

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Avaliação da rega de um amendoal em sebe no Alentejo**

Hélder Diogo Sepúlveda Pereira Cordeiro Lucas

Orientador(es) | Luís Leopoldo Silva

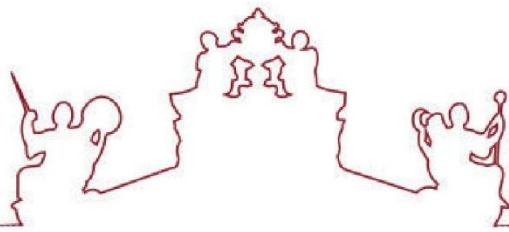
Évora 2023

---

---

---

---



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Avaliação da rega de um amendoeiro em sebe no Alentejo**

Hélder Diogo Sepúlveda Pereira Cordeiro Lucas

Orientador(es) | Luís Leopoldo Silva

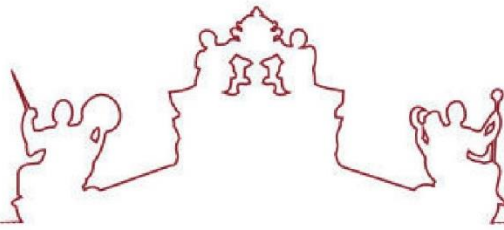
Évora 2023

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | Carlos Manuel Rodrigues (Universidade de Évora) (Arguente)  
Luís Leopoldo Silva (Universidade de Évora) (Orientador)

## **Agradecimentos**

Ao professor Luís Leopoldo Silva, orientador desta dissertação, por toda a aprendizagem, ajuda, disponibilidade e paciência, pelas centenas de mensagens, chamadas e *emails* trocados, pelas sugestões feitas e pelo esforço para que o estudo realizado e apresentado fosse possível, o meu sincero obrigado.

À Fundação Eugénio de Almeida, pela disponibilidade em aceitar o projeto, e à sua equipa de técnicos, pela ajuda nos trabalhos efetuados, particularmente aos eng. João Falcão e Rodrigo Sampaio e aos estagiários Beatriz, Vera e Sebastião, o meu agradecimento.

À empresa Hidrosoph, particularmente às técnicas Cassandra Carvalho e Marta Delgado, pela disponibilidade e ajuda nas dúvidas que foram surgindo ao longo do estudo, o meu obrigado.

Ao professor Renato Coelho, e também ao professor José Rafael Silva, e à Agroinsider, pela disponibilidade e apoio dado na recolha e interpretação de dados utilizados para o estudo, o meu agradecimento.

Às funcionárias da biblioteca da Mitra, Rosário e Sílvia, pela paciência, ajuda e carinho com que durante semanas me receberam durante a realização desta dissertação, o meu carinhoso obrigado.

À Universidade de Évora, por me ter acolhido durante cinco anos, onde entrei como bicho e saí como engenheiro, a todos os intervenientes, amigos, colegas, professores e funcionários, que direta ou indiretamente tiveram impacto no meu percurso académico, o meu obrigado.

À minha namorada, Beatriz, pela paciência, companheirismo e carinho que desde sempre me deu, um especial obrigado.

À minha família, em especial aos meus pais por serem os patrocinadores oficiais do meu percurso académico e ao meu irmão por mesmo à distância me chatear a cabeça, aos meus amigos, por todo o apoio dado desde sempre, e em especial durante o meu percurso académico, um especial obrigado.

## **Resumo**

Nos últimos anos a cultura da amendoeira tem vindo a aumentar em Portugal, sobretudo na região Alentejo. Dado tratar-se de uma cultura regada, e num cenário previsível de escassez de água na região, nasce a necessidade de encontrar soluções técnicas que maximizem a produtividade da água.

O objetivo deste estudo foi o de analisar a adequação da gestão da rega praticada por um agricultor, na região do Alentejo, num amendoal em sebe, das variedades “Avijor” e “Belona”, durante o período 2021-2023, de modo a se averiguar a sua influência na produção e quantificar a produtividade da água utilizada.

Verificou-se que a cultura foi conduzida sempre em défice hídrico, tendo existido uma variação interanual da produção em ambas as variedades e uma produção nula em 2023 devido a problemas na fase de floração. A produtividade total da água em 2021 e 2022 apresentou valores semelhantes aos verificados noutros estudos.

**Palavras-chave:** gestão da rega; amendoal; rega deficitária; produtividade da água.

## **Evaluation of the irrigation of a hedgerow almond orchard in the Alentejo region**

### **Abstract**

In recent years almond cultivation has been increasing in Portugal, especially in the Alentejo region. Given that it is an irrigated crop, and in a predictable scenario of water scarcity in the region, there is a need to find technical solutions that maximize water productivity.

The objective of this work was to analyse the adequacy of irrigation management practiced by a farmer, in the Alentejo region, in a hedgerow almond orchard, of the “Avijor” and “Belona” varieties, during the period 2021-2023, in order to investigate its influence on production and quantify the productivity of the water used.

It was found that the crop was always carried out in water deficit regime, with an interannual variation in production in both varieties and zero production in 2023 due to problems at the flowering stage. Total water productivity in 2021 and 2022 presented values similar to those found in other studies.

**Keywords:** irrigation management; almond orchard; deficit irrigation; water productivity.

## Índice Geral

	pág.
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>3</b>
2.1. A Rega .....	4
2.1.1. A Importância da Rega .....	4
2.1.2. Balanço Hídrico do Solo.....	4
2.1.3. Dotação de Rega .....	6
2.1.4. Avaliação do Estado Hídrico das Plantas.....	7
2.1.4.1. Potencial hídrico da planta .....	8
2.1.4.2. Condutância estomática .....	9
2.1.4.3. Dendrometria.....	9
2.1.4.4. Detecção remota.....	10
2.1.5. Rega Localizada .....	10
2.1.5.1. Constituição do sistema de rega.....	10
2.1.6. Rega Deficitária .....	12
2.2. A Cultura da Amendoeira .....	13
2.2.1. O Interesse da Cultura .....	13
2.2.2. Origem e Evolução da Cultura .....	14
2.2.3. Requisitos Edafoclimáticos .....	16
2.2.3. Condução da Cultura .....	16
2.2.4. Ciclo Cultural .....	17
2.2.4.1. Época de floração.....	19
2.2.4.2. Época de colheita .....	20
2.2.5. Rega da Cultura.....	21
2.2.5.1. Rega deficitária da cultura .....	22
<b>3. Materiais e Métodos</b> .....	<b>24</b>
3.1. Caracterização do Local de Estudo .....	25
3.1.1. Localização Geográfica.....	25
3.1.2. Caracterização Climática .....	25
3.1.2.1. Classificação climática .....	29
3.1.3. Caracterização Hidropedológica .....	29
3.1.3.1. Descrição dos perfis de solo.....	30
3.1.3.3. Armazenamento de água do solo .....	32

3.1.4. Caracterização Topográfica .....	33
3.2. Instalação da Cultura.....	34
3.3. Necessidades Hídricas e de Rega da Cultura .....	34
3.4. Gestão da Rega .....	39
3.5. Sistema de Rega.....	40
3.5.1. Caracterização do Sistema de Rega.....	40
3.5.2. Avaliação do Sistema de Rega .....	42
3.6. Recolha de Dados.....	44
3.2.1. Sonda de Humidade do Solo .....	44
3.2.2. Dendrómetro.....	45
3.2.3. Câmara de Pressão .....	46
3.2.4. Porómetro .....	47
3.7. Índices de Vegetação .....	48
3.7.1. NDVI .....	48
3.8. Colheita .....	49
3.9. Produtividade da Água .....	49
<b>4. Resultados e Discussão.....</b>	<b>51</b>
4.1. Caracterização Hidropedológica.....	52
4.2. Avaliação do Sistema de Rega.....	53
4.2.1. Teste de Uniformidade.....	53
4.3. Necessidades Hídricas da Cultura.....	59
4.4. Necessidades de Rega da Cultura .....	63
4.5. Avaliação do Estado Hídrico da Cultura .....	67
4.5.1. Teor de Água do Solo .....	67
4.5.2. Contração Máxima Diária do tronco.....	70
4.5.3. Taxa de Crescimento do Tronco .....	71
4.5.4. Potencial Hídrico.....	72
4.5.5. Condutância Estomática .....	75
4.5.6. NDVI .....	76
4.6. Produção da Cultura.....	79
4.7. Produtividade da Água .....	81
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>83</b>
<b>6. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>86</b>
<b>7. Apêndices .....</b>	<b>94</b>
Apêndice A – Carta de Solos .....	95
Apêndice B – Descrição dos Perfis de Solo .....	97
Apêndice C – Carta Militar.....	99



<b>8. Anexos.....</b>	<b>101</b>
Anexo I – Projetos da Rede de Rega .....	102
Anexo II – Análises de Solo do Produtor .....	105
Anexo III – Análises de Solo Realizadas .....	108

## Índice de Tabelas

	pág.
Tabela 2.1 – Valores indicativos de eficiência de rega.....	7
Tabela 2.2 – Evolução da área de amendoal em Portugal, em ha.....	15
Tabela 2.3 – Evolução da produtividade da cultura da amendoeira em Portugal, em kg de miolo por ha.....	15
Tabela 2.4 – Ciclo cultural da amendoeira.....	18
Tabela 3.1 – Dados de temperatura, período 1971-2000.....	26
Tabela 3.2 – Dados de precipitação, período 1971-2000.....	26
Tabela 3.3 – Dados de humidade relativa, período 1971-2000.....	28
Tabela 3.4 – Dados de insolação, período 1971-2000.....	28
Tabela 3.5 – Dados de velocidade do vento, período 1971-2000.....	28
Tabela 3.6 – Dados das análises de solo do produtor.....	31
Tabela 3.7 – Dados físicos e químicos do solo (análises do estudo).....	31
Tabela 3.8 – Dados da cultura.....	37
Tabela 3.9 – Classificação da uniformidade de emissão, em rega localizada.....	43
Tabela 4.1 – Dados da capacidade de armazenamento do solo (análises de solo próprias), em percentagem.....	52
Tabela 4.2 – Dados da capacidade de armazenamento do solo (análises de solo próprias), em volume.....	52
Tabela 4.3 – Caudais (Q) medidos em março, setor 24.....	53
Tabela 4.4 – Caudais (Q) medidos em março, setor 25.....	54
Tabela 4.5 – Caudais (Q) medidos em março, setor 27.....	54
Tabela 4.6 – Caudais (Q) medidos em março, setor 31.....	55
Tabela 4.7 – Resultados do teste de uniformidade realizado em março.....	55
Tabela 4.8 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 24.....	56
Tabela 4.9 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 25.....	56
Tabela 4.10 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 27.....	57
Tabela 4.11 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 31.....	57
Tabela 4.12 – Resultados do teste de uniformidade realizado em julho.....	58
Tabela 4.13 – Necessidades hídricas da cultura, por fase do ciclo vegetativo.....	62
Tabela 4.14 – Comparação entre NR brutas e Dr.....	65
Tabela 4.15 – Dados da produção.....	79
Tabela 4.16 – Resultados da produtividade da água.....	81
Tabela 4.17 – Resultados da produtividade da água de rega.....	82

## Índice de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 2.1 – Balanço hídrico do solo.....	5
Figura 2.2 – Esquematização do sistema de rega localizada.....	11
Figura 2.3 – Evolução da produção de amêndoa em Portugal.....	16
Figura 2.4 – Fases do ciclo cultural ao longo do ano. ....	18
Figura 2.5 – Períodos de floração, várias variedades, região de Córdova, Espanha... 19	19
Figura 2.6 – Períodos de floração, várias variedades, Portugal. ....	20
Figura 2.7 – Períodos de colheita, várias variedades, região de Córdova, Espanha... 21	21
Figura 2.8 – Períodos de colheita, várias variedades, Portugal.....	21
Figura 3.1 – Localização do amendoal. ....	25
Figura 3.2 – Gráfico termopluiométrico, período 1971-2000.....	27
Figura 3.3 – Gráfico termopluiométrico, período 2021-2023.....	27
Figura 3.4 – Frequência da direção do vento em Évora, para o período de novembro de 2009 a setembro de 2022. ....	29
Figura 3.5 – Camalhão de uma linha de cultura.....	30
Figura 3.6 – Recolha de uma amostra de solo com a sonda.....	32
Figura 3.7 – Monólito recolhido (setor 27).....	32
Figura 3.8 – Estação meteorológica do local do estudo.....	36
Figura 3.9 – Entrelinha da cultura. ....	39
Figura 3.10 – Filtros de areia do sistema de rega. ....	41
Figura 3.11 – Componentes do sistema de fertilização: A – depósitos; B – bombas; C – local onde a solução de fertilizante é injetada na conduta principal. ....	41
Figura 3.12 – Distribuição dos pontos de recolha no teste de avaliação do sistema de rega. ....	43
Figura 3.13 – Sonda de humidade do solo.....	44
Figura 3.14 – Dendrómetro instalado no tronco de uma amendoeira.....	46
Figura 3.15 – Câmara de Pressão. ....	47
Figura 3.16 – Porómetro. ....	48
Figura 4.1 – Evolução da ETo nos anos de 2021 a 2023.....	59
Figura 4.2 – Comparação da ETo dos dois locais em 2021. ....	60
Figura 4.3 – Comparação da ETo dos dois locais em 2022. ....	60
Figura 4.4 – Comparação da ETo dos dois locais em 2023. ....	61
Figura 4.5 – Comparação entre ETo do ano médio do período 1971-2000 e dos anos 2021 a 2023.....	62
Figura 4.6 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2021. ....	63

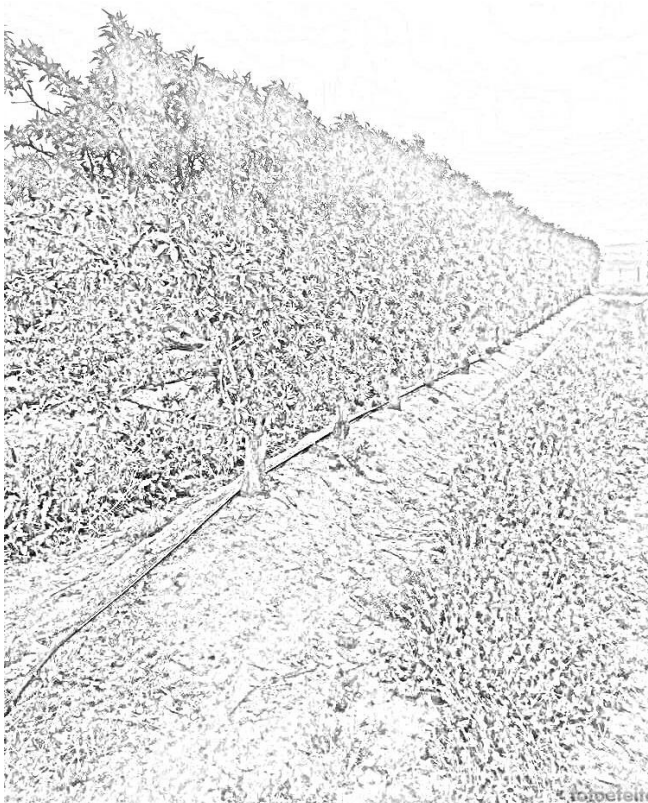
Figura 4.7 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2022. ....	64
Figura 4.8 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2023. ....	64
Figura 4.9 – Comparação entre NR brutas de 1971-2000 com as dos anos em análise. ....	66
Figura 4.10 – Teor de água do solo a cada 10 cm. ....	67
Figura 4.11 – Armazenamento de água no solo nos primeiros 60 cm. ....	68
Figura 4.12 – Evolução contração máxima diária do tronco. ....	70
Figura 4.13 – Evolução da taxa de crescimento do tronco. ....	71
Figura 4.14 – Evolução do potencial hídrico do caule em 2022. ....	73
Figura 4.15 – Evolução do potencial hídrico do caule em 2023. ....	73
Figura 4.16 – Evolução da condutância estomática. ....	75
Figura 4.17 – Comparação entre NDVI dos anos 2021 a 2023 e Kc, variedade “Avijor”. ....	77
Figura 4.18 – Comparação entre NDVI dos anos 2021 a 2023 e Kc, variedade “Belona”. ....	77
Figura 4.19 – Evolução do NDVI em 2023. ....	78

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

Símbolo/Abreviatura	Grandeza/Significado	Unidade
$\Delta$	Declive da curva de tensão de vapor	kPa °C <sup>-1</sup>
$\Delta S$	Varição do armazenamento de água do solo	mm
$\Delta V$	Varição da água incorporada na planta	mm
$\Psi$	Potencial hídrico	MPa
$\Psi_g$	Potencial gravitacional	MPa
$\Psi_p$	Potencial de pressão	MPa
$\Psi_s$	Potencial osmótico	MPa
$\Psi_{stem}$	Potencial hídrico do caule	MPa
$\gamma$	Constante psicométrica	kPa °C <sup>-1</sup>
AHS	Ângulo da hora solar	rad
AJAP	Associação dos Jovens Agricultores de Portugal	
BBCH	<i>Biologische bundesantalt, bundessortenamt und chemische industrie</i>	
Ca	Solos hidromórficos sem horizonte eluvial de aluviões ou coluviais de textura mediana	
CC	Capacidade de campo	mm
CE	Coeficiente de emurchecimento	mm
Cs	Clima temperado com verão seco	
Csa	Clima temperado com verão seco, com verão quente	
CU	Capacidade utilizável	
Dap	Densidade aparente	
DP	Percolação	mm
Dr	Dotação de rega	mm; m <sup>3</sup> /ha
DRTS	Distância relativa Terra-Sol	
DS	Declinação solar	rad
Du	Dotação útil	mm; m <sup>3</sup> /ha
E	Evaporação do solo	mm
Ea	Eficiência de aplicação	
$e_a$	Tensão atual do vapor	kPa
$e_s$	Tensão de saturação do vapor	kPa
ETc	Evapotranspiração cultural	mm; mm/dia
ETo	Evapotranspiração de referência	mm; mm/dia
EUA	Estados Unidos da América	

FAO	<i>Food Agriculture Organization</i>	
FDR	<i>Frequency domain reflectometry</i>	
FL	Fração de lavagem	
G	Fluxo de calor do solo	MJ m <sup>-2</sup> °C <sup>-1</sup>
GW	Ascensão capilar	mm
H relativa	Humidade relativa	
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera	
IR	Radiação relativa	
IWP	Produtividade da água de rega	kg/m <sup>3</sup>
J	Número do dia do ano	
Kc	Coeficiente cultural	
Ky	Coeficiente de sensibilidade hídrica	
MDS	Contração máxima diária do tronco	mm
N	Duração máxima da insolação	h
n.d.	Não medido	
NDVI	<i>Normalized difference vegetation index</i>	
NIR	Refletância registada na banda do infravermelho próximo	
NR brutas	Necessidades de rega brutas	mm; mm/dia
NR líquidas	Necessidades de rega líquidas	mm
P	Precipitação	mm
p	Fração de depleção	
p tab	Fração de depleção tabelada	
p ajustado	Fração de depleção ajustada	
Pe	Precipitação efetiva	mm
PEBD	Polietileno de baixa densidade	
Pg	Solos litólicos não húmicos de granitos ou rochas afins	
Pgm	Solos litólicos não húmicos de rochas eruptivas de composição mineralógica entre granito e quartzodiorito	
Pmg	Solos mediterrâneos pardos de quartzodioritos	
Pmon	Precipitação total mensal	mm
PRD	Rega parcial do sistema radicular	
PVC	Policloreto de vinila	
Q	Caudal	l/h

Qr	Escorrimento ou escoamento superficial	mm
Q qi	Caudal médio do quartil inferior	l/h
R	Água aplicada na rega	mm
RDI	Rega deficitária controlada	
RDU	Reserva dificilmente utilizável	
RE	Radiação extraterrestre	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
RED	Refletância registada a banda do vermelho	
RFU	Reserva facilmente utilizável	mm
Rn	Radiação líquida	MJ m <sup>-2</sup> °C <sup>-1</sup>
SDI	Rega deficitária sustentada	
SPAW	<i>Soil-Plant-Atmosphere-Water field and pond hydrology</i>	
$\bar{T}_2$	Temperatura média do ar a 2 m do solo	°C
TGR	Taxa de crescimento do tronco	mm
T max	Média das temperaturas máximas mensais	°C
T med	Média das temperaturas médias mensais	°C
T min	Média das temperaturas mínimas mensais	°C
Tr	Transpiração	mm
U2	Velocidade média do vento a 2 m do solo	m/s
UE	Uniformidade de emissão dos gotejadores	
Uz	Capacidade utilizável na profundidade z	mm
v vento	Velocidade do vento	m/s; km/h
WP	Produtividade da água	kg/m <sup>3</sup>
z	Profundidade do horizonte e/ou profundidade radicular	mm



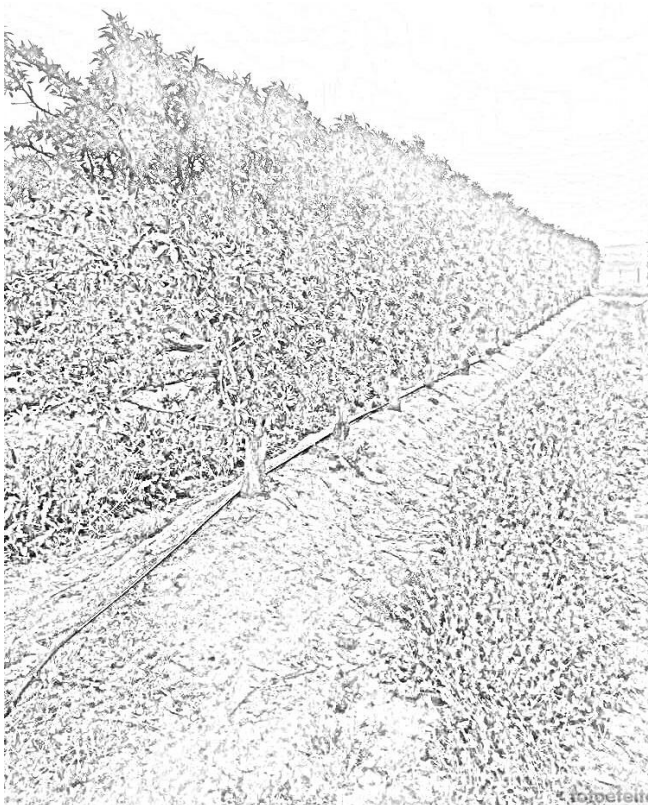
## 1. Introdução



Em Portugal, sobretudo na última década, a área de amendoal tem vindo a aumentar, nomeadamente na região do Alentejo. Sendo que as novas áreas de amendoal são, na sua maioria pomares intensivos, a cultura é regada, e verificando-se uma diminuição da precipitação anual ao longo das últimas décadas, que se traduz numa diminuição da quantidade de água disponível para a rega, é de fulcral importância o estudo e a implementação de estratégias de rega deficitária para a cultura, de forma a se reduzir o consumo de água e maximizar o retorno económico.

Embora a cultura, e a rega deficitária da mesma, já seja estudada há décadas em países como os EUA e Espanha, dado que a cultura intensiva do amendoal em Portugal é relativamente recente, ainda poucos estudos foram realizados para a situação portuguesa, sendo uma necessidade para os produtores nacionais, pois as condições edafoclimáticas de Portugal, são diferentes das americanas e das espanholas, e mesmo em território nacional há diferenças entre as várias regiões produtoras da cultura da amendoeira. Como tal é não só importante estudar a adaptação da cultura e do sistema de cultivo, como também avaliar a gestão da cultura, com especial foco na gestão da rega, feita pelos produtores nacionais, para ser possível melhorar as práticas culturais, de forma a aumentar a rentabilidade económica da cultura.

O objetivo do estudo é analisar a adequação da gestão da rega praticada por um agricultor, na região do Alentejo, num amendoal em sebe, das variedades “Avijor” e “Belona”, durante o período 2021-2023, de modo a se averiguar a sua influência na produção e quantificar a produtividade da água utilizada.



## 2. Revisão Bibliográfica

## 2.1. A Rega

### 2.1.1. A Importância da Rega

Atualmente a agricultura é a fonte de quase toda a alimentação humana, e tendo em conta que a população mundial está a aumentar, a produção agrícola tem a necessidade de aumentar de forma a produzir alimentos em quantidades cada vez maiores. A produção agrícola pode aumentar por duas vias: ou se aumenta a área explorada; ou se aumenta a produção por unidade de área. Tendo em conta que a primeira opção é limitada (uma vez que toda a área não explorada ou tem fraca aptidão produtiva, ou não permite a produção agrícola), a melhor forma de se aumentar a produção agrícola será através do aumento da produtividade (produção por unidade de área) (Raposo, 1996).

Ainda segundo Raposo (1996), é com a finalidade de aumentar a produtividade que entra a rega, a par de outras práticas culturais como a fertilização, fitossanidade, manejo do solo, seleção de plantas, drenagem, entre outros, pelo que se tem verificado esforços por parte de um grande número de países, sobretudo após a Segunda Guerra Mundial, no aumento da área regada, como por exemplo Itália, França, Espanha, Marrocos, Israel e Austrália, bem como Portugal.

Segundo Oliveira (2011), a rega consiste no fornecimento artificial de água às plantas, quando a precipitação natural não consegue satisfazer as necessidades hídricas das mesmas.

### 2.1.2. Balanço Hídrico do Solo

As necessidades de água para a rega podem ser estimadas através do balanço hídrico do solo (Figura 2.1).

Segundo Pereira (2004), a equação do balanço hídrico do solo, para um dado período de tempo, e para uma dada profundidade de solo é:

$$\Delta V + \Delta S = (P + R + GW) - (Q_r + DP + E + Tr) \quad (2.1)$$

sendo:

- $\Delta V$  – variação da água incorporada na planta (mm);
- $\Delta S$  – variação do armazenamento de água no solo (mm).
- P – precipitação (mm);
- R – água aplicada na rega (mm);
- GW – ascensão capilar (mm);
- $Q_r$  – escoamento ou escoamento superficial (mm)

- DP – percolação (mm);
- E – evaporação do solo (mm);
- Tr – transpiração (mm).

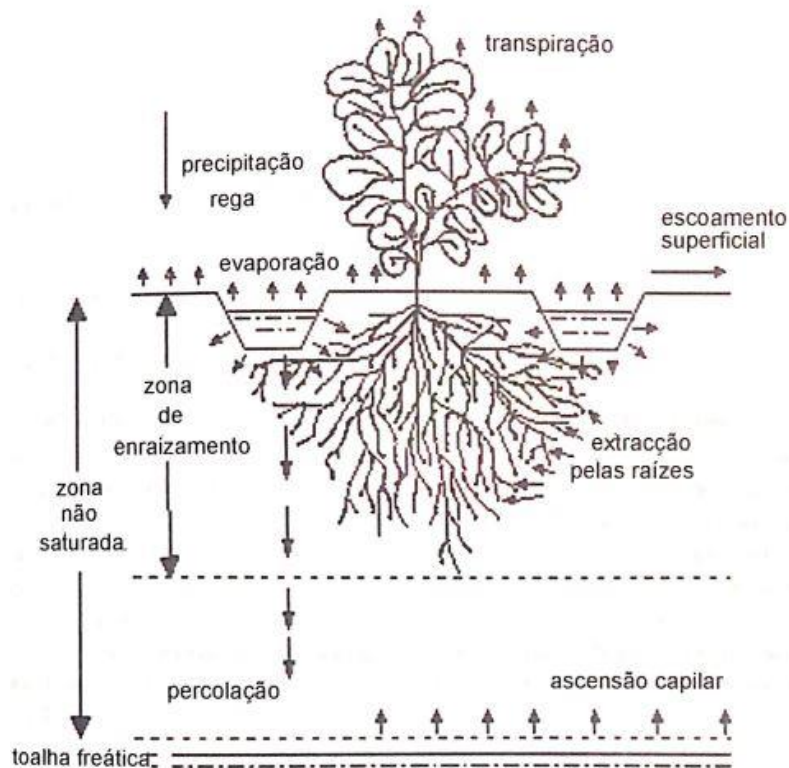


Figura 2.1 – Balanço hídrico do solo. (Fonte: Pereira, 2004)

Esta expressão pode ser simplificada: a quantidade de água incorporada pela planta, quando comparada com os restantes parâmetros, é um valor muito reduzido, pelo que pode ser desprezado; as perdas por percolação, sendo que se se planeia fazer regas de forma correta, e dada a dificuldade de determinar estas perdas, também podem ser desconsideradas; os ganhos por ascensão capilar, só devem ser considerados caso a toalha freática esteja a uma profundidade tal que possa disponibilizar água para a cultura, e como tal nem sempre se considera este parâmetro; as perdas por escoamento, quando se fazem simulações são estimadas, e como tal ajusta-se os ganhos por precipitação (calculando-se a precipitação efetiva) e os ganhos pela rega (calculando-se a dotação útil); e as perdas por evaporação e por transpiração são calculadas em conjunto, tendo-se assim a evapotranspiração da cultura (Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

Como tal tem-se (adaptado de Oliveira, 2011):

$$Pe + Du = ETc \pm \Delta S \quad (2.2)$$

sendo:

- Pe – precipitação efetiva (mm);
- Du – dotação útil (mm);
- ETc – evapotranspiração cultural (mm);
- $\Delta S$  - variação do armazenamento de água do solo (mm).

De acordo com Shahidian *et al.* (2017), a evapotranspiração cultural, ETc, consiste na totalidade da água consumida pela cultura caso esta se desenvolva de acordo com o seu potencial produtivo. Pode ser calculada com base na evapotranspiração de referência (ETo) através da expressão (Allen *et al.*, 1998; Shahidian *et al.*, 2017):

$$ETc = ETo * Kc \quad (2.3)$$

A evapotranspiração de referência, é o valor de evapotranspiração para uma cultura hipotética de relva numa área extensa, sendo um parâmetro de referência que ao multiplicar pelo coeficiente cultural, Kc, que é específico de cada cultura (variando consoante a fase do ciclo da cultura, a frequência da rega, a cobertura do solo, a densidade de sementeira/plantação e o potencial produtivo), permite obter a evapotranspiração cultural (Allen *et al.*, 1998; Shahidian *et al.*, 2017).

De acordo com Oliveira (2011), a precipitação efetiva é a parte da água proveniente da precipitação natural que fica disponível para as plantas satisfazerem as suas necessidades. Ou seja, é a parte da precipitação que se infiltra no solo (retirando-se, portanto, a parte que originou o escoamento).

O teor de água do solo pode ser medido diretamente ou indiretamente. Como método direto tem-se o método gravimétrico. E como métodos indiretos tem-se: tensiómetro; blocos de resistência elétrica; método neutrónico; e métodos baseados na constante dielétrica do solo (Oliveira, 2011).

Sabendo-se assim os valores de precipitação efetiva, evapotranspiração cultural e variação do teor de água do solo é possível determinar a dotação útil de rega a aplicar.

$$Du = ETc - Pe \pm \Delta S \quad (2.4)$$

### 2.1.3. Dotação de Rega

Há ainda que distinguir dotação útil (líquida), Du, e dotação de rega (bruta), Dr. A dotação útil é o volume de água necessário para repor no solo a água

evapotranspirada pela cultura, enquanto a dotação de rega (ou volume de água a fornecer) é o somatório da dotação útil com as perdas de água do sistema (perdas essas representadas na eficiência da rega, e caso seja praticada, na fração de lavagem) (Oliveira, 2011).

Portanto, embora as perdas por escoamento e percolação tenham sido desconsideradas na equação simplificada do balanço hídrico do solo, para facilitar a determinação da quantidade de água que é necessário aplicar na rega para satisfazer as necessidades hídricas da cultura, aquando do planeamento da rega estas perdas têm de ser consideradas, sendo a estimativa das mesmas representada pela eficiência de rega.

A eficiência da rega varia consoante o sistema de rega, as características do solo e as condições climáticas (nomeadamente a velocidade do vento). Como valores indicativos têm-se os seguintes:

Tabela 2.1 – Valores indicativos de eficiência de rega. (**Adaptado de:** Pereira, 2004)

Sistemas de rega	Eficiência de rega (%)
Rega por gravidade com nivelamento de precisão	
Sulcos	65-85
Faixas	70-85
Bacias	70-90
Rega por gravidade tradicional	
Sulcos	40-70
Faixas	45-70
Bacias	45-70
Rega por aspersão	
Sistemas estacionários com cobertura total	65-85
Sistemas estacionários deslocáveis manualmente	65-80
Rampas com rodas	65-80
Canhão com enrolador ou com cabo	55-70
Rampas rotativas ( <i>center pivot</i> )	65-85
Microrrega	
Gotejadores, 3 emissores/planta (pomares)	85-95
Gotejadores, <3 emissores/planta	80-90
Microaspersores (pomares)	85-95
Linha contínua de emissores gota-a-gota	70-90

#### 2.1.4. Avaliação do Estado Hídrico das Plantas

Segundo Pessaraki (2001), a produção máxima de uma cultura, consoante o seu potencial produtivo (características genéticas) é atingida quando: é maximizada a duração e a extensão da interceção de radiação solar; a energia capturada é utilizada

eficientemente na fotossíntese; os fotoassimilados, resultantes da fotossíntese, são armazenados nas partes da planta com interesse económico (parte que é colhida); e se mantém os restantes órgãos das plantas com um consumo mínimo de energia.

E segundo Taiz *et al.* (2017), para que na fotossíntese haja absorção de dióxido de carbono é necessário que haja perda de água por parte da planta.

Logo quando a planta não se encontra em conforto hídrico vai ativar mecanismos que reduzam as perdas hídricas. Para tal, numa fase inicial, reduz a abertura dos estomas, e se o défice hídrico se agravar, provoca abscisão foliar (queda das folhas), parcial ou total (Pessaraki, 2001).

O fecho dos estomas diminuiu o fluxo de dióxido de carbono atmosférico absorvido pela planta, baixando assim a taxa fotossintética, levando a uma menor produção de fotoassimilados, e como tal a uma diminuição do armazenamento dos mesmos nos órgãos da planta com interesse, tendo assim perda de produção, podendo mesmo ocorrer abscisão foliar, que terá o mesmo efeito, mas de forma mais severa (Taiz *et al.*, 2017).

