

**Maria Adélia Ribeiro dos Reis**

**O papel da fruticultura na sustentabilidade e na mitigação das alterações climáticas. Importância dos pomares como sumidouros de carbono**



**Universidade do Algarve**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
2022

**Maria Adélia Ribeiro dos Reis**

**O papel da fruticultura na  
sustentabilidade e na mitigação das  
alterações climáticas. Importância  
dos pomares como sumidouros de  
carbono**

**Mestrado em Hortofruticultura  
Trabalho efetuado sob a orientação de:  
Amílcar M. Marreiros Duarte**



**Universidade do Algarve**  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
2022

**O papel da fruticultura na sustentabilidade e na mitigação das alterações climáticas. Importância dos pomares como sumidouros de carbono**

Declaração de autoria do trabalho

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da lista de referências incluída.

---

(Maria Adélia Ribeiro dos Reis)

© Maria Adélia Ribeiro dos Reis

“A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.



“A dúvida é o princípio da Sabedoria.”

Aristóteles

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Professor Doutor Amílcar Duarte, agradeço o seu voto de confiança, a sua disponibilidade, a motivação transmitida e os seus ensinamentos.

Ao Professor Doutor Carlos Guerrero agradeço os seus ensinamentos e a disponibilização de alguns utensílios necessários para a execução deste trabalho.

À Doutora Luísa Coelho, agradeço a paciência com que sempre me recebeu, a disponibilidade e os ensinamentos transmitidos, especialmente nos procedimentos laboratoriais, sem os quais não teria sido possível realizar este trabalho.

À Doutora Florinda Gama, agradeço a colaboração, em especial na cedência de alguns equipamentos necessários para procedimentos laboratoriais.

À minha família, agradeço a motivação e a paciência com o meu mau humor frequente e a falta de tempo. Tendo um agradecimento especial para o meu marido, que sempre me motivou e apoiou e se disponibilizou para rever os meus textos, mesmo sendo fora da sua área.

Ao meu colega de mestrado João Duarte, agradeço a ajuda nos procedimentos de laboratório e em alguns trabalhos de campo.

Aos meus colegas de curso e de mestrado, Beatriz Duarte, Ana Rita Trindade e Pedro Matias, agradeço a amizade, a boa disposição e a colaboração/ajuda, em algumas atividades de campo e no Laboratório de Solos.

Ao Francisco e ao Ramon, agradeço a sua colaboração nos trabalhos de campo, nada fáceis. E, também, a preciosa ajuda no laboratório.

Ao Engenheiro Diamantino Trindade, agradeço a sua disponibilidade para facultar o acesso aos pomares e a sua prontidão para o esclarecimento de dúvidas.

À Sr.<sup>a</sup> Teresa Vieira, ao Engenheiro Hélio Mourinho e ao Sr. Mário Santos, agradeço a sua disponibilidade para facultar o acesso aos seus pomares.

Agradeço, ainda, a todos os que de alguma forma, possam ter contribuído para este trabalho e que eu possa não ter referido.

Esta dissertação insere-se parcialmente no projeto Life Vida for Citrus LIFE18 CCA/ES/001109, financiado pela União Europeia.

## Resumo

A fruticultura, como setor relevante da agricultura, tem uma elevada importância no sequestro de carbono atmosférico e no armazenamento deste no solo, como forma de contribuir para a minimização das emissões de gases com efeito de estufa. Os cenários da evolução climática apontam para períodos crescentes de escassez de água e aumento da temperatura nos agroecossistemas mediterrânicos semiáridos, com particular incidência para a região Sul de Portugal. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a cobertura permanente do solo dos pomares, pode contribuir para: a manutenção da sua produtividade, a sua proteção contra a erosão, o aumento do nível de matéria orgânica, o aumento do carbono orgânico armazenado e melhoria da qualidade do solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade de sumidouro de carbono: dos solos na camada mineral até 20 cm de profundidade, da biomassa do coberto vegetal que os protege e da camada orgânica (folhada), em pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras, em modo de produção integrada, com diferentes idades de plantação e com diferentes práticas culturais a nível de cobertura de solo. O mesmo tipo de avaliação realizou-se em solos não cultivados, com vegetação herbácea e arbustiva espontânea, comparando-se os resultados obtidos, entre os dois usos do solo e entre estes e os povoamentos florestais.

Os pomares de abacateiros apresentaram maior capacidade de armazenamento de carbono no solo, variando entre  $16,18 \pm 0,82$  t/ha e  $67,44 \pm 3,95$  t/ha e os pomares de citrinos registaram a menor, entre  $21,06 \pm 1,6$  t/ha e  $31,24 \pm 3,98$  t/ha. Nos solos não cultivados, o carbono armazenado oscilou entre  $22,39 \pm 3,05$  t/ha e  $49,23 \pm 2,10$  t/ha. Nos pomares de abacateiros, existem camadas orgânicas de folhada, que se assemelham às de povoamentos florestais e que muito contribuem para a melhoria da qualidade do solo. Nos pomares de abacateiros em plena produção (com 14 a 15 anos) registaram-se taxas de incremento de carbono no solo que variaram entre  $0,91$  t C/ha/ano e  $1,21$  t C/ha/ano.

Palavras-chave: Abacateiro, alfarrobeira, citrinos, carbono orgânico do solo, cobertura de solo, matéria orgânica, sequestro de carbono.

## Abstract

Fruit tree crops, as a relevant agriculture sector, have a great importance in the sequestration of atmospheric carbon and its storage in the soil, as a way of contributing to the minimization of greenhouse gas emissions. The scenarios of climate evolution point to increasing periods of water scarcity and temperature increase in the semi-arid Mediterranean agroecosystems, with incidence for the southern region of Portugal. Adoption of sustainable agricultural practices, such as permanent soil cover in orchards, can contribute to maintaining their productivity, protecting them from erosion, increasing the level of organic matter, increasing the stock of organic carbon and improving soil quality.

This study aimed to evaluate the organic carbon stored: in soils in the mineral layer up to 20 cm depth; in the vegetation cover biomass and in the organic layer of litter, in citrus, avocado and carob orchards in integrated production mode, with different planting ages and with different soil management practices. A similar evaluation was carried out in uncultivated soils, with herbaceous and spontaneous shrub vegetation, comparing the results obtained between the two land uses and between these and forest stands.

Avocado orchards showed the highest soil carbon storage capacity, ranging between  $16.18 \pm 0.82$  t/ha and  $67.44 \pm 3.95$  t/ha and the citrus orchards showed the lowest, between  $21.06 \pm 1.6$  t/ha and  $31.24 \pm 3.98$  t/ha. In uncultivated soils, stored carbon ranged from  $22.39 \pm 3.05$  t/ha to  $49.23 \pm 2.10$  t/ha. The organic layer of litter of avocado orchards is similar to those found in forest stands and have a great contribute to improving the quality of the soil. In avocado orchards in full production (aged 14 to 15 years) there were carbon accumulation rates in soil ranged between 0.91 t C/ha/year to 1.21 t C/ha/year.

**Keywords:** Avocado, carob, citrus, soil organic carbon, ground cover, organic matter, carbon sequestration.

## Índice Geral

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>II</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Índice de tabelas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de abreviaturas e siglas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
2.1. Gases de efeito de estufa (GEE) e as alterações climáticas .....	3
2.2. Importância do ciclo global do carbono nos ecossistemas terrestres.....	4
2.3. Ecossistemas da região mediterrânica .....	6
2.4. Sequestro de carbono nos ecossistemas terrestres .....	9
2.5. Armazenamento de carbono nos solos agrícolas .....	9
2.6. Métodos de determinação do carbono orgânico do solo (COS) .....	11
2.7. Contribuição das florestas para o sequestro de carbono .....	12
2.7.1. Métodos de determinação de sequestro de carbono .....	13
2.7.2. Taxas de sequestro de carbono de algumas espécies florestais em Portugal .....	14
2.8. Contribuição das espécies frutíferas para o sequestro de carbono.....	15
2.9. O ciclo de carbono real numa exploração agrícola (pomar) .....	18
2.10. Importância das práticas culturais favoráveis ao armazenamento de C nos solos e na biomassa das plantas .....	18
2.10.1. Culturas de cobertura (enrelvamento) .....	19
2.10.2. Importância das sebes .....	19
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
4.1 Caraterização das áreas em estudo.....	23
4.1.1. Herdade da Zambujeira (Ferreira do Alentejo) .....	23
4.1.1.1. Localização e caraterização edafoclimática .....	23
4.1.1.2. Caraterização do pomar e sistemas de gestão.....	26
4.1.2. Caraterização dos pomares situados na região do Algarve .....	28
4.1.2.1. Caraterização dos pomares localizados em Vila Nova de Cacela .....	29
4.1.2.1.1. Localização e caraterização edáfica .....	29
4.1.2.1.2. Caraterização dos pomares e sistemas de gestão.....	32
4.1.2.2. Caraterização dos pomares localizados em Silves .....	34
4.1.2.2.1. Localização e caraterização edáfica .....	34

