM
-  CONDUTA PRINCIPAL 160 MM
-  CONDUTA PRINCIPAL 140 MM
-  CONDUTA PRINCIPAL 125 MM
-  CONDUTA PRINCIPAL 90 MM
-  CONDUTA SENCUNDARIA
-  SENTIDO DAS LINHAS



		CAUDAL		AREA	
SECTOR 01		160	M3/H	7.23	HA
SECTOR 02		148	M3/H	6.66	HA
SECTOR 03		159	M3/H	7.15	HA
SECTOR 04		154	M3/H	6.94	HA
SECTOR 05		157	M3/H	7.05	HA



## Anexo 5 – Cabeçal de Rega

Características do Filtro de Malha “FILTOMAT M100 6800” instalado no cabeçal de rega da parcela Manuel Marques I



Filtro de Malha “FILTOMAT M100 6800”

### Dados Gerais

Caudal máximo	400 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Diâmetro de Entrada/Saída	6" (150 mm)
Dimensão malha	500, 300, 200, 130, 100, 80 µm
Pressão mínima de trabalho	2 bar (30 psi)
Pressão máxima de trabalho	10 bar (150 psi)
Temperatura máxima de trabalho	55°C
Tara	6" 120 kg

### Dados de Lavagem

Caudal mínimo de lavagem (a 2 bar)	30 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Volume de água rejeitada por ciclo de descarga	150 L
Duração do ciclo de lavagem	15 s
Válvula de escape	1.5" (40 mm)
Pressão máxima de trabalho	10 bar (150 psi)
Critério de lavagem	Por diferença de pressão de 0,5 bar (7 psi), intervalo de tempo ou operação manual

### Dados da Malha

Área	6,800 cm <sup>2</sup> (1,054 in <sup>2</sup> )
Tipo	Arame de aço inoxidável de 316 L

Características da Fita de Rega “StreamLine Plus” (Netafim 2018)

Modelo	16080
Caudal (L h <sup>-1</sup> )	1.05
Distância entre gotejadores (m)	0.3 - 1.00
Diâmetro Interno (mm)	16.20
Espessura (mm)	0.20
Diâmetro Externo (mm)	16.60
Pressão nominal (bar)	1.2
Máxima pressão trabalho (bar)	1.4
Máxima pressão descarga (bar)	1.6
Coefficiente de Variação	0.03
KD	0.10
Constante K	0.373
Expoente X	0.45
Largura– Profundidade – Comprimento (mm)	0.51x0.44x13.0
Área Filtração (mm <sup>2</sup> )	14
Filtração recomendada (micron)	130
Comprimento da bobina (m)	2500



Anexo 6 – Calendário de Rega Efectuado

Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)
22-05-2018	4,74	14-07-2018	4,74	16-08-2018	9,54
26-05-2018	4,74	15-07-2018	4,74	17-08-2018	4,74
29-05-2018	4,74	16-07-2018	4,74	18-08-2018	9,54
01-06-2018	4,74	17-07-2018	4,74	19-08-2018	4,74
03-06-2018	4,74	18-07-2018	4,74	20-08-2018	9,54
05-06-2018	4,74	19-07-2018	4,74	21-08-2018	4,74
07-06-2018	4,74	20-07-2018	4,74	22-08-2018	9,54
09-06-2018	4,74	21-07-2018	4,74	23-08-2018	4,74
11-06-2018	4,74	22-07-2018	4,74	24-08-2018	4,74
13-06-2018	4,74	23-07-2018	4,74	25-08-2018	9,54
14-06-2018	4,74	24-07-2018	4,74	27-08-2018	9,54
15-06-2018	4,74	25-07-2018	4,74	28-08-2018	4,74
16-06-2018	4,74	26-07-2018	4,74	30-08-2018	4,74
17-06-2018	4,74	27-07-2018	4,74	31-08-2018	4,74
18-06-2018	4,74	28-07-2018	9,54	01-09-2018	4,74
19-06-2018	4,74	29-07-2018	4,74	02-09-2018	9,54
20-06-2018	4,74	30-07-2018	4,74	04-09-2018	4,74
23-06-2018	4,74	31-07-2018	4,74	05-09-2018	4,74
24-06-2018	4,74	01-08-2018	9,54	06-09-2018	4,74
25-06-2018	4,74	02-08-2018	9,54	07-09-2018	4,74
27-06-2018	4,74	03-08-2018	9,54	11-09-2018	4,74
28-06-2018	4,74	04-08-2018	9,54	12-09-2018	4,74
29-06-2018	4,74	05-08-2018	9,54	13-09-2018	4,74
01-07-2018	4,74	06-08-2018	9,54	15-09-2018	4,74
03-07-2018	4,74	07-08-2018	9,54	17-09-2018	4,74
05-07-2018	4,74	08-08-2018	4,74	Total	522,5
07-07-2018	4,74	09-08-2018	9,54		
08-07-2018	4,74	10-08-2018	4,74		
09-07-2018	4,74	11-08-2018	9,54		
10-07-2018	4,74	12-08-2018	4,74		
11-07-2018	4,74	13-08-2018	9,54		
12-07-2018	4,74	14-08-2018	4,74		
13-07-2018	4,74	15-08-2018	9,54		