A gestão da rega, de acordo com Oliveira (2011), pode ser feita com base no conforto hídrico das plantas, sendo que os parâmetros analisados para o efeito poderão ser, de entre outros, o potencial hídrico da planta, a condutância (ou abertura) estomática, a dendrometria (diâmetro do tronco), e os índices espectrais, obtidos por deteção remota. Segundo o mesmo autor, muitas das vezes este acompanhamento do conforto/défice hídrico da cultura tem como objetivo principal avaliar se a rega está a ser conduzida de forma correta, ou seja, procura-se avaliar se a quantidade de água fornecida é ou não suficiente, e não determinar o valor exato de água a aplicar.

#### 2.1.4.1. Potencial hídrico da planta

Citando Taiz *et al.* (2017), “o potencial hídrico é uma medida da energia livre da água por unidade de volume”. Pode ser dividido em três componentes:

- $\Psi_s$  – potencial osmótico, associado ao efeito dos solutos sobre a energia livre da água;
- $\Psi_p$  – potencial de pressão, associado ao efeito da pressão hidrostática sobre a energia livre da água;
- $\Psi_g$  – potencial gravitacional, associado ao efeito da gravidade, na atração da água.

Para o cálculo do potencial hídrico da planta tem-se, portanto, a expressão (Taiz *et al.*, 2017):

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g \quad (2.5)$$

O potencial hídrico, além de variar com as condições de crescimento da planta (nomeadamente com o seu conforto hídrico), varia também com o local da planta onde é medido (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Williams & Araujo (2002), pode-se medir o potencial hídrico de duas partes da planta, da folha e do caule, e em dois momentos, ao amanhecer e ao meio dia solar. Estes autores estudaram a correlação do potencial hídrico da folha ao amanhecer, do potencial hídrico da folha ao meio dia solar e do potencial hídrico do caule,  $\Psi_{stem}$ , ao meio dia solar, correlacionando estes parâmetros entre si e também com o teor de água do solo e com as dotações de rega aplicadas, e obtiveram correlações fortes, concluindo assim que as três formas de medir o potencial hídrico da planta são viáveis para a avaliação do estado hídrico da planta.

Para a medição do potencial hídrico da planta podem ser utilizados dois instrumentos: a câmara de pressão e o psicrómetro (Shahidian *et al.*, 2017).

#### 2.1.4.2. Condutância estomática

A condutância estomática é também um parâmetro que permite avaliar o conforto hídrico da planta, pois esta depende do teor de água da planta. Este parâmetro também tem a vantagem de estar diretamente relacionado com a taxa de transpiração da planta e com a absorção de dióxido de carbono (Taiz *et al.*, 2017).

Para a medição deste fator o aparelho utilizado denomina-se de porómetro (SOMATCO, 2020).

#### 2.1.4.3. Dendrometria

O diâmetro do tronco (dendrometria) é também uma forma de se avaliar o conforto hídrico da planta. Goldhamer *et al.* (1999) relacionaram, em pessegueiros, o diâmetro do tronco com o potencial da água no solo, e Goldhamer & Fereres (2001) comprovaram a aplicação deste método na cultura da amendoeira.

A partir da dendrometria podem-se obter vários parâmetros com interesse para a avaliação do estado hídrico das plantas, como o contração máxima diária do tronco, MDS (*Maximum Daily Shrinkage*), que consiste na diferença entre os diâmetros máximo e mínimo diários, e a taxa de crescimento do tronco, TGR (*Trunk Growth Rate*), resultado da diferença dos diâmetros máximos de 2 dias consecutivos (Martín-Palomo *et al.*, 2022).



#### 2.1.4.4. Detecção remota

A utilização da detecção remota, segundo Xue & Su (2017), tem interesse do ponto de vista agronómico, pois consegue-se obter informação do estado de desenvolvimento das culturas, para áreas extensas.

Para a avaliação do desenvolvimento vegetativo da cultura pode-se utilizar o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que se relaciona não só com a estrutura da copa e a área foliar, como também com a fotossíntese. O índice é calculado utilizando as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED) (Xue & Su, 2017).

#### 2.1.5. Rega Localizada

Os sistemas de rega considerados mais eficientes (Tabela 2.1) são os sistemas de microrrega (ou microirrigação), também denominada rega localizada (Raposo, 1989).

A rega localizada é definida como a aplicação no solo de água em uma área restrita do sistema radical (por oposição a regar a totalidade da área ocupada pelo mesmo). Caracteriza-se por: apenas uma parte da superfície do solo ser regada (e não a totalidade do mesmo como em outros processos de rega); funciona com baixos caudais e baixas pressões; aplica a água de rega próximo das plantas, em pontos de emissão, que podem ser ou gotejadores ou microaspersores; trabalhando com baixos caudais, a frequência das regas terá de ser alta para conseguir suprimir as necessidades das culturas (Lopez *et al.*, 1997).

A rega localizada utilizando gotejadores é denominada rega gota a gota, e é definida assim pois os seus emissores não aplicam mais do que 16 /h, e como tal a água na saída do emissor forma gotas e não um jato contínuo (Lopez *et al.*, 1997; Raposo, 1989).

##### 2.1.5.1. Constituição do sistema de rega

De acordo com Lopez *et al.* (1997), os sistemas de rega gota a gota são constituídos por: fonte de abastecimento, estação de bombagem; cabeçal, que pode conter, um controlador do sistema de rega, equipamento para a fertilização (para a aplicação de fertirrega) e o sistema de filtragem; condutas; emissores, mais especificamente gotejadores; válvulas; entre outros componentes necessários conforme a instalação, como juntas. Na Figura 2.2 tem-se a ilustração dos diversos constituintes e da sua instalação no sistema de rega.

O sistema de filtragem, pode conter um ou mais dos seguintes filtros: pré-filtro (depósito de decantação e/ou dispositivo de desbaste); hidrociclone, também

denominado de separador de areia; filtro de areia; e filtro de malha (Lopez *et al.*, 1997). A escolha dos equipamentos será baseada na quantidade de impurezas que a água utilizada para rega contenha, sendo que, dada a reduzida dimensão dos orifícios dos gotejadores, o sistema de filtragem deve no mínimo conter um filtro de malha (Oliveira, 2011).

No caso das condutas, segundo Oliveira (2011), estas são classificadas como: condutas principais as que conduzem a água desde a fonte de abastecimento até cada um dos setores de rega, ou até aos pontos de distribuição (nos casos em que um setor tem mais do que um ponto de tomada de água); conduta secundária, ou porta-ramal, as condutas que dentro de um setor conduzem a água a todos os ramais; conduta terciária, também denominada de lateral ou ramal, a conduta que conduz a água a todos os emissores, desde a conduta secundária.

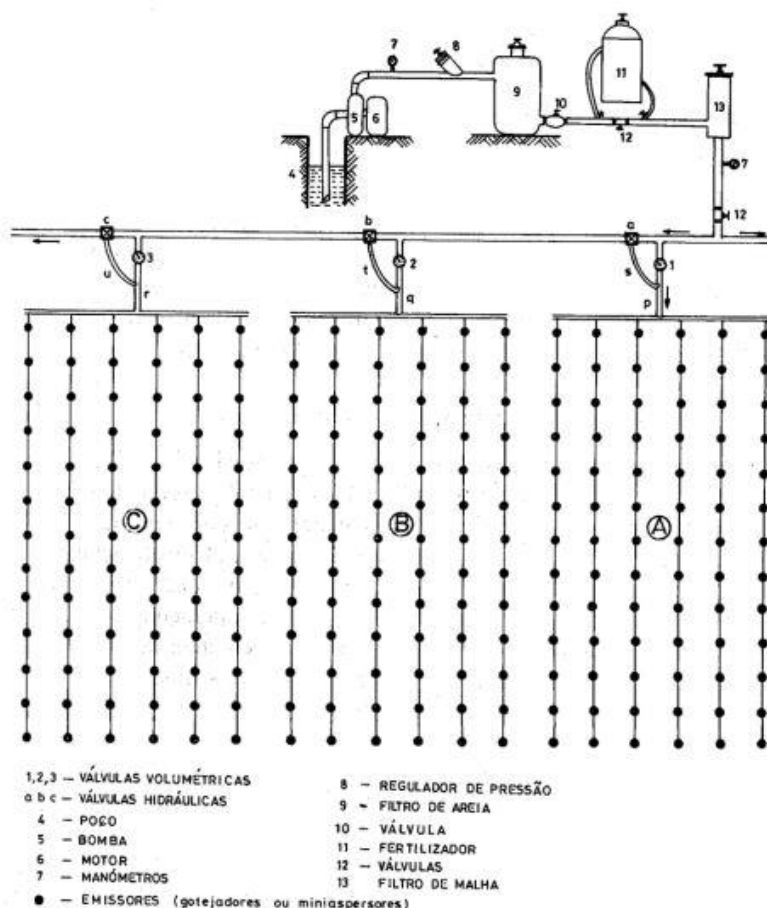


Figura 2.2 – Esquematização do sistema de rega localizada. (Fonte: Raposo, 1994)

Os gotejadores podem ser classificados de acordo com (Gómez, 2010):

1. A forma como são inseridos no ramal, podendo ser:
  - Inseridos: são colocados cortando o tubo transversalmente e ligando-se o gotejador nesse corte;

- Perfurados: são colocados no tubo do ramal através de um orifício presente neste último;
  - Integrados: são colocados dentro do tubo do ramal, com um orifício neste último que possibilite a saída da água, durante o processo de fabrico.
2. A forma como o caudal varia com a pressão:
- Não compensantes: o caudal varia com a pressão;
  - Autocompensantes: dentro dos limites de pressão determinados o caudal não varia.

De acordo com Oliveira (2011), pode-se ainda classificar em função de:

3. A forma como a energia da água é dissipada:
- De longo percurso: a perda de energia é tida por meio de um tubo comprido (pela força de resistência que a parede do tubo faz sobre a água);
  - De percurso curto: semelhantes aos anteriores, mas com um tubo de comprimento mais reduzido;
  - De orifício: a perda de energia faz-se por um tubo de muito reduzida dimensão, um orifício;
  - De vórtice: semelhantes aos gotejadores de orifício, mas com células circulares, onde a água penetra tangencialmente, provocando um movimento circular que leva à perda de energia da água;
  - De labirinto: a perda de energia da água ocorre pela passagem desta por um longo percurso tortuoso.

#### 2.1.6. Rega Deficitária

Um problema comum aos países com clima mediterrânico, ou pelo menos a regiões desses países, é, por um lado, a diminuição da quantidade de água disponível para a rega, resultado da diminuição da precipitação, e por outro lado, o aumento da temperatura, aumentando assim as necessidades hídricas das culturas (Ramos, 2001; Simolo *et al.*, 2014). Posto isto, estes fatores exigem um aperfeiçoamento da condução das culturas regadas de forma a se obter o máximo de eficiência do uso deste fator de produção, podendo-se assumir que assim nasce a necessidade de se planear e aplicar estratégias de rega deficitária (Oliveira, 2011).

Rega deficitária define-se como a prática de rega em que não se satisfaz a totalidade das necessidades hídricas das plantas, podendo ter um ou vários dos

seguintes objetivos: redução da quantidade de água (e energia) gasta na rega; redução do vigor vegetativo da cultura; melhoria da qualidade da produção; diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação (AgroB Business School EV, 2022).

De acordo com Fernández (2017), como estratégias de rega deficitária tem-se: rega deficitária controlada (RDI, do inglês *Regulated Deficit Irrigation*), caracterizada por apenas se colocar a planta em *stress* hídrico nas fases do ciclo menos sensíveis ao mesmo, sendo que nas fases mais sensíveis as necessidades hídricas são satisfeitas; rega deficitária sustentada (SDI, do inglês *Sustained Deficit Irrigation*), em que durante todo o ciclo da cultura o déficit hídrico é mantido ao mesmo nível, ou seja, fornece-se à planta uma fração das necessidades hídricas constante ao longo do ciclo; rega parcial do sistema radicular (PRD, do inglês *Partial Root zone Drying*), em que durante o ciclo cultural se mantém parte do sistema radicular sob *stress*, e outra parte sobre conforto hídrico, sendo que se alterna ao longo do tempo qual a parte do sistema radicular a ser regada.

Para colocar em prática qualquer estratégia de rega deficitária é necessário avaliar a capacidade de armazenamento de água no solo disponível para as plantas, também denominada de capacidade utilizável (CU). Para a determinação desta propriedade é necessário saber a capacidade de campo, CC, ou seja, o teor de água do solo a 33,4 kPa (0,33 atm), ou pF 2,54, ou seja, a água que resiste à força da gravidade, e o coeficiente de emurchecimento, CE, que é o teor de água do solo a 1.519,9 kPa (15 atm), ou pf 4,2, o que em termos práticos representa o volume de água do solo que as plantas não conseguem utilizar (Shahidian *et al.*, 2017).

Segundo Allen *et al.* (1998), a capacidade utilizável pode ser dividida em duas componentes: a reserva facilmente utilizável (RFU), que corresponde à fração da água da capacidade utilizável que, para as plantas absorverem despendem pouca energia, e como tal não haverá influência sobre a produção; e a reserva dificilmente utilizável (RDU), que corresponde à fração da capacidade utilizável que, para as plantas absorverem a água nela contida, terão um gasto de energia significativo, verificando-se perdas de produção devido à energia gasta na absorção da água.

## **2.2. A Cultura da Amendoeira**

### **2.2.1. O Interesse da Cultura**

A cultura da amendoeira tem interesse devido às características do seu fruto, a amêndoa, nomeadamente ao nível nutricional (para a alimentação humana), e também ao nível da variedade de produtos transformados que podem ser obtidos, o que confere à produção um valor económico interessante (*Almond Board of California*, 2023).

Um outro fator de interesse desta cultura é a sua resistência a condições de reduzida disponibilidade hídrica. Pelo que em zonas de clima mediterrânico, caracterizadas por uma estação quente e seca, esta cultura não só é possível, como apresenta resultados económicos interessantes, sendo que, quando regada, a sua produção tem aumentos significativos, que se traduzem num aumento do seu rendimento económico (AJAP, 2017; Aguiar *et al.*, 2017).

### 2.2.2. Origem e Evolução da Cultura

Segundo a AJAP (2017), a amendoeira, *Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb, antes denominada de *Prunus amygdalus* Mill., é uma espécie originária da Ásia Central, mais propriamente do Irão, Afeganistão e Tadjiquistão, tendo sido disseminada por toda a bacia do mar Mediterrânea pelas rotas de comércio, responsabilidade associada aos fenícios. E segundo Ladizinsky (1999), a cultura chegou ao continente americano por intermédio dos frades que foram espalhar a fé cristã para o “novo mundo”, nos séculos XVII e XVIII.

A nível mundial, atualmente, os maiores produtores de amêndoa são: EUA, Espanha, Austrália, Turquia, Irão, Marrocos, Síria, Itália, Tunísia e Argélia. Destes destacam-se os EUA, por serem o maior produtor, com uma produção de 2.267.055 ton (média de 2020 e 2021), enquanto o segundo maior, Espanha, produz apenas 391.080 ton (média de 2020 a 2021), no entanto é a Espanha que possui a maior área de cultivo, com 744.470 ha (em 2021) (FAO, 2023).

Nestes países produtores, nos últimos 10 anos (2011 a 2021): a área de cultivo tem aumentado em todos, com exceção da Argélia, Irão e Itália, onde tem diminuído, e da Síria, que tem sido constante; a produtividade tem aumentado na Argélia, Austrália, Irão e Espanha, tem-se mantido em Itália, Marrocos e Tunísia, e tem diminuído na Turquia e nos EUA; a produção apenas diminuiu em Itália e na Síria, manteve-se na Tunísia, e nos restantes países tem aumentado (FAO, 2023).

Em Portugal, segundo Doll *et al.* (2021), tanto a área de cultivo da amendoeira, como a sua produtividade têm vindo a aumentar na última década, o que resulta num aumento de produção a nível nacional.

Segundo o mesmo autor, tradicionalmente esta cultura era cultivada no norte do país, nomeadamente na região de Trás-os-Montes, e também no sul, na região do Algarve, em pomares de sequeiro. No entanto, o aumento de área de cultivo (Tabela 2.2) verifica-se com maior expressão nas regiões de Alentejo e Beira Baixa, com a instalação de pomares mais intensivos e regados, e também na região norte, com pomares de sequeiro.

No que respeita à produtividade da cultura na última década (Tabela 2.3) ainda segundo Doll *et al.* (2021), a nível nacional tem vindo a aumentar, tendo-se verificado um aumento significativo nos amendoais do Alentejo (a produtividade nesta região em 2019 foi cerca de seis vezes superior à do ano 2010), mas também aumentos menos significativos nas regiões do Algarve, Beira e no norte do país, enquanto na região do Ribatejo a produtividade diminuiu.

Tabela 2.2 – Evolução da área de amendoal em Portugal, em ha. (**Adaptado de:** Doll *et al.*, 2021)

Região	Ano				
	1990	2000	2010	2015	2019
Portugal (total)	42.300	37.923	26.842	30.151	43.497
Alentejo	695	652	886	1.702	11.984
Algarve	16.383	13.713	7.515	7.398	7.423
Beira	2.994	1.400	1.056	1.121	2.005
Norte	22.029	21.994	17.310	19.856	21.875
Ribatejo	199	164	75	74	210

Tabela 2.3 – Evolução da produtividade da cultura da amendoeira em Portugal, em kg de miolo por ha. (**Adaptado de:** Doll *et al.*, 2021)

Região	Ano				
	1990	2000	2010	2015	2019
Portugal (total)	543	441	261	335	771
Alentejo	364	184	226	614	1.314
Algarve	582	122	95	106	149
Beira	621	396	760	925	874
Norte	783	650	324	381	743
Ribatejo	367	591	800	606	529

Em consequência das evoluções ao nível da área e da produtividade da cultura verificou-se um aumento da produção nacional de amêndoa, sendo que ao nível regional se verificou um aumento de produção, com exceção das regiões do Algarve e do Ribatejo, onde as produções se mantiveram (Figura 2.3) (Doll *et al.*, 2021).

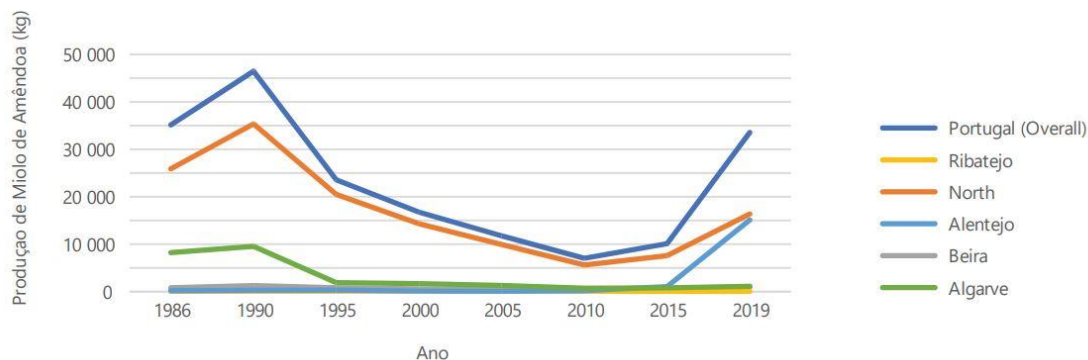


Figura 2.3 – Evolução da produção de amêndoa em Portugal. (Fonte: Doll *et al.*, 2021)

### 2.2.3. Requisitos Edafoclimáticos

Uma vez que é uma espécie característica das zonas com clima mediterrânico, os fatores climáticos que mais influenciam a cultura, ao nível da sua adaptação e da sua produção são a temperatura, a precipitação (e água disponível para rega), a humidade e a luminosidade (Queirós, s/d).

A temperatura ótima para a atividade fotossintética da cultura varia entre os 25 e os 30°C, sendo que abaixo dos 15°C e acima dos 35°C ocorre uma forte redução da mesma (Arquero *et al.*, 2013). A necessidade de horas de frio (acumulado de tempo com temperaturas inferiores a 7,2°C) da cultura, consoante a variedade, varia entre 200 a 500 horas (Feio, 1991, citado por Aguiar *et al.*, 2017).

Também segundo Arquero *et al.* (2013), humidade relativa baixa leva a um fecho dos estomas, levando a uma diminuição da atividade fotossintética, mas valores elevados levam ao desenvolvimento de pragas e doenças.

Sendo a amendoeira uma espécie sensível à asfixia radicular, do ponto de vista do solo, a cultura terá um melhor desenvolvimento em solos com textura franca ou franco-arenosa, devido à sua maior capacidade de drenagem (Arquero *et al.*, 2013). Em solos com textura mais argilosa pode ser necessário alguma preparação prévia do terreno, de forma a melhorar a drenagem (Aguiar *et al.*, 2017). Um exemplo disso é a instalação da cultura em camalhões, nos quais se irá desenvolver a maior parte do sistema radical, e dada a elevação dos mesmos face ao solo, o excesso de água irá escorrer para fora dos mesmos, evitando assim a asfixia radicular das plantas.

### 2.2.3. Condução da Cultura

A classificação de Rallo (2007), que classificou o olival de acordo com a densidade de plantação, pode também ser aplicada ao amendoal. Como tal tem-se:

- Amendoal tradicional: 50 a 100 plantas/ha;
- Amendoal intensivo: 250 a 450 plantas/ha;

- Amendoal superintensivo: 1.500 a 2.000 plantas/ha.

Consoante a densidade de plantação, a forma de condução da copa varia. Em pomares tradicionais e intensivos a condução da copa é geralmente feita em vaso, enquanto nos superintensivos a copa é conduzida em forma de eixo (ou sebe) (Aguiar *et al.*, 2017).

Como tal, assume-se que amendoal em sebe e amendoal superintensivo referem-se ao mesmo sistema de cultivo da cultura, bem como acontece com o amendoal em vaso e o amendoal intensivo (geralmente as denominações estão associadas, no entanto pode haver casos de amendoais conduzidos em sebe com uma densidade de plantação de um amendoal intensivo). O amendoal tradicional é sempre referido desta forma, e nunca pela forma de condução da copa das árvores.

Segundo Aguiar *et al.* (2017), no amendoal em sebe, ao se aumentar a densidade de plantação, vai-se levar a uma entrada em produção mais precoce, reduzindo-se o período não produtivo da cultura. Também segundo estes autores, para se controlar melhor a dimensão da copa, de forma a reduzir o ensombramento e as limitações ao trânsito das máquinas, deve-se optar por porta-enxertos pouco vigorosos. Tanto devido a se aumentar o número de plantas por unidade de área, como a se utilizar a porta-enxertos pouco vigorosos, a rega da cultura torna-se uma necessidade em pomares deste tipo.

#### 2.2.4. Ciclo Cultural

Relativamente às fases do ciclo vegetativo da amendoeira, vários autores apresentam diferentes divisões do ciclo. A escala da BBCH (*Biologische bundesantalt, bundessortenamt und chemische industrie*), segundo Meier (2001), normalizou as fases de desenvolvimento para todas as plantas com flor, enquanto Felipe (1977) citado por Aguiar *et al.* (2017), determinou o ciclo especificamente para a amendoeira (Tabela 2.4).

Segundo Nortes *et al.* (2009), o ciclo cultural, ao longo do ano, divide-se da seguinte forma, como apresentado na Figura 2.4:

- Floração: meados de fevereiro a meados de março;
- Crescimento do fruto: meados de março a meados de maio;
- Enchimento da amêndoa: finais de maio a meados de agosto (começando, de forma menos significativa, desde meados de abril);
- Colheita: meados de agosto;
- Armazenamento de reservas: meados de agosto a início de novembro;
- Queda da folha: novembro;



- Crescimento vegetativo (dos ramos do ano): meados de março a início de julho;
- Crescimento do tronco: meados de março a final de setembro.

Tabela 2.4 – Ciclo cultural da amendoeira. (Fonte: Aguiar *et al.*, 2017)

Estados fenológicos (Felipe, 1977, citado por Aguiar <i>et al.</i> , 2017)	Correspondência na escala da BBCH (Meier, 2001)
A – gomos dormentes	00 – dormência
B – gomos intumescidos	01 – início do intumescimento dos gomos
C – cálices visíveis (ponta verde)	55 – flores visíveis
D – corolas visíveis (ponta rosa)	57 – sépalas abertas, pétalas visíveis
E – estames visíveis	Sem correspondência
F – flores abertas (floração)	65 – plena floração (pelo menos 50% das flores abertas)
G – queda das pétalas	69 – fim da floração: todas as pétalas caíram
H – vingamento do fruto	71 – queda dos frutos após a floração
I – frutos jovens	75 – frutos com metade do tamanho final
J – fruto desenvolvido	81 – frutos com o tamanho definitivo
K – rotura do mesocarpo	87 – fruto deiscente
L – fruto maduro	89 – fruto maduro
Sem correspondência	97 – todas as folhas caíram

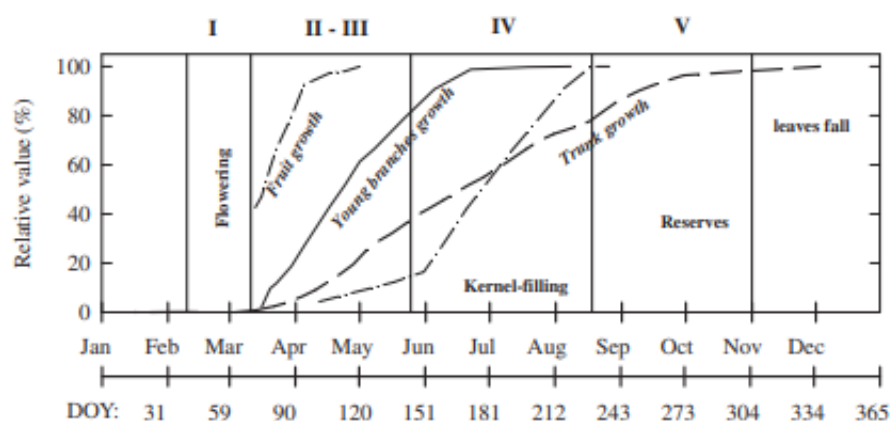


Figura 2.4 – Fases do ciclo cultural ao longo do ano. (Fonte: Nortes *et al.*, 2009) Legenda: *flowering* – floração; *fruit growth* – crescimento do fruto; *young branches growth* – crescimento dos ramos (crescimento vegetativo); *kernel-filling* – enchimento da amêndoa; *trunk growth* – crescimento do tronco; *reserves* – reservas; *leaves fall* – queda das folhas.

### 2.2.4.1. Época de floração

A cultura, embora não seja sensível às baixas temperaturas durante o período de repouso vegetativo, após o início da floração torna-se sensível às geadas, pelo que a escolha da variedade deve ter em conta, entre outros fatores a produtividade, época de colheita, resistência a pragas e doenças, vigor e a data de floração, de forma que esta ocorra após a data da última geada (AJAP, 2017).

As variedades mais precoces, como “Belona”, “Guara”, e “Nonpareil”, têm uma menor necessidade de horas de frio, enquanto variedades mais tardias, como “Ferragnès” e “Vialfas” necessitam de uma maior quantidade de horas de frio para a indução da floração (Queirós, s/d).

Na Figura 2.5 encontra-se um quadro com os períodos de floração médios para um conjunto de variedades, para a região de Córdoba, Espanha, e na Figura 2.6 encontra-se a mesma informação, mas para Portugal (AJAP, 2017; Arquero *et al.*, 2013).

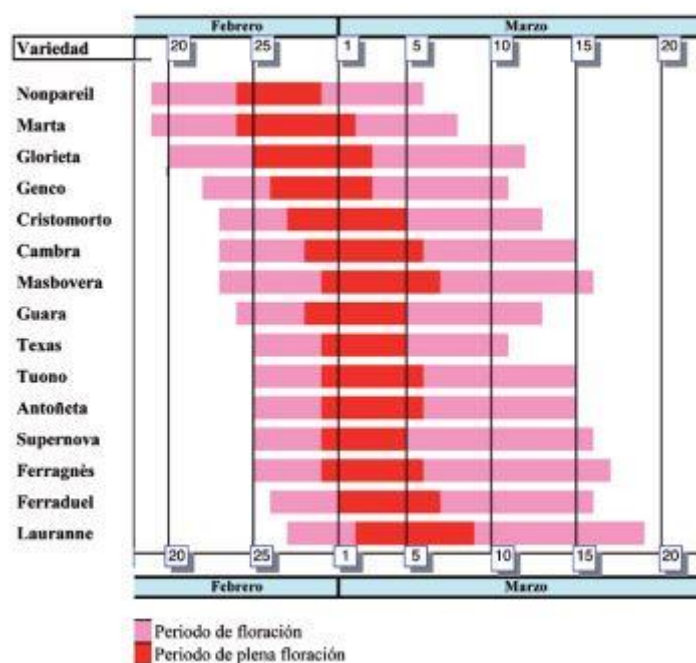


Figura 2.5 – Períodos de floração, várias variedades, região de Córdoba, Espanha. (Fonte: Arquero *et al.*, 2003) Legenda: *período de floración* – período de floração; *período de plena floración* – período de plena floração.

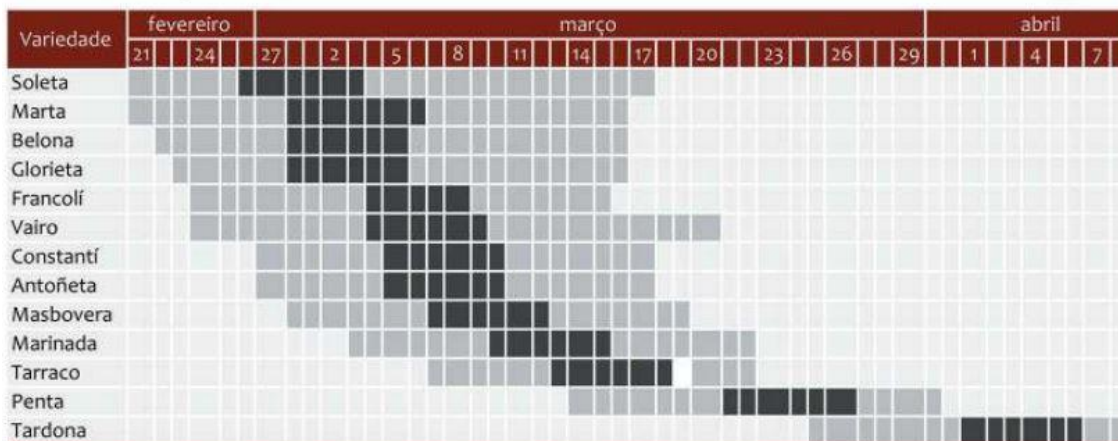


Figura 2.6 – Períodos de floração, várias variedades, Portugal. (Fonte: AJAP, 2017) Legenda: - período de floração; - período de plena floração.

#### 2.2.4.2. Época de colheita

Como referido, além de se escolher a variedade com base na data de floração, também se deve ter em consideração a data de colheita, tanto em função das condições climáticas (antes das primeiras chuvas de setembro, que levam a um aumento do teor de humidade dos frutos, e podem inviabilizar a colheita caso esta exija a recolção dos frutos da superfície do solo), quer pela gestão do parque de máquinas (operação de colheita mais escalonada no tempo/menos concentrada), e também quanto mais precoce for a maturação (e colheita) do fruto, menor a competição entre os frutos e a diferenciação floral, reduzindo a alternância interanual da produção (Aguiar *et al.*, 2017).

Em Portugal, a colheita dos frutos desta cultura é realizada entre agosto e outubro, consoante as variedades, sendo que nas Figuras 2.7 e 2.8 encontram-se quadros com os períodos de maturação de um conjunto de variedades, na região de Córdoba, Espanha, e em Portugal, respetivamente (Aguiar *et al.*, 2017; AJAP, 2017; Arquero *et al.*, 2013).

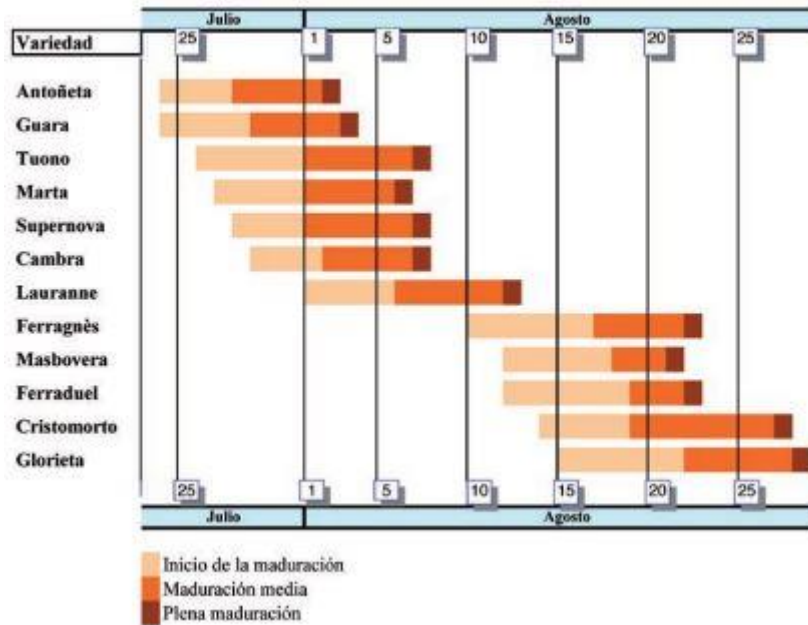


Figura 2.7 – Períodos de colheita, várias variedades, região de Córdoba, Espanha. (Fonte: Arquero *et al.*, 2003) Legenda: *inicio de la maduración* – início da maturação; *maduración media* – maturação média; *plena maduración* – plena maturação.