4.1.2.2.2. Caracterização dos pomares e sistemas de gestão.....	36
4.2. Amostragens .....	38
4.2.1. Amostragens de solo na camada mineral na profundidade de 0 a 20 cm .....	39
4.2.2. Amostragens de solo na camada mineral superficial na profundidade de 0 a 2 cm .....	41
4.2.3. Amostragens de biomassa vegetal herbácea e de folhada (camada orgânica) .....	42
4.3. Metodologias laboratoriais .....	43
4.3.1. Determinações físicas.....	43
4.3.1.1. Densidade aparente.....	43
4.3.1.2. Determinação da textura do solo .....	44
4.3.2. Determinações químicas .....	45
4.3.2.1. Determinação da reação do solo .....	45
4.3.2.2. Determinação da condutividade elétrica (CE) do solo .....	46
4.3.2.3. Verificação de presença de carbonatos.....	46
4.3.2.4. Determinação do teor em matéria orgânica do solo .....	46
4.3.2.5. Determinação do teor de carbono orgânico do solo .....	47
4.3.2.6. Determinação do teor de carbono da biomassa herbácea e da folhada (camada orgânica).....	48
4.3.3. Medições dendrométricas das fruteiras .....	48
4.4. Análise estatística dos dados.....	49
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
5.1. Condutividade elétrica (CE) dos solos e presença de carbonatos.....	50
5.2. Herdade da Zambujeira (HZ), em Ferreira do Alentejo .....	50
5.2.1. Densidade aparente .....	50
5.2.2. Textura do solo.....	52
5.2.3. Reação do solo .....	53
5.2.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	56
5.2.5. Carbono armazenado no solo .....	62
5.3. Quinta dos Medeiros (BU), em Cacela.....	65
5.3.1. Densidade aparente .....	65
5.3.2. Textura do solo.....	66
5.3.3. Reação do solo .....	66
5.3.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	67
5.3.5. Carbono armazenado no solo .....	70
5.3.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica) .....	75
5.3.7. Apreciação global do armazenamento de carbono.....	78
5.4. Sítio do Calião (CA), em Cacela .....	79
5.4.1. Densidade aparente .....	79
5.4.2. Textura do solo.....	80
5.4.3. Reação do solo .....	81

5.4.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	81
5.4.5. Teor de carbono armazenado no solo.....	82
5.5. Sítio das Ferrarias (AL), em Algoz.....	83
5.5.1. Densidade aparente .....	83
5.5.2. Textura do solo.....	84
5.5.3. Reação do solo .....	85
5.5.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	85
5.5.5. Carbono armazenado no solo .....	86
5.5.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica) .....	89
5.5.7. Apreciação global do armazenamento de carbono.....	90
5.6. Monte da Jóia (SI), em Silves .....	92
5.6.1. Densidade aparente .....	92
5.6.2. Textura do solo.....	92
5.6.3. Reação do solo .....	94
5.6.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	94
5.6.5. Carbono armazenado no solo .....	95
5.6.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica) .....	97
5.6.7. Apreciação global do armazenamento de carbono.....	97
5.7. São Bartolomeu de Messines (ME) .....	99
5.7.1. Densidade aparente .....	99
5.7.2. Textura do solo.....	99
5.7.3. Reação do solo .....	101
5.7.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo.....	101
5.7.5. Carbono armazenado no solo .....	102
5.7.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica) .....	104
5.7.7. Apreciação global do armazenamento de carbono.....	105
5.8. Avaliação do potencial de armazenamento de carbono dos pomares <i>versus</i> outros usos do solo.....	106
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>113</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>i</b>

## Índice de figuras

Figura 2-1 - Concentração atmosférica de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O na atmosfera, entre 1850 e 2010. ....	4
Figura 2-2 - Ciclo Natural do carbono.....	5
Figura 2-3 - Distribuição espacial da precipitação média anual (esquerda) e da quantidade de C no solo até à profundidade de 30 cm (direita). ....	7
Figura 2-4 - Os Principais fluxos de C na floresta, entre a biomassa e o solo. ....	13
Figura 2-5- Distribuição das áreas das espécies florestais em Portugal continental em 2015. ....	14
Figura 2-6 - Fluxos de carbono em Agroecossistemas.....	17
Figura 4-1- Mapas com localização das áreas em estudo (Ferreira do Alentejo, Vila Nova Cacela e Silves. Fonte: Google Earth Pro e INIAV, 2022.....	22
Figura 4-2 - Mapas com localização da área em estudo na Herdade da Zambujeira. ....	23
Figura 4-3 – Termoplúviograma com base nos valores da normal climatológica, do período de 1981-2010, da precipitação e da temperatura do ar máxima, média e mínima. ....	24
Figura 4-4 - Representação cartográfica da geologia da Herdade da Zambujeira.....	25
Figura 4-5 – Amostras compósitas de solo recolhidas na entrelinha do pomar de ‘Nadorcott’.....	26
Figura 4-6 - Área do pomar da Herdade da Zambujeira e áreas de amostragem (A – setor com ‘Nadorcott’, B – setor com amendoeiras e C – zona de sebes).....	28
Figura 4-7 – Termoplúviograma com médias mensais das médias das temperaturas máximas e mínimas do ar e médias dos somatórios mensais da precipitação (dados de todas as estações manuais e automáticas, desde 1986 a 2018). ....	29
Figura 4-8 - Mapas com localizações das áreas em estudo em Vila Nova de Cacela (A - Quinta dos Medeiros e B - Sítio do Calço). ....	30
Figura 4-9 - Representação cartográfica da geologia dos pomares de Vila Nova de Cacela (A - Quinta dos Medeiros e B – Sítio do Calço). ....	31
Figura 4-10- Provetas com solos para determinação de textura (A – Buraco, B – Calço). ....	32
Figura 4-11 - Mapas com localizações das áreas em estudo no concelho de Silves ((A) Algoz e (B) Cerro de São Miguel e (C) São Bartolomeu de Messines).....	35
Figura 4-12 – Linha e entrelinha de pomar de abacateiros em Algoz. ....	36

Figura 4-13 – Esquema de recolha de amostras efetuado em cada pomar, com recolha de triplicados de amostras compósitas nas linhas (12 subamostras) e triplicados de amostras compósitas recolhidas nas entrelinhas (12 subamostras). .....	39
Figura 5-1 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas na Herdade da Zambujeira.....	52
Figura 5-2 – Acidez (pH) dos solos da Herdade da Zambujeira com diferentes ocupações.....	54
Figura 5-3 - Valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) do teor de C determinado nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade de 0 a 20 cm. No setor (A) de pomar de citrinos, com amostras recolhidas: em L/Sc e E/Vesp (modalidade 1) e L/Ca e E/Vsem (modalidade 2). .....	56
Figura 5-4 - Valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) do teor de C determinado nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (E/ Vesp (modalidade 1) e E/Vsem (modalidade 2), com setor (B), pomar de amendoeiras (E/Vesp) e com setor (C) área sem cultura (E/Sc).....	58
Figura 5-5 - Valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de kg C/m <sup>2</sup> nos solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (E/ Vesp (modalidade 1) e E/Vsem (modalidade 2), com setor (B), pomar de amendoeiras (E/Vesp) e com setor (C) área sem cultura (E/Sc). ....	59
Figura 5-6 - Valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) do teor de C (A) e kg C/m <sup>2</sup> (B) determinadas nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (L/Sc (modalidade 1) e L/Ca (modalidade 2)) com valores do setor (C), referentes às sebes L/Fa. ....	61
Figura 5-7 - Proporção da área do pomar de citrinos ocupada pelas linhas de árvores e pelas entrelinhas. ....	62
Figura 5-8- Linha de plantação e entrelinha do pomar de citrinos, com 16 anos, na Herdade da Zambujeira. ....	62
Figura 5-9 – Comparação entre os valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos do pomar de citrinos na modalidade 1 (L/Sc) e E/Vesp), com a modalidade 2 (L/Ca e E/Vsem), na profundidade 0 a 20 cm. Em função da proporção ocupada pela linha e entrelinha. ....	63