## Anexo 7 – Instalação de Tensiômetros



# Anexo 8 – Resultados dos Tensiômetros

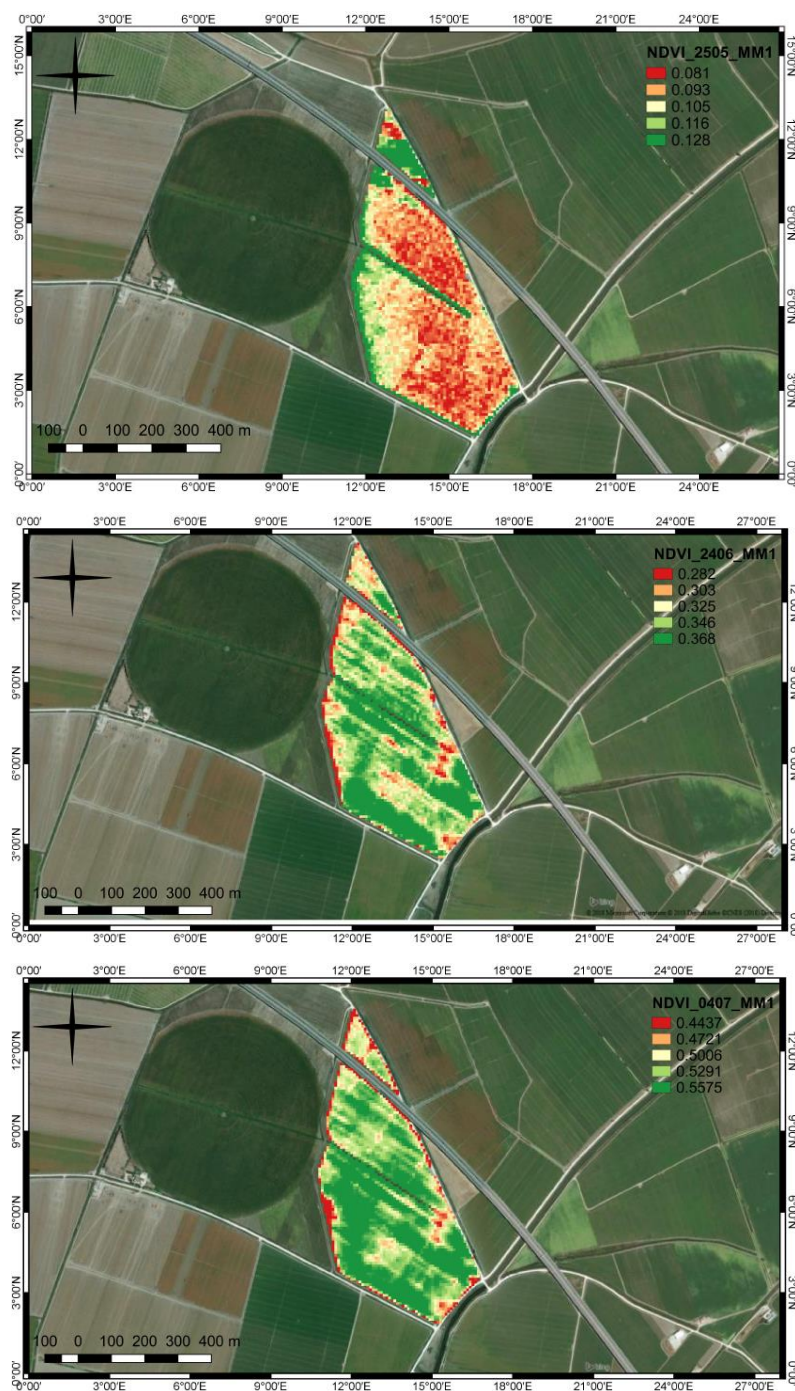
Linha de gotejadores																																			
Z1 (cm)	Prof (cm)	24/07/2018 (10:00)				27/07/2018 (09:20)				31/07/2018												07/08/2018													
		Instalação				09:20				09:10				10:48				12:57				10:15				12:10				15:00					
		h (cbar)	h (cm)	H (cm)	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad		
10,5	30,0	0,5	-5,2	-15,7	0,0	1,5	-15,5	-26,0	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	3,8	-38,8	-49,3	0,0	3,8	-38,8	-49,3	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,5	-5,2	-15,7	0,0		
21,0	50,0	0,0	0,0	-21,0	-0,3	2,5	-25,8	-46,8	-1,0	2,0	-20,7	-41,7	-1,6	5,0	-51,7	-72,7	-1,2	6,3	-64,6	-85,6	-1,8	0,0	0,0	-21,0	-0,5	2,0	-20,7	-41,7	-1,6	2,5	-25,8	-46,8	-1,6		
31,0	70,0	7,0	-72,4	-103,4	-4,1	10,0	-103,4	-134,4	-4,4	7,5	-77,5	-108,5	-3,3	14,0	-144,7	-175,7	-5,2	15,5	-160,2	-191,2	-5,3	4,0	-41,3	-72,3	-2,6	7,0	-72,4	-103,4	-3,1	6,3	-64,6	-95,6	-2,4		
Camalhão a 40 cm da linha de gotejadores																																			
		h (cbar)	h (cm)	H (cm)	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad		
10,5	30,0	9,0	-93,0	-103,5	0,0	15,0	-155,1	-165,6	0,0	15,0	0,0	-10,5	0,0	19,0	-196,4	-206,9	0,0	25,0	-258,4	-268,9	0,0	0,5	-5,2	-15,7	0,0	5,0	-51,7	-62,2	0,0	6,4	-65,6	-76,1	0,0		
21,0	50,0	0,0	0,0	-21,0	4,1	6,5	-67,2	-88,2	3,9	0,5	-5,2	-26,2	-0,8	7,5	-77,5	-98,5	5,4	12,0	-124,0	-145,0	6,2	0,0	0,0	-21,0	-0,3	2,5	-25,8	-46,8	0,8	3,8	-38,8	-59,8	0,8		