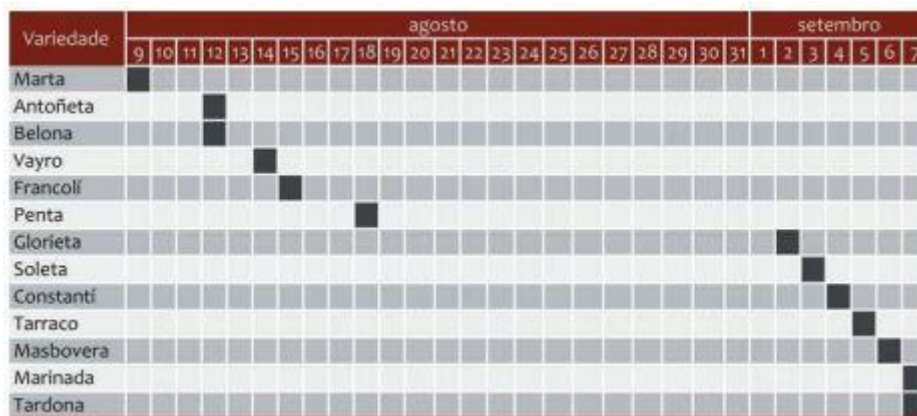


Figura 2.8 – Períodos de colheita, várias variedades, Portugal. (Fonte: AJAP, 2017) Legenda: ■ - data de início da colheita.

### 2.2.5. Rega da Cultura

Embora esta espécie seja resistente à seca, podendo ser cultivada em sequeiro, em solos relativamente pobres, a rega leva a aumentos de produção significativos (AJAP, 2017).

Em relação às necessidades de rega médias da cultura, para Portugal, a dotação de rega anual média varia entre 5.000 e 6.000 m<sup>3</sup>/ha, sendo semelhante à necessidades hídricas de amendoais em Espanha, podendo variar entre 4.000 e 8.000

m<sup>3</sup>/ha, sendo que no caso da Califórnia, EUA, as dotações de rega podem chegar a 12.000 m<sup>3</sup>/ha anualmente (AJAP, 2017; García-Tejero *et al.*, 2015; Moldero *et al.*, 2021, Queirós, s/d).

O sistema de rega mais utilizado para o amendoal é o sistema de rega gota a gota, pois permite maior economia de água de rega, sendo que também existem locais com maior disponibilidade de água para rega, como na Califórnia, EUA, onde os amendoais são regados por microaspersão, aspersão, e mesmo por submersão (Pou, 2004).

O cálculo das necessidades de rega tem sofrido algumas alterações ao longo dos anos fruto da evolução dos valores de K<sub>c</sub> utilizados (Figura 2.9). Verifica-se que a bibliografia mais recente (Allen & Pereira, 2009; García-Tejero *et al.*, 2015) sugere coeficientes culturais mais altos do que bibliografia mais antiga (Allen *et al.*, 1998). Segundo Gutiérrez-Gordillo *et al.* (2020b), este aumento dos K<sub>c</sub> deve-se à mudança das práticas culturais, nomeadamente a redução da poda e o aumento da densidade de plantação, derivado da intensificação da cultura.

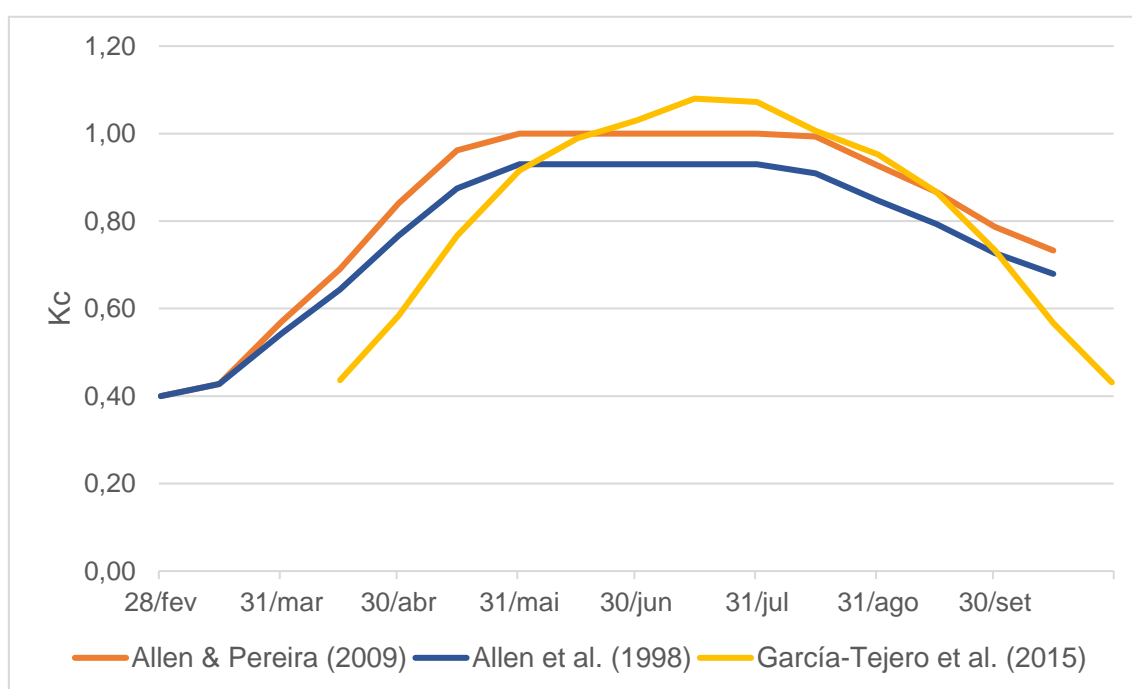


Figura 2.9 – Evolução dos coeficientes culturais.

#### 2.2.5.1. Rega deficitária da cultura

Em muitos locais onde a cultura é instalada, a disponibilidade de água para rega é limitada, como o sul de Espanha e de Portugal, e como tal, nem sempre é possível satisfazer as necessidades hídricas da cultura na sua totalidade, pelo que se torna fundamental a implementação de estratégias de rega deficitária que combinem o

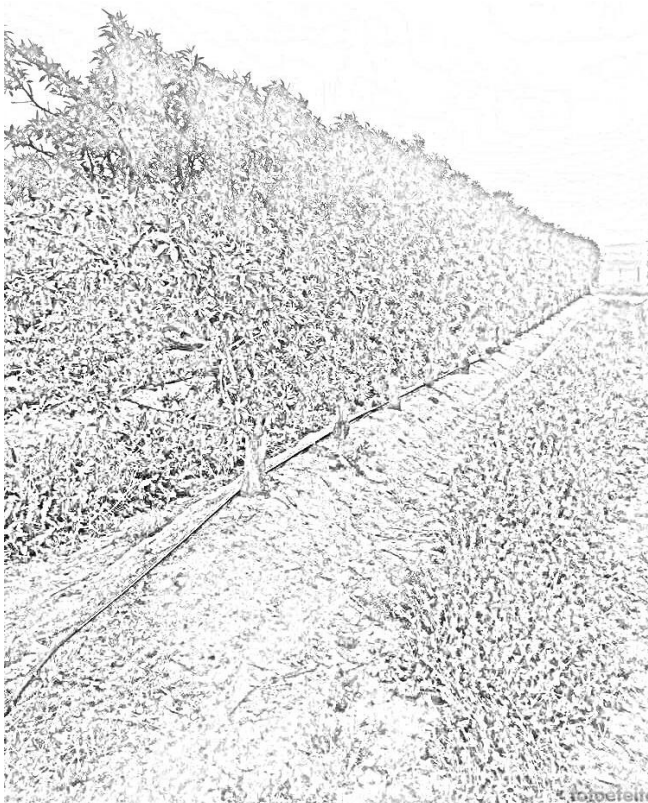
máximo de poupança de água com o mínimo de perda de produção (Arquero *et al.*, 2013).

Para tal é necessário conhecer as fases do ciclo da cultura mais e menos sensíveis ao *stress* hídrico, de forma a que a ocorrência de déficit hídrico se traduza numa menor quebra de produção. Segundo vários autores (Arquero *et al.*, 2013; Esparza *et al.*, 2001; Girona *et al.*, 1997, 2005; Goldhamer & Viveros, 2000), a fase menos sensível ao déficit hídrico é a fase de enchimento da amêndoa (*kernel-filling*), enquanto as fases mais sensíveis são a fase de crescimento do fruto e a fase pós-colheita.

Com a implementação de um regime de rega deficitário na condução da cultura, não só se consegue reduzir os custos de exploração anuais (gastos com água e energia), como também os custos de investimento (um sistema de rega que trabalhe com menores caudais exige menor potência de bombagem, menor número de gotejadores e condutas de menor diâmetro), o que compensa a diminuição dos proveitos, resultado da diminuição da produção, melhorando assim o resultado económico da atividade (Alcon *et al.*, 2013).

Em termos de qual a melhor estratégia de rega deficitária a adotar, se a rega deficitária sustentada ou a rega deficitária controlada, não há um consenso que responda a esta questão, pois por exemplo Goldhamer *et al.* (2006) e Bellido *et al.* (2016) concluíram que com a rega deficitária controlada se consegue melhores produções, enquanto Moldero *et al.* (2021) e Mañas *et al.* (2014) concluíram que não havia diferenças de produção de amêndoa significativas entre o tratamento em RDI e o tratamento em SDI. No entanto todos os autores referidos concluíram que quanto maior o déficit hídrico imposto à cultura, menor foi a produção de amêndoa.

Moldero *et al.* (2021) afirmam que o armazenamento de água do solo é um fator chave para que seja atenuado o déficit hídrico resultante da rega deficitária, tanto mais condicionante quanto menor a dotação de rega aplicada.



### 3. Materiais e Métodos

### 3.1. Caracterização do Local de Estudo

#### 3.1.1. Localização Geográfica

O estudo foi realizado numa herdade da Fundação Eugénio de Almeida (38° 29' 46,63" N; 7° 48' 25.28" W), próximo de S. Manços, concelho de Évora, distrito de Évora.

A área total de amendoal é cerca de 140 ha, distribuídos por parcelas de quatro variedades da cultura: “Belona” (também denominada de “Isabelona”), “Avijor” (também denominada de “Lauranne-Avijor” ou de “Lauranne”), “Guara” e “Soleta”. No estudo apenas foram analisadas as parcelas das variedades “Belona” e “Avijor”, com áreas de 6,6 e 36,1 ha, respetivamente (Figura 3.1).

No entanto não se fez o acompanhamento da totalidade das parcelas, sendo que na variedade “Belona” se estudou apenas um setor de rega, setor 31, e na variedade “Avijor” três setores de rega, setores 24, 25 e 27 (Ver Anexo I).

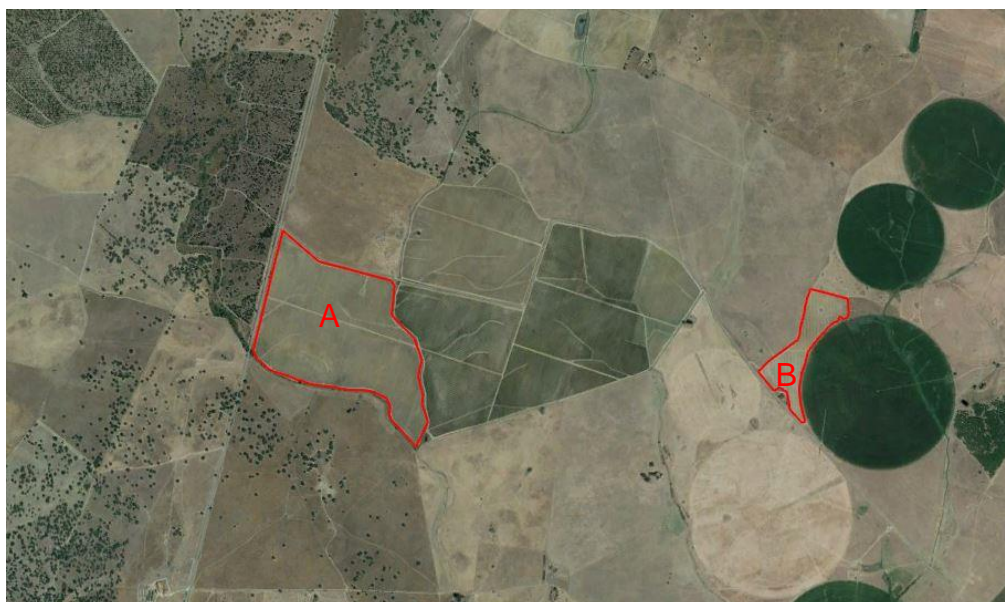


Figura 3.1 – Localização do amendoal. Legenda: A – parcela da variedade “Avijor”; B – parcela da variedade “Belona”.

#### 3.1.2. Caracterização Climática

Para a caracterização do clima do local em estudo recorreu-se aos dados da estação meteorológica de Évora, devido à sua proximidade com o local, e pela maior quantidade de dados, que permite a obtenção de normais climatológicas. Como tal recolheu-se informação relativamente à temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação, parâmetros utilizados no cálculo da evapotranspiração, e também dados da precipitação, utilizada no cálculo das necessidades de rega da cultura.



Os dados recolhidos são referentes à normal climatológica do período de 1971 a 2000, por esta ser o conjunto de dados mais completo (embora haja dados mais recentes). Nas tabelas seguintes encontram-se os dados referentes à temperatura (Tabela 3.1), precipitação (Tabela 3.2), humidade relativa (Tabela 3.3), velocidade do vento (Tabela 3.4) e insolação (Tabela 3.5).

Tabela 3.1 – Dados de temperatura, período 1971-2000. (Fonte: IPMA, s/d)

Mês	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)
Janeiro	5,8	9,3	12,8
Fevereiro	6,7	10,4	14,0
Março	8,0	12,4	16,8
Abril	9,0	13,5	18,0
Mai	11,1	16,2	21,2
Junho	14,0	20,2	26,3
Julho	16,3	23,2	30,2
Agosto	16,5	23,3	30,2
Setembro	15,6	21,4	27,2
Outubro	12,6	17,0	21,5
Novembro	9,3	13,0	16,7
Dezembro	7,2	10,4	13,6

Tabela 3.2 – Dados de precipitação, período 1971-2000. (Fonte: IPMA, s/d)

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	78,5
Fevereiro	67,0
Março	41,9
Abril	58,1
Mai	49,9
Junho	20,4
Julho	8,6
Agosto	6,6
Setembro	29,8
Outubro	69,8
Novembro	76,1
Dezembro	102,7
Total	609,4

Com base nestes valores contruiu-se um gráfico termopluviométrico (Figura 3.2) para melhor perceber a distribuição da temperatura média e da precipitação ao longo do ano. Foi também construído um gráfico termopluviométrico para o local do

estudo, com base na informação recolhida pela estação meteorológica instalada no amendoal, para os anos em análise (Figura 3.3).

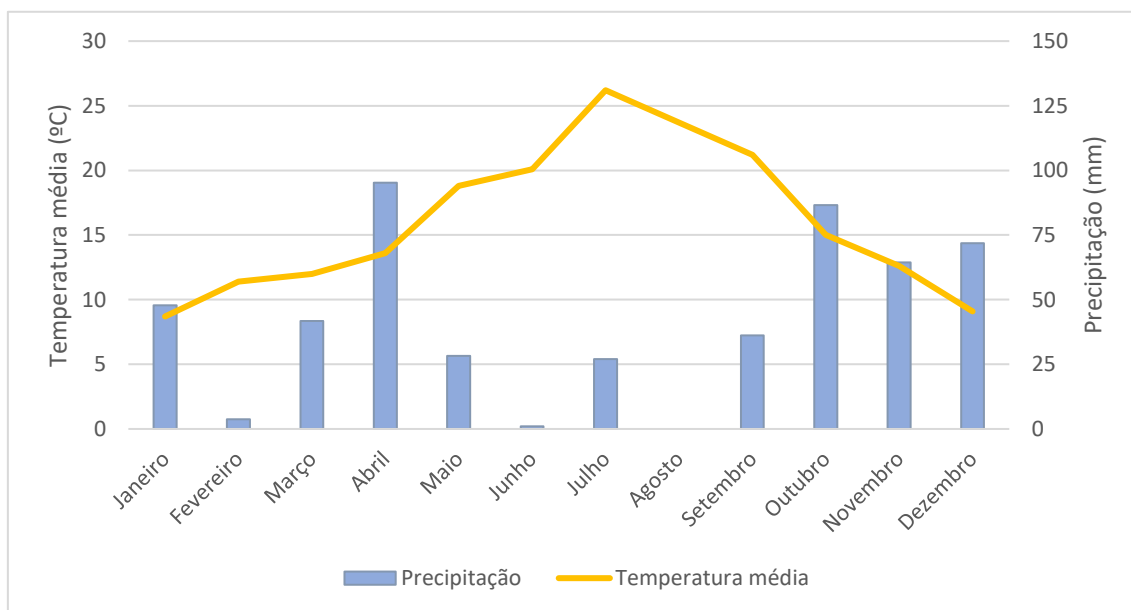


Figura 3.2 – Gráfico termopluiométrico, período 1971-2000.

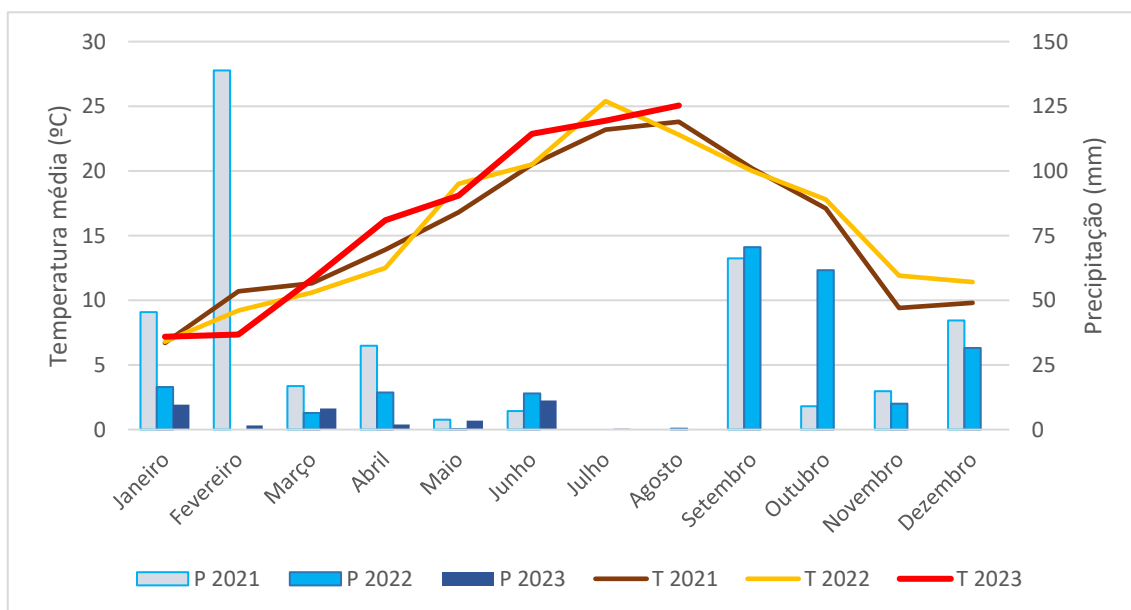


Figura 3.3 – Gráfico termopluiométrico, período 2021-2023.

Tabela 3.3 – Dados de humidade relativa, período 1971-2000. (Fonte: IPMA, s/d)

Mês	H relativa (%)
Janeiro	87
Fevereiro	85
Março	79
Abril	75
Maio	72
Junho	67
Julho	62
Agosto	65
Setembro	70
Outubro	79
Novembro	84
Dezembro	87

Tabela 3.4 – Dados de insolação, período 1971-2000. (Fonte: IPMA, s/d)

Mês	Insolação mensal (h)	Insolação diária (h)
Janeiro	153,8	5,0
Fevereiro	145,9	5,2
Março	204,1	6,6
Abril	209,4	7,0
Maio	269,5	8,7
Junho	294,7	9,8
Julho	347,4	11,2
Agosto	335,3	10,8
Setembro	247,5	8,3
Outubro	202,7	6,5
Novembro	162,7	5,4
Dezembro	141,6	4,6

Tabela 3.5 – Dados de velocidade do vento, período 1971-2000. (Fonte: IPMA, s/d)

Mês	v vento (km/h)	v vento (m/s)
Janeiro	14,6	4,06
Fevereiro	15,9	4,42
Março	16	4,44
Abril	16,1	4,47
Maio	15,9	4,42
Junho	15,7	4,36
Julho	16,1	4,47
Agosto	16,2	4,50
Setembro	14,9	4,14
Outubro	14,5	4,03
Novembro	14,5	4,03
Dezembro	15,1	4,19

A direção predominante do vento varia entre norte e noroeste (Figura 3.4).

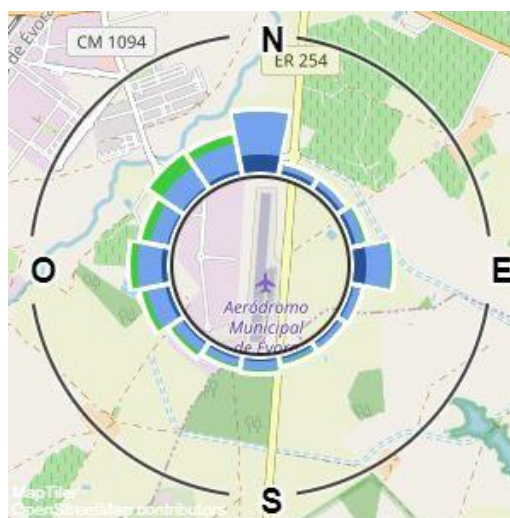


Figura 3.4 – Frequência da direção do vento em Évora, para o período de novembro de 2009 a setembro de 2022. (Fonte: WINDFINDER, 2022)

#### 3.1.2.1. Classificação climática

Com base nos dados de temperatura e precipitação apresentados (Tabelas 3.1 e 3.2) classificou-se o clima de acordo com a classificação de Köppen, concluindo-se que o clima da região de Évora se classifica como clima temperado com verão seco, Cs, pois, citando Shahidian *et al.* (2017), “a temperatura média do mês mais frio situa-se entre -3 e 18°C” e “o mês mais seco (de verão) apresenta uma precipitação inferior a 40 mm e a 1/3 da precipitação do mês mais húmido (de inverno)”. Pode-se ainda acrescentar o subtipo climático “a”, com verão quente, porque, de acordo com o mesmo autor, a temperatura do ar do mês mais quente é superior a 22°C.

Assim sendo, pela classificação de Köppen, tem-se um clima Csa.

#### 3.1.3. Caracterização Hidropedológica

De acordo com a carta de solos para a área de amendoal em estudo (Apêndice A), existem quatro tipos diferentes de solo: Pg, Pgm, Pmg e Ca. Na área ocupada pela variedade “Avijor” o solo predominante é do tipo Pmg, e na área ocupada pela variedade “Belona” é o solo Pgm.

O solo Pmg é um solo mediterrâneo pardo de quartzodioritos, com um horizonte A de cerca de 35 cm de espessura e textura franco-arenosa a arenosa, seguido de um horizonte B com mais argila (Cardoso, 1965).

O solo Pgm é um solo litólico não húmico de rochas eruptivas de composição mineralógica entre granito e quartzodiorito, com um horizonte A de textura arenosa e

cerca de 25 cm de espessura, seguido de um horizonte B de textura franco-arenosa ou franca (Cardoso, 1965).

A descrição detalhada dos perfis destes solos, apresentada por Cardoso (1965), encontra-se no Apêndice B.

Verifica-se, no entanto, que a instalação da cultura no terreno foi feita construindo camalhões sobre a superfície do terreno, com uma altura de aproximadamente 30 cm, onde foram instaladas as árvores. Estes camalhões (Figura 3.5), de aproximadamente 1 m de largura foram construídos pela movimentação de terra adjacente, o que na prática veio alterar as características do perfil do solo na zona onde foram plantadas as árvores.

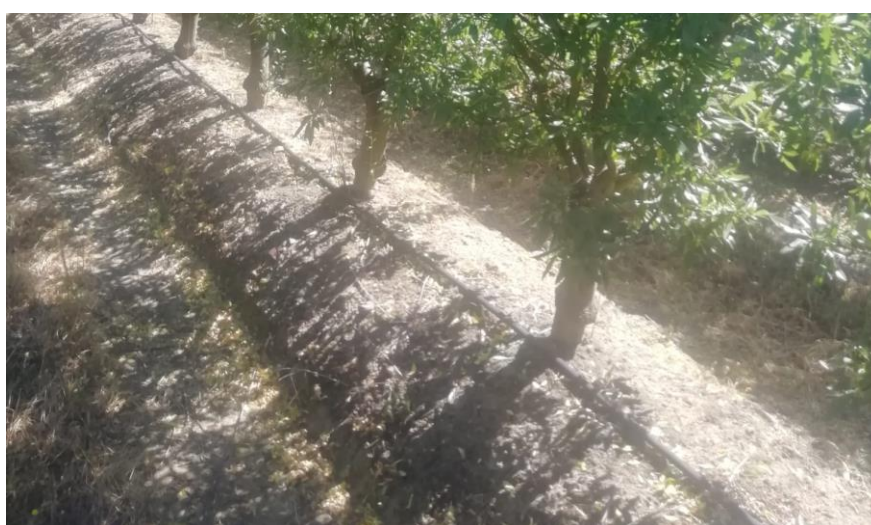


Figura 3.5 – Camalhão de uma linha de cultura.

#### 3.1.3.1. Descrição dos perfis de solo

As análises de solos realizadas pelo produtor (Anexo II e Tabela 3.6), feitas com amostras de solo retiradas a uma profundidade de 40 cm, em vários pontos das parcelas, deixavam algumas dúvidas sobre eventuais alterações na classe textural da camada superficial do solo, principalmente no caso da área ocupada pela variedade “Belona”, onde de acordo com a descrição do perfil do solo feita por Cardoso (1965) seria de esperar aos 40 cm de profundidade uma textura mais franco-argilo-arenosa.

Para confirmar as características do perfil do solo, na zona radical das plantas realizou-se uma recolha de amostras do perfil do solo com o objetivo de identificar melhor profundidade e textura de cada horizonte, bem como da transição entre horizontes.

Para tal, utilizou-se uma sonda metálica com um diâmetro interno de 9 cm, e tentou-se recolher uma amostra do perfil do solo no camalhão, nos setores 25, 27 e 31 (Figura 3.6). Devido à baixa humidade do solo nos setores 25 e 31 apenas se

conseguiu recolher amostras do perfil até aos 40 cm de profundidade e no setor 27 até aos 100 cm.

Tabela 3.6 – Dados das análises de solo do produtor.

Variedade	Tipo de solo	Classe textural	Matéria orgânica (%)	Elementos finos		
				Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)
Avijor	Pmg	Franco - arenoso	1,42	60	21	19
Belona	Pgm	Franco - arenoso	1,26	66	23	11

Do perfil recolhido (Figura 3.7) foram retiradas amostras de solo que permitiram, depois de analisadas em laboratório, obter alguns dados sobre a granulometria do solo e teor de matéria orgânica (Anexo III, Tabela 3.7). Após observar os resultados obtidos na análise granulométrica das amostras recolhidas, verifica-se que a camada superficial do solo nos setores 25 e 27 é idêntica, apresentando a mesma textura que as análises recolhidas pelo produtor. No entanto, se se olhar para os dados do perfil do solo obtido no setor 27 verifica-se que existe uma diferença entre os valores de matéria orgânica em cada uma das camadas analisadas, diminuindo em profundidade.

Pode-se então assumir que na profundidade radical o solo apresenta em qualquer dos setores uma textura franco-arenosa, apenas variando o teor de matéria orgânica em profundidade.

Tabela 3.7 – Dados físicos e químicos do solo (análises do estudo).

Setor	Profundidade (cm)	Elementos finos			Classe Textural	Matéria orgânica (%)
		Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)		
27	0 – 40	76,6	8,4	15,0	Franco-arenoso	2,26
	40 – 60	72,2	11,0	16,9	Franco-arenoso	1,30
	60 – 100	67,9	14,1	18,0	Franco-arenoso	0,71
25	0 – 40	79,8	9,6	10,6	Franco-arenoso	2,12
31	0 – 40	77,5	9,6	12,9	Franco-arenoso	1,40

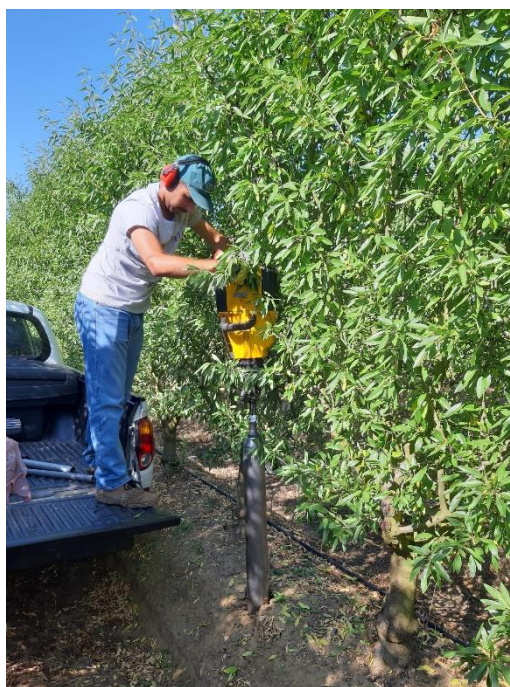


Figura 3.6 – Recolha de uma amostra de solo com a sonda.



Figura 3.7 – Monólito recolhido (setor 27).

#### 3.1.3.3. Armazenamento de água do solo

Com base nos dados de teor de areia, argila e matéria orgânica (Tabela 3.7), utilizou-se o *software* “*Soil Water Characteristics*”, que integra o modelo SPAW (*Soil – Plant -Atmosphere – Water Field & Pond Hydrology*) desenvolvido pelo *United States Department of Agriculture*, para determinar a capacidade de campo (CC) e o coeficiente de emurchecimento (CE) de cada solo. O programa determina esses parâmetros com base no teor de areia (areia grossa e areia fina), no teor de argila, no teor de matéria orgânica, a salinidade, percentagem de elementos grosseiros e compactação (não tendo sido utilizados os três últimos) (Saxton & Rawls, 2006).

O cálculo da capacidade utilizável (CU) faz-se utilizando a seguinte expressão:

$$CU = CC - CE \quad (3.1)$$

Segundo Shahidian *et al.* (2017), do ponto de vista da gestão da rega, é mais interessante trabalhar com a unidade “mm”, do que com valores em percentagem, e como tal é necessário fazer a conversão das unidades, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Uz = CU * z * Dap \quad (3.2)$$

sendo:

- Uz – capacidade utilizável (mm);
- CU – capacidade utilizável (kg/kg);
- z – profundidade do horizonte e/ou profundidade radical (mm);
- Dap – densidade aparente.

Para o cálculo da RFU tem-se (Allen *et al.*, 1998):

$$RFU \text{ (mm)} = Uz * p \quad (3.3)$$

sendo:

- p – fração de depleção.

A fração de depleção, p, é definida como sendo a fração da água da capacidade utilizável do solo que pode ser absorvida pela planta sem que se verifique *stress* hídrico. Quando a ETc é diferente de 5 mm/dia, a fração de depleção tabelada, p tab, parâmetro determinado em função da cultura e da fase do ciclo, tem que ser ajustada, p ajustado, de acordo com a fórmula seguinte (Allen *et al.*, 1998):

$$p \text{ ajustado} = p \text{ tab} + 0,04(5 - ETc) \quad (3.4)$$

#### 3.1.4. Caracterização Topográfica

As parcelas de amendoal têm um ligeiro declive no sentido norte-sul, que varia entre os 0 e os 4,8%, o que fará com que a cota dos gotejadores vá diminuindo ao longo do ramal. Esta informação baseia-se na consulta das Cartas Militares de Portugal nº 460 e 471, referentes às zonas de Évora e de Torre de Coelheiros, respetivamente, sendo que se encontra no Apêndice B o recorte das mesmas para o local de estudo.



### 3.2. Instalação da Cultura

A cultura, em ambas as variedades, foi instalada, em 2015, com um compasso de 3 x 1,25 m (distância na entrelinha x distância na linha), ficando assim com uma densidade de plantação de 2667 plantas/ha, classificando-se deste modo como amendoal superintensivo.

As plantas foram instaladas em camalhões, com 30 cm de altura e 1 m de largura. O porta-enxerto utilizado em todas as variedades é o “Rootpac 20” e a copa é conduzida em sebe, tendo as plantas 2,5 m de altura.

### 3.3. Necessidades Hídricas e de Rega da Cultura

Para o cálculo das necessidades hídricas da cultura utilizou-se o *software* CROPWAT, versão 8.0, desenvolvido pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) (Smith, 1995), que também permite calcular as necessidades de rega, com base em informação sobre a cultura, o clima e o solo.

Para o cálculo das necessidades hídricas e de rega, os dados que o *software* necessita são:

- Para o clima (médias mensais): temperatura mínima e máxima; humidade relativa média; velocidade do vento; insolação; e precipitação. Além desta informação é necessário fornecer as coordenadas geográficas e a altitude do local. Com base nestes parâmetros são calculados a radiação líquida, a evapotranspiração de referência e a precipitação efetiva.
- Para a cultura: coeficientes culturais ( $K_c$ ); duração de cada fase; profundidade radicular; fração de depleção ( $p$ ); coeficiente de sensibilidade hídrica ( $K_y$ ); altura da cultura; e a data do início do ciclo da cultura. Esta informação é utilizada no cálculo da evapotranspiração cultural e reserva facilmente utilizável. Também é determinada a data do fim do ciclo da cultura (que tanto pode ser a data de colheita como a data do início da dormência, conforme a cultura e o ciclo cultural considerado).
- Para o solo: capacidade utilizável; profundidade do solo; taxa de infiltração máxima; e percentagem de esgotamento inicial da humidade do solo. Com isto é calculado o teor de água no solo no início do ciclo da cultura e a reserva facilmente utilizável.

Com toda esta informação o CROPWAT calcula as necessidades hídricas da cultura e as necessidades de rega (em função de uma eficiência de rega considerada). Permite também fazer a calendarização das regas e simular estratégias de rega

deficitária, estimando potenciais quebras de produção, com base no coeficiente de sensibilidade hídrica,  $K_y$  (Allen *et al.*, 1998).