- Figura 5-10 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos do pomar de citrinos da modalidade 1 com a modalidade 2, na profundidade 0 a 20 cm. .... 64
- Figura 5-11 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas na Quinta dos Medeiros. .... 66
- Figura 5-12 - Acidez (pH) dos solos da Quinta dos Medeiros com diferentes ocupações. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp). .... 67
- Figura 5-13 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C determinado nas amostras de solos da Quinta dos Medeiros, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp). .... 68
- Figura 5-14 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de kg C/m<sup>2</sup> dos solos da Quinta dos Medeiros, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp). .... 69
- Figura 5-15 – Pomares da Quinta dos Medeiros, copas dos pomares de: abacateiros, cultivar ‘Hass’ (A); alfarrobeiras, cultivar ‘Mulata’ (B) e citrinos, cultivar ‘D. João’ (C). .... 69
- Figura 5-16 – Percentagem de área ocupada pelas linhas e entrelinhas, em função da área de projeção da copa das fruteiras, na Quinta dos Medeiros. .... 71
- Figura 5-17 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos dos pomares de: citrinos (L/Sc e E/Vesp), abacateiros (L/Fa e E/Vsem) e alfarrobeiras (L/E Vesp), na profundidade 0 a 20 cm. Em função da proporção ocupada pela linha e entrelinha. .... 71
- Figura 5-18 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela), tendo em atenção a data de plantação. .... 72
- Figura 5-19 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm, com o C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela). .... 73

- Figura 5-20 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 2 cm) dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras da Quinta dos Medeiros, tendo em atenção a data de plantação..... 74
- Figura 5-21 – Camada de folhada recolhida (A) e local de recolha de camada (0 a 2 cm) sob a camada de folhada com raízes finas à superfície (B), na linha do pomar de abacateiros da Quinta dos Medeiros..... 75
- Figura 5-22 – Distribuição dos valores médios ( $n=3$ ) do C armazenado (t/ha), na parte aérea da vegetação herbácea (VHA), nas raízes da vegetação herbácea (HO) e na folhada (Fa) dos pomares de: citrinos (Cit) na (E/Vesp), abacateiros (Abac) (L/Fa e E/Vsem) e alfarrobeiras (Alf) (L/E Vesp). Distribuídos em função da cultura e da proporção da área ocupada pela linha de plantação. .... 76
- Figura 5-23 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados na vegetação herbácea presente na cobertura dos solos e na camada de folhada, nos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela)..... 77
- Figura 5-24 – Distribuição do C (t/ha) nos pomares da Quinta dos Medeiros, nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea (VH) e folhada (Fa) presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm). .... 78
- Figura 5-25 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Sítio do Calço. Pomar de abacateiros (A) e zona não cultivada com vegetação arbustiva (B)..... 80
- Figura 5-26 - Teor de C ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) nos solos do Sítio do Calço, na profundidade 0 a 20 cm. No pomar de abacateiros (L/Vesp) e zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva (matos). .... 82
- Figura 5-27 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva (matos) no Sítio do Calço. .... 83
- Figura 5-28 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Sítio das Ferrarias (Algoz)..... 84

- Figura 5-29 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de teor de C e kg C/m<sup>2</sup> determinadas nas amostras de solos do Sítio da Ferrarias, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares de: amendoeiras tradicionais de sequeiro (L/Vesp e E/Vesp) e pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa)..... 85
- Figura 5-30 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de amendoeiras de sequeiro e de abacateiros, no Sítio das Ferrarias. Comparação de posições (A) e de culturas (B). ..... 87
- Figura 5-31 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm, com o C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm dos pomares de amendoeiras tradicional de sequeiro e abacateiros do Sítio das Ferrarias (Algoz)..... 88
- Figura 5-32 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 2 cm) de um pomar de amendoeiras tradicional de sequeiro e de abacateiros do Sítio das Ferrarias (Algoz)..... 89
- Figura 5-33 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados na cobertura de solo do pomar de amendoeiras de sequeiro composta por vegetação herbácea espontânea, com a do pomar de abacateiros, com cobertura de solo com camada de folhada, no Sítio das Ferrarias..... 90
- Figura 5-34 - Distribuição do C (t/ha) nos pomares do Sítio das Ferrarias nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea e folhada presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm). ..... 91
- Figura 5-35 – Percentagem de distribuição do C armazenado nos diferentes compartimentos (solo e cobertura de solo), Sítio das Ferrarias..... 91
- Figura 5-36 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Monte da Jóia. Pomar de abacateiros (B) e zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva (A)..... 93
- Figura 5-37 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de teor de C e kg C/m<sup>2</sup> determinadas nas amostras de solos do Monte da Jóia, na profundidade 0 a 20 cm. No pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa) e zona adjacente não cultivada (E/Vesp). ..... 94

Figura 5-38 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada, no Monte da Jónia. ....	95
Figura 5-39 - Comparação de valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm e de 0 a 20 cm, no pomar de abacateiros do Monte da Jónia.....	96
Figura 5-40 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados na cobertura de solo do pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa), com a zona não cultivada de Vesp, no Monte da Jónia. ....	97
Figura 5-41 - Distribuição do C (t/ha) no pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada no Monte da Jónia nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea e folhada presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm).....	98
Figura 5-42 – Percentagem de distribuição do C armazenado nos diferentes compartimentos (solo e cobertura de solo), Monte da Jónia. ....	98
Figura 5-43 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas em Messines. Pomar de abacateiros (A) e zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva (B).....	100
Figura 5-44 - Comparação entre valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) do teor de C das amostras de solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros (L/Fa e E/Vesp), com a zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva espontânea (E/Vesp) e aroeiras (L/Vesp).....	101
Figura 5-45 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$ erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros com área adjacente não cultivada, em Messines. Comparação de posições (A) e de cultura <i>versus</i> não cultivado (B).....	103
Figura 5-46 - Distribuição do C (t/ha) no pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada, em Messines, nos vários compartimentos estudados (folhada (L/Fa), camada com profundidade de 0 a 2 cm (L/Fa) e camada de profundidade de (0) 2 a 20 cm).....	106

## Índice de tabelas

Tabela 2-1- Sequestro de C pelos principais ecossistemas da floresta portuguesa, determinado por diferentes autores.....	15
Tabela 4-1 – Tabela com descrição dos locais/parâmetros de recolha de amostras de solo (0-20 cm), dos pomares e áreas adjacentes selecionados para este trabalho. .	40
Tabela 5-1- Composição granulométrica dos solos da Herdade da Zambujeira, no pomar de citrinos. ....	53
Tabela 5-2 - Composição granulométrica dos solos da Quinta dos Medeiros. ....	66
Tabela 5-3 - Composição granulométrica dos solos do Sítio do Calição, pomar de abacateiros <i>versus</i> Zona de encosta não cultivada com mato e arbustos.....	81
Tabela 5-4 - Composição granulométrica dos solos do Sítio das Ferrarias (Algoz). ....	84
Tabela 5-5 - Composição granulométrica dos solos do Monte da Jóia, pomar de abacateiros <i>versus</i> zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva.....	93
Tabela 5-6 - Composição granulométrica dos solos de Messines, pomar de abacateiros <i>versus</i> zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva.....	100
Tabela 5-7 - C armazenado nos solos na profundidade de 0 a 20 cm e na camada de folhada dos pomares estudados e áreas adjacentes.....	108
Tabela 5-8 - C armazenado no solo de povoamentos florestais, determinado por diferentes autores.....	109



## Lista de abreviaturas e siglas

<b>C</b>	Carbono
<b>Ca</b>	Casca de amêndoa
<b>CBPA</b>	Código de boas práticas agrícolas – Despacho nº 1230/2018
<b>CE</b>	Condutividade elétrica
<b>CFC</b>	Clorofluorcarbonetos
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CIS</b>	Carbono inorgânico do solo
<b>COS</b>	Carbono orgânico do solo
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>Dap</b>	Densidade aparente do solo
<b>E</b>	Entrelinha
<b>Fa</b>	Folhada
<b>GEE</b>	Gases de efeito de estufa
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>L</b>	Linha de plantação
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>MOS</b>	Matéria orgânica do solo
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono
<b>PLE</b>	Produtividade Líquida do Ecossistema
<b>PPB</b>	Produtividade Primária Bruta
<b>PPL</b>	Produtividade Primária Líquida
<b>ppm</b>	Partes por milhão
<b>Pg C</b>	Petagrama - 1 (Pg) equivalente a 10 <sup>9</sup> t ou 10 <sup>12</sup> kg ou 10 <sup>15</sup> g de C
<b>Ra</b>	Respiração Autotrófica
<b>Rh</b>	Respiração Heterotrófica
<b>SLCE</b>	Saldo líquido de carbono do ecossistema
<b>Vesp</b>	Vegetação espontânea
<b>Vsem</b>	Vegetação semeada

## 1. INTRODUÇÃO

Perante um quadro de alterações climáticas que podem afetar a produção agrícola, é importante, sobretudo nos agroecossistemas Mediterrânicos semiáridos, pôr em prática uma agricultura sustentável que mitigue os efeitos das adversidades climáticas. A fruticultura, com cerca de 30% do valor da produção vegetal em Portugal, conforme as Contas Económicas da Agricultura (INE), relativas a 2016, e com tendência de crescimento (GPP, 2018), deve pautar-se pelos pressupostos da sustentabilidade, preservando os recursos naturais, com especial destaque para o solo, que aloja grande parte da vida terrestre. Adotar técnicas e estratégias que melhorem a preservação dos recursos naturais, nomeadamente o solo e a água, tornou-se uma necessidade impreterível.