31,0	70,0	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	2,9	0,0	0,0	-31,0	-0,2	0,0	0,0	-31,0	3,4	0,0	0,0	-31,0	5,7	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	0,8	0,0	0,0	-31,0	1,4		
Linha de gotejadores																																			
20/08/2018								29/08/2018								07/09/2018								12/09/2018											
10:15				11:54				09:10				10:45				08:30				10:30				09:30				10:30				17:30			
h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad
0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	2,5	-25,8	-36,3	0,0	2,5	-25,8	-36,3	0,0	6,3	-64,6	-75,1	0,0
0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	0,8	0,0	0,0	-21,0	0,8	2,5	-25,8	-46,8	1,4
6,3	-64,6	-95,6	-3,7	6,3	-64,6	-95,6	-3,7	5,0	-51,7	-82,7	-3,1	5,0	-51,7	-82,7	-3,1	1,3	-12,9	-43,9	-1,1	1,8	-18,1	-49,1	-1,4	3,8	-38,8	-69,8	-2,4	5,0	-51,7	-82,7	-3,1	5,0	-51,7	-82,7	-1,8
Camalhão a 40 cm da linha de gotejadores																																			
h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad	h	h (cm)	H	Grad
5,0	-51,7	-62,2	0,0	7,5	-77,5	-88,0	0,0	0,0	0,0	-10,5	0,0	1,3	-12,9	-23,4	0,0	1,3	-12,9	-23,4	0,0	12,0	-124,0	-134,5	0,0	50,0	-516,8	-527,3	0,0	53,0	-547,8	-558,3	0,0	72,0	-744,2	-754,7	0,0
2,0	-20,7	-41,7	1,0	3,8	-38,8	-59,8	1,4	0,0	0,0	-21,0	-0,5	0,0	0,0	-21,0	0,1	0,0	0,0	-21,0	0,1	0,0	0,0	-21,0	5,7	0,0	0,0	-21,0	25,3	0,0	0,0	-21,0	26,9	3,8	-38,8	-59,8	34,7
0,0	0,0	-31,0	0,5	0,0	0,0	-31,0	1,4	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	-0,5	0,0	0,0	-31,0	1,4