O programa, para o cálculo da evapotranspiração de referência utiliza a equação de Penman-Monteith, que segundo Allen *et al.* (1998), se pode escrever com:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (3.5)$$

sendo:

- $ET_o$  – evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );
- $\Delta$  – declive da curva de tensão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $R_n$  – radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $G$  – fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );
- $\gamma$  – constante psicométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $\overline{T_2}$  – temperatura média do ar a 2 m do solo ( $^\circ\text{C}$ );
- $U_2$  – velocidade média do vento a 2 m do solo ( $\text{m/s}$ );
- $e_s$  – tensão de saturação do vapor ( $\text{kPa}$ );
- $e_a$  – tensão atual do vapor ( $\text{kPa}$ ).

De acordo com o mesmo autor, para a determinação da evapotranspiração cultural,  $ET_c$ , utiliza-se a equação 2.3.

As necessidades de rega líquidas (equivalente a dotação útil),  $NR$  líquidas, determinadas pelo *software*, baseiam-se na seguinte expressão:

$$NR \text{ líquidas} = Du = ET_c - Pe \quad (3.6)$$

sendo  $Pe$  a precipitação efetiva.

A precipitação efetiva pode ser calculada pelo programa utilizando diferentes metodologias, tendo sido utilizada a que está selecionada por defeito no programa, e que é utilizada pelo USDA -*Soil Conservation Service*, segundo Dastane (1978).

$$Pe = P_{mon} * (125 - 0,2 * P_{mon}) / 125, \text{ para } P_{mon} \leq 250 \text{ mm} \quad (3.7)$$

$$Pe = 125 + 0,1 * P_{mon}, \text{ para } P_{mon} > 250 \text{ mm} \quad (3.8)$$

sendo  $P_{mon}$  a precipitação total mensal.

Em relação ao armazenamento de água no solo, necessário para a programação da rega, o CROPWAT, determina a reserva facilmente utilizável, ao longo do ciclo da cultura, de acordo com as equações 3.3 e 3.4 (Allen *et al.*, 1998).

Para além do cálculo das necessidades hídricas e de rega médias anuais calculadas com os dados climáticos médios de 30 anos da estação meteorológica de Évora, foram também calculados estes valores para os anos considerados neste estudo utilizando dados meteorológicos obtidos no local do mesmo.

A estação meteorológica presente no local (Figura 3.8) trata-se de uma estação meteorológica da empresa “AQUAGRI”, modelo “iMetos”, equipada com: higrómetro de absorção (que mede a temperatura e a humidade relativa); pluviómetro (que mede a precipitação); catavento (que determina a direção do vento); anemómetro (que mede a velocidade do vento); e um piranómetro (que mede a radiação global).



Figura 3.8 – Estação meteorológica do local do estudo.

Apesar desta estação meteorológica também fazer o cálculo da ETo, preferiu-se usar os valores calculados através do CROPWAT para garantir que a metodologia de cálculo era exatamente a mesma que a utilizada no cálculo dos valores de ETo do ano médio. Foi assim necessário calcular os dados da insolação, parâmetro que esta estação meteorológica não mede e que é necessário para a utilização do CROPWAT.

Para o cálculo desta variável utilizou-se o seguinte conjunto de expressões (Allen *et al.*, 1998):

$$J = \int (30,5 * n^{\circ} \text{ mês} - 14,6) \quad (3.9)$$

$$DS = 0,409 * \text{sen}(0,0172 * J - 1,39) \quad (3.10)$$

$$DRST = 1 + 0,033 * \text{cos}(0,0172 * J) \quad (3.11)$$

$$AHS = \text{arccos}(-\text{tan}(\text{latitude}) * \text{tan}(DS)) \quad (3.12)$$

$$RE = 37,6 * DRST * (AHS * \text{sen}(DRTS) * \text{sen}(DS) + \text{cos}(\text{latitude}) * \text{cos}(DS) * \text{sen}(AHS)) \quad (3.13)$$

$$IR = \frac{\text{Radiação global}}{RE - 0,25} \quad (3.14)$$

$$N = \frac{24 * AHS}{\pi} \quad (3.15)$$

$$\text{Insolação} = IR * N \quad (3.16)$$

sendo:

- J – número de dia do ano;
- DS – declinação solar;
- DRTS – distância relativa Terra-Sol;
- AHS – ângulo da hora solar;
- RE – radiação extraterrestre;
- N – duração máxima da insolação;
- IR – insolação relativa.

Os dados da cultura introduzidos no CROPWAT para o cálculo das necessidades hídricas e de rega foram:

Tabela 3.8 – Dados da cultura.

Fase	Inicial	Desenvolvimento	Intermédia	Final	Total
Duração (dias)	25	70	97	69	261
Kc	0,4	----	1	0,7	----
Profundidade radicular (m)	1	----	1	1	----
p tab	0,4	----	0,4	0,4	----
p ajustado	0,58	----	0,41	0,46	----
Altura (m)	2,5				

A duração de cada fase do ciclo da cultura assenta, segundo Nortes *et al.* (2009), em o ciclo cultural ter sido dividido em: fase inicial o período desde o início da floração (abrolhamento dos gomos florais) até ao final da floração/início do desenvolvimento vegetativo; fase de desenvolvimento desde o início de crescimento

do fruto até a 10% da fase de enchimento da amêndoa (englobando a fase de maior crescimento vegetativo); fase intermédia desde 10% da fase de enchimento da amêndoa até à colheita; fase final desde a colheita até à queda da folha. Uma vez que não há informação sobre as datas do início do ciclo para todos os anos analisados, considerou-se a data de início do ciclo de 2023, 13 de fevereiro, e para o caso da data de colheita utilizou-se para 2023 a data de início de colheita dos anos 2021 e 2022, 20 de agosto, tendo-se adaptado a divisão do ciclo de Nortes *et al.* (2009), e como tal, obtendo-se a Tabela 3.8. A rega após a colheita justifica-se pois existe ainda crescimento dos troncos (Figura 2.4) e diversos autores (Goldhamer & Viveros, 2000; Esparza *et al.*, 2001) indicam que a produção de amêndoa de um ano está muito dependente da quantidade de água aplicada no amendoal após a colheita do ano anterior até à queda da folha.

Não tendo sido possível verificar diferenças no início da floração e na data de colheita, nos diferentes anos, entre as duas variedades estudadas, consideraram-se os mesmos parâmetros culturais (duração do ciclo vegetativo,  $K_c$ , ...) para as duas variedades.

Os coeficientes culturais utilizados (Allen & Pereira, 2009), são referentes a um amendoal de alta densidade, sem enrelvamento (pois no campo a fração de entrelinha com coberto vegetal é muito menor que a fração com solo nu, como mostra a Figura 3.9). A literatura apresenta diferentes valores de  $K_c$  para o amendoal, mas nem sempre com a indicação da densidade das plantas ou da existência ou não de enrelvamento da entrelinha, e por isso optou-se pela utilização destes coeficientes, que não são iguais aos apresentados por Allen *et al.* (1998), nem aos mais recentes recomendados por Rallo *et al.* (2021) mas em que não existe um valor de  $K_c$  do período inicial nem valores específicos para o amendoal conduzido em sebe. No caso de Rallo *et al.* (2021) os valores de  $K_c$  recomendados para amendoais com uma cobertura do solo superior a 60% para as duas últimas fases são 1,05 e 0,75, respetivamente, mas para árvores com uma altura superior a 4,0 m. Como as árvores do amendoal em estudo têm apenas 2,5 m de altura, optou-se pela utilização de coeficientes menores, como são os de Allen & Pereira (2009).

A profundidade radicular, segundo Allen *et al.* (1998), varia entre 1 e 2 m, pelo que se escolheu o valor mais baixo, visto mesmo este ser igual ou superior à profundidade do solo onde a cultura está instalada. A fração de depleção “tabelada”,  $p_{tab}$ , é apresentada na publicação de Allen *et al.* (1998). A altura da cultura é a altura das plantas (medida no campo).



Figura 3.9 – Entrelinha da cultura.

Para o cálculo da dotação de rega,  $D_r$ , também denominada de necessidades de rega brutas,  $N_R$  brutas, para um sistema de rega gota-a-gota, utiliza-se uma das seguintes expressões, consoante haja ou não a necessidade de fazer lavagem de sais do solo (adaptando de Pereira, 2004):

$$D_r = \frac{D_u}{E_a} \quad (3.17)$$

$$D_r = \frac{D_u}{E_a * (1 - FL)} \quad (3.18)$$

sendo:

- $D_r$  – dotação de rega (mm);
- $D_u$  – dotação útil (mm);
- $E_a$  – eficiência de aplicação;
- $FL$  – fração de lavagem.

O *software* CROPWAT, no cálculo das necessidades de rega brutas utiliza a equação 3.17.

### 3.4. Gestão da Rega

A gestão da rega nestas parcelas é feita através do aconselhamento realizado pela empresa Hidrosoph, através da utilização da plataforma IRRISTRAT™ ([www.irristrat.com](http://www.irristrat.com)). Esta plataforma, além de permitir aceder aos dados da estação

meteorológica, da sonda de humidade do solo e do dendrómetro, também apresenta, as necessidades de rega da cultura (em forma de recomendação de dotação de rega a aplicar pelo produtor), de acordo com modelos de desenvolvimento da cultura e valores de coeficientes culturais próprios, que diferem dos utilizados nos cálculos efetuados no CROPWAT no presente estudo, baseados em observações e estudos da cultura nas condições edafoclimáticas da região alentejana. A determinação da dotação de rega a aplicar, além de considerar o valor de evapotranspiração cultural calculado, considera também a informação fornecida pelo dendrómetro e pela sonda de humidade do solo.

### **3.5. Sistema de Rega**

#### **3.5.1. Caracterização do Sistema de Rega**

O sistema de rega utilizado é um sistema de rega localizada, mais especificamente um sistema de rega gota a gota.

O amendoal é abastecido com água pelo Empreendimento para Fins Múltiplos de Alqueva. O hidrante que fornece água à parcela insere-se no bloco de rega de Monte Novo, localizando-se no ponto com as seguintes coordenadas: 38° 29' 39,6"N; 7° 45' 52,0 "W. A água à saída do hidrante tem uma pressão de 0,67 MPa (6,7 bar).

Os gotejadores têm um caudal nominal de 1 l/h, estando instalados com um espaçamento de 30 cm.

Os gotejadores estão inseridos no tubo, sendo autocompensantes. Os tubos, feitos de PEBD, onde se inserem têm um diâmetro (comercial) de 20 mm.

Os ramais têm comprimentos variáveis, dado que os setores não têm uma forma regular (ver Anexo I). Como tal tem-se:

- Setor 24: comprimento dos ramais varia entre 213 e 188 m, sendo que a média é 217 m;
- Setor 25: comprimento dos ramais varia entre 282 e 27 m, sendo que a média é 247 m;
- Setor 27: comprimento dos ramais varia entre 280 e 235 m, sendo que a média é 260 m;
- Setor 31: comprimento dos ramais varia entre 6 e 235 m, sendo que a média é 136 m;

Os porta-ramais (ou condutas secundárias), feitos de PEBD, têm diâmetros (comerciais) que variam entre 50, 63, 75 e 90 mm.

As condutas principais, feitas de PVC, têm diâmetros (comerciais) que variam entre 160, 200 e 250 mm.

À entrada de cada setor existe uma eletroválvula que controla a entrada de água no respetivo porta-ramal.

No cabeçal de rega encontram-se os seguintes equipamentos: sistema de filtragem, composto por filtros de areia (Figura 3.10); manómetros; válvulas; contadores; controladores; sistema de fertirrega, composto pelos depósitos de fertilizante (Figura 3.11 A), com os respetivos agitadores, e um sistema de bombagem próprio (Figura 3.11 B), cuja função é a injeção da solução de fertilizante na conduta principal (Figura 3.11 C).



Figura 3.10 – Filtros de areia do sistema de rega.

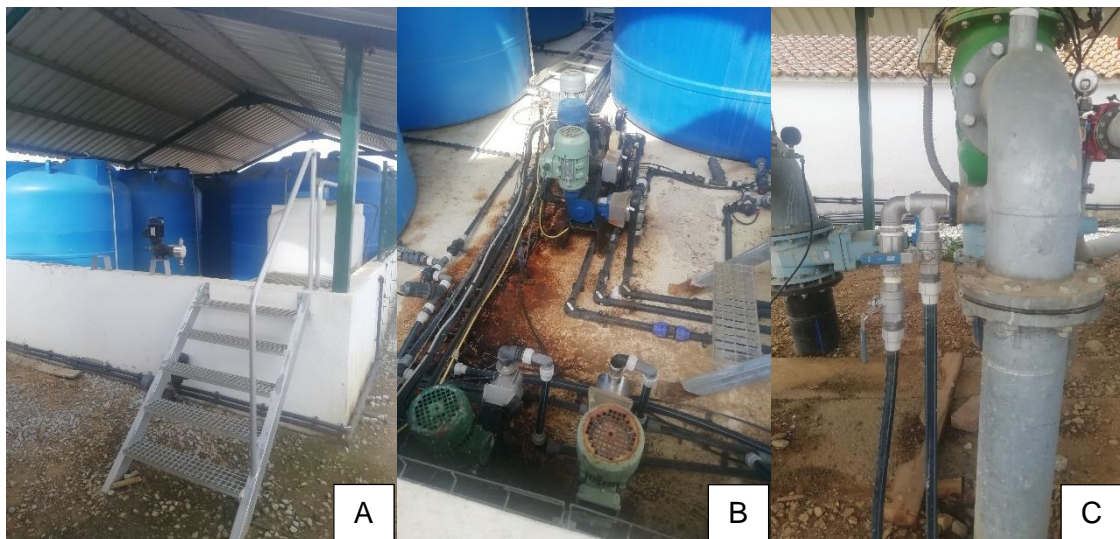


Figura 3.11 – Componentes do sistema de fertilização: A – depósitos; B – bombas; C – local onde a solução de fertilizante é injetada na conduta principal.



Não existe bomba no sistema de rega, sendo que o mesmo se encontra ligado diretamente ao hidrante do perímetro de rega de Alqueva, e como tal, a água de rega apenas é bombeada pela respetiva estação elevatória do perímetro de rega.

### 3.5.2. Avaliação do Sistema de Rega

A avaliação do funcionamento do sistema de rega foi feita pela determinação da uniformidade.

A uniformidade do sistema de rega, de acordo com vários autores (Oliveira, 2011; Pizarro, 1990; Raposo, 1994), é a avaliação da capacidade de um sistema de rega localizada de fornecer a mesma quantidade de água a todas as plantas, e pode ser avaliada através da uniformidade de emissão dos gotejadores (UE), que é a relação entre o caudal médio no quartil inferior (que corresponde aos 25% de caudais medidos mais baixos) ( $Q_{qi}$ ), e o caudal médio de todos os gotejadores ( $Q$ ).

$$UE = \frac{Q_{qi}}{Q} * 100 \quad (3.19)$$

Seguindo a metodologia apresentada por Oliveira (2011), para a realização do teste para avaliação da uniformidade do sistema de rega, devem-se escolher 16 pontos de medição, sendo que a escolha dos pontos de recolha deve ser feita da seguinte forma: escolher os ramais das duas extremidades do setor, bem como os ramais a 1/3 e a 2/3 da distância entre as extremidades do setor; em cada ramal devem ser feitas medições no início e no fim do mesmo, bem como a 1/3 e a 2/3 da distância entre os mesmos. Para ilustrar o procedimento tem-se a Figura 3.12.

O período de duração da recolha de água de rega em cada ponto deve ser reduzido, de forma a recolher entre 100 e 250 ml (o tempo de duração irá variar consoante o caudal dos gotejadores) (Oliveira, 2011).

Dado o caudal dos gotejadores ser de 1 l/h, determinou-se um tempo de recolha de 6 minutos, de forma a se recolher uma dotação de 100 ml, tendo-se recolhido dotação de rega de dois gotejadores adjacentes em cada ponto de amostragem.

A razão de em cada ponto de medição se recolher água de dois gotejadores adjacentes é a obtenção de um valor médio, de forma a se atenuar a influência dos gotejadores entupidos, tendo-se assim informação com maior representatividade. Foram apenas excluídos os gotejadores onde a dotação recolhida foi maior do que 130 ml, pois verificou-se que nessas situações, devido à forma como o tubo do ramal ficava colocado sobre o coletor, este recolhia água de dois gotejadores.

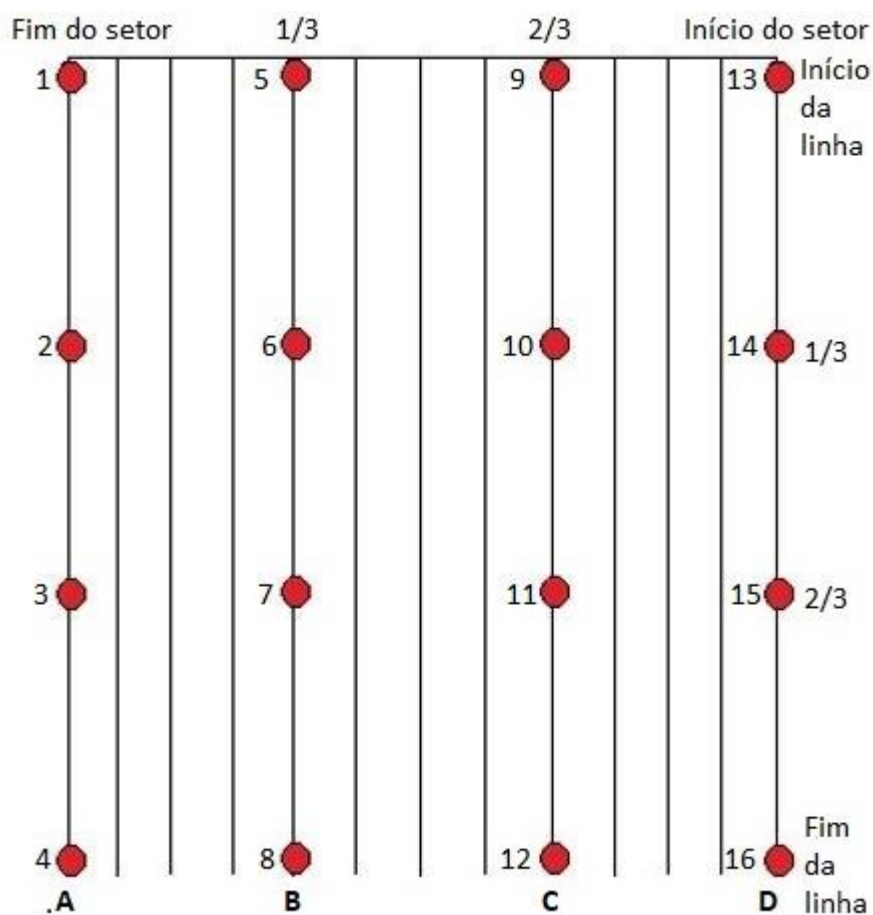


Figura 3.12 – Distribuição dos pontos de recolha no teste de avaliação do sistema de rega.

A uniformidade do sistema de rega, nos setores em estudo, foi avaliada em duas datas distintas: em março e em julho.

A classificação da uniformidade de rega, de acordo com a uniformidade de emissão dos gotejadores encontra-se na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Classificação da uniformidade de emissão, em rega localizada. (Fonte: Merriam & Keller, 1978)

Uniformidade do setor (%)	Classificação
> 90	Excelente
80 a 90	Boa
70 a 80	Aceitável
< 70	Fraca

### 3.6. Recolha de Dados

Para a avaliação do estado hídrico da cultura foram utilizados vários parâmetros, tais como o teor de água do solo, contração máxima diária do tronco, taxa de crescimento do tronco, potencial hídrico do caule, condutância estomática e NDVI.

Em relação aos dados de teor de água do solo e de dados relacionados com a dendrometria, estes apenas foram recolhidos num único local, onde os equipamentos se encontram instalados (setor 27). Os pontos de medição para os restantes parâmetros, cujas medições foram realizadas no ano de 2023, foram determinados da seguintes forma: dois pontos de medição na variedade “Avijor”, um no local da sonda e do dendrómetro, que correspondia também a um dos locais com o NDVI mais baixo (medição de dia 9 de maio), e um outro num dos locais com o NDVI mais alto (medição de dia 9 de maio), no setor 25; um ponto na variedade “Belona”, num dos locais com o NDVI mais alto (medição a 9 de maio), no setor 31.

#### 3.2.1. Sonda de Humidade do Solo

A medição do teor de água do solo foi feita com recurso a uma sonda instalada no setor 27 (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Sonda de humidade do solo.

A sonda utilizada é uma sonda que se baseia na medição da capacitância do solo (sonda do tipo FDR), método baseado na constante dielétrica do solo. Este método, FDR, baseia-se na medição da capacitância do solo, que está relacionada com a constante dielétrica através da geometria do campo elétrico, que se estabelece ao redor dos dois elétrodos colocados no solo, e que conseqüentemente se relaciona com o teor de água do solo (Oliveira, 2011).

O equipamento é da marca “EnviroPro Dielectrics”, modelo “EP100DL-08”. Caracteriza-se por ter 8 sensores, com um espaçamento de 10 cm, pelo que consegue realizar medições até aos 80 cm de profundidade (EnviroPro Dielectrics, 2014).

Antes de se fazer a instalação da sonda, cada sensor tem de ser calibrado em função da textura do solo (ou seja, tem de se determinar a textura do solo a cada 10 cm), ignorando o teor de matéria orgânica e a fração de elementos grosseiros. Para a calibração são consideradas quatro situações: a calibração que por defeito é feita no equipamento; para solo arenoso; para solo franco; e para solo argiloso (EnviroPro Dielectrics, 2014).

A sonda instalada encontra-se calibrada da seguinte forma:

- Nos primeiros 10 cm: para solo arenoso;
- Dos 20 aos 80 cm: para solo franco.

A medição da humidade do solo é feita em contínuo e registada na plataforma IRRISTRAT™, em intervalos de 2 e de 12 horas, pelo que para o estudo utilizou-se os valores registados em intervalos de 12 horas. Na plataforma estão registadas as medições da humidade do solo a cada 10 cm de profundidade até aos 80 cm, e o somatório das medições até aos 60 cm.

A sonda foi instalada aquando da instalação do pomar, mas foi reinstalada em 2023.

### 3.2.2. Dendrómetro

A variação do diâmetro do tronco ao longo da campanha de rega foi feita usando um dendrómetro colocado no tronco da planta a 30 cm de altura do solo, e abaixo do início da ramificação da árvore (Figura 3.14).

Os dendrómetros dividem-se em dois grupos: dendrómetros de banda, ou de perímetro, que têm uma cinta que se coloca de maneira a envolver toda a circunferência do tronco; e dendrómetros pontuais, ou radiais, que fazem a medição num ponto do tronco (e não em toda a sua circunferência), com uma haste que permite a fixação do aparelho no tronco e uma outra haste com o sensor que faz a medição (Interreg, s/d). Neste caso utilizou-se um dendrómetro pontual, sendo as leituras feitas em contínuo e registadas na plataforma IRRISTRAT™.



Figura 3.14 – Dendrómetro instalado no tronco de uma amendoeira.

### 3.2.3. Câmara de Pressão

A medição do potencial hídrico da planta foi feita utilizando uma câmara de pressão da marca “PMS *Instrument Company*”, modelo “*Model 1000 Pressure Chamber Instrument*” (Figura 3.15).

Para se fazer a medição coloca-se a parte da planta que se pretende analisar, a folha ou o pequeno ramo, dentro da câmara, deixando o local de corte, fora da câmara. Com a amostra colocada, inicia-se a injeção de azoto na câmara até que se forme uma gota na zona de corte, e regista-se o valor de pressão medido pelo aparelho (que é o inverso de  $\Psi$  da amostra) (*Cotton Research and Development Corporation*, 2012). Quando se remove a amostra, o  $\Psi_p$  no xilema (pecíolo da folha) é de 0 MPa, pois a água vai do xilema para as células do mesófilo; uma vez que  $\Psi_s$  não varia, o  $\Psi$  no xilema apenas varia quando o  $\Psi_p$  variar; ao se aumentar a pressão na câmara do aparelho, a pressão vai atuar sobre o mesófilo, aumentando o  $\Psi_p$  do mesófilo; quando ocorrer formação de uma gota de água na zona de corte, o  $\Psi$  do mesófilo é igual a 0 MPa, pelo que a pressão medida no aparelho é o inverso do  $\Psi$  do mesófilo antes de se iniciar o processo (Shahidian *et al.*, 2017).

Quer na medição do potencial hídrico da folha, quer na medição do potencial hídrico do caule, o procedimento é o mesmo, com a exceção de: no caso do potencial hídrico da folha, a folha é colhida e colocada na câmara do aparelho diretamente; no caso do potencial hídrico do caule, antes de se colher a folha esta é colocada dentro de um saco, de forma a se impedir a transpiração, igualando o potencial hídrico da folha ao potencial hídrico do caule, e assim quando se colocar a folha na câmara do

aparelho a folha deve permanecer dentro do saco, de forma a que transpiração se mantenha nula (Shahidian *et al.*, 2017).

Foi medido o potencial hídrico do caule, ao meio dia solar, em pequenos ramos expostos ao sol. Foram feitas medições em três datas distintas: 22 de junho, 11 de julho e 31 de julho. As mesmas foram feitas entre as 12:00 e as 14:00, tendo-se feito sete medições em cada ponto, em sete plantas consecutivas na linha, um ramo por planta.

No ano de 2022 também foram feitas medições deste parâmetro, por parte do produtor, que fez medições em várias plantas distribuídas pelas parcelas, em função da variedade (com exceção da parcela da variedade “Belona”, em que fez medições em cada setor), de forma a ter informação representativa das parcelas de cada variedade num todo, ao contrário de ter informação detalhada para determinados pontos do terreno. Uma vez que as medições foram feitas por parte do produtor, não há uma garantia de que o processo de medição tenha sido igual ao utilizado.



Figura 3.15 – Câmara de Pressão.

#### 3.2.4. Porómetro

A medição da condutância estomática foi feita utilizando um porómetro da marca “Delta-T Devices”, modelo “AP4 Porometer” (Figura 3.16).

Para se efetuar a medição coloca-se a pinça do aparelho de forma que a pinça contacte com a folha, e o aparelho vai medir a velocidade com que há um aumento da humidade na câmara da pinça, dando assim o valor da condutância estomática (SOMATCO, 2020).

As medições foram feitas ao meio dia solar, em pequenos ramos expostos ao sol. Foram realizadas medições em três datas distintas: 22 de junho, 11 de julho e 31 de julho. As mesmas foram feitas entre as 12:00 e as 14:00, tendo-se feito sete medições em cada ponto, em sete plantas consecutivas na linha, um ramo por planta.



Figura 3.16 – Porômetro.

### 3.7. Índices de Vegetação

Os dados dos índices de vegetação foram fornecidos pela empresa Agroinsider, com uma resolução de 10 m x 10 m, com informação proveniente da constelação de satélites “SENTINEL 2”, com dois satélites com sistemas óticos, que permitem a recolha de informação feita em intervalos de 5 dias, sendo que a informação pode ser comprometida pela ocorrência de nebulosidade (*European Space Agency, s/d*).

#### 3.7.1. NDVI

Segundo Xue & SU (2017), o índice é calculado com a seguinte expressão:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.20)$$

sendo:

- NIR – refletância registada na banda do infravermelho próximo (*Near InfraRed*);
- RED – refletância registada na banda do vermelho (*Red*).

Devido ao facto de a presença de nuvens sobre o local afetar as medições deste índice, foram descartados os valores das medições referentes aos dias em que se verificou ocorrência de nebulosidade.

### 3.8. Colheita

Uma vez que o amendoal em estudo é um amendoal em sebe, na colheita da amêndoa é utilizado um vibrador de copa cavalgante, que numa mesma operação destaca os frutos das árvores e faz a recolha dos mesmos (Aguiar *et al.*, 2017).

Posteriormente é feita a secagem dos frutos e o descasque, para a obtenção do miolo da amêndoa (Aguiar *et al.*, 2017).

A colheita é feita linha a linha, sendo cada setor colhido individualmente, de forma a se obter os parâmetros produtivos de cada setor.

Os parâmetros produtivos registados e avaliados são: produção e produtividade de amêndoa com casca; produção e produtividade de miolo; rendimento de miolo (obtido pela razão entre a produção de miolo de amêndoa e a produção de amêndoa com casca).

### 3.9. Produtividade da Água

A produtividade da água, é um parâmetro que relaciona a produção da cultura com a quantidade de água aplicada/utilizada. No caso da cultura da amendoeira, pode-se considerar tanto a produção de amêndoa com casca ou apenas a produção de miolo.

Relativamente à quantidade de água utilizada pode-se considerar toda a água utilizada pela planta, ou seja, a precipitação efetiva, a água aplicada na rega e o balanço de água do solo, sendo o equivalente à evapotranspiração real da cultura:

$$ET_c = R + P_e + \Delta S \quad (3.21)$$

sendo:

- $ET_c$  – evapotranspiração da cultura (mm);
- $R$  – água aplicada na rega (mm);
- $P_e$  – precipitação efetiva (mm);
- $\Delta S$  – variação do armazenamento de água do solo (mm).

Assim pode-se obter a produtividade da água ( $WP$ ,  $kg/m^3$ ) (Cai *et al.*, 2003):

$$WP = \frac{\text{Produção de miolo}}{ET_c} \quad (3.22)$$



com os valores da produção em kg/ha e ETc em m<sup>3</sup>/ha.

Pode-se também calcular a produtividade apenas da água de rega (IWP), usando a expressão (Phogat *et al.*, 2013):

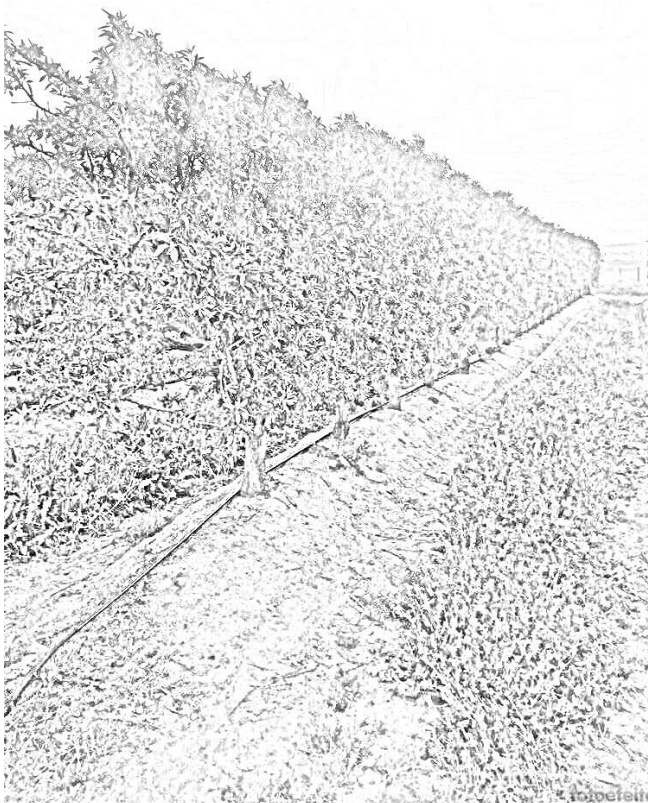
$$IWP = \frac{\text{Produção de miolo}}{R} \quad (3.23)$$

com os valores da produção em kg/ha e R em m<sup>3</sup>/ha.

No cálculo de WP a variação do teor de água do solo foi considerada 0 m<sup>3</sup>/ha para os anos de 2021 e 2022, por falta de informação relativa a este parâmetro (as leituras da sonda apresentam dados incorretos, devido a uma deficiente primeira instalação, que levou a uma nova instalação da mesma).

A exemplo de outros autores (Moldero *et al.*, 2021) considerou-se a precipitação e a rega desde o abrolhamento até à queda da folha.

Consideraram-se negligíveis as perdas por percolação, pelo que a quantidade de água aplicada na rega foi considerada toda como sendo utilizada pela planta ou contribuído para a variação da humidade do solo.



#### **4. Resultados e Discussão**

#### 4.1. Caracterização Hidropedológica

Para o cálculo dos dados relativos à capacidade utilizável do solo (Tabelas 4.1 e 4.2) foram considerados os dados da análise granulométrica da Tabela 3.6, completada com os dados da densidade aparente do perfil descrito por Cardoso (1965) tendo em conta a textura dos horizontes.

Tabela 4.1 – Dados da capacidade de armazenamento do solo (análises de solo próprias), em percentagem.

Setor	Profundidade (cm)	Dap	CC (%)	CE (%)	CU (%)
27	0 - 40	1,51	17,7	10,7	7,0
	40 - 60	1,51	18,6	11,0	7,6
	60 - 100	1,51	19,2	11,2	8,0
25	0 - 40	1,51	14,6	8,2	6,4
31	0 - 40	1,51	15,2	8,7	6,5

Tabela 4.2 – Dados da capacidade de armazenamento do solo (análises de solo próprias), em volume.

Setor	Profundidade (cm)	CC (mm)	CE (mm)	Uz (mm)
27	0 – 40	106,9	64,6	42,3
	40 – 60	56,2	33,2	23,0
	60 – 100	116,0	67,6	48,3
25	0 – 40	88,2	49,5	38,7
31	0 – 40	91,8	52,5	39,3

Como se pode observar, os valores obtidos através das amostras recolhidas nos três setores de rega analisados para a camada inicial (0-40 cm) são muito idênticos. Como esta camada será a que influenciará mais a frequência da rega e as dotações a aplicar, pode-se considerar que não existe uma diferença entre o solo dos diferentes setores que justifique uma programação de rega diferente entre setores. Deste modo utilizaram-se neste estudo os valores obtidos no setor 27, porque além de ser o setor onde está instalada a sonda de humidade, foi também onde se conseguiu recolher uma amostra do perfil mais completa.