Uma das vertentes da sustentabilidade dos agroecossistemas é a sua capacidade de sequestro e armazenamento de carbono (C). Isto porque, à escala global, tem havido um aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, com presumível efeito no aumento da temperatura global. O excesso de CO<sub>2</sub> antropogénico na atmosfera é, em parte, removido pelos sumidouros naturais de C nos ecossistemas terrestres e no oceano (IPCC, 2013). Nos últimos anos muitos estudos foram realizados sobre os fluxos de C nos povoamentos florestais, alguns deles nas latitudes mediterrânicas, considerando os autores, as florestas, seguidas das pastagens, povoamentos estratégicos para a redução do aquecimento global (Abdalla et al., 2013; Liguori et al., 2009; Lorenz and Lal, 2014; Pan et al., 2011; Smith et al., 2005; Valentini et al., 2000)

Contrariamente, os sistemas agrícolas são referidos, com frequência, como fontes potenciais de aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico (Abdalla et al., 2013; Ceschia et al., 2010; Smith et al., 2008).

A fruticultura, como setor relevante da agricultura, tem uma elevada importância no sequestro de C atmosférico e no armazenamento deste no solo, como forma de contribuir para a minimização das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Porém, estão pouco estudadas as formas como os diferentes sistemas de cultivo trocam C com a atmosfera e o fixam no solo. A intervenção antrópica nos pomares faz com que estes apresentem um conjunto de características que os tornam diferentes das florestas naturais, em muitos aspetos relevantes para a troca de C. Os pomares apresentam menor biodiversidade do que as florestas naturais, o que tem influência na atividade biológica

do solo e na respiração; os nutrientes que as plantas necessitam são fornecidos nas quantidades adequadas, não sendo limitantes para o seu desenvolvimento; a realização de podas frequentes reduz a copa das árvores; a competição pela água é reduzida ou inexistente, devido à rega, não ocorrendo stress hídrico durante o verão, que seria a principal restrição à assimilação de C nos ecossistemas mediterrânicos (Testi et al., 2008).

Assim, os dados sobre os fluxos de C ao nível dos solos e da biomassa dos pomares não podem ser extrapolados a partir de estudos efetuados em povoamentos florestais, pastagens e montados. Devem ser elaborados estudos específicos para o efeito, no sentido de determinar se estes funcionam como sumidouros ou emissores de C e se efetivamente contribuem para a sustentabilidade e para a mitigação das alterações climáticas. Urge a execução de avaliações regionais, com intuito de quantificar o COS armazenado nos pomares. Sendo essencial determinar o stock de C, resultante de mudanças nas práticas culturais (tipo de cobertura de solo, rega deficitária, etc.).

O uso de práticas culturais diversas afeta diferentes componentes no saldo do C, sendo o efeito líquido sobre o balanço de C muito variável e dependente do meio envolvente, da temperatura e da humidade (Chenu et al., 2019).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agricultura desempenha papéis diferentes relativamente às alterações climáticas. Por um lado é particularmente sensível ao seu impacto, e, por outro, é responsável por cerca de 10-12 % do total de emissões de GEE, causadas pelo Homem (Pardo et al., 2017).

As áreas agrícolas, quer sejam de culturas anuais ou perenes, ocupam uma extensa área da superfície terrestre e desenvolvem-se sob uma enorme multiplicidade de condições climáticas. Conforme o IPCC (2013), os sistemas agrícolas possuem elevadas reservas de C e, como tal, dispõem de um enorme potencial de mitigação de emissões de C, através do seu sequestro.

O cultivo de árvores frutíferas perenes, conforme referido em Zanutelli et al. (2015), parece apresentar elevada capacidade de armazenamento de C, quer no solo, quer na biomassa aérea, apresentando-se como um contribuinte líquido para a mitigação das alterações climáticas e a sustentabilidade do planeta, sendo necessário dar-lhe o devido enfoque.

### 2.1. Gases de efeito de estufa (GEE) e as alterações climáticas

As alterações climáticas tornaram-se uma preocupação a nível mundial. As emissões de GEE, em grande parte devidas à ação humana, são consideradas as causas da alteração dos padrões climáticos (IPCC, 2013).

Alguns dos componentes minoritários da atmosfera são GEE, de origem natural ou antropogénica, com propriedades capazes de absorver a radiação infravermelha, tais como: o vapor de água (H<sub>2</sub>O), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), o ozono (O<sub>3</sub>), os clorofluorcarbonetos (CFC) entre outros. O CO<sub>2</sub> é o GEE que, pela sua quantidade, provoca um maior efeito radiativo na atmosfera e a sua emissão tem origem principalmente na queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e na desflorestação (IPCC, 2013).

Na Figura 2-1 podem observar-se dados recentes, que mostram que as concentrações atuais dos principais GEE na atmosfera, são as mais elevadas dos últimos anos, estando a concentração média de CO<sub>2</sub> próxima das 400 partes por milhão (ppm) (EEA Report, 2017).

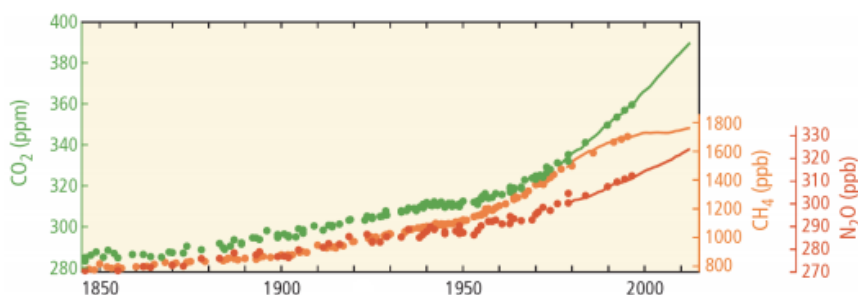


Figura 2-1 - Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O na atmosfera, entre 1850 e 2010.

Fonte: (EEA Report, 2017)

Entre o período de 1751 e 2011 os valores médios de emissão de C atmosférico foram de 555 Pg<sup>1</sup> C, dos quais 180 Pg C resultaram de desflorestação e outras alterações no uso da terra, e as restantes 375 Pg C resultaram de processos de combustão de combustíveis fósseis e fábricas de cimento. Do valor total de emissões de C, 240 Pg C acumularam-se na atmosfera, 160 Pg C nos ecossistemas terrestres naturais e o excedente foi incorporado no oceano (IPCC, 2013).

O aumento da concentração atmosférica dos diferentes gases com efeito de estufa, em particular o elevado aumento do CO<sub>2</sub>, tem ocorrido concomitantemente com o aumento da temperatura do ar. Entre 1951 e 2010, os GEE terão contribuído com valores de aumento de temperatura média entre 0,5 °C e 1,3 °C, para o aquecimento global da superfície do planeta. Algumas das previsões mais recentes estimam, para este século, aumentos da temperatura média ao nível da superfície do planeta entre 0,3 °C e 1,7 °C, e extremos entre 2,6 °C e 4,8 °C. A concretizarem-se, estes aumentos de temperatura conduzirão a alterações intensas nos teores de humidade do ar e, naturalmente, nos regimes de pluviosidade, ocasionando secas frequentes e extremas e redução da disponibilidade hídrica (IPCC, 2013).

## 2.2. Importância do ciclo global do carbono nos ecossistemas terrestres

As emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera integram-se no ciclo biogeoquímico do C e envolvem processos fundamentais como: a fotossíntese e a respiração (Burbano, 2018). Estes dois processos são, de certa forma, inversos já que a fotossíntese produz hidratos

<sup>1</sup> 1 Petagrama (Pg) equivale a 1 Gt ou 10<sup>9</sup> t ou 10<sup>12</sup> kg ou 10<sup>15</sup> g de C

de carbono e  $O_2$  a partir de  $CO_2$  e água e reduz as emissões de GEE, e a respiração gera  $CO_2$  e água a partir de hidratos de carbono e  $O_2$ , fazendo aumentar as emissões de GEE.