Anexo 9 – Água de rega – Estação Elevatória do Conchoso

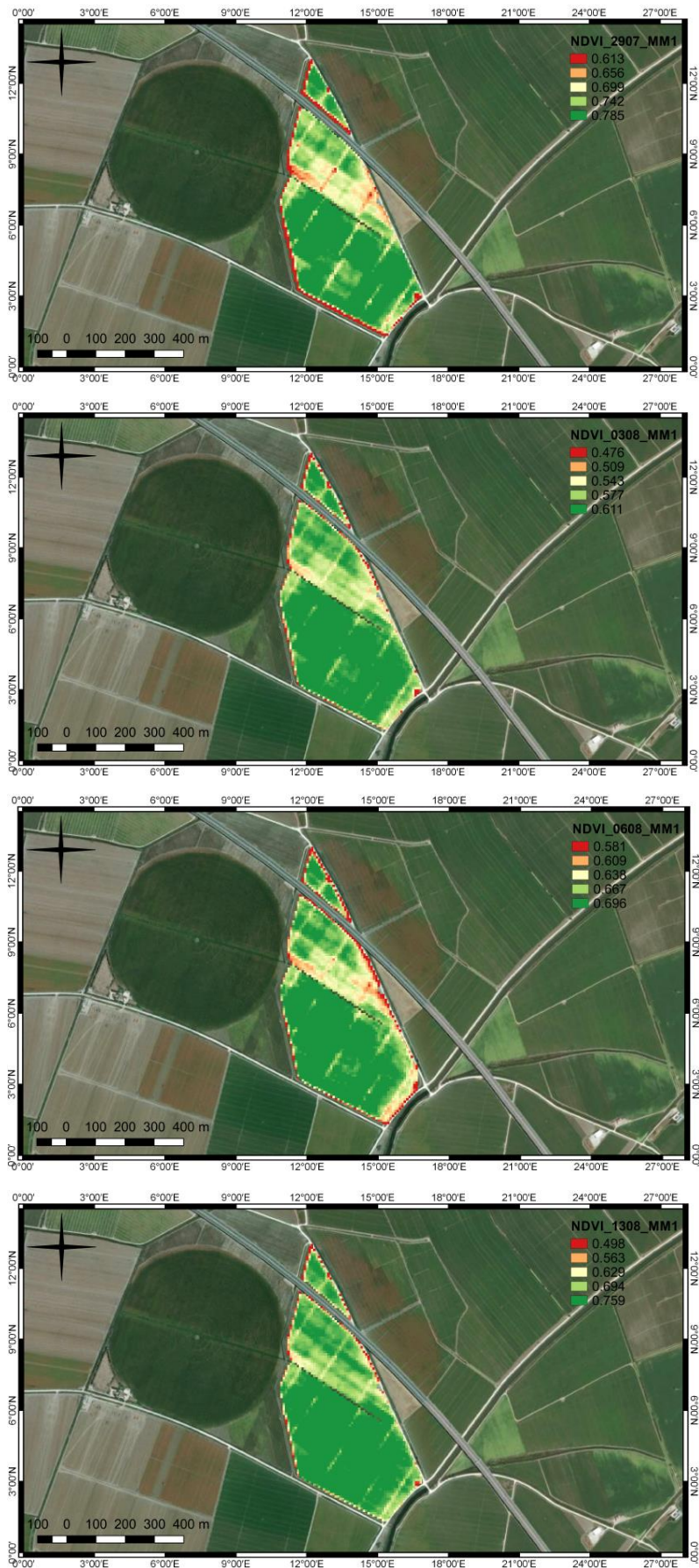
Chemistry			Results (uncertainty)
<b>F1535</b>	<b>FF Bicarbonate/carbonate</b>	<b>Method : Internal Method, Calculation</b>	
(*)	Carbonates		<5.0 mg/l
(*)	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )		72 mg/l
<b>F2378</b>	<b>FF Total suspended solids (TSS) (NEN 6484)</b>	<b>Method : According NEN 6499 &amp; NEN 6484</b>	
(*)	Suspended Solids		11 (± 0.2) mg/l
<b>FF03G</b>	<b>FF Manganese (Mn)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Manganese (Mn)		0.02 (± 0.10) mg/l
<b>FF03L</b>	<b>FF Iron (Fe)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Iron (Fe)		0.41 (± 0.07) mg/l
<b>FF0KZ</b>	<b>FF Acidity (pH)</b>		
(*)	Measuring temperature (pH)		21.6 °C
(*)	pH		6.5 (± 0.003)
<b>FF031</b>	<b>FF Calcium (Ca)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Calcium (Ca)		30 (± 0.1) mg/l
<b>FF02R</b>	<b>FF Potassium (K)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Potassium (K)		3.8 (± 0.1) mg/l
<b>FF02X</b>	<b>FF Chloride</b>	<b>Method : According NEN-ISO 15923-1</b>	