## 4.2. Avaliação do Sistema de Rega

### 4.2.1. Teste de Uniformidade

No primeiro teste, realizado em março, os resultados obtidos constam nas tabelas seguintes (Tabelas 4.3 a 4.6). Devido à forma geométrica irregular de alguns setores, que originaram ramais de diferente tamanho, não foi possível aplicar sempre a metodologia de medição da uniformidade apresentada na Figura 3.12. Deste modo nalguns casos estão indicados alguns pontos sem valores de caudal (n.d.), visto que o ponto de medição já estaria fora do setor de rega analisado.

Tabela 4.3 – Caudais (Q) medidos em março, setor 24.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,02	1,02	1,02	0,96
	2	0,96	1,08	1,02	
	3	1,18	0,90	1,04	
	4	0,92	0,56	0,74	
B	5	0,96	1,12	1,04	1,00
	6	0,82	0,94	0,88	
	7	1,10	1,06	1,08	
	8	0,98	1,00	0,99	
C	9	1,00	0,96	0,98	0,88
	10	0,82	1,02	0,92	
	11	0,96	0,98	0,97	
	12	0,88	0,40	0,64	
D	13	0,92	1,18	1,05	1,03
	14	1,12	0,88	1,00	
	15	0,96	1,12	1,04	
	16	n.d.	n.d.	n.d.	
Média do setor (l/h)				0,96	

n.d. – não medido.

Tabela 4.4 – Caudais (Q) medidos em março, setor 25.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,06	1,02	1,04	1,04
	2	0,98	1,10	1,04	
	3	0,48	1,08	0,78	
	4	1,42	1,28	1,28	
B	5	0,98	0,98	0,98	1,02
	6	1,06	0,94	1,00	
	7	1,04	1,02	1,03	
	8	1,04	1,10	1,07	
C	9	0,94	1,04	0,99	1,02
	10	1,30	1,04	1,04	
	11	0,96	1,04	1,00	
	12	0,98	1,08	1,03	
D	13	0,86	0,96	0,91	0,86
	14	0,98	0,72	0,85	
	15	1,04	1,06	1,05	
	16	0,00	1,26	0,63	
Média do setor (l/h)				0,98	

Tabela 4.5 – Caudais (Q) medidos em março, setor 27.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,08	1,04	1,06	1,04
	2	1,02	1,18	1,10	
	3	1,02	1,08	1,05	
	4	0,96	0,94	0,95	
B	5	1,60	1,06	1,06	1,05
	6	1,04	1,12	1,08	
	7	1,06	1,00	1,03	
	8	1,00	1,06	1,03	
C	9	1,58	1,00	1,00	1,03
	10	0,96	1,16	1,06	
	11	1,00	1,04	1,02	
	12	1,00	1,04	1,02	
D	13	0,14	1,08	0,61	0,94
	14	1,02	1,08	1,05	
	15	1,08	1,12	1,10	
	16	0,98	1,82	0,98	
Média do setor (l/h)				1,01	

Tabela 4.6 – Caudais (Q) medidos em março, setor 31.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,00	1,02	1,01	0,90
	2	1,14	1,08	1,11	
	3	1,02	0,98	1,00	
	4	0,92	0,00	0,46	
B	5	1,00	1,08	1,04	1,06
	6	1,04	1,06	1,05	
	7	1,18	1,00	1,09	
	8	1,04	1,42	1,04	
C	9	n.d.	n.d.	n.d.	1,03
	10	1,02	1,02	1,02	
	11	0,96	1,10	1,03	
	12	1,90	1,04	1,04	
D	13	n.d.	n.d.	n.d.	1,02
	14	0,96	1,14	1,05	
	15	n.d.	n.d.	n.d.	
	16	0,98	0,98	0,98	
Média do setor (l/h)				0,99	

n.d. – não medido

Tabela 4.7 – Resultados do teste de uniformidade realizado em março.

Setor	Uniformidade de Emissão	
	Resultado (%)	Classificação
24	82,8	Boa
25	80,7	Boa
27	87,9	Boa
31	86,8	Boa

No segundo teste, realizado em julho, os resultados obtidos constam nas seguintes tabelas (Tabelas 4.8 a 4.11).

Tabela 4.8 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 24.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,26	1,06	1,16	0,97
	2	1,04	0,98	1,01	
	3	0,96	0,91	0,94	
	4	0,64	0,90	0,77	
B	5	0,96	1,00	0,98	0,95
	6	0,98	0,92	0,95	
	7	0,90	1,00	0,95	
	8	0,92	0,94	0,93	
C	9	0,84	0,96	0,90	0,89
	10	0,54	0,90	0,72	
	11	0,96	0,96	0,96	
	12	0,96	1,00	0,98	
D	13	0,90	0,90	0,90	0,95
	14	1,00	0,94	0,97	
	15	1,00	0,94	0,97	
	16	n.d.	n.d.	n.d.	
Média do setor (l/h)				0,94	

n.d. – não medido.

Tabela 4.9 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 25.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	0,50	1,00	0,75	0,89
	2	0,98	1,00	0,99	
	3	0,98	0,98	0,98	
	4	0,86	0,84	0,85	
B	5	1,00	0,92	0,96	0,98
	6	1,00	1,02	1,01	
	7	1,02	1,02	1,02	
	8	0,96	0,86	0,91	
C	9	0,98	1,00	0,99	1,01
	10	1,04	0,96	1,00	
	11	1,02	1,04	1,03	
	12	0,96	1,04	1,00	
D	13	1,00	0,90	0,95	0,92
	14	1,02	1,00	1,01	
	15	0,98	1,02	1,00	
	16	0,92	0,52	0,72	
Média do setor (l/h)				0,95	

Tabela 4.10 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 27.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	1,20	0,96	1,08	0,99
	2	1,02	0,94	0,98	
	3	0,88	1,00	0,94	
	4	0,96	0,98	0,97	
B	5	0,92	1,02	0,97	1,01
	6	0,96	1,10	1,03	
	7	0,96	1,12	1,04	
	8	1,00	0,98	0,99	
C	9	0,96	1,00	0,98	0,98
	10	1,04	0,80	0,92	
	11	1,00	1,02	1,01	
	12	1,00	1,00	1,00	
D	13	0,86	0,90	0,88	0,95
	14	1,00	1,10	1,05	
	15	0,96	0,92	0,94	
	16	0,96	0,90	0,93	
Média do setor (l/h)				0,98	

Tabela 4.11 – Caudais (Q) medidos em julho, setor 31.

Linha	Ponto	Q gotejador (l/h)		Q médio ponto (l/h)	Q médio linha (l/h)
		I	II		
A	1	0,72	0,54	0,63	0,43
	2	0,76	0,74	0,75	
	3	0,54	0,00	0,27	
	4	0,10	0,00	0,05	
B	5	0,90	0,86	0,88	0,76
	6	0,90	0,90	0,90	
	7	0,74	0,78	0,76	
	8	0,50	0,52	0,51	
C	9	0,00	0,86	0,43	0,61
	10	0,80	0,78	0,79	
	11	0,50	0,66	0,58	
	12	0,74	0,56	0,65	
D	13	n.d.	n.d.	n.d.	0,80
	14	0,88	0,72	0,80	
	15	0,90	0,84	0,87	
	16	0,84	0,60	0,72	
Média do setor (l/h)				0,64	

n.d. – não medido.



Tabela 4.12 – Resultados do teste de uniformidade realizado em julho.

Setor	Uniformidade de Emissão	
	Resultado (%)	Classificação
24	87,6	Boa
25	85,2	Boa
27	93,4	Excelente
31	49,3	Fraca

Nas medições realizadas em março obteve-se uma uniformidade de emissão dos gotejadores boa em todos os setores, não se tendo verificado uma diferença de caudal ao longo de cada ramal que sugerisse pressão insuficiente no final do ramal, pelo que as variações que ocorreram entre pontos de medição se devem sobretudo a gotejadores entupidos. O caudal médio de cada setor é praticamente igual ao caudal de dimensionamento (1 l/h), apresentando todos uma boa uniformidade de emissão (Tabela 4.7).

Nas medições feitas em julho verifica-se uma diminuição do caudal médio aplicado em todos os setores, sendo que apenas no setor 31 essa variação foi significativa. Os resultados da uniformidade de emissão nos setores 24, 25 e 27 (Tabela 4.12) apresentaram melhores resultados do que em março (Tabela 4.7), mas como referido antes, com um caudal ligeiramente abaixo do valor de dimensionamento (1 l/h). No setor 31 verificou-se uma diminuição de caudal e de uniformidade, verificando-se a diminuição do caudal ao longo do ramal, sugerindo falta de carga hidráulica no sistema de rega para esta parcela, que resulta numa diminuição da pressão da água no sistema e como consequência uma diminuição do caudal aplicado.

A diferença dos resultados entre as duas datas pode-se dever ao facto de na primeira data apenas se estar a regar um setor de cada vez, enquanto na segunda data a rega ter sido feita regando vários setores em simultâneo, o que pode ter causado variações no caudal de entrada em cada setor. Uma vez que o sistema de rega é abastecido por hidrantes da EDIA e não existem medidores de caudal à entrada de cada setor, torna-se difícil verificar com exatidão o efeito que pode ter a rega de vários setores em simultâneo. O aumento da uniformidade na maioria dos setores parece indicar que não aumentaram os problemas de entupimento dos gotejadores, debitando estes menos água por falta de caudal e/ou pressão no sistema. Os entupimentos de gotejadores foram mais importantes no setor 31, tendo-se verificado, em ambas as medições realizadas, gotejadores entupidos (Tabelas 4.6 e 4.11).

### 4.3. Necessidades Hídricas da Cultura

Os dados recolhidos para a análise das necessidades hídricas da cultura são referentes aos anos de 2021 a 2023, sendo que neste último apenas se recolheu informação até a data de colheita (tendo-se considerado a data de início de colheita de 2021 e 2022, pois em 2023 não se realizou colheita).

Para melhor perceber as diferenças interanuais do clima sobre a evapotranspiração tem-se a Figura 4.1, onde se compara a evolução da evapotranspiração de referência entre os anos analisados.

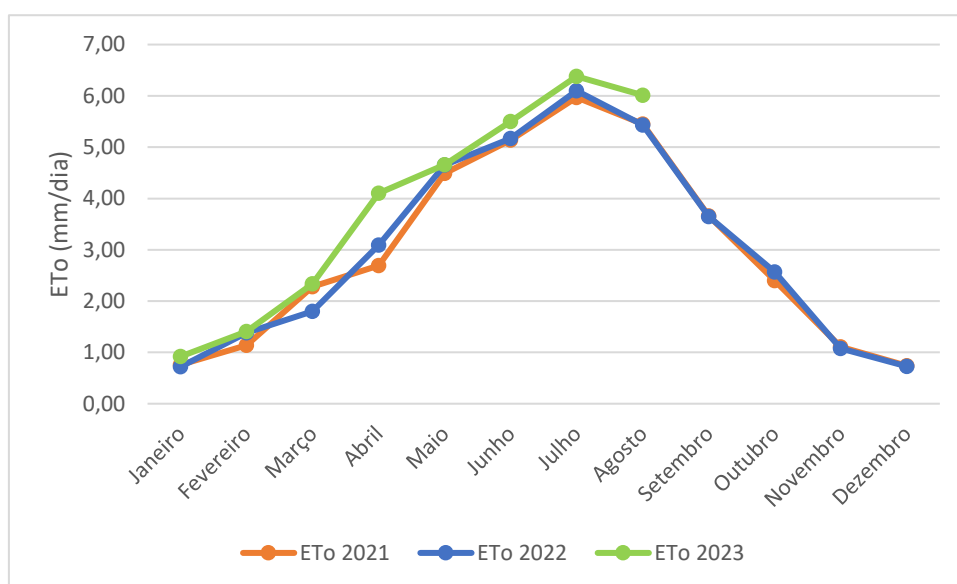


Figura 4.1 – Evolução da ETo nos anos de 2021 a 2023.

Olhando para a figura anterior observa-se que os valores de ETo nos três anos analisados são muito semelhantes, um pouco mais altas em 2023, principalmente no mês de abril.

Dado que a estação meteorológica se encontra instalada no interior do amendoal (Figura 3.8), o que pode levar a erros sobretudo nas medições de velocidade do vento (pois as plantas constituem uma barreira ao mesmo) e de radiação global (devido ao ensombramento causado pelas plantas), uma vez que a altura da copa das plantas é superior à altura a que os aparelhos de medição se encontram instalados, comparou-se também os resultados de evapotranspiração de referência com os obtidos numa estação meteorológica próxima da parcela em estudo (Figuras 4.2 a 4.4), instalada numa parcela de pastagem, e como tal sem constrangimentos na medição da velocidade do vento e da radiação global.

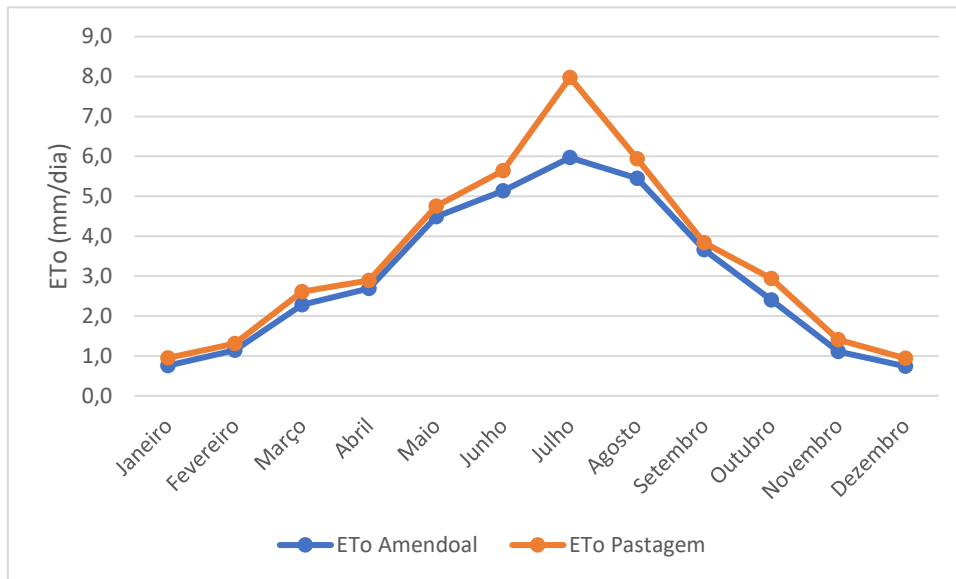


Figura 4.2 – Comparação da ETo dos dois locais em 2021.

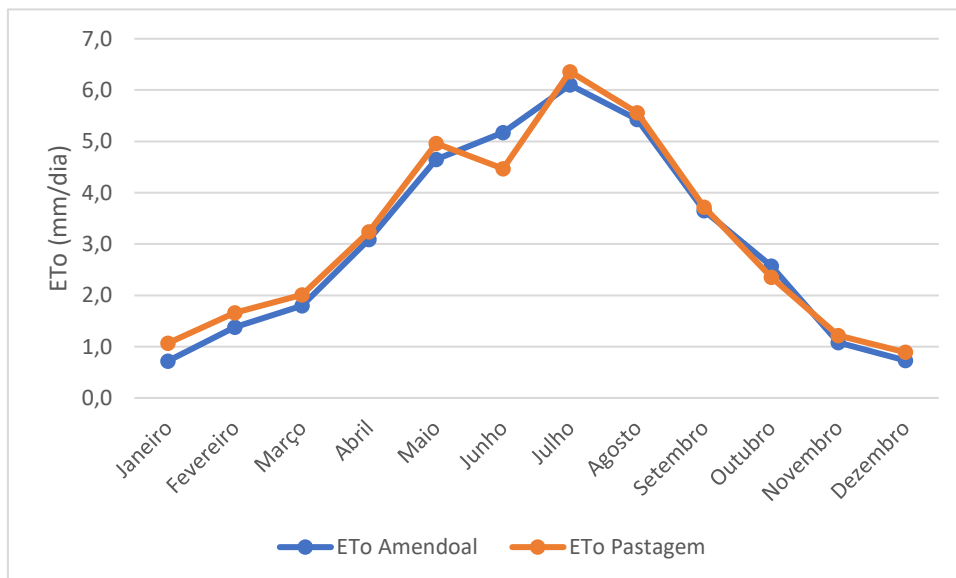


Figura 4.3 – Comparação da ETo dos dois locais em 2022.

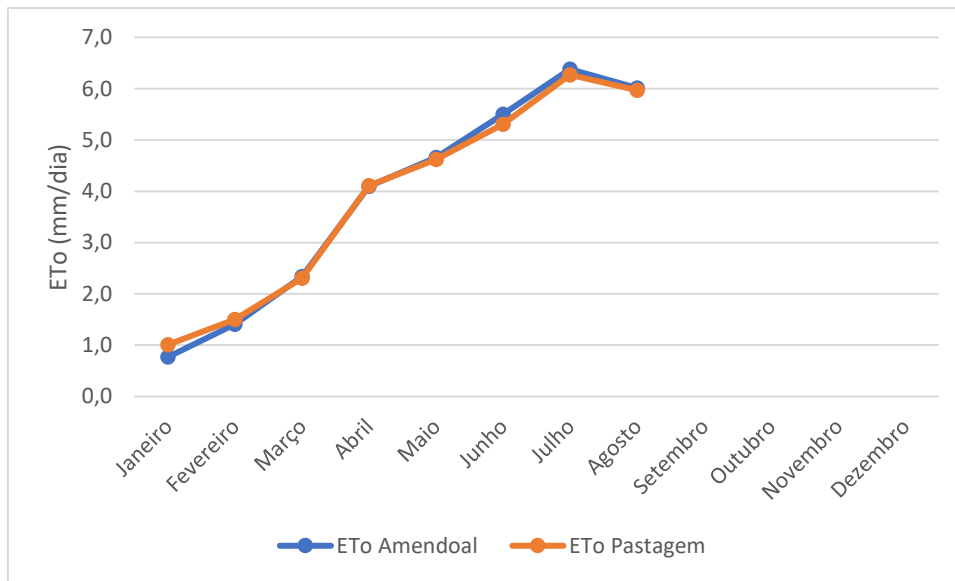


Figura 4.4 – Comparação da ETo dos dois locais em 2023.

Como se verifica, a evolução da evapotranspiração de referência segue a mesma tendência em ambas os locais (com exceção dos meses de julho em 2021 e de junho de 2022). Os valores de ETo estimados pela estação meteorológica da pastagem apresentam uma diferença muito pequena em relação aos medidos pela estação situada no amendoal, pelo que o efeito do vento ou do ensombramento não são tão significativos como se suspeitou.

Deste modo optou-se por usar os dados da ETo da estação meteorológica colocado no amendoal, já que será mais representativa das condições meteorológicas a que as plantas estão sujeitas.

Na Figura 4.5 pode-se observar os valores da evapotranspiração de referência média do período 1971-2000 e os valores calculados para os anos deste estudo. Verifica-se que a evapotranspiração de referência foi semelhante entre o ano médio do período 1971-2000 e os anos 2021 a 2023, com exceção do mês de abril de 2023 em que a evapotranspiração de referência foi superior cerca de 30% (comparando com a do ano médio do período 1971-2000). Observa-se também que no período de ponta de evapotranspiração o valor mais alto foi o do ano médio de 1971-2000.

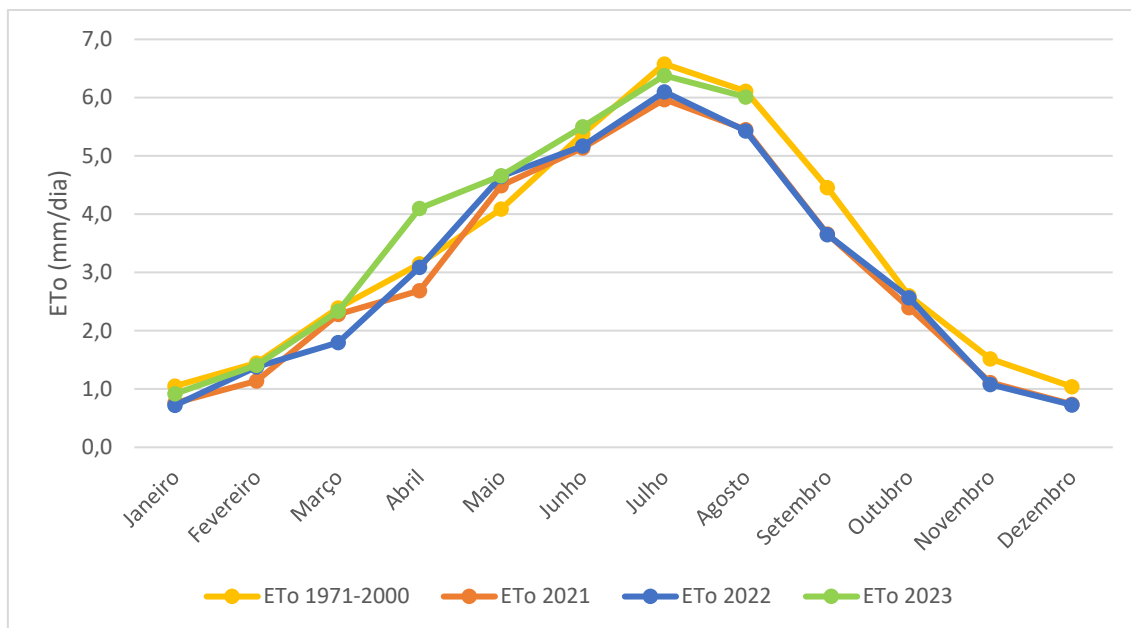


Figura 4.5 – Comparação entre ETo do ano médio do período 1971-2000 e dos anos 2021 a 2023.

A partir dos valores da ETo antes apresentados foram calculadas as necessidades hídricas da cultura, também denominadas de necessidades de rega líquidas, que se apresentam na Tabela 4.13 divididas por fase do ciclo cultural.

Tabela 4.13 – Necessidades hídricas da cultura, por fase do ciclo vegetativo.

Ano	Fase	ETo (mm)	ETc (mm)	Pe (mm)	NR líquidas (mm)
2021	Inicial	21,3	8,5	65,6	0,0
	Desenvolvimento	190,5	130,8	50,2	85,1
	Intermédia	547,4	562,4	7,8	554,6
	Final	239,5	215,1	68,2	146,8
	Total	998,7	916,8	191,8	786,5
2022	Inicial	23,3	9,3	0,0	9,2
	Desenvolvimento	194,2	134,4	20,6	114,0
	Intermédia	560,6	559,7	13,9	545,8
	Final	243,3	211,9	118,4	94,5
	Total	1.021,4	915,3	152,9	763,5
2023	Inicial	25,0	10,0	0,8	9,2
	Desenvolvimento	241,6	166,3	10,8	155,5
	Intermédia	586,9	597,2	14,2	583,0
	Final	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Total*	853,5	773,5	25,8	747,7

\* - total até à data de 20 de agosto.

n.d. – não medido.

Entre os anos de 2021 e 2022 as diferenças nas necessidades de rega líquidas deveram-se sobretudo a diferenças na precipitação, uma vez que a evapotranspiração cultural foi semelhante. No ano de 2023, verificou-se tanto um aumento da evapotranspiração cultural, como uma diminuição da precipitação efetiva, o que levou a um aumento das necessidades de rega líquidas.

#### 4.4. Necessidades de Rega da Cultura

As necessidades de rega da cultura, NR brutas, foram determinadas para os anos 2021 a 2023, sendo que foram comparadas com as necessidades de rega determinadas pela Hidrosoph como recomendação para o produtor, e também com a dotação de rega aplicada por este último (Figuras 4.6 a 4.8). A empresa Hidrosoph considerou uma eficiência de aplicação de 90%, pelo que também foi considerado este valor nos cálculos efetuados.

Como se pode verificar, as necessidades de rega calculadas são superiores tanto à recomendação feita pela empresa de acompanhamento como à dotação de rega aplicada pelo produtor. No entanto verifica-se a mesma tendência na evolução anual entre as três, com exceção do ano 2023 em que a dotação de rega se manteve constante devido ao facto de, como a produção ter sido comprometida, a rega ter sido conduzida de forma diferente do praticado nos anos anteriores, de forma a reduzir os custos de produção sem comprometer a vitalidade das plantas.

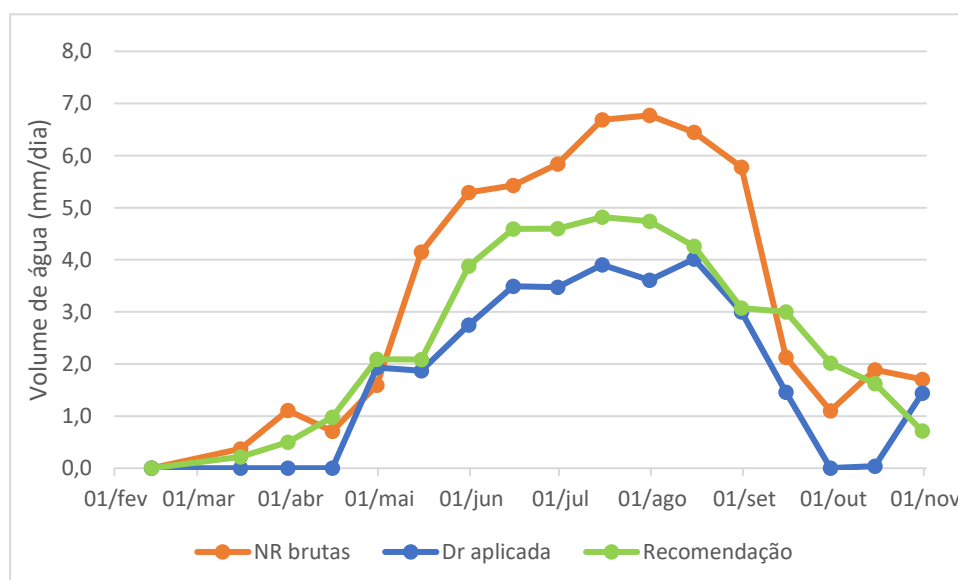


Figura 4.6 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2021.

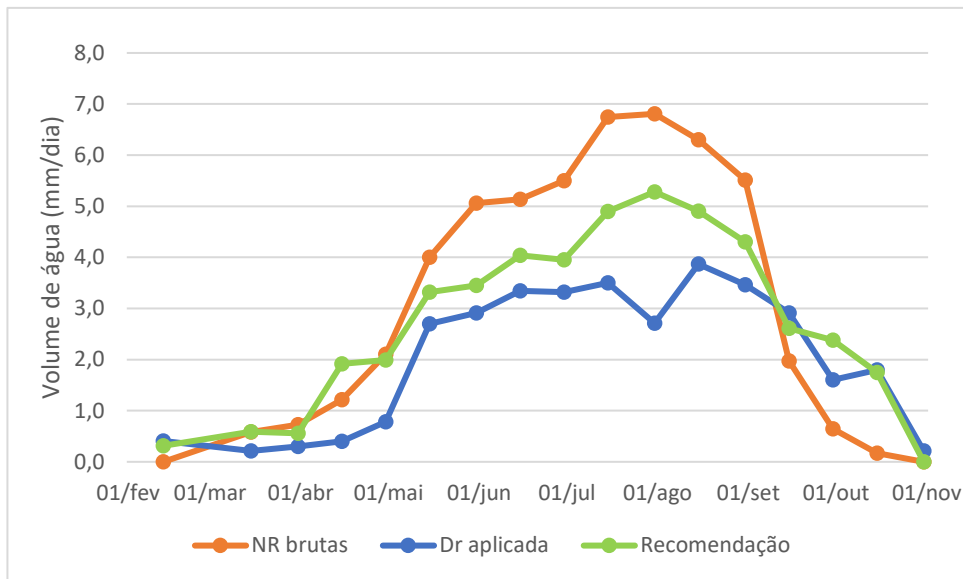


Figura 4.7 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2022.

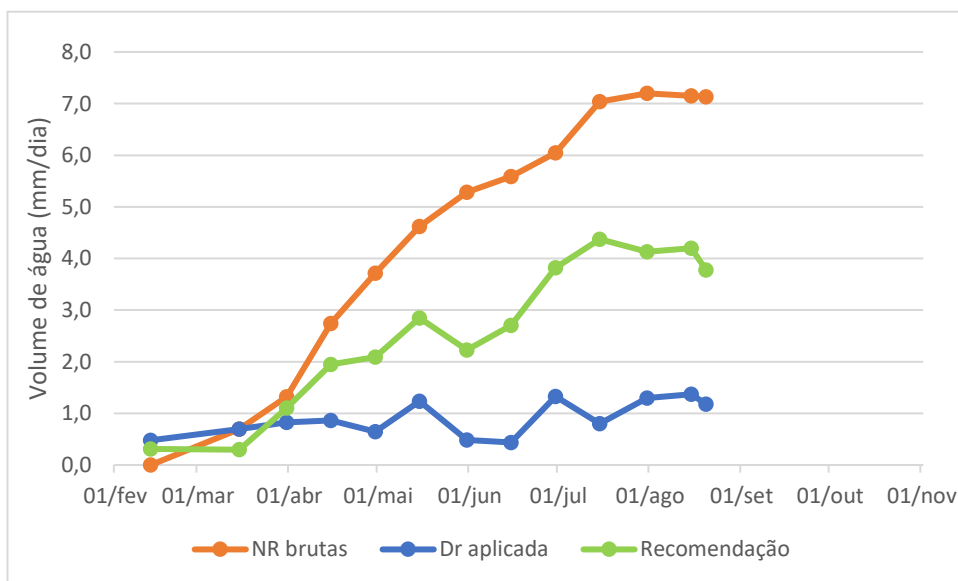


Figura 4.8 – Comparação entre NR brutas, Dr aplicada pelo produtor e recomendação feita, para o ano de 2023.

Até ao mês de maio, período desde o início da floração até ao início do crescimento do fruto, tanto em 2021 como em 2022, as recomendações de rega da Hidrosoph são muito idênticas às necessidades de rega calculadas pelo CROPWAT. A partir daí e até à colheita, em agosto, a recomendação é sempre inferior às necessidades calculadas pelo CROPWAT. Poderia pensar-se que esta seria uma estratégia de rega deficitária, uma vez que a empresa sabe que o produtor não tem

água suficiente disponível para seguir uma estratégia de rega que permita satisfazer as necessidades máximas potenciais da cultura.

A dotação de rega do produtor é sempre inferior tanto às necessidades de rega calculadas, como à recomendação dada. Nota-se uma tentativa de o produtor fornecer mais água na altura do início do crescimento do fruto (maio), mantendo essa tendência até à colheita. À medida que vai sendo necessário aplicar mais água, o sistema de rega deixa de responder, pois foi dimensionado para aplicar no máximo uma dotação diária de 4 mm.

Para avaliar melhor a rega praticada pelo produtor quantificou-se o défice hídrico induzido à cultura, calculando a % de NR brutas calculadas pelo CROPWAT e a água aplicada pelo produtor (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 – Comparação entre NR brutas e Dr.

Ano	Fase	NR brutas (mm)	Dr (mm)	% NR brutas (%)
2021	Inicial	0,0	0,0	100,0
	Desenvolvimento	94,6	47,7	50,4
	Intermédia	616,2	349,5	56,7
	Final	163,1	78,6	48,2
	Total	873,9	475,7	54,4
2022	Inicial	10,2	10,5	102,7
	Desenvolvimento	126,7	50,5	39,9
	Intermédia	606,4	331,2	54,6
	Final	105,0	136,1	129,6
	Total	848,3	528,2	62,3
2023	Inicial	10,2	24,5	239,2
	Desenvolvimento	172,7	50,7	29,4
	Intermédia	639,1	99,5	15,6
	Final	n.d.	n.d.	n.d.
	Total*	822,0	174,6	21,2

\* - total até à data de 20 de agosto.

n.d. – não medido.

Com base nestes dados verifica-se que na fase inicial as plantas encontram-se em conforto hídrico, bem como na fase final no ano de 2022.

No ano de 2021 o *stress* hídrico foi constante, com cerca de 50% das necessidades de rega a serem satisfeitas ao longo de todo o ano, como numa estratégia de rega deficitária sustentada.

No ano de 2022 a cultura só sofreu défice hídrico nas fases de desenvolvimento e intermédia, tendo sido o *stress* maior na primeira, e durante o resto



do ciclo vegetativo a planta esteve em conforto hídrico, semelhante a uma estratégia de rede deficitária controlada com o *stress* imposto antes da colheita.

No ano de 2023, excetuando na fase inicial, a cultura esteve também em *stress* hídrico nas fases de desenvolvimento e intermédia, com um déficit maior do que nos anos anteriores.

Excetuando o ano de 2023, cuja programação de rega foi atípica, no global, são satisfeitas aproximadamente 50 a 60% das necessidades de rega da cultura.

Para melhorar a condução da rega, sem se modificar o sistema de rega instalado, o déficit hídrico deveria apenas ser imposto no período de enchimento da amêndoa, uma vez que *stress* hídrico neste período levará a menores quebras de produção (Arquero *et al.*, 2013; Girona *et al.*, 1997, 2005), enquanto que no resto do ciclo cultural se deverá satisfazer a totalidade, ou o máximo possível, das necessidades de rega da cultura, nomeadamente no período de pós-colheita, pois um déficit hídrico nesta fase pode levar a uma redução significativa da floração, e consequentemente da produção, no ano seguinte (Goldhamer & Viveros, 2000; Esparza *et al.*, 2001).