O C é o elemento químico central, entre os compostos de natureza orgânica, movimenta-se entre os oceanos, a atmosfera, a biosfera, o solo (zona da rizosfera) e a litosfera, onde se formam reservatórios ou depósitos de C, Figura 2-2. A circulação entre os diferentes reservatórios ocorre através de processos químicos, físicos e biológicos (Burbano, 2018).

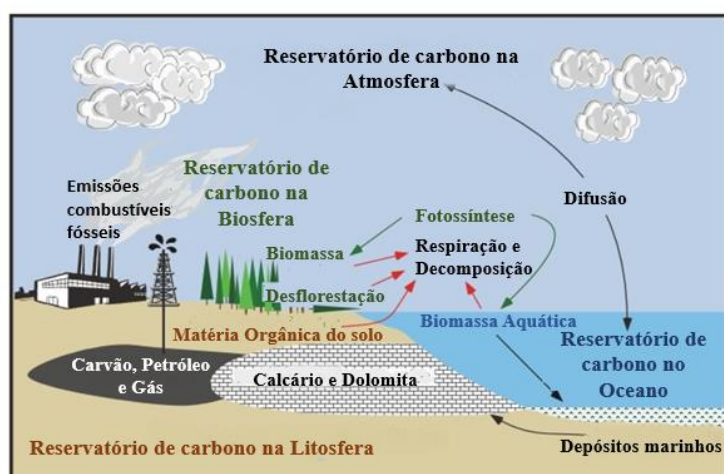


Figura 2-2 - Ciclo Natural do carbono.

Adaptado de: (“Standard methods for the examination of water and wastewater,” 2012).

O ciclo do C inicia-se com a fixação do  $CO_2$  atmosférico, através da fotossíntese realizada pelas plantas e alguns microrganismos. Os seres fotoautotróficos usam a energia luminosa para gerar compostos orgânicos, como é o caso da glicose, usando como fonte de C o  $CO_2$  e como fonte de elétrons/hidrogénio a água (Moreira, 2013). No processo de fotossíntese, o  $CO_2$  e a água reagem para formar hidratos de carbono e, em simultâneo, libertam  $O_2$  para a atmosfera. Parte destes hidratos de carbono são consumidos para fornecer energia à planta e/ou ficam armazenados nas folhas, ramos, troncos e raízes. Outra parte é consumida por animais, que também libertam  $CO_2$  resultante dos diversos processos metabólicos. As plantas e animais mortos, em última análise, são decompostos por microrganismos do solo e, como tal, o C existente nesses tecidos oxida-se e forma  $CO_2$ , que retorna à atmosfera (Burbano, 2018).

Existem quatro grandes reservatórios de C: a biosfera (onde se encontram moléculas orgânicas de organismos vivos e mortos); a atmosfera (na forma de  $CO_2$ ); o solo que se pode subdividir em zona da rizosfera, onde se encontra a matéria orgânica em maior

quantidade e que é explorada pelas raízes das plantas e a zona profunda, designada de litosfera, onde estão os combustíveis fósseis (carvão, gás natural e sedimentos rochosos) e os oceanos (CO<sub>2</sub> dissolvido e carbonato de cálcio, que se pode encontrar em conchas de organismos marinhos, com cerca de 38 000 Pg C, sendo o maior dos reservatórios) (Burbano, 2018), conforme Figura 2-2.

A capacidade do oceano sequestrar C advém da atividade de sequestro biológico das plantas aquáticas e da capacidade de solubilização do CO<sub>2</sub> na água (Sabine et al., 2004). No solo, ocorrem processos de respiração que libertam CO<sub>2</sub>. Estes processos resultam da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e da respiração das células das raízes das plantas (Nguyen, 2003). Esta produção de CO<sub>2</sub> é indicativa da taxa de decomposição e também da quantidade de C que é perdido pelo solo. As medições da respiração do solo possibilitam a determinação da contribuição do solo para o valor de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Burbano, 2018). É importante evidenciar ainda o papel do solo neste contexto e das suas duas reservas (carbono orgânico do solo (COS) e carbono inorgânico do solo (CIS)).

A dinâmica do ciclo de C é bastante oscilante no tempo e no espaço, sendo controlada pelos sistemas que têm aptidão para o trocar de forma ativa com a atmosfera, e são eles a vegetação e o solo.

É ainda importante esclarecer a diferença entre o conceito de reservatório e o de sequestro de C. O conceito de reservatório de C refere-se à quantidade de biomassa (em C) que um dado ecossistema armazena, tanto nos constituintes perenes (tronco, raízes, ramos, folhas), como no solo e expressa um valor por unidade de área (t/ha). Já o conceito de sequestro de C é dinâmico, correspondendo ao armazenamento líquido por unidade de tempo (t/ha/ano). Assim sendo, e a título de exemplo, podemos ter um povoamento florestal com um enorme reservatório de C, mas com baixa capacidade sequestradora de C e podemos ter culturas perenes, em modo de produção intensivo com elevada capacidade de sequestro de C e menor capacidade para reservatório de C (Macías et al., 2005).

### **2.3. Ecossistemas da região mediterrânica**

As alterações climáticas afetam sobremaneira os ecossistemas mediterrânicos, sendo a água o principal fator limitante. Prevê-se um cenário de aumento de temperatura, com vagas de calor mais frequentes e menor precipitação, em particular no período estival, aumentando os riscos de secas prolongadas. De realçar também a importância da ausência

de temperaturas suficientemente baixas no inverno, o que pode impossibilitar, em algumas plantas que necessitam deste estímulo, o desencadear dos processos de formação de gomos e quebra de dormência (Santos et al., 2019).

A produtividade primária das plantas é função direta da radiação solar interceptada por um dado coberto vegetal, desde que não ocorram restrições de outros fatores de crescimento (água e nutrientes). Uma árvore exposta a um clima mediterrânico, em sequeiro, terá a produtividade primária restringida, devido à falta de humidade no solo no verão. Se for conduzida com rega, a produtividade poderá aumentar, dado que o processo fotossintético continua durante o verão (Rodrigues et al., 2019).

A diminuição da precipitação reduz também o crescimento do coberto vegetal de um ecossistema. O aumento de temperatura, incrementa, ainda, o processo de mineralização do substrato orgânico do solo, pois estimula a atividade biológica. Assim, quanto mais quente e seco for um determinado ecossistema, menor tende a ser o teor de matéria orgânica no solo. As alterações climáticas previstas para a região mediterrânica irão contribuir para a redução da matéria orgânica do solo, agravando o risco de erosão (Rodrigues et al., 2019).

Uma das especificidades dos solos dos climas semiáridos é a sua propensão para a degradação, e, conseqüentemente, para a desertificação. A débil e reduzida cobertura vegetal torna-os mais expostos à erosão e aos fogos, favorecendo um maior avanço da degradação. Como tal, o reservatório de C nestes solos apresenta valores baixos, quando comparado com outros ecossistemas do globo (Correia et al., 2012).

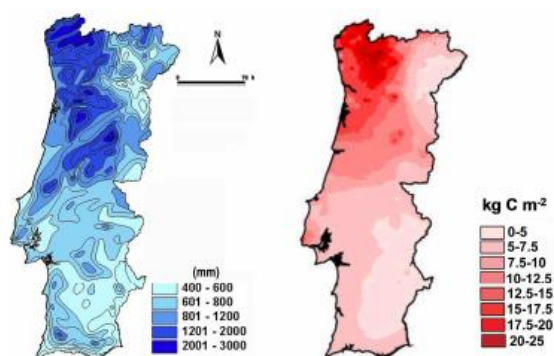


Figura 2-3 - Distribuição espacial da precipitação média anual (esquerda) e da quantidade de C no solo até à profundidade de 30 cm (direita).

Fonte:(Madeira et al., 2004).

Os solos da região mediterrânica são pobres em matéria orgânica, sendo de produtividade baixa e, com reduzida incorporação de material orgânico. Na Figura 2-3 observam-se valores de C no solo até à profundidade de 30 cm, verificando-se, na região Sul do país, os valores mais baixos, que se situam entre 0 e 7,5 kg/m<sup>2</sup>. As regiões, com menores valores de C no solo, correspondem a regiões com menores valores de precipitação média anual (Madeira et al., 2004).

É sobremaneira importante perceber quais são os efeitos do aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na fisiologia das plantas. A elevada presença deste gás na atmosfera pode ocasionar aumentos de produtividade no curto prazo, mas não no longo prazo.