(*)	Chloride		50 (± 0.05) mg/l
<b>FF02B</b>	<b>FF Sodium (Na)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Sodium (Na)		35 (± 0.1) mg/l
<b>FF02K</b>	<b>FF Magnesium (Mg)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	
(*)	Magnesium (Mg)		10 (± 0.1) mg/l
<b>FF0L0</b>	<b>FF Conductivity</b>	<b>Method : According NEN ISO 7888</b>	
(*)	EC-temp. corr. factor (mathematical)		1.075
(*)	Electric conductivity 25 °C		480 (± 0.1) µS/cm
(*)	Electric conductivity 25 °C		48 mS/m
(*)	Electric conductivity 20°C		43 mS/m
(*)	Measuring temperature (EC)		21.6 °C
<b>F8274</b>	<b>FF Boron (B) after destruction</b>	<b>Method : According NEN-EN-ISO 17294-2; 2004</b>	
(*)	Boron (B)		<60 µg/l
<b>F7619</b>	<b>FF Sulphate soluble</b>		
(*)	Sulphate dissolved (SO <sub>4</sub> )		98 (± 0.1) mg SO <sub>4</sub> /l
(*)	Sulphate expr. as (SO <sub>4</sub> -S)		32 mg S/l
<b>FF022</b>	<b>FF Nitrate</b>	<b>Method : According NEN-ISO 15923-1</b>	
(*)	Nitrate (NO <sub>3</sub> -N)		0.88 (± 0.08) mg N/l
(*)	Nitrate (NO <sub>3</sub> )		3.9 mg/l
<b>FF02B</b>	<b>FF Sodium (Na)</b>	<b>Method : According NEN EN ISO 17294-2</b>	