Realizou-se ainda a comparação entre as necessidades de rega dos três anos em análise com as calculadas com os dados da média dos anos 1971 a 2000 (Figura 4.9)

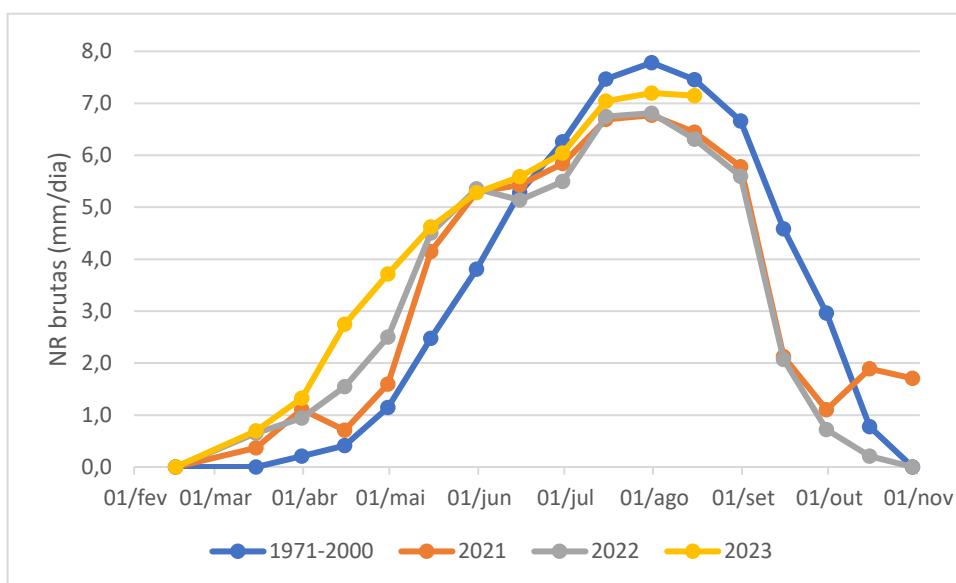


Figura 4.9 – Comparação entre NR brutas de 1971-2000 com as dos anos em análise.

Com base nesta informação (Figura 4.9), no caso dos dados referentes a um ano médio no período 1971 a 2000, constata-se uma menor necessidade de rega desde o início do ciclo cultural até meados de junho, resultado sobretudo de uma

maior precipitação ocorrida nesse período, já que as temperaturas foram semelhantes (ver Figura 3.3), mas desde meados de junho até ao final do ciclo verifica-se que as necessidades de rega foram superiores às dos anos 2021 a 2023, devido a um registo de velocidades do vento maiores (uma vez que a precipitação e a temperatura média são semelhantes), o que se traduziu numa maior evapotranspiração, como já se tinha verificado na Figura 4.5.

#### 4.5. Avaliação do Estado Hídrico da Cultura

##### 4.5.1. Teor de Água do Solo

Os resultados das medições do teor volumétrico de água do solo são os seguintes, para o ano de 2023, sendo que na Figura 4.10 estão as medições em intervalos de 10 cm de profundidade do solo e na Figura 4.11 está a evolução do somatório dos teores de água do solo até aos 60 cm de profundidade.

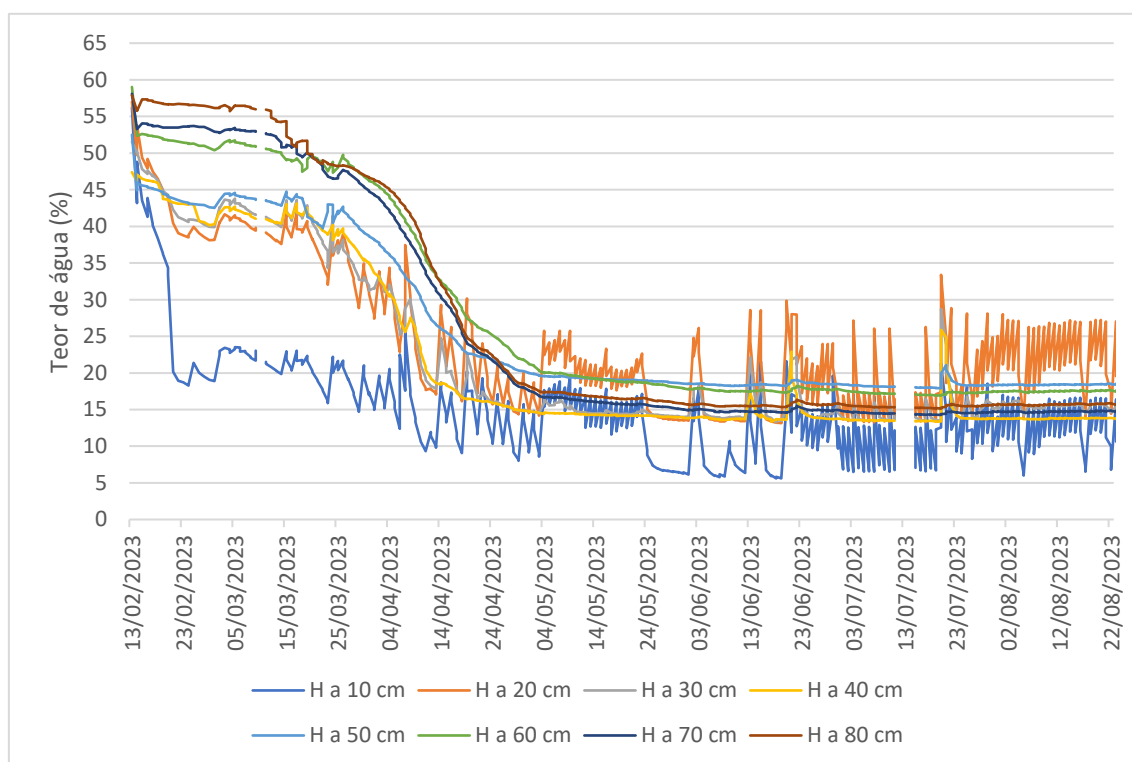


Figura 4.10 – Teor de água do solo a cada 10 cm.

Constata-se que a cultura na fase inicial do ciclo faz a extração da água da camada mais superficial do solo, onde não só se encontra a maior densidade do sistema radicular como também é onde a absorção de água requer um menor gasto energético. À medida que o ciclo da cultura avança, dado que a dotação de rega não satisfaz as necessidades hídricas da cultura, a humidade do solo nas camadas

superficiais vai diminuindo, pelo que a planta começa a absorver água das camadas mais profundas.

Com o avançar do ciclo, sobretudo após o início de maio, enquanto o teor de água do solo nos primeiros 20 cm apresenta variações devido à rega, a profundidades maiores o teor de água mantém-se constante. Isto deve-se ao facto de, dada a falta de água que a cultura sofre, esta absorve toda a água fornecida, não permitindo que esta se infiltre em profundidade, e como tal a humidade do solo abaixo dos 30 cm não varia.

Na Figura 4.11 estão os valores da capacidade de campo (CC) e do limite mínimo da reserva facilmente utilizável (RFU) obtidos a partir das amostras de solo, para os primeiros 80 cm de profundidade, e os valores destes parâmetros indicados na plataforma IRRISTRAT™ para a mesma profundidade e que serviram para verificar se as plantas estariam em *stress* hídrico ou não. A empresa Hidrosoph faz a programação da rega considerando apenas a humidade do solo acumulada até aos 60 cm de profundidade, pelo que os valores apresentados no gráfico correspondem ao valor acumulado de água até essa profundidade.

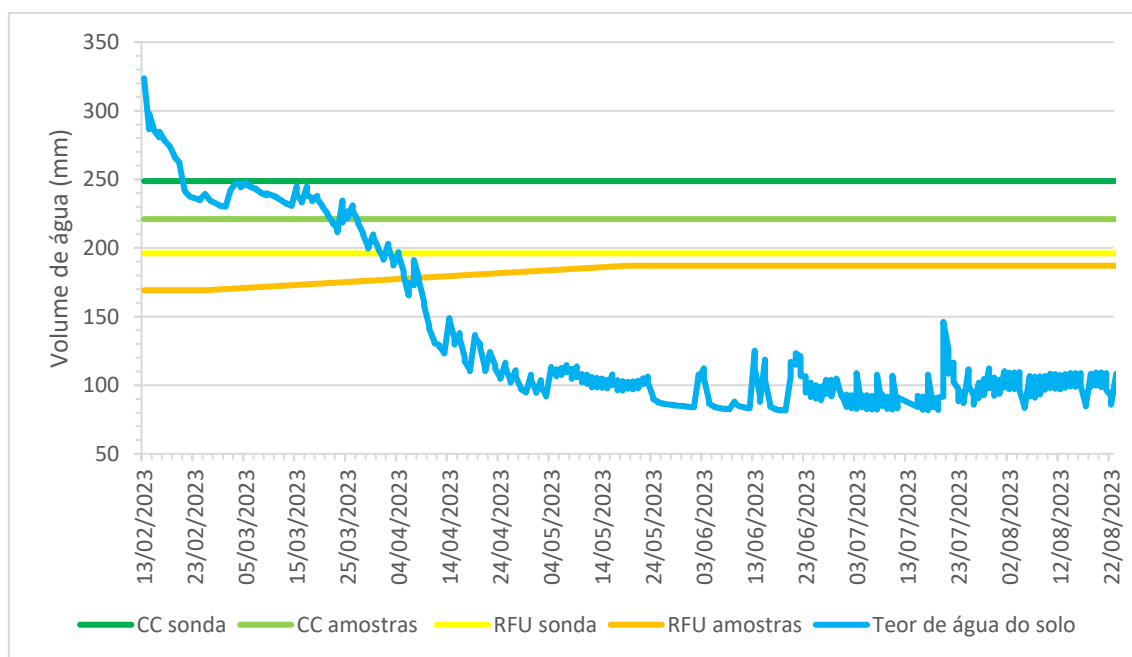


Figura 4.11 – Armazenamento de água no solo nos primeiros 60 cm.

Os valores indicados na plataforma IRRISTRAT™, tanto para a CC como para a RFU, são ligeiramente superiores aos calculados através das amostras de solo. Observa-se um teor de água muito elevado no início e que se deve ao modo como a sonda foi instalada no solo. Para a instalação da mesma usa-se terra saturada com

água, para garantir que não existe ar entre o solo e a sonda, e por isso tem-se valores de humidade acima da CC no início das leituras. De acordo com a parametrização da sonda a cultura entrou em déficit hídrico mais cedo (no início de abril) do que com a parametrização baseada nas amostras de solo (1 semana mais tarde).

A empresa Hidrosoph não fez a calibração da sonda durante a sua instalação, pois esta vem calibrada de laboratório e consideram mais importante observar as variações ao longo do tempo do que ter os valores exatos de humidade do solo.

Comparando com a calendarização das regas, tanto as feitas pelo produtor como as recomendadas, as dotações de rega aplicadas passaram a ser inferiores às recomendadas no início de abril (Figura 4.8). Segundo os parâmetros da sonda as plantas entraram imediatamente em *stress* (valores de humidade do solo abaixo da RFU), enquanto pelos cálculos feitos com base nas análises de solo, a planta teria ainda água no solo suficiente para se manter em conforto hídrico mais 1 semana.

Também se observa que o limite mínimo da reserva facilmente utilizável é constante no caso da sonda e variável no caso do cálculo realizado neste estudo, o que revela que na parametrização da sonda não foi considerada a variação da fração de depleção durante o ciclo da cultura, ao passo que nos cálculos com base na informação das análises de solo esta variável foi considerada.

Olhando para este gráfico, aparentemente os limites de referência (CC e RFU) calculados com base nas amostras recolhidas neste estudo não seriam tão corretos como os utilizados pela Hidrosoph, já que os valores de humidade da sonda estiveram bastante acima da CC calculada com base nas informações das amostras. No entanto, e uma vez que a sonda não foi calibrada em campo, coloca-se sempre a questão de se os valores de humidade estão corretos. Aquilo que se pode ter a certeza é de que o limite inferior da reserva facilmente utilizável deveria ser ajustado de acordo com a fração de depleção.

Ao se comparar com os resultados obtidos pelo dendrómetro, verifica-se que a planta só entra em *stress* hídrico a partir de meados de abril, o que está mais de acordo com os valores da utilização das amostras de solo recolhidas,

As variações verificadas entre os valores de referência do IRRISTRAT™ e os estimados neste estudo indicam a necessidade de no futuro fazer uma melhor calibração da sonda de humidade, de modo a perceber se estes valores de água no solo são reais ou não, e quando é que efetivamente as plantas esgotam a fração da RFU e entram em *stress* hídrico.

#### 4.5.2. Contração Máxima Diária do tronco

No gráfico seguinte encontram-se os resultados referentes à evolução da contração máxima diária do tronco, MDS:

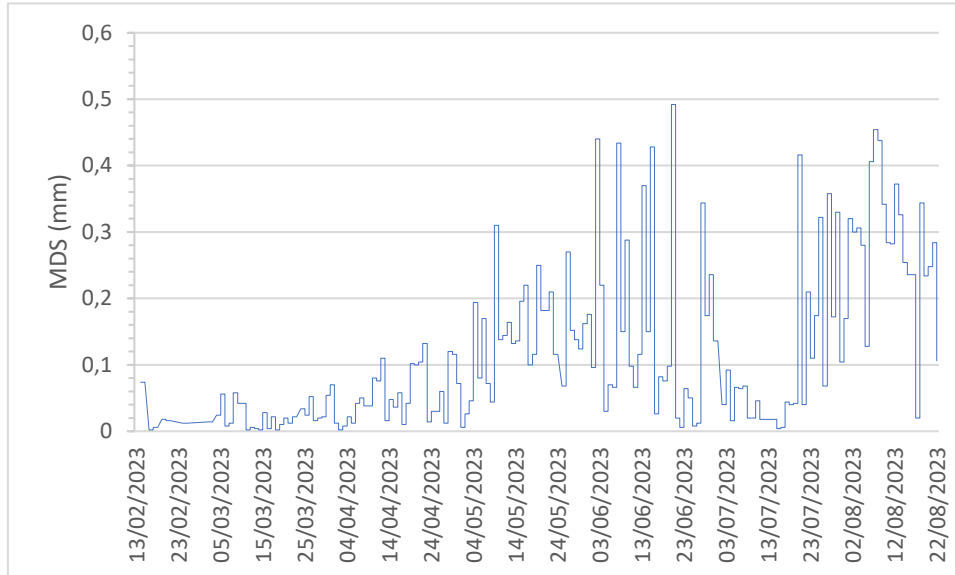


Figura 4.12 – Evolução contração máxima diária do tronco.

A contração máxima diária do tronco no início do ciclo da cultura apresenta valores mais baixos, período durante o qual a planta se encontra em conforto hídrico (com base nos dados da humidade do solo, Figura 4.11), sendo que a partir de meados de abril, quando a reserva facilmente utilizável (obtida a partir das análises de solo feitas) é esgotada e a planta entra em défice hídrico, o MDS começa a aumentar, resultado de haver uma maior diferença entre o diâmetro máximo e mínimo diário do tronco.

Este aumento da diferença resulta de o diâmetro mínimo diário ser cada vez mais pequeno, resultado de a planta transpirar um maior volume de água do que aquele que consegue absorver. No entanto, também pode acontecer que valores mais altos se devam a precipitação (ou uma dotação de rega mais alta) pontual, que leva a um aumento do diâmetro máximo, e como tal a um MDS mais alto. Como tal é necessário comparar estes resultados com os obtidos noutros parâmetros, como a humidade do solo ou a taxa de crescimento do tronco, e comparar com os registos de rega e de precipitação, para melhor determinar quando a planta esteve em *stress*.

Comparando com resultados obtidos por Martín-Palomo *et al.* (2022), num tratamento SDI, em três anos de estudo, com totais de dotação de rega de 100 (nos anos de 2017 e 2018) e 120 mm (no ano de 2019), verificou medições entre 0,2 e 2,5 mm no ano de 2017, entre 0,5 e 1,5 mm no ano de 2018, e entre 0,5 e 2,5 mm no ano

de 2019. Posto isto, seria de esperar que os valores obtidos fossem mais altos, uma vez que as dotações de rega aplicadas foram semelhantes.

Os mesmos autores ao compararem os resultados deste tratamento com os restantes, com maiores dotações de rega, verificaram que o tratamento controlo (100% das necessidades de rega) registou valores de MDS mais elevados, o que leva a concluir que o MDS não demonstrou a relação esperada com o défice hídrico. O mesmo aconteceu quando foi comparado com o potencial hídrico, que diminuiu (reagindo ao défice hídrico) numa proporção superior ao aumento do MDS.

Para uma situação em que se satisfaz 100% das necessidades de rega, tem-se por exemplo Fereres & Goldhamer (2003), que obtiveram valores de MDS entre 0,02 e 0,2 mm. Comparando estes resultados com os obtidos poder-se-ia dizer que a cultura teria começado a apresentar défice hídrico a partir do início de maio.

#### 4.5.3. Taxa de Crescimento do Tronco

Os resultados obtidos da taxa de crescimento do tronco, TGR, foram os seguintes:

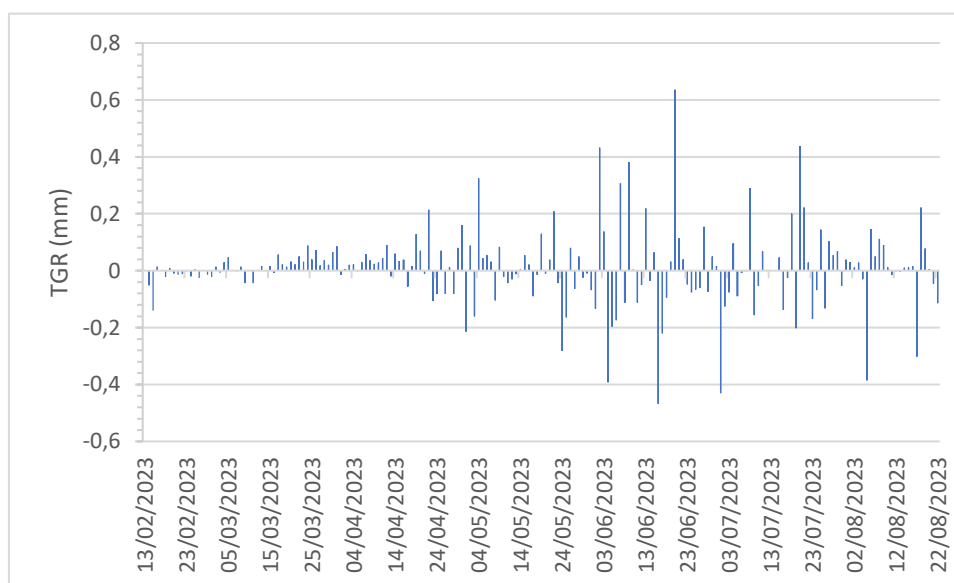


Figura 4.13 – Evolução da taxa de crescimento do tronco.

Com base nestes resultados pode-se avaliar com maior precisão os dias em que o défice hídrico foi agravado (dias em que TGR é negativa) e em que foi diminuído (dias em que TGR foi positiva).

O início do período de *stress* hídrico da cultura, com base neste parâmetro, deu-se no final de abril/início de maio, pois nessa data verifica-se um conjunto de dias consecutivos com contração do tronco (TGR negativa).

Pode-se observar que após picos de crescimento (valores positivos), resultado de precipitação (ou dotação de rega mais alta) pontual, ocorrem picos de contração. Isto deve-se ao facto de, devido a uma maior disponibilidade de água, a planta sente-se em conforto hídrico e aumenta a transpiração bruscamente, mas como se trata de uma situação pontual, não tendo água para manter essa maior transpiração, a redução do diâmetro é maior, ocorrendo na planta um *stress* maior do que se não tivesse ocorrido precipitação.

Martín-Palomo *et al.* (2022) concluíram que, mais importante do que os valores de TGR em si, é importante analisar a frequência com que ocorrem, sendo que a frequências de valores entre -0,1 e 0 mm e entre 0 e 0,1 mm correspondem indicadores de déficit hídrico na cultura, sendo o último intervalo um melhor indicador de *stress* hídrico antecipadamente.

#### 4.5.4. Potencial Hídrico

Para a interpretação dos dados obtidos é necessário corresponder os mesmos com os referentes aos vários níveis de *stress* hídrico da cultura. Para tal colocou-se também nos gráficos os intervalos de potencial hídrico do caule,  $\Psi$  stem, para cinco níveis de *stress* hídrico, adaptando de Fulton (2019), que determinou nove níveis de *stress* hídrico, para cinco níveis, de forma a facilitar a interpretação dos resultados.

Os dados recolhidos em 2022 encontram-se na Figura 4.14, e os dados recolhidos em 2023 na Figura 4.15.

A diferença no potencial hídrico entre os anos de 2022 e 2023 permite comparar o *stress* hídrico da cultura com dotações de rega diferentes, uma vez que entre 2022 e 2023 a estratégia de rega foi diferente. Em 2022, à semelhança de nos anos anteriores, com a dotação de rega aplicada a cultura sofre um *stress* moderado (o potencial hídrico variou entre -0,8 e -1,9 MPa), enquanto no ano de 2023, com uma estratégia de rega de reduzir a dotação de rega devido a não haver produção, a cultura sentiu *stress* moderado a alto (o potencial hídrico variou entre -1,4 e -3,5 MPa).

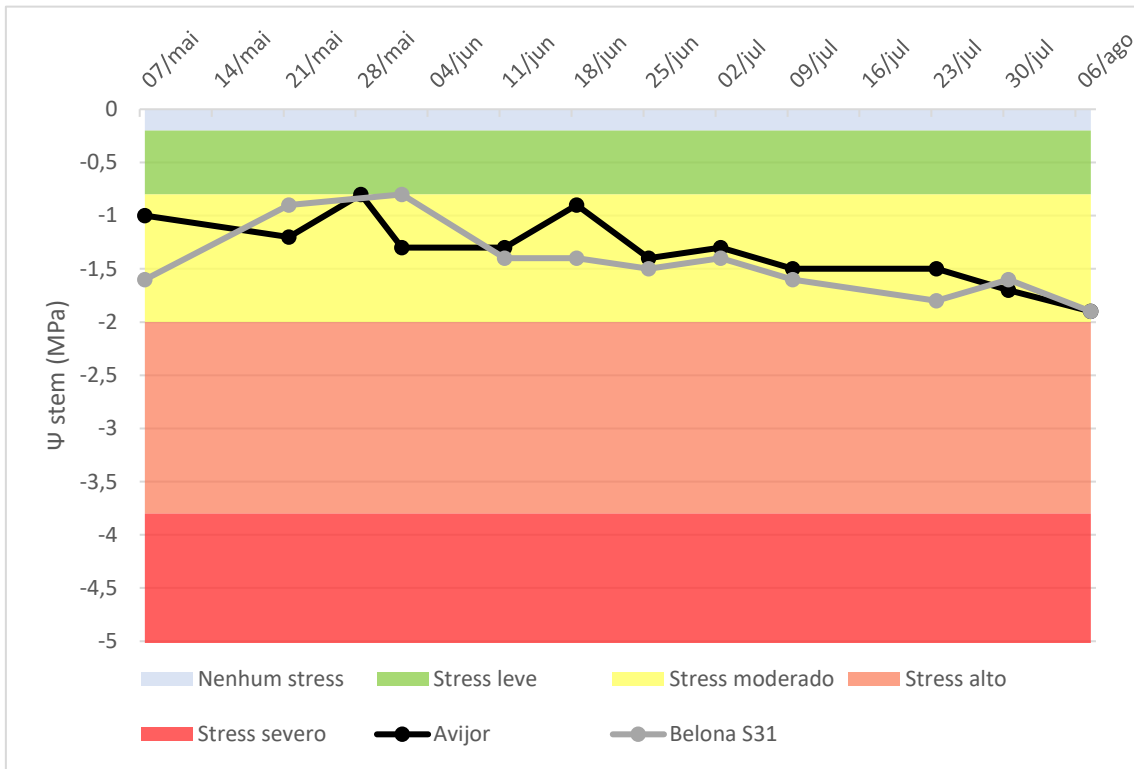


Figura 4.14 – Evolução do potencial hídrico do caule em 2022.

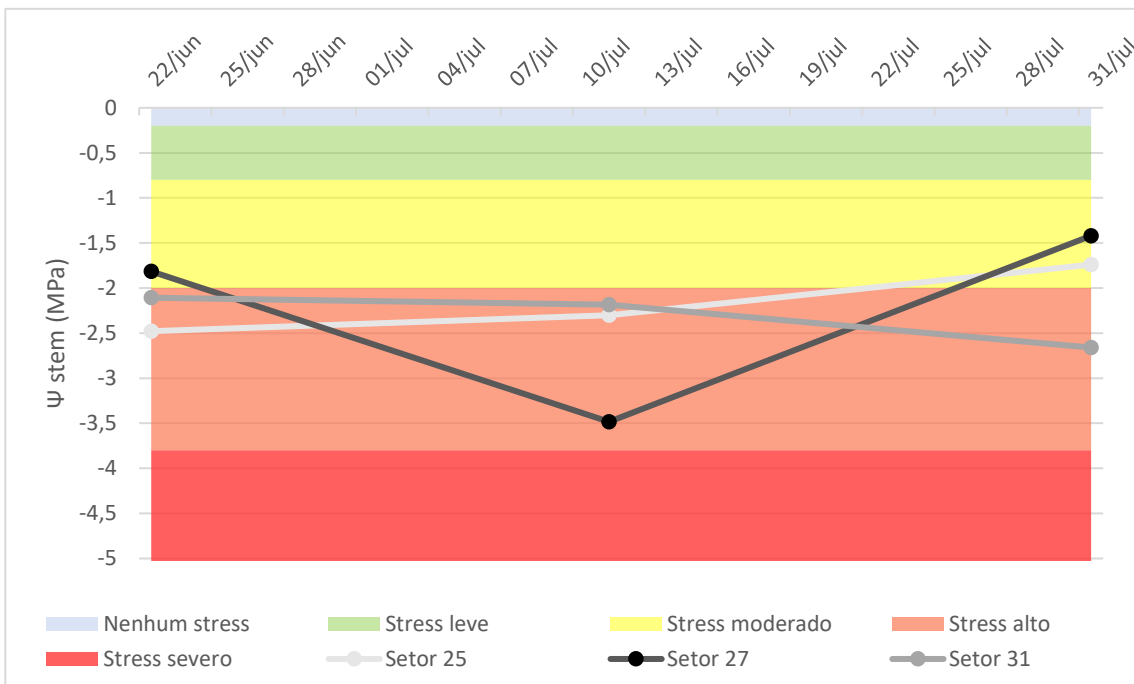


Figura 4.15 – Evolução do potencial hídrico do caule em 2023.

No ano de 2022 o potencial hídrico foi diminuindo ao longo do período de medição, possivelmente em consequência da diminuição do teor de água do solo, pois uma vez que a dotação de rega não satisfaz as necessidades hídricas da cultura, o



restante que a cultura necessita irá retirar da reserva do solo, pelo que ao longo do tempo a reserva de água do solo vai diminuindo, tendo a planta cada vez menos água disponível para satisfazer as suas necessidades, levando a um aumento do *stress* hídrico. Os valores de *stress* hídrico observados em 2022 são idênticos aos obtidos por outros autores: Eichi (2013) observou em dois tratamentos, um em RDI e um em SDI, ambos satisfazendo no global 55% das necessidades de rega, para o mesmo período de tempo, valores de potencial hídrico do caule entre -1,3 e -3 MPa e entre -1 e -3,2 MPa, respetivamente; Monks *et al.* (2017) em dois tratamentos, um em RDI e um em SDI, ambos satisfazendo no global 55% das necessidades de rega, para o mesmo período de tempo, obtiveram valores de potencial hídrico do caule, respetivamente, entre -1,6 e -1,8 MPa e entre -1,3 e -2,2 MPa no primeiro ano do estudo, de -0,6 e -0,5 MPa no segundo ano do estudo, e entre -1,1 e -1,5 MPa e entre -1,4 e -1,6 MPa no terceiro ano do estudo; Espadafor *et al.* (2017) num tratamento de SDI, satisfazendo 55% das necessidades de rega, durante o mesmo período de tempo, obtiveram valores de potencial hídrico do caule entre -0,9 e -1,3 MPa.

No ano de 2023 a situação é diferente, sendo que o potencial hídrico se mantém mais ou menos constante, com exceção do setor 27, resultado de nessa altura a reserva de água do solo já se apresentar baixa, e como tal, tendo a dotação de rega estabilizado, bem como a absorção de água da reserva do solo, o potencial hídrico também estabilizou. Especificamente em cada ponto de medição, verificou-se que as plantas do setor 27 iniciaram o período de medição do potencial hídrico com *stress* moderado, tendo passado a *stress* alto e voltado a *stress moderado*, enquanto as plantas do setor 25 no início das medições registaram *stress* alto e terminaram registando *stress* moderado, e as do setor 31 estiveram sempre em *stress* alto. Estes valores são idênticos aos apresentados por outros autores, em estudos de rega deficitária para tratamentos com satisfação de apenas 20 a 25% das necessidades de rega da cultura ou em situações de sequeiro. Romero & Botía (2006), num amendoal intensivo da variedade “Cartagenera”, num dos tratamentos, onde na fase de enchimento da amêndoa a rega satisfazia 20% das necessidades da cultura, registaram um potencial hídrico do caule ao meio dia de -2,6 MPa. Moldero *et al.* (2022) num tratamento em SDI, satisfazendo 25% das necessidades de rega, e num tratamento de sequeiro, obtiveram valores de potencial hídrico, para o mesmo período de medição, entre -1,4 e -3,3 MPa e entre -1,3 e -4 MPa, respetivamente. Espadafor *et al.* (2017) em três tratamentos de sequeiro, obtiveram valores entre -0,9 e -1,9 MPa, para o mesmo período de medição.

Olhando para os dados da Figura 4.14 referentes ao ano de 2022 não parecem existir muitas diferenças entre os níveis de *stress* hídrico das duas variedades,

confirmando que a gestão da rega realizada tem efeito semelhante no comportamento das duas variedades. No ano de 2023 (Figura 4.15) nota-se maior *stress* hídrico na variedade “Belona”, que pode ser devido a um pior funcionamento do sistema de rega no setor 31 na parte final do ciclo da cultura, como se verificou nos ensaios de uniformidade realizados.

#### 4.5.5. Condutância Estomática

Os resultados das medições da condutância estomática constam da Figura 4.16.

A condutância estomática evoluiu da mesma forma em todos os setores entre a primeira e a segunda medições, mas entre a segunda e a terceira medições no setor 27 continuou a aumentar enquanto nos setores 25 e 31 diminuiu.

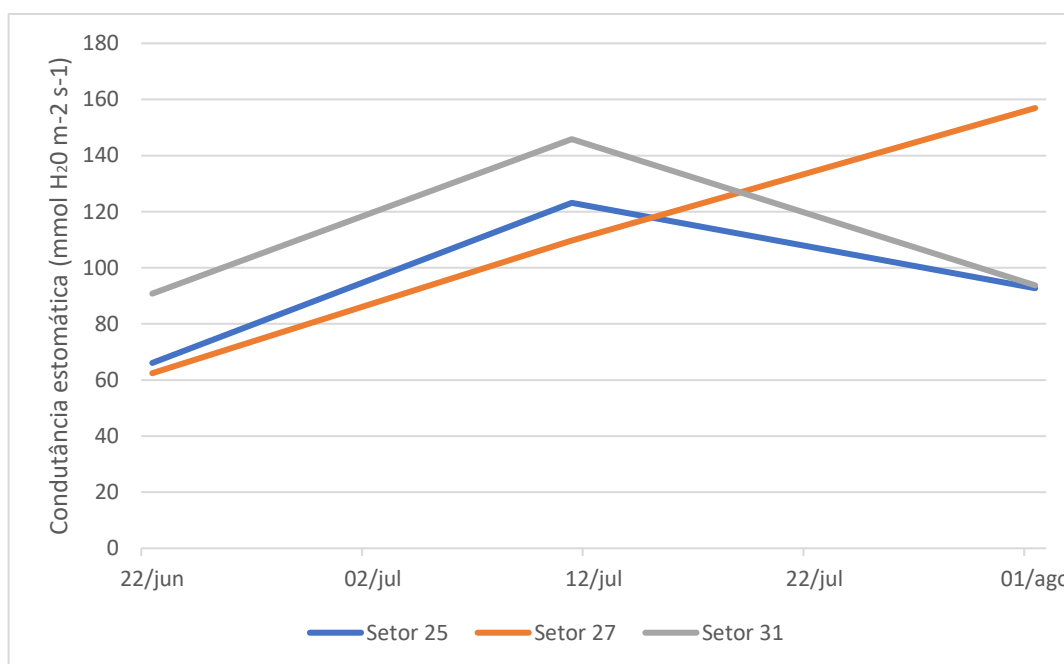


Figura 4.16 – Evolução da condutância estomática.

À exceção da última medição, em que a condutância estomática foi superior no setor 27, a condutância estomática foi superior na variedade “Belona” do que na variedade “Avijor”, à semelhança dos resultados obtidos por Álverz-Maldini *et al.* (2022).

Prgomet *et al.* (2020) em dois tratamentos, um em SDI, satisfazendo 35% das necessidades de rega, e um em sequeiro, obtiveram valores de condutância estomática, entre 85 e 115 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e entre 20 e 60 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respetivamente, no primeiro ano do estudo, tendo no segundo ano obtido valores entre

12 e 140 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no tratamento em SDI, e entre 7 e 15 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no tratamento de sequeiro.

Com base nos resultados obtidos, ao contrário do concluído por outros autores (Spinelli *et al.*, 2016; Eichi, 2013), uma vez que não se verificou a mesma tendência nas evoluções do potencial hídrico e da condutância estomática, não se pode concluir que a condutância estomática seja uma alternativa viável ao potencial hídrico do caule para a avaliação do estado hídrico da cultura. No entanto, a conclusão obtida pode ser devida ao baixo número de medições feitas, e com um delineamento experimental com um maior número de amostras, o efeito de plantas com valores fora da média seria atenuado.

#### 4.5.6. NDVI

As medições de NDVI foram agrupadas de duas formas: uma primeira, em que se agrupou as medições do global da parcela de cada uma das variedades, dos anos 2021 a 2023; uma segunda, em que se determinou três pontos de medição, dois na variedade “Avijor” e um na variedade “Belona”, tendo sido apenas recolhida informação do ano de 2023.

No primeiro grupo de medições pretende-se não só comparar a evolução do índice entre as duas variedades, como também entre anos (em cada uma das variedades), e ainda comparar a evolução do índice com a evolução do coeficiente cultural (Figuras 4.17 e 4.18).

Ao se comparar a evolução do NDVI com a evolução do Kc, verifica-se que no período inicial do ciclo cultural (desde meados de fevereiro até meados de abril) a tendência é de aumento em ambos os parâmetros, mas a partir do início de maio o NDVI começa a diminuir até ao final do ciclo cultural, enquanto o Kc aumenta até ao início de junho, mantém-se constante até final de agosto e diminui até ao final do ciclo da cultura.