Quando os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera são elevados, as taxas fotossintéticas aumentam devido a uma maior atividade e eficiência da enzima Rubisco<sup>2</sup>, dado que esta tem maior afinidade para o CO<sub>2</sub> do que para o O<sub>2</sub>. A Rubisco catalisa duas reações, a carboxilação (fixação do CO<sub>2</sub> na ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) com formação de duas moléculas de 3-fosfoglicerato) e a oxigenação (onde ocorre libertação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera - fotorrespiração). Ambas as reações competem entre si pelo centro ativo da Rubisco. Quando aumenta a pressão parcial de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares das folhas, favorece-se a carboxilação e, como tal, aumenta o C fixado. No entanto, este efeito é de curta duração. As plantas, quando sujeitas a ambientes com elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, durante longos períodos, tendem para o ajustamento das taxas de fotossíntese para níveis mais baixos. Este ajustamento é designado por “*down-regulation*” e pode dever-se a limitações estomáticas, resultantes da menor condutância foliar perante uma concentração elevada de CO<sub>2</sub>, ou a uma limitação metabólica, devida à redução da atividade de carboxilação (Sanz-Sáez et al., 2010). Assim, a longo prazo o efeito do aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, não será um aumento considerável da produtividade, mas apenas um aumento moderado.

Com o aumento da temperatura na região do Mediterrâneo, a solubilidade relativa do O<sub>2</sub> aumenta e a afinidade da Rubisco para o CO<sub>2</sub> diminui mais rapidamente do que a afinidade do O<sub>2</sub>. Deste facto resulta uma diminuição da taxa de fotossíntese, devido ao aumento relativo da reação de oxigenação. Nestas regiões, onde ocorrerá aumento de

---

<sup>2</sup> A Rubisco (ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase/oxigenase) é a enzima responsável pela fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico, sendo catalisadora da primeira fase do ciclo de Calvin.

stress hídrico no futuro, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera poderá compensar parte dos efeitos negativos da falta de água, ainda que ocorra “*down regulation*” da fotossíntese (Chaves and Pereira, 1992; Kupper et al., 2006).

No ciclo global do C existem duas possibilidades de redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera: uma será pela redução das fontes de emissão e outra pelo aumento substancial de sumidouros de C.

#### **2.4. Sequestro de carbono nos ecossistemas terrestres**

O conceito de sequestro de C foi instituído pela Conferência de Quioto, em 1997. A utilização do sequestro de C, tratando-se de um processo natural, tem por objetivo contrariar o efeito de estufa e serve de certa forma para estabelecer um equilíbrio entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o armazenamento de C na biomassa e no solo (EEA Report, 2017).

O CO<sub>2</sub> sequestrado pelas plantas é resultado da diferença entre o CO<sub>2</sub> atmosférico absorvido durante o processo de fotossíntese e o CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera durante a respiração. Esta diferença é convertida em biomassa e varia entre 45 e 50% do peso seco da planta. Deste modo, se o crescimento for elevado, a vegetação natural e as culturas agrícolas tornam-se sumidouros de carbono importantes, podendo a agricultura ser um mecanismo eficaz para mitigar o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico (Espada Carbó, 2013).

O papel dos ecossistemas terrestres no sequestro do C pode ser dividido em três grandes componentes: biomassa aérea, biomassa subterrânea e matéria orgânica do solo (Pereira et al., 2009) .

O CO<sub>2</sub> proveniente da atmosfera, aloja-se em formas protegidas de C no solo e na biomassa das plantas. Este processo compreende três fases: 1) a assimilação de CO<sub>2</sub> da atmosfera, realizada pelo processo de fotossíntese das plantas referido anteriormente; 2) a transferência de C do CO<sub>2</sub> para C orgânico da biomassa vegetal; e 3) a transferência do C da biomassa vegetal para o solo, onde é armazenado na forma de C orgânico, na reserva mais lábil (onde se encontram os resíduos vegetais recentes, que podem ser facilmente decompostos pelos microrganismos do solo e gerar emissões de CO<sub>2</sub> ) (Lefèvre et al., 2017).

#### **2.5. Armazenamento de carbono nos solos agrícolas**

Nos últimos anos, os solos têm sido objeto de atenção redobrada, devido à sua importância na prestação de serviços ecossistémicos e à sua capacidade e potencial para ajudar a mitigar as alterações climáticas, através do armazenamento de C. Esta atenção é

reforçada pela constatação da degradação generalizada dos solos em grande parte do planeta (Lal et al., 2015; Paustian et al., 2019).

Os solos contêm uma das maiores reservas de C orgânico do planeta. Estima-se que a quantidade de C armazenado no solo até um metro de profundidade seja três vezes superior à quantidade de C armazenado no reservatório biótico, e duas vezes superior à quantidade existente na atmosfera (Lal et al., 2015). Os valores estimados são de 2157-2293 Pg<sup>3</sup> de C dos 0-100 cm (sendo 684-724 Pg de C na camada até 30 cm e 1462-1548 Pg de C, nos 70 cm restantes) (Batjes, 2014; Farrelly et al., 2013; Lal et al., 2015).

Os solos têm na sua constituição C na forma orgânica e inorgânica, formando a soma de ambos o C total. Na maior parte dos solos (exceção para os solos calcários), a maioria do C (cerca de 70%), é COS. O CIS está normalmente presente em minerais carbonatados, como o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e a dolomite (MgCO<sub>3</sub>) (Batjes, 2014).

O armazenamento de C no solo depende das características do solo, das mobilizações praticadas e do sistema de uso da terra. Existe uma forte correlação entre as práticas de mobilização do solo e o teor de matéria orgânica deste. Nos solos expostos a mobilização intensa, a acumulação de matéria orgânica e, logo, de C, é menor. A redução da mobilização e/ou a não mobilização do solo, promove o aumento do teor de matéria orgânica e de C. Também os resíduos das culturas deixados no solo poderão contribuir para aumento do sequestro de C (Calouro, 2005).

Ainda, conforme Calouro (2005), o armazenamento é mais baixo nos solos arenosos e esqueléticos (com cerca de 40 t/ha) e mais elevado nos solos argilosos (cerca de 100 t/ha). Em Portugal, são poucos os elementos sobre a capacidade de os solos agrícolas servirem de sumidouro de C. Calouro (2005) cita uma comunicação pessoal de Costa (1994) onde se estima para Portugal, um valor médio de C armazenado nos solos agrícolas de 47 t/ha (sem referência de profundidade), também em Bopp et al. (2019) se refere um valor médio de C nos solos dos pomares (0 a 30 cm) de 47 t/ha e nas vinhas de 34 t/ha. Num trabalho de Madeira et al. (2004) refere-se que a quantidade de CO (profundidade de 0 a 30 cm) nos solos de Portugal Continental varia entre 0,21 kg/m<sup>2</sup> e 23,50 kg/m<sup>2</sup>.

---

<sup>3</sup> 1 Petagrama (Pg) equivale a 1 Gt ou 10<sup>9</sup> t ou 10<sup>12</sup> kg ou 10<sup>15</sup> g.

Nas zonas com maior produtividade vegetal, verificou-se maior acumulação de C, independentemente da ocupação do solo. A taxa de sequestro de C varia de acordo com diferentes fatores bióticos e abióticos, com o tipo de estrutura e textura do solo, com a quantidade de precipitação, com a temperatura, e com a forma de gestão do solo e das práticas culturais. A variedade de fatores que influenciam na reserva de C, dá lugar a uma elevada heterogeneidade, o que torna difícil quantificar as variações do COS ao longo do tempo (Lal et al., 2015; Lorenz and Lal, 2014; Varennes, 2003).

## 2.6. Métodos de determinação do carbono orgânico do solo (COS)

A quantidade de C armazenado no solo é influenciada por muitos fatores, como referido anteriormente. A determinação do teor de COS, apesar de se afigurar como uma variável simples, pode suscitar muitas dificuldades e dúvidas.

Uma avaliação do teor de COS envolve várias etapas: estratégia e data de amostragem; escolha de instrumentos para recolha de amostras, determinação de profundidades e técnicas de amostragem; manuseamento, armazenamento e rotulagem de amostras; análises laboratoriais e técnicas de verificação (Davis et al., 2017).

As diferentes metodologias, usadas em cada etapa, podem levar a diferentes valores de COS estimados para o mesmo local (Davis et al., 2017; Olson and Al-Kaisi, 2015). É também de extrema importância definir se as medições se destinam a determinar as concentrações de C no solo (mg/kg) ou a estimar os stocks de C no solo ( $\text{g/m}^3$ ) (Davis et al., 2017).

O teor de C presente nos solos, pode apresentar-se em toneladas por hectare (t/ha) e pode calcular-se pela seguinte fórmula (Batjes, 2014; Farina et al., 2017; Muñoz-Rojas et al., 2015; Poeplau and Don, 2015):

$$TCS = CO \times DA \times P \times (1 - G)$$

Sendo:  $TCS$  (t/ha) – teor de C no solo;  $CO$  (%) - C orgânico;  $DA$  ( $\text{g/cm}^3$ ) - densidade aparente;  $P$  (cm) - profundidade do perfil da amostra; e  $G$  (g/100g) - fração grosseira.