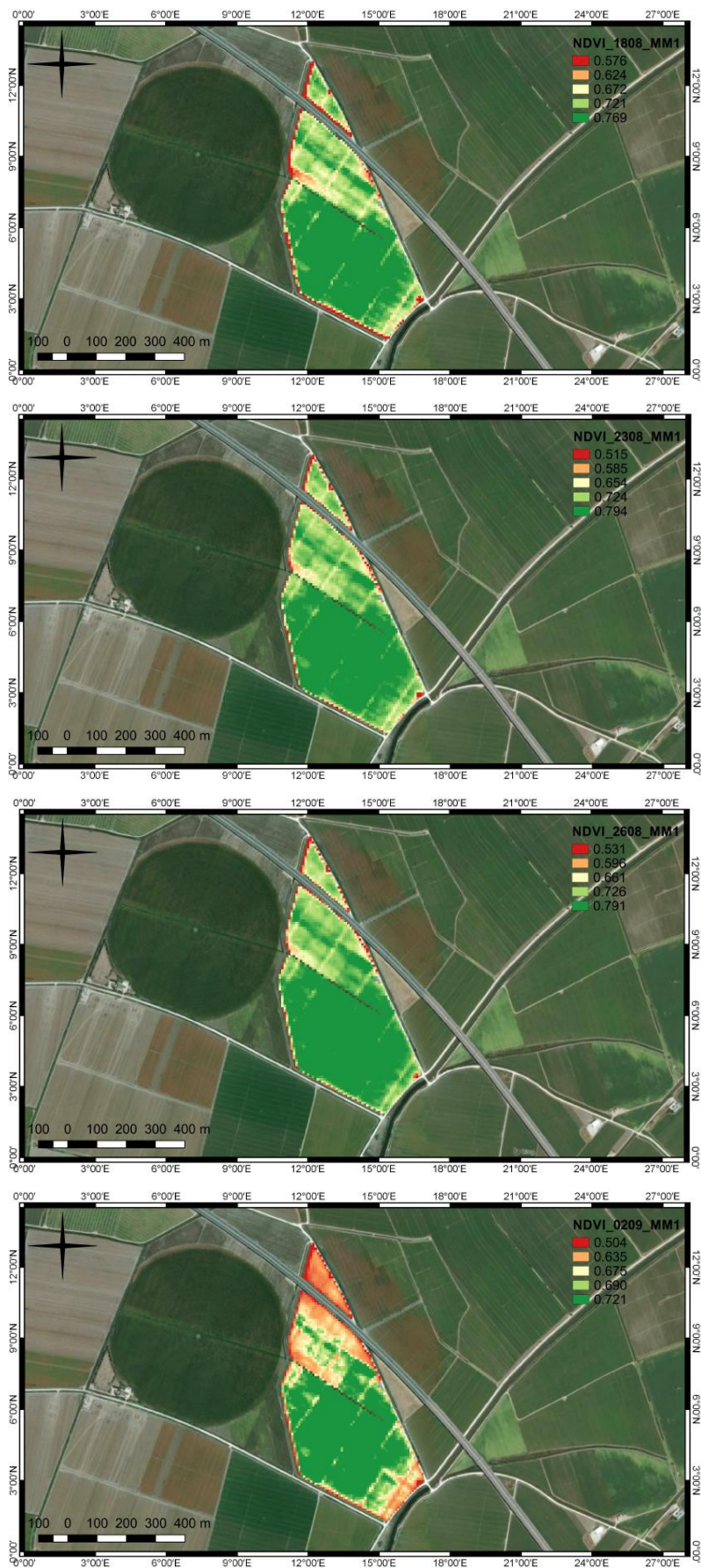


## Anexo 10 – Imagens de NDVI

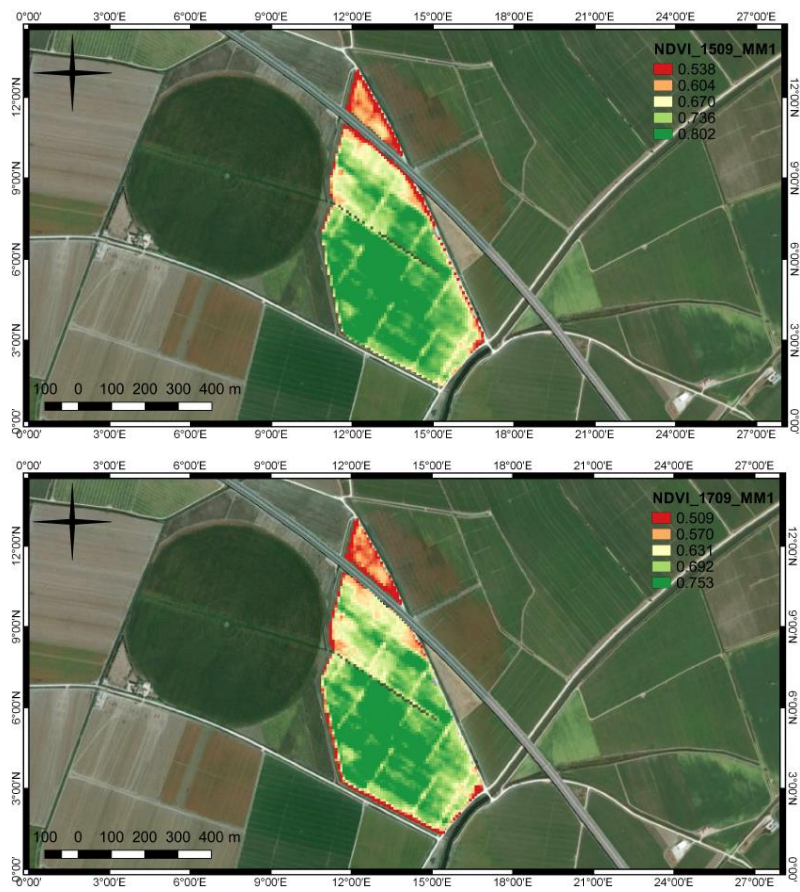












# Anexo 11 – Calendário de Rega Proposto

Rega	Data	Dotação (mm)	Rega	Data	Dotação (mm)	Rega	Data	Dotação (mm)	Rega	Data	Dotação (mm)
1ª	23/mai	3,0	33ª	04/jul	5,0	65ª	05/ago	11,5	97ª	06/set	4,1
2ª	24/mai	4,1	34ª	05/jul	5,3	66ª	06/ago	10,4	98ª	07/set	4,2
3ª	26/mai	3,5	35ª	06/jul	5,7	67ª	07/ago	6,8	99ª	08/set	5,0
4ª	27/mai	3,5	36ª	07/jul	5,7	68ª	08/ago	5,1	100ª	09/set	4,1
5ª	28/mai	2,9	37ª	08/jul	6,2	69ª	09/ago	5,7	101ª	10/set	5,1
6ª	30/mai	7,3	38ª	09/jul	6,6	70ª	10/ago	5,1	102ª	11/set	5,7
7ª	01/jun	3,3	39ª	10/jul	6,6	71ª	11/ago	6,7	103ª	12/set	5,8
8ª	02/jun	3,1	40ª	11/jul	5,5	72ª	12/ago	8,0	104ª	13/set	5,2
9ª	03/jun	2,9	41ª	12/jul	5,5	73ª	13/ago	6,5	105ª	14/set	5,1
10ª	05/jun	4,8	42ª	13/jul	4,9	74ª	14/ago	5,6	106ª	15/set	5,1
11ª	06/jun	3,1	43ª	14/jul	6,5	75ª	15/ago	7,6			
12ª	07/jun	2,9	44ª	15/jul	6,4	76ª	16/ago	7,3			