A evolução do NDVI ao longo do ciclo mostra que, como a cultura foi conduzida em *stress* hídrico, mais ou menos moderado, consoante o ano, nunca conseguiu ter um vigor vegetativo compatível com os valores de Kc para evapotranspirações mais elevadas, como aconteceria numa cultura com satisfação total das necessidades de rega.

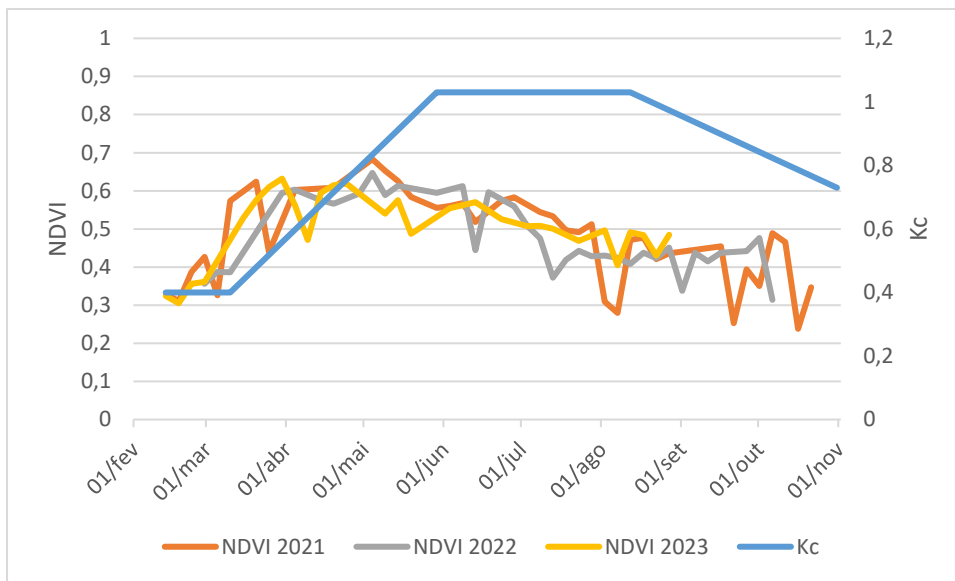


Figura 4.17 – Comparação entre NDVI dos anos 2021 a 2023 e Kc, variedade “Avijor”.

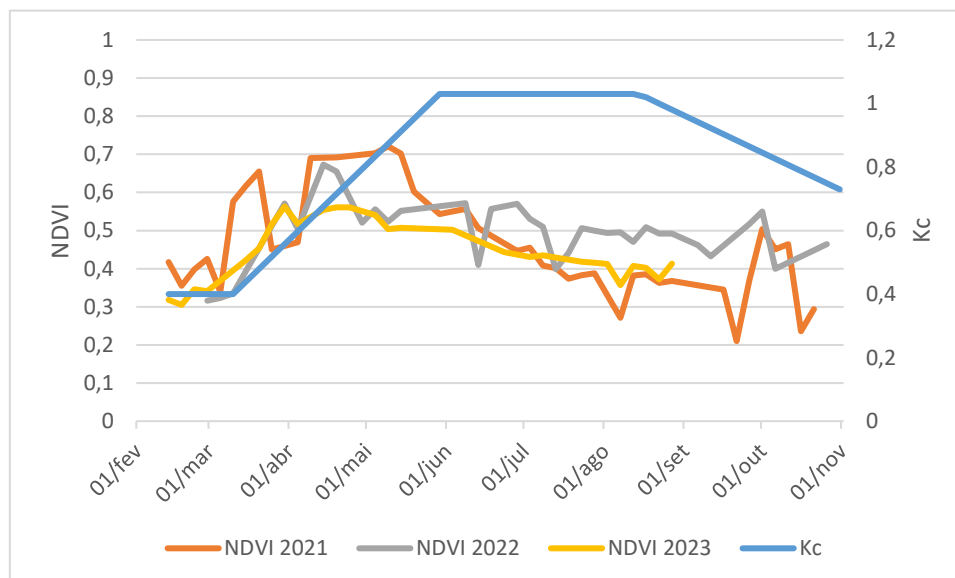


Figura 4.18 – Comparação entre NDVI dos anos 2021 a 2023 e Kc, variedade “Belona”.

De salientar também que o NDVI é influenciado tanto pela cultura como pelas infestantes, dada a resolução da imagem e dado o facto de a copa das árvores não cobrir totalmente o solo. Desde o início do ciclo cultural, tanto a cultura como as infestantes apresentam crescimento vegetativo, o que leva a um aumento do valor do índice. Mas a partir do início de maio, enquanto que a cultura mantém o crescimento vegetativo, as infestantes presentes na entrelinha estão a chegar ao final do seu ciclo (uma vez que se tratam de espécies anuais, iniciam o processo de formação de semente e terminam o seu ciclo vegetativo), logo mesmo que haja um aumento da área foliar por parte da cultura, há uma diminuição da mesma nas infestantes, o que,

associado ao facto de a dimensão da copa ser controlada e a cultura estar em défice hídrico, leva a uma diminuição do NDVI desde o início de maio até ao final do ciclo.

Para se medir o NDVI apenas da cultura, retirando a influência da cobertura das infestantes, seria necessário ou que a copa das árvores cobrisse totalmente o solo, o que não é possível num amendoal em sebe, ou que a resolução da imagem fosse em quadrículas de menor dimensão, de forma que registassem NDVI da cultura e das infestantes de forma separada.

Comparando os valores de NDVI entre as duas variedades, neste período, verifica-se que as diferenças não são significativas. A tendência de evolução do NDVI é semelhante, notando-se, no entanto, que em 2022 a variedade “Belona” (Figura 4.18) apresentava um vigor vegetativo superior à variedade “Avijor” na fase final do ciclo.

Na Figura. 4.19 apresentam-se os valores de NDVI medidos nos diferentes setores em 2023.

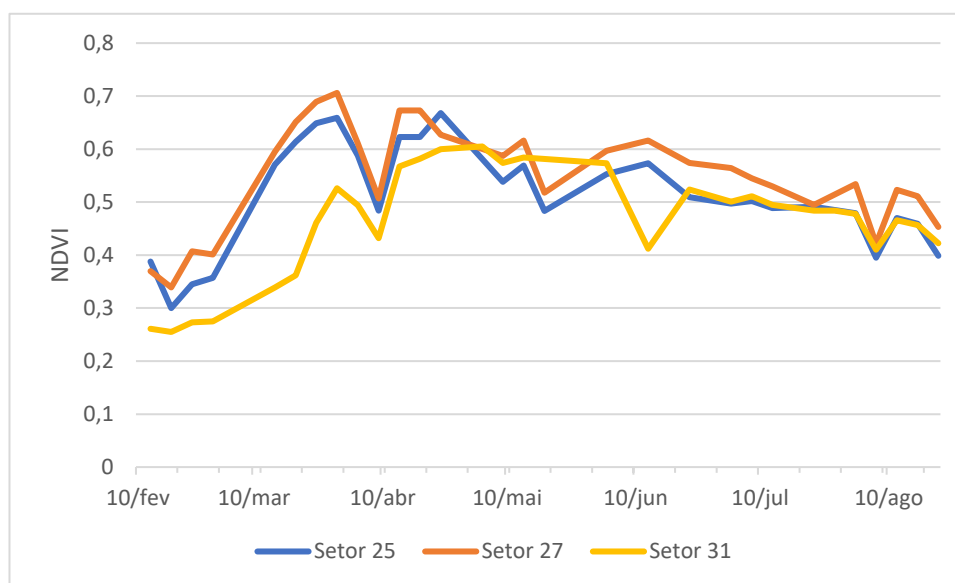


Figura 4.19 – Evolução do NDVI em 2023.

O índice evoluiu seguindo a mesma tendência nos três pontos de medição, tendo valores mais baixos na variedade “Belona” (setor 31), e mais altos na variedade “Avijor” (setores 25 e 27). A evolução do índice também segue a tendência verificada nas Figuras 4.17 e 4.18.

Isto indica que a estratégia de rega realizada conduziu ao mesmo desenvolvimento e vigor vegetativo da cultura nos setores analisados.

Resultados semelhantes foram obtidos por Golzález-Gómez *et al.* (2022), num amendoal jovem intensivo (286 plantas/ha) da variedade “Belona”, num tratamento em

SDI satisfazendo 33% das necessidades de rega, com enrelvamento na entrelinha, embora com valores medidos diferentes, a evolução do índice é semelhante, com um aumento constante até abril e uma diminuição até ao final do ciclo. O mesmo autor conclui que a correlação deste índice com outros parâmetros de avaliação do estado hídrico, como o potencial hídrico, é baixa devido à influência da cobertura da entrelinha sobre as medições, e que para se corrigir este problema seriam necessárias imagens com maior resolução, de forma a se obter informação da cultura e da entrelinha separadas.

#### 4.6. Produção da Cultura

Foram consideradas as produções dos anos 2021 e 2022, uma vez que a produção no ano de 2023 foi nula, devido a problemas na fase de floração da cultura.

Tabela 4.15 – Dados da produção.

Ano	Setor	Produção total (kg)	Produtividade total (kg/ha)	Rendimento de miolo (%)	Produção miolo (kg)	Produtividade miolo (kg/ha)
2021	24	24.340	5.257	33	8.032	1.735
	25	26.840	5.723	33	8.857	1.889
	27	24.220	4.341	33	7.993	1.432
	31	6.840	2.280	25	1.710	570
2022	24	18.540	4.004	36,3	9.730	1.454
	25	22.540	4.806	31,6	7.123	1.519
	27	26.060	4.670	39,1	10.190	1.826
	31	20.500	6.833	35	7.175	2.392

Verificou-se, entre anos e entre setores, resultados diferentes em todos os parâmetros.

Relativamente aos resultados totais obtidos nos setores avaliados, para a variedade “Avijor”, embora em 2021 a produção de amêndoa com casca tenha sido maior do que em 2022 (75.400 kg e 67.140 kg, respetivamente), foi neste último que a produção de miolo foi superior, à custa do aumento do rendimento de miolo (27.042 kg em 2022, face a 24.882 kg em 2021). Verificou-se também para esta variedade que a produtividade de cada setor (kg/ha) variou entre os dois anos, tendo havido setores, como o 27, onde a produtividade aumentou em 2022, enquanto nos outros ela diminuiu. Esta diferença de produtividade pode ter sido causada por questões fitossanitárias, por efeito da poda realizada, pela própria alternância da cultura (visto ter a produção do ano anterior ter sido inferior), ou por uma maior adequação da rega realizada neste setor relativamente aos outros.

Para a variedade “Belona” (setor 31), tanto a produtividade de amêndoa com casca como de miolo foram superiores em 2022, revelando ou alternância na produção desta variedade, ou a ocorrência de algum problema fitossanitário, tendo esta variedade uma produtividade superior à “Avijor” em 2022, ao contrário do que tinha acontecido em 2021.

Verifica-se noutros estudos, em situações climáticas idênticas, que diferentes variedades, densidades de plantação e estratégias de rega conduzem a produtividades nalguns casos semelhantes às obtidas, noutros casos diferentes.

Moldero *et al.* (2021), com a variedade “Guara”, num pomar intensivo (234 plantas/ha), utilizando uma estratégia de RDI, com uma dotação de rega de 524 mm, satisfazendo 65% das necessidades de rega, obtiveram uma produtividade média (de miolo) de 2.278 kg/ha, e utilizando uma estratégia SDI, satisfazendo também 65% das necessidades de rega, obteve uma produtividade (de miolo) de 2.339 kg/ha. Bellido *et al.* (2016), num pomar intensivo (286 plantas/ha) da variedade “Guara”, num tratamento em SDI satisfazendo 60% das necessidades de rega da cultura obtiveram uma produtividade média (de miolo) de 1.424 kg/ha. Moita (2021), com a variedade “Vairo”, na região de Beja, num pomar intensivo (238 plantas/ha), com dotações de rega de 427,1 e 489,8 mm obteve produtividades (de miolo) de 1.544 e 1.179 kg/ha, respetivamente.

Alcon *et al.* (2013), tendo utilizado plantas da variedade “Marta”, num amendoal intensivo (238 plantas/ha), com uma estratégia de SDI, utilizando uma dotação de 410,5 mm obtiveram uma produtividade (de miolo) de 1.654 kg/ha, e com uma estratégia de RDI, com uma dotação de rega de 387,5 mm obteve uma produtividade (de miolo) de 1.577 kg/ha.

Para a variedade “Avijor”, Gutiérrez-Gordillo *et al.* (2020a) (aparecendo esta variedade denominada como “Lauranne”), num amendoal com 208 plantas/ha, com uma dotação de 497,4 mm obtiveram uma produtividade (de miolo) de 2.349 kg/ha, e com duas estratégias de SDI, com dotações de 371,2 mm (75% de NR brutas) e 334,2 mm (65% das NR brutas), obteve produtividades (de miolo) de 2.343 e 2.241 kg/ha, no ano de 2018. No entanto, os mesmos autores, no ano seguinte, com dotações superiores (acréscimos de aproximadamente 200 mm em todos os tratamentos) obtiveram produções semelhantes e/ou ligeiramente mais baixas. Também Maldera *et al.* (2021), num pomar em sebe (densidade de plantação de 2.193 plantas/ha), com uma dotação de rega de 300 mm conseguiu produtividades de fruto com casca entre 3.330 e 7.560 kg/ha, tendo em média obtido 5.410 kg/ha, que com um rendimento médio de 38,2 %, obteve produtividades médias de miolo de 2.066,6 kg/ha.

Especificamente para a variedade “Belona”, Murteira (2021), num pomar intensivo, na região do Fundão, com uma dotação de rega de 372,5 mm (100% das NR brutas) conseguiu uma produtividade de miolo de 1.283 kg/ha, e com uma estratégia de SDI, com uma dotação de 260,8 mm (75% das NR brutas) obteve uma produtividade de miolo de 1.750 kg/ha.

#### 4.7. Produtividade da Água

Para a produtividade da água, WP, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.16.

No ano de 2021 as produtividades da água foram superiores no caso da variedade “Avijor” nos setores 24 e 25, e inferiores no setor 27 e na variedade “Belona” em comparação com o ano de 2022. Esta variação deveu-se sobretudo à variação na produção entre os dois anos, e não tanto à variação da quantidade de água utilizada pela planta.

Tabela 4.16 – Resultados da produtividade da água.

Ano	Setor	Dr (m <sup>3</sup> /ha)	Pe (m <sup>3</sup> /ha)	$\Delta\Theta$ (m <sup>3</sup> /ha)	Total (m <sup>3</sup> /ha)	Produtividade miolo (kg/ha)	WP (kg/m <sup>3</sup> )
2021	24	4.757	1.918	0	6.675	1.735	0,260
	25					1.889	0,283
	27					1.432	0,215
	31					570	0,085
2022	24	5.282	1.529	0	6.811	1.454	0,213
	25					1.519	0,223
	27					1.826	0,268
	31					2.392	0,351

Resultados semelhantes aos obtidos na variedade “Avijor” tem-se Moldero *et al.* (2021), que num tratamento RDI (70% das necessidades de rega até ao início do enchimento da amêndoa, 40% até à colheita, e 70% até ao final do ciclo) obtiveram uma produtividade da água média de 0,25 kg/m<sup>3</sup>.

Considerando-se apenas a água de rega calculou-se também a produtividade da água de rega, IWP os resultados obtidos foram os apresentados na tabela seguinte:

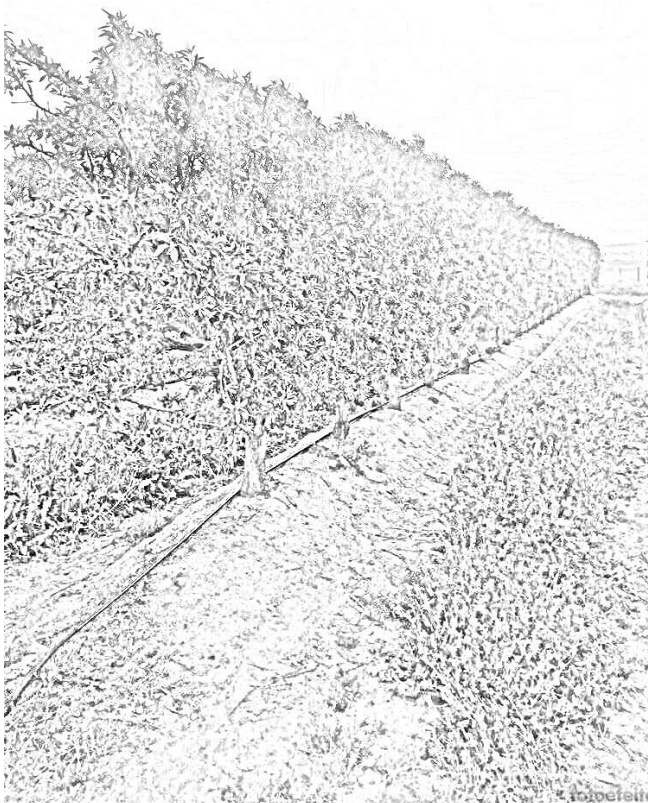


tabela 4.17 – Resultados da produtividade da água de rega.

Ano	Setor	Dr (m <sup>3</sup> /ha)	Produtividade miolo (kg/ha)	IWP (kg/m <sup>3</sup> )
2021	24	4.757	1.735	0,365
	25		1.889	0,397
	27		1.432	0,301
	31		570	0,120
2022	24	5.282	1.454	0,275
	25		1.519	0,288
	27		1.826	0,346
	31		2.392	0,453

À semelhança dos resultados obtidos na produtividade da água, também na produtividade da água de rega a produtividade nos setores 24 e 25 foi maior em 2021 e nos setores 27 e 31 foi maior em 2022.

Comparando-se com resultados obtidos por outros autores tem-se: Egea *et al.* (2010) num amendoal intensivo (238 plantas/ha) da variedade “Marta”, em dois tratamentos, um em RDI, que no global satisfaz 55% das necessidades de rega anuais, e um em PRD, satisfazendo 50% das necessidades de rega ao longo do ciclo da cultura, obtiveram uma IWP de 0,408 e 0,540 kg/m<sup>3</sup>, respetivamente; Gutiérrez-Gordillo *et al.* (2020a) num amendoal da variedade “Avijor”/“Lauranne”, em dois tratamentos em SDI, satisfazendo 75 e 65 % das necessidades de rega, obtiveram produtividades da água de rega de, no ano de 2018, 0,63 e 0,67 kg/m<sup>3</sup>, e no ano de 2019, 0,37 e 0,43 kg/m<sup>3</sup>, respetivamente; Moldero *et al.* (2021), que num tratamento RDI (70% das necessidades de rega até ao início do enchimento da amêndoa, 40% até à colheita, e 70% até ao final do ciclo) obtiveram uma produtividade da água de rega média de 0,43 kg/m<sup>3</sup>; Phogat *et al.* (2013) num pomar intensivo (244 plantas/ha), num tratamento em SDI, satisfazendo 65% das necessidades de rega da cultura, obtiveram uma produtividade da água de rega de 0,48 kg/m<sup>3</sup>. Verifica-se assim que a produtividade da água de rega obtida nos vários setores é inferior à obtida pelos autores mencionados, o que permite confirmar que maior satisfação das necessidades de rega da cultura permite obter produções maiores e melhorar a produtividade da água de rega.



## 5. Conclusão

Com este estudo concluiu-se que a rega deficitária do produtor se deve sobretudo a limitações do próprio sistema de rega e da quantidade de água disponível, e não tanto a uma estratégia de rega deficitária delineada. No entanto verificou-se que há períodos em que o sistema de rega tem capacidade de satisfazer as necessidades hídricas e o produtor opta por regar de forma deficitária. Com a satisfação das necessidades hídricas da cultura nos referidos períodos, sobretudo nos períodos de maior sensibilidade (crescimento do fruto e pós-colheita), ter-se-ia um aumento de produção, mesmo que se aumente o déficit hídrico na fase de enchimento da amêndoa, recorrendo-se assim a uma estratégia de rega deficitária controlada.

O sistema de rega, com base nos resultados do teste de uniformidade, apresenta um bom funcionamento, tendo a uniformidade aumentado de março para julho, com exceção do setor 31 que em julho apresentou uniformidade fraca, o que se traduzirá num menor fornecimento de água de rega do que o programado, que levará a um maior déficit hídrico nas plantas, aumentando ao longo do ramal. Para resolver esta questão ter-se-ia que, ou aumentar a carga hidráulica da água no sistema de rega, por exemplo com um sistema de bombagem, ou diminuir as perdas de carga do sistema, por exemplo utilizando condutas de maior diâmetro.

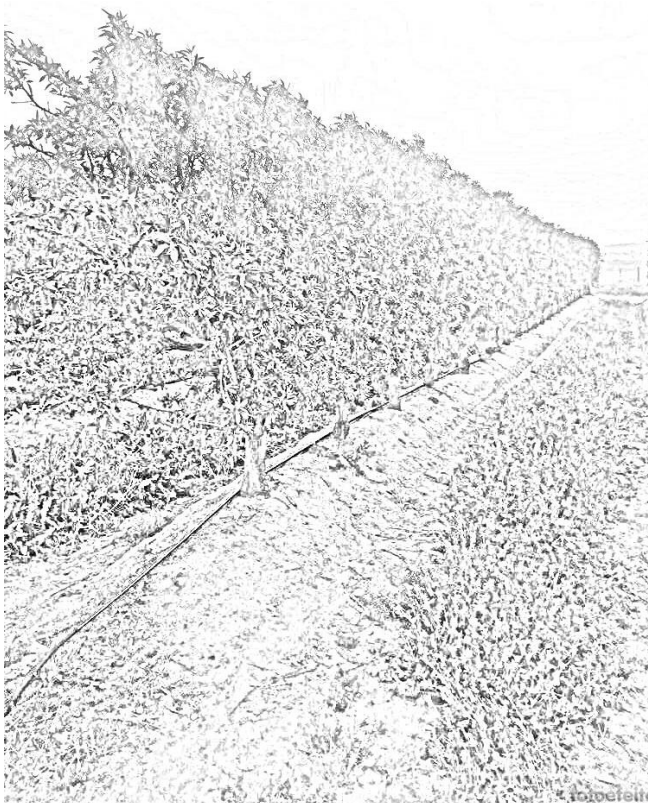
A avaliação do perfil dos solos nos diferentes setores de rega não mostrou diferenças que recomendem uma rega diferente em cada setor.

Na avaliação do estado hídrico da cultura, os parâmetros que permitiram determinar o grau e o período de *stress* hídrico com maior precisão e facilidade foram o teor de água do solo e a taxa de crescimento do tronco, tendo indicado ambos o início do período de *stress* na mesma altura. O potencial hídrico do caule também permitiu avaliar o grau de *stress* hídrico, no entanto, dadas as datas de medição não permitiu determinar quando a planta entrou em *stress*, apenas a severidade do mesmo. A contração máxima diária do tronco também revelou utilidade, mas ao contrário da taxa de crescimento do tronco, há alguma dificuldade na interpretação das medições quando os valores são baixos, uma vez que pequenas oscilações se podem dever a um pequeno aumento do diâmetro (situação de conforto hídrico) ou a uma pequena diminuição do diâmetro (situação de *stress* hídrico). A condutância estomática, também devido às datas de medição não permitiu concluir a data de entrada em *stress* da cultura, e a informação obtida, quando comparada com a do potencial hídrico, não demonstrou a evolução esperada em cada setor. O NDVI também não revelou ser uma ferramenta eficaz na avaliação do estado hídrico devido à influência da ocupação da entrelinha, que influenciou as medições, sendo que para se utilizar este parâmetro para esta finalidade se deveria retirar apenas informação da zona ocupada pelas plantas.

A produção da cultura variou entre os dois anos analisados, tendo-se verificado uma maior diferença na variedade “Belona”. Para as dotações de rega aplicadas, seria de esperar produções mais altas, quando comparando com estudos feitos noutros países (Espanha e Itália). Comparando com estudos feitos em Portugal as produtividades obtidas foram semelhantes, tendo mesmo sido superiores na variedade “Belona” em 2022.

A produtividade da água foi semelhante ao obtido por outros autores, no entanto a produtividade da água de rega foi inferior ao obtido noutros estudos.

Conclui-se assim que na situação nacional, nomeadamente no caso da região do Alentejo, a cultura da amendoeira está também sujeita a outros fatores condicionantes para além da rega (profundidade e textura do solo, temperaturas baixas durante a floração), que levam a produções mais baixas do que quando comparadas com as de outros países produtores da cultura, com condições edafoclimáticas mais propícias à cultura.



## 6. Referências Bibliográficas

- AgroB Business School EV. (2022). *Agricultura e Sustentabilidade: Rega Deficitária*. Consultado em 25 de fevereiro de 2023 de <https://www.espaco-visual.pt/regas-deficitaria/>.
- Aguiar, C., Pereira, J. A., Arrobas, M., Almeida, A., Bento, A., Cortés, I., Rodrigues, N., Rodrigues, M., Ribeiro, A., Santos, S., Gouveia, M., Coelho, V., & Moura, L. (2017). *Manual Técnico Amendoeira: Estado de Produção*. CNCFS – Centro Nacional de Competências dos Frutos Secos.
- AJAP (2017). *Manual Boas Práticas para Culturas Emergentes - A Cultura da Amêndoa*. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal.
- Alcon, F., Egea, G., & Nortes, P. A. (2013). Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. *Irrigation Science*, 31 (5), 931–941. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0369-6>.
- Allen, R. G., & Pereira, L. S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*, 28 (1), 17–34. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0182-z>.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, S. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing cropwater requirements. FAO *Irrigation and Drainage paper n.56*. Food and Agriculture Organization. Roma.
- Almond Board of California. (2023). *Why Almonds*. Consultado em 7 de março de 2023 de <https://www.almonds.com/why-almonds>.
- Álvarez-Maldini, C., Acevedo, M., Estay, D., Aros, F., Dumroese, R. K., Sandoval, S., & Pinto, M. (2022). Examining physiological, water relations, and hydraulic vulnerability traits to determine anisohydric and isohydric behavior in almond (*Prunus dulcis*) cultivars: Implications for selecting agronomic cultivars under changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 13, 187–200. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.974050>.
- Arquero, O., Rodríguez, A., & Quejo, J. M. (2013). *Manual del Almendro (C. de A. P. y D. R. Junta de Andalucía, Ed.)*. Servicio de publicaciones y Divulgación.
- Bellido, B. S., Durán, E. G., & Pina, S. V. (2016). Resultado de ensayo manejo del riego en el cultivo del Almendro. *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*, 1–7. <https://doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.C05>.
- Cai, X., & Rosegrant, M. W. (2003). *World Water Productivity: Current Situation and Future Options Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. In Kijne, J. W., Barker, R. & Molden, D., *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*.(pp. 163–178) CAB International.

- Cardoso, J. V. J. de C. (1965). *Os Solos de Portugal - Sua Classificação, Caracterização e Génese (Vol. 1 - A Sul do Rio Tejo)*. Secretaria de Estado da Agricultura - Direção-Geral dos Serviços Agrícolas.
- Cotton Research and Development Corporation, A. G. (2012). *WATERpak - a guide for irrigation management in cotton and grain farming systems* (D. Wigginton, 3ª edição).
- Dastane, N. (1978). Effective Rainfall in Irrigated Agriculture. *FAO Drainage and Irrigation paper n.25. Food and Agriculture Organization*. Roma.
- Doll, D. A., de Andrade, J. F., & Serrano, P. (2021). *Produção de Amêndoa em Portugal - Tendências de Plantação e Desafios de Produção num Sector em Desenvolvimento*. AGROGES.
- Egea, G., Nortés, P. A., González-Real, M. M., Baille, A., & Domingo, R. (2010). Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97 (1), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.006>.
- Eichi, V. R. (2013). *Water use efficiency in Almonds (Prunus dulcis (Mill.) D. A. Webb)*. Dissertação de mestrado. *University of Adelaide*.
- EnviroPro Dielectrics. (2014). *User Manual - EnviroPro Soil Moisture Sensor*.
- Espadafor, M., Orgaz, F., Testi, L., Lorite, I. J., González-Dugo, V., & Fereres, E. (2017). Responses of transpiration and transpiration efficiency of almond trees to moderate water deficits. *Scientia Horticulturae*, 225, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.028>.
- Esparza, G., DeJong, T. M., Weinbaum, S. A., & Klein, I. (2001). Effects of irrigation deprivation during the harvest period on yield determinants in mature almond trees. *Tree Physiology*, 21 (14), 1073–1079. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.14.1073>.
- European Space Agency. (s/d). *SENTINEL-2 MISSION GUIDE*. Consultado em 16 de maio de 2023 de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
- FAO. (2023). *FAOSTAT - Crop and Livestock Products*. Consultado em 30 de março de 2023 de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
- Fereres, E., & Goldhamer, D. A. (2003). Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78 (2), 139–144. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511596>.
- Fernández, J. E. (2017). Plant-based methods for irrigation scheduling of woody crops. *Horticulturae* 3 (2), 35. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020035>.

- Fulton, A. (2019). *Advanced SWP interpretation in almond*. Sacramento Valley Orchard Source. Consultado em 1 de agosto de 2023 de <https://www.sacvalleyorchards.com/manuals/stem-water-potential/advanced-swp-interpretation-in-almond/>.
- García-Tejero, I. F., Muriel, J. L., Hugo, V., & Zuazo, D. (2015). Estimating almond crop coefficients and physiological response to water stress in semiarid environments (SW Spain). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 1255–1266. <https://www.researchgate.net/publication/282134137>.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A., & Miravete, C. (1997). Evaluation of almond (*Amygdalus communis* L.) seasonal sensitivity to water stress. *Physiological and Yield Responses. Acta Horticulturae*, 2 (449), 489–496. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.68>.
- Girona, J., Mata, M., & Marsal, J. (2005). Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75 (2), 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.12.008>.
- Goldhamer, D. A., & Fereres, E. (2001). Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20 (3), 115–125. <https://doi.org/10.1007/s002710000034>.
- Goldhamer, D. A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., & Cohen, M. (1999). Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124 (4), 437–444. <https://doi.org/10.21273/JASHS.124.4.437>.
- Goldhamer, D. A., & Viveros, M. (2000). Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science* 19, 125–131. <https://doi.org/10.1007/s002710000013>.
- Goldhamer, D. A., Viveros, M., & Salinas, M. (2006). *Regulated deficit irrigation in almonds: Effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. Irrigation Science*, 24 (2), 101–114. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0014-8>.
- Gómez, R. (2010). *Manual de riego para agricultores - Módulo 4 - Riego localizado (Junta de Andalucía, Ed.). Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca*.
- González-Gómez, L., Intrigliolo, D. S., Rubio-Asensio, J. S., Buesa, I., & Ramírez-Cuesta, J. M. (2022). Assessing almond response to irrigation and soil management practices using vegetation indexes time-series and plant water status measurements. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 339. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108124>.

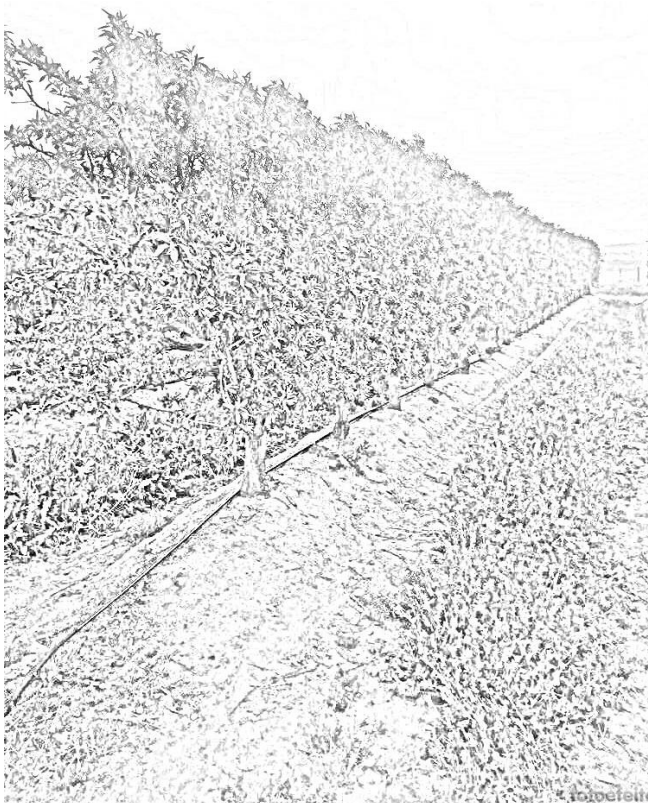


- Gutiérrez-Gordillo, S., Durán Zuazo, V. H., Hernández-Santana, V., Gil, F. F., Escalera, A. G., Amores-Agüera, J. J., & García-Tejero, I. F. (2020a). Cultivar dependent impact on yield and its components of young almond trees under sustained-deficit irrigation in semi-arid environments. *Agronomy*, 10 (5). 733. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050733>.
- Gutiérrez-Gordillo, S., Lipan, L., Durán-Zuazo, V. H., Carbonell-Barrachina, Á. A., Cárceles Rodríguez, B., Rubio-Casal, A. E., Carbonell-Bojollo, R., Ordoñez-Fernández, R., & García-Tejero, I. F. (2020b). Linking sustainability and competitiveness of almond plantations under water scarcity and changing climate. *Resources Use Efficiency in Agriculture* (pp. 695–728). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_19).
- Interreg. (s/d). *Sensores Próximos - Sensores Dendrômetros de Caule/Fruta*. Consultado em 11 de maio de 2023 de <https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/sensores-dendrometros-de-caule-fruta/>.
- IPMA. (s/d). *Ficha Climatológica, 1971-2000*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
- Ladizinsky, G. (1999). On the origin of almond. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46, 143–147. <https://doi.org/10.1023/A:1008690409554>.
- Lopez, J., Abreu, J., Regalado, A., & Hernandez, J. (1997). *Riego Localizado*. Ediciones Mundi-prensa (2ª edição).
- Maldera, F., Vivaldi, G. A., Iglesias-Castellarnau, I., & Camposeo, S. (2021). Two almond cultivars trained in a super-high density orchard show different growth, yield efficiencies and damages by mechanical harvesting. *Agronomy*, 11 (7), 1406. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071406>.
- Mañas, F., López-Fuster, P., & López-Urrea, R. (2014). Effects of different regulated and sustained deficit irrigation strategies in almond production. *Acta Horticulturae*, 1028, 391–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1028.64>.
- Martín-Palomo, M., Andreu, L., Pérez-López, D., Centeno, A., Galindo, A., Moriana, A., & Corell, M. (2022). Trunk growth rate frequencies as water stress indicator in almond trees. *Agricultural Water Management*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107765>.
- Meier, U. (2001). *Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen*. Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft.
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Utah State University.