A matéria orgânica tem na sua composição cerca de 58% de C, sendo a determinação do carbono orgânico total (COT) muitas vezes utilizada para estimar a fração orgânica do solo (Batjes, 2014; Lorenz and Lal, 2014).

Para o estudo dos teores e dinâmicas do COS e do CIS devem ser utilizados métodos analíticos precisos. Existem, atualmente, métodos analíticos destrutivos e não destrutivos para determinação da MOS, sendo os destrutivos os mais utilizados.

Dentre os métodos destrutivos, existem metodologias que utilizam oxidação húmida e outras utilizam a combustão seca (Batjes, 2014). Os métodos que recorrem ao uso da combustão seca são: a análise elementar CHN/O e o método de calcinação ou perda de massa por ignição (LOI). E os métodos que recorrem ao uso da oxidação húmida são: o método de Walkley-Black, o método de Mebius, o método colorimétrico e o método do peróxido de hidrogénio (Gatto et al., 2009; Nelson and Sommers, 1996).

Nos últimos anos, começou a recorrer-se à utilização de métodos não destrutivos. As novas técnicas, como a espectroscopia por infravermelhos ou Vis-NIR e a deteção remota têm sido utilizadas como alternativas para complementar ou substituir os métodos analíticos convencionais. Também, os métodos micrometeorológicos (medição direta de fluxos de CO<sub>2</sub> - covariância turbulenta (Eddy covariance (EC)) têm vindo a ser usados para estimar o stock de C nos diferentes ecossistemas (Bisutti et al., 2004; Paustian et al., 2019; Sato et al., 2014).

Em geral, os métodos baseados na oxidação húmida tendem a subestimar o nível de COS, face aos métodos de referência (análise elementar CHN/O), enquanto o método de calcinação o sobrestima (Bisutti et al., 2004; Sato et al., 2014).

Os métodos ditos 'clássicos' de oxidação química (com dicromato), usados para a determinação do COT, são de utilização simples, mas durante o procedimento nem todos os compostos orgânicos do solo são completamente oxidados e também outros constituintes do solo (como por exemplo o Fe<sup>2+</sup>) podem ser oxidados, levando a valores de COT incorretos (Bisutti et al., 2004).

A determinação do COT em solos, com base no método de análise elementar CHN/O é bastante rigorosa e precisa, sendo o COS e o CIS separados por diferentes temperaturas de combustão, 500° C (COS) e 900° C (CIS) respetivamente (Bisutti et al., 2004).

## **2.7. Contribuição das florestas para o sequestro de carbono**

As florestas prestam um serviço ambiental de armazenamento e sequestro do CO<sub>2</sub> da atmosfera, de elevada importância em contexto de alterações climáticas, reconhecido a nível internacional, materializando-se na assinatura de vários acordos (Protocolo de

Quioto e a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas) (Correia et al., 2010).

Nas florestas, tal como, em particular, nos solos, existe elevada interferência dos fatores bióticos e abióticos na capacidade de sequestro de C, havendo diferenciações significativas por espécies florestais (A. P. Correia et al., 2005; Zanotelli et al., 2018).

### 2.7.1. Métodos de determinação de sequestro de carbono

A capacidade de sequestro de C das florestas pode ser determinada pelo método da variação de stocks, no qual o C da biomassa e/ou do solo é medido e/ou estimado em momentos diferentes, refletindo a variação verificada, a produtividade do sistema (Ravindranath and Ostwald, 2008).

Pode ainda determinar-se pelo método dos fluxos de C, que consiste na medição direta da quantidade de C (entradas e saídas de CO<sub>2</sub> n) que é fixado pela vegetação e que pode ser acumulado a longo prazo no ecossistema (biomassa aérea das árvores, vegetação herbácea e matéria orgânica do solo) (Ravindranath and Ostwald, 2008).

Quando se determina a quantidade de C fixado pelas florestas pelo método de fluxos de C, a atividade fotossintética é denominada de Produtividade Primária Bruta (PPB) do ecossistema. À PPB são deduzidas as perdas pela Respiração Autotrófica (Ra) das plantas, obtendo-se a Produtividade Primária Líquida (PPL). Se à PPL deduzirmos ainda as perdas pela respiração dos organismos heterotróficos (Respiração Heterotrófica (Rh)), obtém-se a Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), ou seja, o saldo de carbono do ecossistema, conforme Figura 2-4 (A. P. Correia et al., 2005).

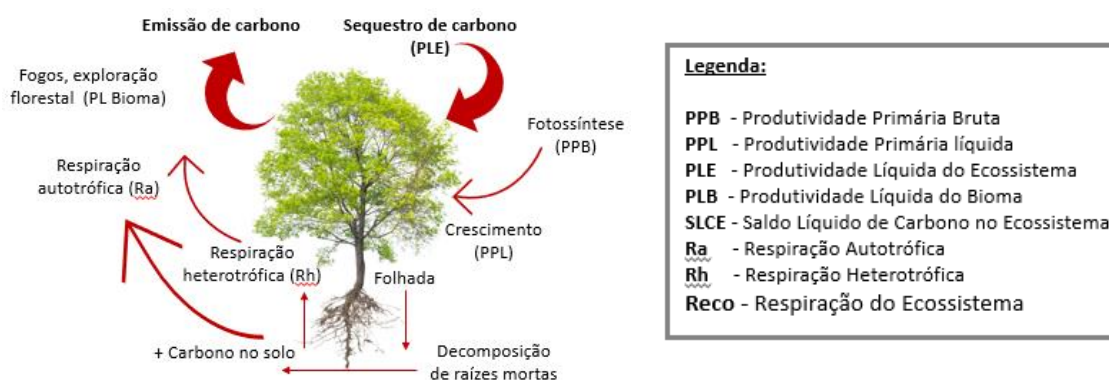


Figura 2-4 - Os Principais fluxos de C na floresta, entre a biomassa e o solo.

Fonte: Elaboração própria, com utilização de imagem de árvore

<https://thumbs.dreamstime.com/z/%C3%A1rvore-com-uma-raiz-em-um-branco-45849291.jpg>

Se a PLE for positiva significa que o ecossistema atua como sumidouro de CO<sub>2</sub>, e se for negativa significa que atua como fonte (A. P. Correia et al., 2005; Zanotelli et al., 2018). O saldo anual de C dos povoamentos florestais é tendencialmente positivo. As perdas existentes resultam da respiração e mortalidade dos tecidos vegetais, mas também podem ocorrer perdas devido aos cortes e exploração de produtos florestais e ainda as devidas a emissões decorrentes dos incêndios florestais (A. P. Correia et al., 2005). Também os dados referidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (Maciel et al., 2012), mostram um saldo positivo entre o sequestro e as emissões de GEE no setor “ocupação do solo, alterações na ocupação do solo e da floresta”, Land Use, Land-Use Change and Forest (LULUCF)<sup>4</sup>.

### 2.7.2. Taxas de sequestro de carbono de algumas espécies florestais em Portugal

Os ecossistemas florestais portugueses dividem-se em quatro grandes grupos, ou formações florestais: pinhais (constituídos por povoamentos de pinheiro-bravo e pinheiro-manso); folhosas perenifólias (“montados”, sobreirais e azinhais); folhosas caducifólias (carvalhos, castanheiros e outras); e as folhosas silvo-industriais (eucaliptais) (ICNF, n.d.; Pereira et al., 2009). Os pinhais e os eucaliptais representam cerca de 50% da floresta portuguesa (Pereira et al., 2009), conforme Figura 2-5.

Dados de 2007 mostram que a floresta nacional sequestrou 5,44 milhões de toneladas (Mt) de CO<sub>2</sub> (Pereira et al., 2009).

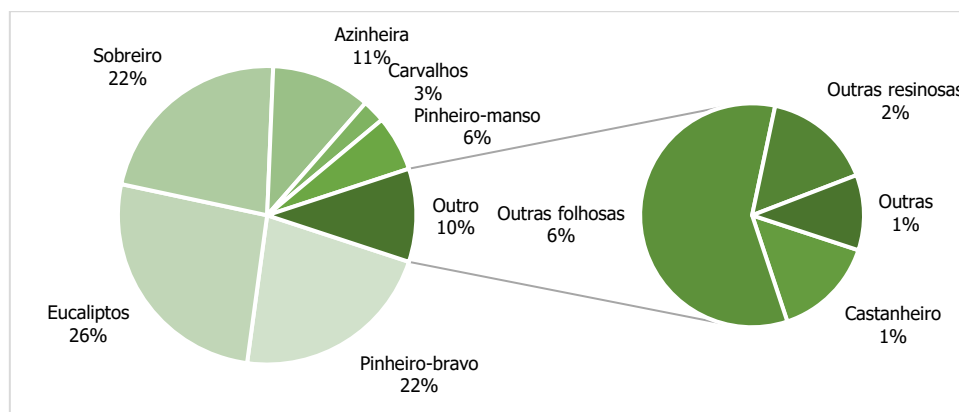


Figura 2-5- Distribuição das áreas das espécies florestais em Portugal continental em 2015.