13ª	09/jun	3,5	45ª	16/jul	6,2	77ª	17/ago	6,5			
14ª	10/jun	3,2	46ª	17/jul	6,9	78ª	18/ago	6,8			
15ª	12/jun	5,3	47ª	18/jul	7,2	79ª	19/ago	9,0			
16ª	14/jun	5,8	48ª	19/jul	5,9	80ª	20/ago	9,6			
17ª	15/jun	3,7	49ª	20/jul	6,5	81ª	21/ago	7,6			
18ª	16/jun	3,3	50ª	21/jul	5,9	82ª	22/ago	7,9			
19ª	17/jun	4,2	51ª	22/jul	6,3	83ª	23/ago	8,1			
20ª	18/jun	5,0	52ª	23/jul	6,5	84ª	24/ago	7,6			
21ª	19/jun	6,4	53ª	24/jul	7,4	85ª	25/ago	7,2			
22ª	20/jun	5,4	54ª	25/jul	6,6	86ª	26/ago	6,0			
23ª	21/jun	4,9	55ª	26/jul	5,0	87ª	27/ago	7,2			
24ª	24/jun	6,7	56ª	27/jul	6,0	88ª	28/ago	7,3			
25ª	25/jun	5,1	57ª	28/jul	6,5	89ª	29/ago	4,2			
26ª	26/jun	4,5	58ª	29/jul	6,8	90ª	30/ago	4,5			
27ª	27/jun	5,0	59ª	30/jul	6,4	91ª	31/ago	6,6			
28ª	28/jun	4,9	60ª	31/jul	6,5	92ª	01/set	7,9			
29ª	29/jun	4,6	61ª	01/ago	6,8	93ª	02/set	7,2			
30ª	01/jul	6,0	62ª	02/ago	8,9	94ª	03/set	6,5			
31ª	02/jul	4,5	63ª	03/ago	9,9	95ª	04/set	4,6			
32ª	03/jul	3,4	64ª	04/ago	10,9	96ª	05/set	4,6			