- Moita, R. A. D. (2021). *Avaliação das necessidades de rega de um amendoal na área de influência do Alqueva*. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., & Orgaz, F. (2021). Long-term almond yield response to deficit irrigation. *Irrigation Science*, 39 (4), 409–420. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00720-8>.
- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., & Orgaz, F. (2022). Almond responses to a single season of severe irrigation water restrictions. *Irrigation Science*, 40 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00750-2>.
- Monks, D. P., Taylor, C., Sommer, K., & Treeby, M. T. (2017). Deficit irrigation of almond trees did not decrease yield. *Acta Horticulturae*, 1150, 251–260. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1150.35>.
- Murteira, L. R. (2021). *Estudo do comportamento agronómico da amendoeira cv. Belona em sistema de produção intensivo sob três regimes de rega*. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa.
- Nortes, P. A., Gonzalez-Real, M. M., Egea, G., & Baille, A. (2009). Seasonal effects of deficit irrigation on leaf photosynthetic traits of fruiting and non-fruiting shoots in almond trees. *Tree Physiology*, 29 (3), 375–388. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn032>.
- Oliveira, I. (2011). *Técnicas de Regadio* (Edição de autor; 2ª edição).
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa-América.
- Pessaraki, M. (2001). *Handbook of plant and crop physiology* (2ª edição). Marcel Dekker, Inc.
- Phogat, V., Skewes, M. A., Mahadevan, M., & Cox, J. W. (2013). Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, 118, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.015>.
- Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Pou, M. M. (2004). *El Almendro. Manual Técnico*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Prgomet, I., Pascual-Seva, N., Morais, M. C., Aires, A., Barreales, D., Castro Ribeiro, A., Silva, A. P., I.R.N.A. Barros, A., & Gonçalves, B. (2020). Physiological and biochemical performance of almond trees under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108990>.

- Queirós, F.(s/d). *Manual de Boas Práticas de Fruticultura – Amendoeira*. Frutas Legumes e Flores, INIAV, & COTR, Eds..
- Rallo, G., Paço, T. A., Paredes, P., Puig-Sirera, Massai, R., Provenzano, G., & Pereira, L. S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agricultural Water Management* 250. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>.
- Rallo, L. (2007). *A olivicultura em tempo de mudança*. Revista da Associação Portuguesa de Horticultura, vol. 91.
- Ramos, M. C. (2001). Rainfall distribution patterns and their change over time in a Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology* 69, 163–170. <https://doi.org/10.1007/s007040170022>.
- Raposo, J. (1989). *A Rega em Portugal* (Cadernos de Divulgação 2).
- Raposo, J. R. (1994). *A Rega Localizada (gota-a-gota e miniaspersão)*. Edição “Correio Agrícola”.
- Raposo, J. R. (1996). *A Rega - Dos Primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega*. Serviço de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Romero, P., & Botía, P. (2006). Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 56 (2), 158–173. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.012>.
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologyc solutions. *Soil Science Society of America*, 70, 1569–1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>.
- Shahidian, S., Guimarães, R., Rodrigues, C., Chambel, A., Alexandre, C., Santos, F., Basch, G., Andrade, J., & Coelho, R. (2017). *Hidrologia Agrícola* (2ª edição). Libéris.
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., & Nanni, T. (2014). Increasingly warm summers in the Euro–Mediterranean zone: mean temperatures and extremes. *Regional Environmental Change*, 14 (5), 1825–1832. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0373-7>.
- Smith, M. (1995). *CROPWAT*. A computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper* n. 46. *Food and Agriculture Organization*. Roma.
- SOMATCO. (2020). *Leaf Porometer / Area Meter*. Consultado em 20 de abril de 2023 de <https://somatco.com/laboratory-scientific-equipments/leaf-porometer-area-meter/>.

- Spinelli, G. M., Snyder, R. L., Sanden, B. L., & Shackel, K. A. (2016). Water stress causes stomatal closure but does not reduce canopy evapotranspiration in almond. *Agricultural Water Management*, 168, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.005>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal* (6ª edição). Artmed Editora.
- Williams, L. E., & Araujo, F. J. (2002). Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127 (3), 448–454. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.3.448>.
- WINDFINDER. (2022). *Estatísticas de vento e condições ambientais*. Consultado em 26 de abril de 2023 em <https://pt.windfinder.com/windstatistics/evora>.
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.

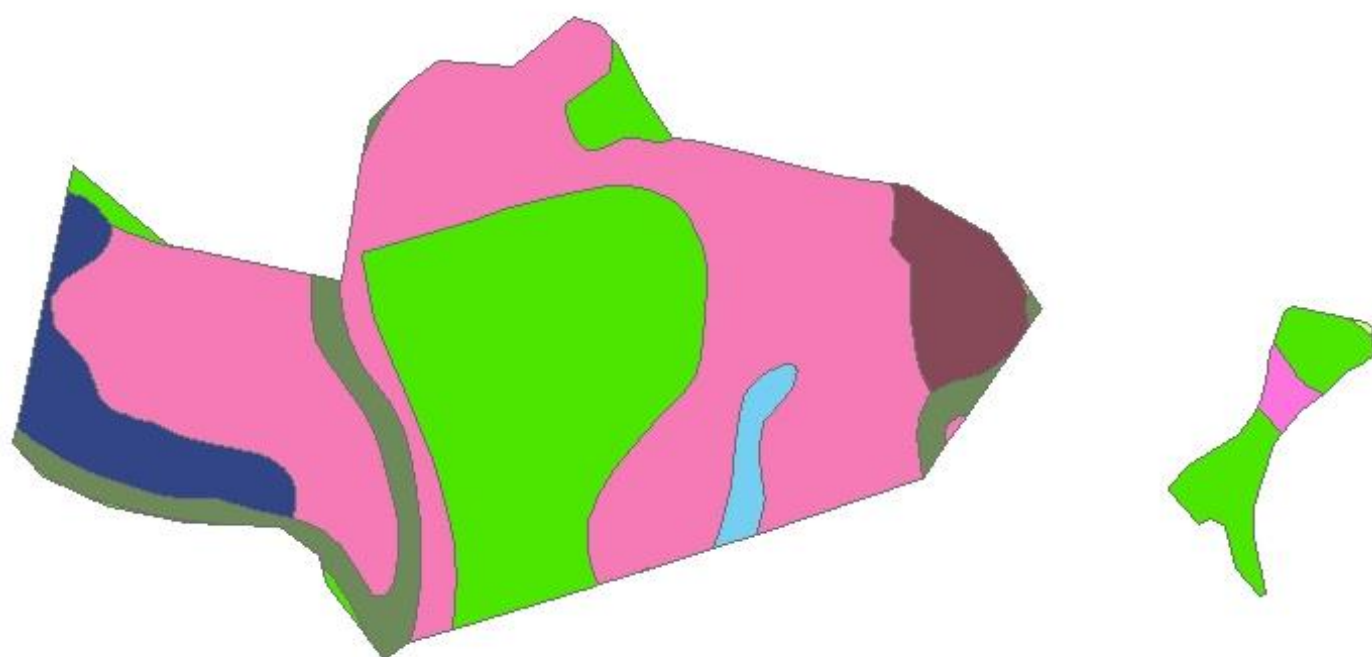


## 7. Apêndices

## Apêndice A – Carta de Solos











# Carta de Solos



## Legenda

### Tipo de Solo

-  Ca
-  Pg
-  Pg(d)
-  Pgm
-  Pm(p)
-  Pmg
-  Pmg(p)
-  Pmg(d)

0 125 250 500 750 1 000 metros

1:15 000

## Apêndice B – Descrição dos Perfis de Solo



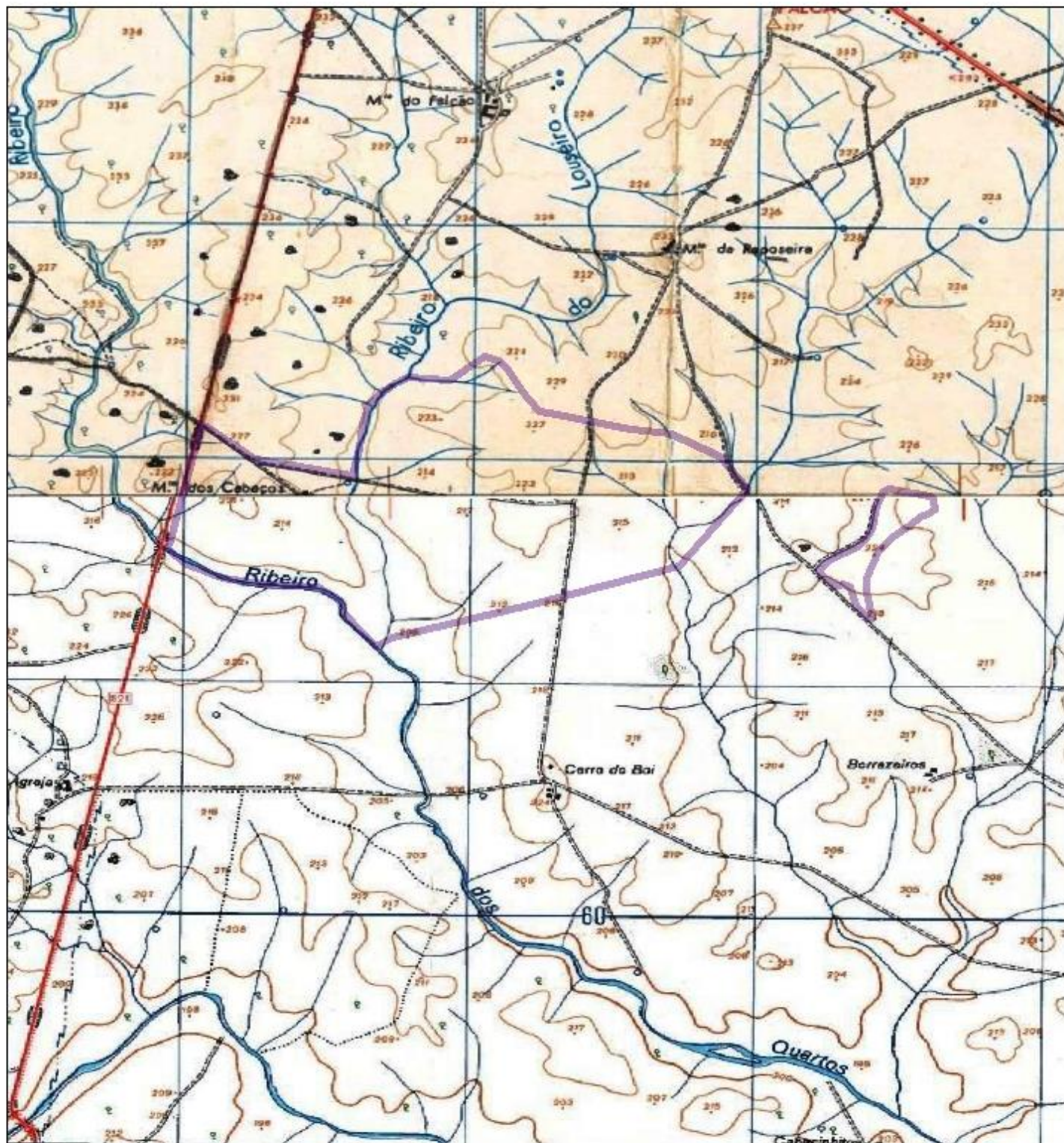
Segundo Cardoso (1965) os perfis dos solos do tipo Pgm e Pmg são descritos da seguinte forma:

- Solos litólicos não húmicos de rochas eruptivas de composição mineralógica entre granito e quartzodiorito, Pgm:
  1. Horizonte A com: 15 a 25 cm de profundidade; cor pardo ou pardo amarelado; textura arenosa; sem agregados; solto;  
Transição gradual para:
  2. Horizonte B com: 15 a 20 cm de profundidade; cor pardo ou pardo amarelado; textura franco-arenosa ou franca; estrutura anisoforme angulosa grosseira fraca;  
Transição gradual para:
  3. Horizonte C com: composto por material originário da desagregação de rochas eruptivas com uma composição entre granito e quartzodiorito.
- Solos mediterrâneos pardos de quartzodioritos, Pmg:
  1. Horizonte A com: 15 a 35 cm de profundidade; cor pardo ou castanho; textura franco-arenosa a arenosa; sem agregados ou estrutura granulosa fina fraca; não plástico, não aderente, muito friável ou solto;  
Transição nítida ou abrupta para:
  2. Horizonte B com: 20 a 50 cm de profundidade; cor pardo ou castanho; textura franco-argilo-arenoso, franco-argiloso, argilo-arenoso ou argiloso; estrutura prismática média ou grosseira moderada ou fraca; películas de argila nas faces dos agregados; plástico, aderente, muito firme ou firme;  
Transição nítida ou gradual para:
  3. Horizonte C com: composto por material originário da desagregação quartzodioritos.


## Apêndice C – Carta Militar



# Carta Militar

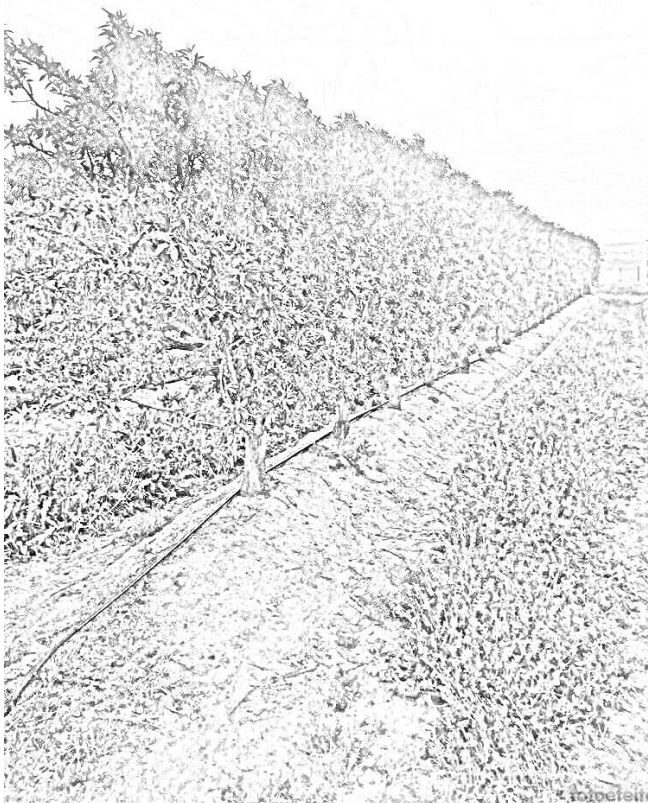


## Legenda

 Delimitação das parcelas de amendoal

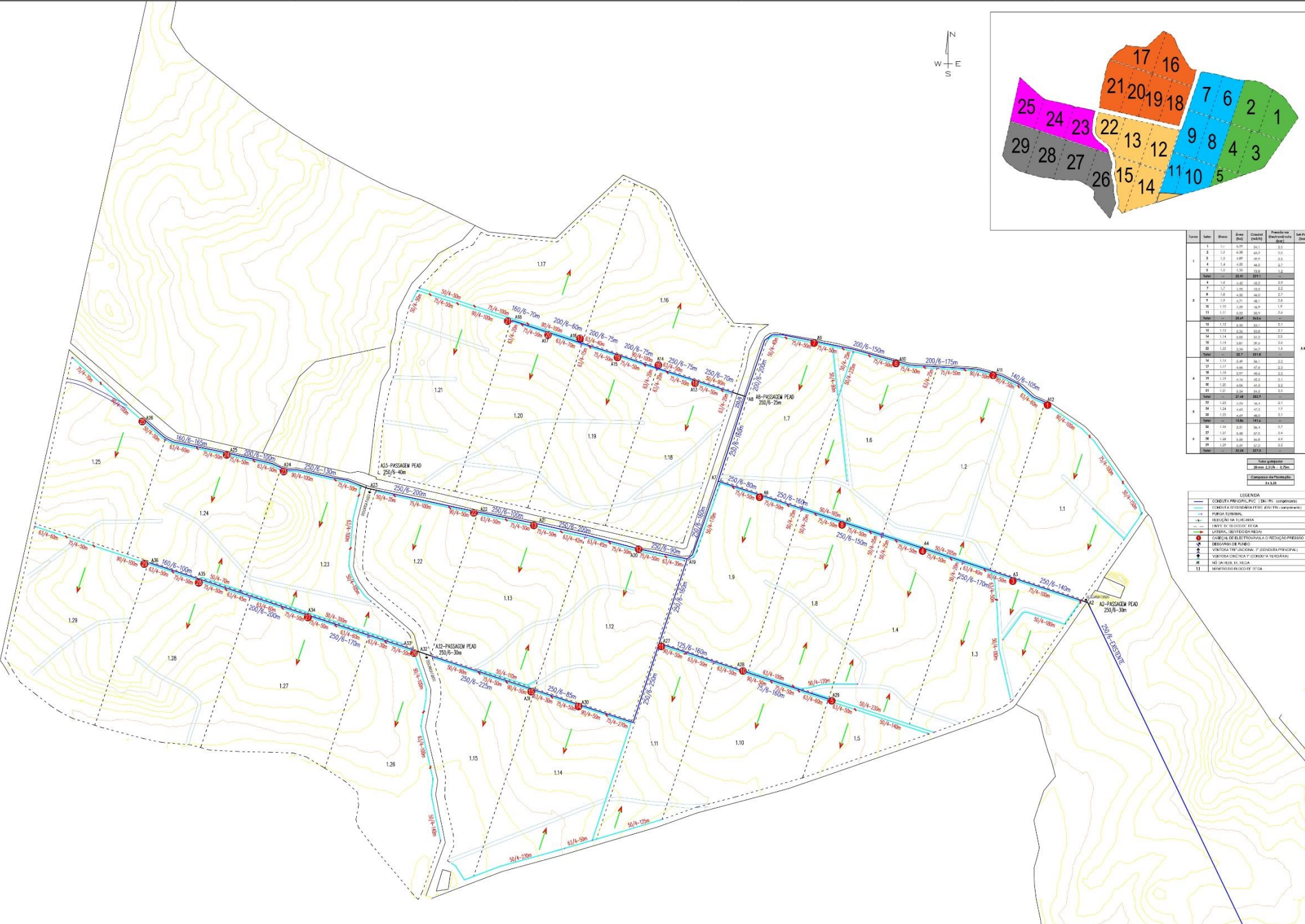
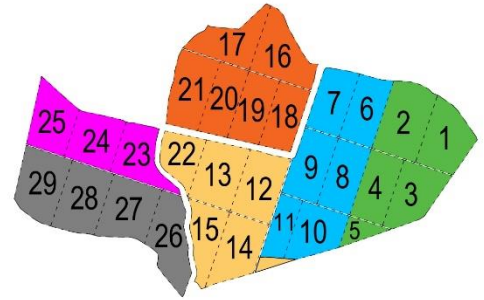
0 250 500 1 000 1 500 2 000 metros

1:25 000



## 8. Anexos

## Anexo I – Projetos da Rede de Rega

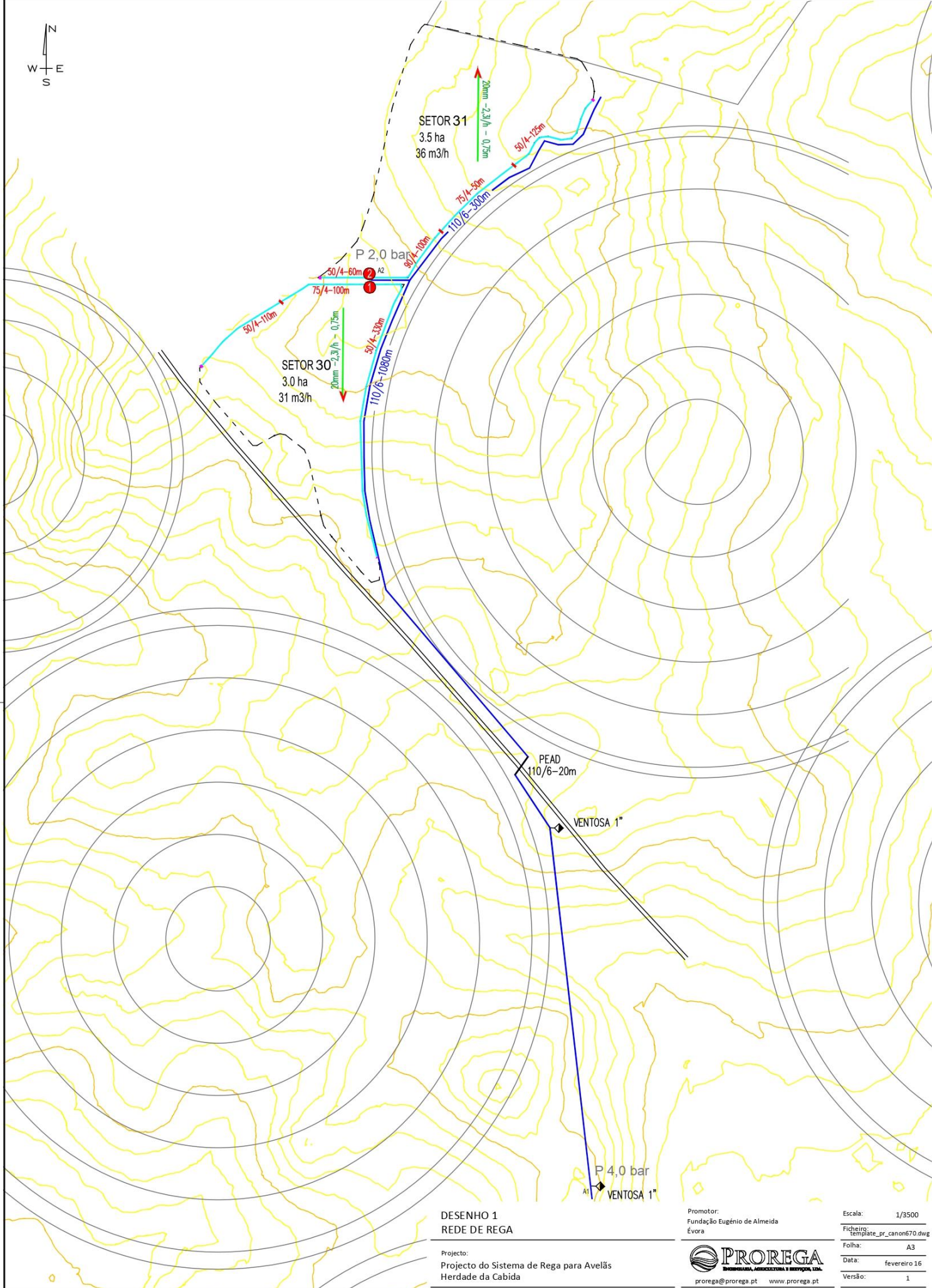


Parcela	Superfície (ha)	Área (ha)	Coeficiente de Infiltração	Perda no Sistema (litros)	Capacidade (litros)
1	1,17	3,75	0,11	2,5	2,5
2	1,23	4,28	0,12	2,5	2,5
3	1,23	4,45	0,12	2,5	2,5
4	1,14	4,05	0,12	2,5	2,5
5	1,05	3,25	0,11	2,5	2,5
6	1,16	3,65	0,11	2,5	2,5
7	1,27	4,05	0,12	2,5	2,5
8	1,18	4,05	0,12	2,5	2,5
9	1,18	4,25	0,12	2,5	2,5
10	1,15	3,75	0,12	2,5	2,5
11	1,11	3,75	0,12	2,5	2,5
12	1,13	3,75	0,12	2,5	2,5
13	1,13	4,25	0,12	2,5	2,5
14	1,14	4,05	0,12	2,5	2,5
15	1,14	3,85	0,12	2,5	2,5
16	1,19	3,75	0,12	2,5	2,5
17	1,17	4,05	0,12	2,5	2,5
18	1,18	3,75	0,12	2,5	2,5
19	1,17	4,15	0,12	2,5	2,5
20	1,22	3,75	0,12	2,5	2,5
21	1,27	4,25	0,12	2,5	2,5
22	1,25	4,25	0,12	2,5	2,5
23	1,23	4,05	0,12	2,5	2,5
24	1,25	4,05	0,12	2,5	2,5
25	1,29	4,05	0,12	2,5	2,5
<b>Total</b>	<b>32,41</b>	<b>101,2</b>	<b>0,12</b>	<b>70,0</b>	<b>70,0</b>

**LEGENDA**

- CONCRETO PREPARADO (C20) (FR. COMPACTADO)
- CONCRETO SI (CONCRETO FEITO EM LOCAL (CONCRETO))
- TIPOVA FUNDADA
- ABRIGADO NA ILHA
- INÍCIO DO TUBO DE REGA
- CONTORNEO DO TUBO DE REGA
- CANAL DE REGA (TUBO DE REGA) (C/ REDUÇÃO PRESSÃO)
- DESCRIÇÃO DE BARRIO
- VANTAGEM TRIPLO (SIC) (CONCRETO PREPARADO)
- VANTAGEM CANAL (SI) (CONCRETO PREPARADO)
- SI (CANAL DE REGA)
- MUNICÍPIO DE REGA





**DESENHO 1**  
**REDE DE REGA**

Projecto:  
Projecto do Sistema de Rega para Avelãs  
Herdade da Cabida

Promotor:  
Fundação Eugénio de Almeida  
Évora



Escala: 1/3500  
Ficheiro: template\_pr\_canon670.dwg  
Folha: A3  
Data: fevereiro 16  
Versão: 1

## Anexo II – Análises de Solo do Produtor



Nº de Referência:	<b>S-23/014305</b>	Registrada em:	AGQ Portugal		
Análise:	S-CO-0008	Centro de Análises:	AGQ Labs		
Tipo Amostra:	Solo Agrícola	Data recolha amostra:	01/03/2023	Data recepção:	06/03/2023
		Data início:	06/03/2023	Data fim:	10/03/2023
				Contrato:	QMT-PO23020 0008
Recolha por:	*Cliente (*)	Cliente 3º:	---		
Descrição:	AVIJOR-A	Morada:	Pátio de São Miguel Apartado 2001 EVORA 7001901		
Cliente:	Fundação Eugénio de Almeida				

## FERTILIDADE FÍSICA

Parâmetro	Resultado	Risco de compactação	Método
*23 Textura	Franco-Arenosa		PNT
*23 Argila	19 %		Densitometria
*23 Limo	21 %		Densitometria
*23 Areia	60,0 %		Densitometria
			Densitometria

## FERTILIDADE NUTRICIONAL

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
*23 Condutividade Eléctrica (	72,2	µS/cm a 20 °C		200		400		PNT
*23 pH (Extracto 1/2,5)	7,59	Unidades de pH		6,50		7,50		PE-2128
*23 Matéria Orgânica	1,42	%		1,20		2,00		Combustión
Azoto Dumas	678	mg/kg		1.000		1.500		PEC-034
* Fósforo Disponível	12,3	mg/kg		20,0		40,0		Olsen
* Cal Activa	< 0,500	% CaCO3		1,50		4,00		Oxalato Amonico 0.
* Cálcio Disponível	6,70	meq/100 g		8,00		14,0		Ac NH4
* Magnésio Disponível	2,26	meq/100 g		1,50		2,50		Ac NH4
* Potássio disponível	0,17	meq/100 g		0,50		0,80		Ac NH4
* Sódio Disponível	0,20	meq/100 g		0,25		0,75		Ac NH4
* Suma de Bases Disponibl	9,33	meq/100 g						PEC-020

## MICROELEMENTOS

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
* Boro	< 0,50	mg/kg		0,60		1,00		Extrac Acuosa
* Ferro (DTPA)	22,6	mg/kg		4,00		10,0		DTPA
* Manganês (DTPA)	8,11	mg/kg		1,00		5,00		DTPA
* Cobre (DTPA)	1,03	mg/kg		0,40		1,00		DTPA
* Zinco (DTPA)	0,75	mg/kg		1,00		2,00		DTPA

## RELAÇÃO DE INTERESSES

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
* Relação C/N	12,1			10,0		15,0		PNT
								PEC-041

## RELAÇÕES CATIONICAS

### % Catiões Disponíveis

● Ca Disp.(65%/72%) ● Mg D(25%/24%) ● K D(10%/2%) ● Na D(0%/2%)



Nº de Referência:	<b>S-23/014303</b>	Registrada em:	AGQ Portugal	Data recepção:	06/03/2023
Análise:	S-CO-0008	Centro de Análises:	AGQ Labs	Data fim:	14/03/2023
Tipo Amostra:	Solo Agrícola	Data recolha amostra:	01/03/2023	Contrato:	QMT-PO23020 0008
		Data início:	06/03/2023		
Recolha por:	*Cliente (^)	Cliente 3º:	----		
Descrição:	BELONA-S31	Morada:	Páteo de São Miguel Apartado 2001 EVORA 7001901		
Cliente:	Fundação Eugénio de Almeida				

## FERTILIDADE FÍSICA

Parâmetro	Resultado	Risco de compactação	Método
*23 Textura	Franco-Arenosa		PNT
*23 Argila	11 %		Densitometria
*23 Limo	23 %		Densitometria
*23 Areia	66,0 %		Densitometria
			Densitometria

## FERTILIDADE NUTRICIONAL

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
*23 Condutividade Eléctrica ( )	87,3	µS/cm a 20 °C		200		400		PE-2128
*23 pH (Extracto 1/2,5)	7,13	Unidades de pH		6,50		7,50		PE-2128
*23 Matéria Orgânica	1,26	%		1,20		2,00		Combustión
Azoto Dumas	601	mg/kg		1.000		1.500		PEC-034
* Fósforo Disponível	23,6	mg/kg		20,0		40,0		Olsen
* Cal Activa	< 0,500	% CaCO3		1,50		4,00		Oxalato Amonico 0.
* Cálcio Disponível	6,03	meq/100 g		8,00		14,0		Ac NH4
* Magnésio Disponível	2,20	meq/100 g		1,50		2,50		Ac NH4
* Potássio disponível	0,15	meq/100 g		0,50		0,80		Ac NH4
* Sódio Disponível	0,34	meq/100 g		0,25		0,75		Ac NH4
* Suma de Bases Disponibl	8,73	meq/100 g						PEC-020

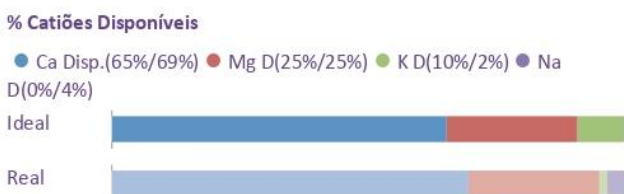
## MICROELEMENTOS

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
* Boro	< 0,50	mg/kg		0,60		1,00		Extrac Acuosa
* Ferro (DTPA)	23,9	mg/kg		4,00		10,0		DTPA
* Manganês (DTPA)	13,0	mg/kg		1,00		5,00		DTPA
* Cobre (DTPA)	0,87	mg/kg		0,40		1,00		DTPA
* Zinco (DTPA)	0,56	mg/kg		1,00		2,00		DTPA

## RELAÇÃO DE INTERESSES

Parâmetro	Resultado	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Valor Normal	Alto	Muito Alto	Método
* Relação C/N	12,2			10,0		15,0		PEC-041

## RELAÇÕES CATIONICAS



### Anexo III – Análises de Solo Realizadas

### Laboratório AmbiTerra: Unidade de Química Agrícola

Rua da Barba Rala n.º 1, Parque Industrial e Tecnológico, 7005-345 Évora, Portugal  
tel: (+351)266 745 301 fax (+351)266 745 397 email: [c.pinho@uevora.pt](mailto:c.pinho@uevora.pt); [rfonseca@uevora.pt](mailto:rfonseca@uevora.pt);  
[vtavares@uevora.pt](mailto:vtavares@uevora.pt)  
Contribuinte n.º 501201920

### Resultados de Análise de Amostras de Solos

#### Identificação do Requerente

**Requerente:** Departamento de Engenharia Rural

**Contacto:**

**Telefone:**

**NIF:**

**Morada:** Universidade de Évora - Pólo da Mitra - 7000-083

**Data de entrada:** 26.07.2023

**Data de saída:** 18.08.2023

No seguimento do pedido de análises requerido (*Programa 1 – Análise de Solos Reduzido – Culturas de Ar Livre + Análise Granulométrica*), são apresentados os resultados da Análise Granulométrica em cada amostra que complementam os resultados enviados no Boletim de Ensaios (ao qual se anexa este documento).

N.º Lab	Referência	Amostra	% Areia		% Lotes da Terra Fina			Classificação Textural
			Areia Grosseira 2mm-200µm	Areia Fina 200µm-20µm	Areia 2mm-20µm	Limo 20µm-2µm	Argila <2µm	
1437	S-25 A		51,89	27,95	79,84	9,60	10,56	Solo Areia Franca
1438	S-27 A1		46,42	30,13	76,55	8,43	15,02	Solo Franco-Arenoso
1439	S-27 A2		48,05	24,13	72,18	10,97	16,85	Solo Franco-Arenoso
1440	S-27 + B		47,39	20,51	67,90	14,07	18,04	Solo Franco-Arenoso
1441	S-31 - A		38,72	38,72	77,54	9,61	12,86	Solo Franco-Arenoso

Laboratório AmbiTerra: Unidade de Química Agrícola, Évora 18 de Agosto de 2023

PI A Técnica Superior

*natalia mota silva*  
(Natália Mota)