Fonte: Elaboração própria baseada em dados XLS, relativos a 2015, disponibilizados por (ICNF, n.d.).

<sup>4</sup> LULUCF – Land Use, Land use Change and Forests

Na Tabela 2-1 apresentam-se valores de PLE (diferença entre a PPL e a Rh) determinados durante o crescimento de alguns tipos de floresta mais representativos e de estudos mais recentes. Destacando-se o eucalipto com sequestro de C entre 15-32 t CO<sub>2</sub>/ha/ano e o pinheiro-bravo, com um sequestro entre 15-26 t CO<sub>2</sub>/ha/ano. As restantes espécies apresentam valores substancialmente mais baixos, (Pereira et al., 2009).

Os valores de sequestro de C referidos para o pinheiro-bravo foram obtidos através da utilização de equações alométricas; os valores para o eucalipto e o sobreiro foram obtidos por determinação da PLE durante o crescimento e os valores relativos ao pinheiro-manso foram obtidos a partir de amostragem destrutiva de plantas (Pereira et al., 2009). No entanto, os dados variam em função do método utilizado, o que coloca algumas dúvidas, aquando da comparação dos valores.

Tabela 2-1- Sequestro de C pelos principais ecossistemas da floresta portuguesa, determinado por diferentes autores.

Ecossistema florestal	Taxa de Sequestro (t C/ha/ano)	Taxa de Sequestro (t CO <sub>2</sub> /ha/ano)	Método de cálculo	Referências
Sobreiro ( <i>Quercus suber</i> L.)	0,27 - 1,88	1,00 – 6,89	Fluxo de carbono	(Pereira et al., 2007)
Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.)	4,10 - 8,73	15,00 - 32,00	Fluxo de carbono	(Pereira et al., 2007)
Pinheiro-bravo ( <i>Pinus pinaster</i> Aiton.)	4,10 - 7,09	15,00 - 26,00	Equações alométricas	(A. P. Correia et al., 2005; A. Correia et al., 2005)
Carvalho-negral ( <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.)	1,45	5,32	Fluxo de carbono	(Pereira et al., 2009)
Pinheiro-manso ( <i>Pinus pinea</i> L.)	1,50	5,50	Amostragem destrutiva	(Correia et al., 2008)

1 t C é equivalente a 3,667 t de CO<sub>2</sub>

## 2.8. Contribuição das espécies frutíferas para o sequestro de carbono

Um estudo realizado em pomares de macieiras durante 20 anos (1990 a 2010), na China, mostrou que o sequestro líquido de C por estes pomares variou entre 14 e 32 milhões de toneladas de C e o armazenamento de C na biomassa variou entre 230 e 475 milhões de toneladas. Estes pomares representam 0,9% da área total da China (8,67 milhões de hectares de uma superfície total de 959,7 milhões de hectares) representando 4,5% do sequestro de C de todos os ecossistemas terrestres na China (Wu et al., 2012).

Os ecossistemas de algumas árvores frutíferas estudados na região semiárida do Mediterrâneo apresentaram um potencial de remoção líquida de C, com valores próximos

das florestas, que variam entre 240 e 1250 g C/m<sup>2</sup>/ano (Montanaro et al., 2017a, 2017b). Em pomares de macieiras (*Malus domestica* Borkh.) foram medidos valores de cerca de 380 g C/m<sup>2</sup>/ano, em pomares de laranjeiras (*Citrus sinensis* L.) mediram-se valores entre 240 e 330 g C/m<sup>2</sup>/ano e em olivais de regadio, valores entre 760 e 1250 g C/m<sup>2</sup>/ano (Montanaro et al., 2017b; Testi et al., 2008). Os pomares podem contribuir para manter um armazenamento de longo prazo de C, no solo e um armazenamento de C menos duradouro na biomassa (madeira – troncos e ramos) (Montagnini and Nair, 2004; Scandellari et al., 2016; Zanutelli et al., 2015).

A bacia do Mediterrâneo é uma das áreas importantes no mundo para a agricultura, expandindo-se por uma extensa área com cerca de 21 M ha localizada no Sul da Europa e Norte da África, com culturas hortícolas, pomares de citrinos, olivais, amendoeiras e vinhas, grande parte afetos à exportação (Pardo et al., 2017).

A partir do CO<sub>2</sub> capturado na atmosfera, as espécies frutíferas formam um stock de C na biomassa aérea e subterrânea. Nestes ecossistemas, o enrelvamento e as sebes, são relevantes na quantidade de C armazenado ao longo da vida dos pomares. Os reservatórios de C temporários (folhas, frutos e pequenos ramos), retornam o C ao solo, aquando da sua queda, formando as folhadas. Estas vão-se incorporando e fragmentando lentamente no solo, e com a ajuda dos microrganismos decompositores formam parte da matéria orgânica do solo (matéria orgânica livre). Parte desta matéria orgânica permanece estável no solo, designando-se de húmus. Este pode permanecer no solo em média 27 anos, antes de ocorrer a mineralização (Stockmann et al., 2013). A outra parte do C fragmentado é mineralizado, durante este processo. Cerca de 60% desse C é convertido em CO<sub>2</sub> e os restantes 40% são assimilados pelos microrganismos do solo (Bopp et al., 2019). O fluxo de CO<sub>2</sub> libertado pela mineralização da matéria orgânica do solo é designado de respiração do solo, sendo o principal fluxo emissor de CO<sub>2</sub> dos pomares, estimando-se uma emissão média de 6,8 t/ha/ano. As raízes das árvores, por rizodeposição (secreção de compostos) podem fixar no solo entre 5 a 15% de C, dependendo da espécie (Bopp et al., 2019).

Os pomares diferem das culturas anuais devido à sua capacidade maior e mais duradoura de armazenamento de C, dado que permanecem no solo durante vários anos (Baldi et al., 2018; Iglesias et al., 2013; Smith et al., 2008; Zanutelli et al., 2018). Também, as práticas de cultivo do solo são mais reduzidas, ocorrendo uma lavoura, aquando da plantação do pomar e posterior manutenção das entrelinhas com

envelhecimento, para reduzir a erosão e melhorar a matéria orgânica do solo (Baldi et al., 2018).

Quando se mede o C, pelo método dos fluxos de C, nas espécies frutíferas obtém-se uma representação, conforme Figura 2-6.

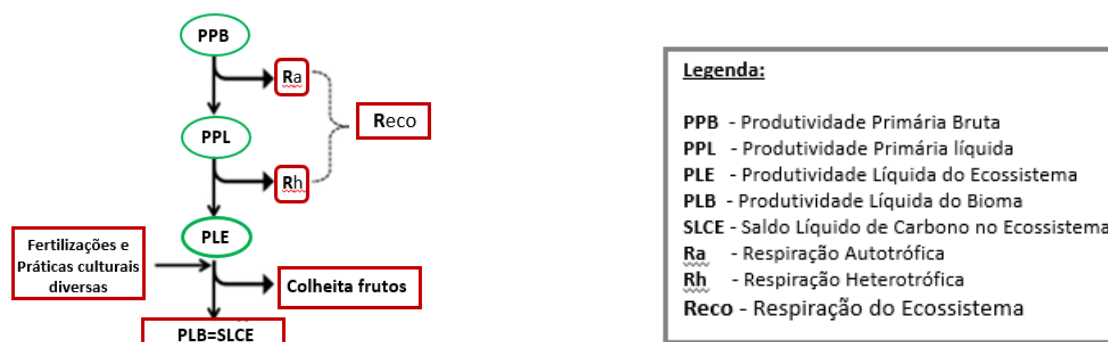


Figura 2-6 - Fluxos de carbono em Agroecossistemas.

Adaptado de (Zanotelli et al., 2018).

Num estudo realizado por Zanotelli et al. (2015), em pomares de macieiras, obtiveram-se valores de PPL entre 18,2 e 23,4 t de peso seco/ha. Valores que se encontram em conformidade com outras investigações citadas de Palmer et al. (2002) na Nova Zelândia (28 t/ha) e Lakso (2011) nos EUA (entre 14 e 18 t/ha). Estes pomares encontravam-se com gestão semelhante, sendo as diferenças atribuídas à diferente duração da época de crescimento e a fatores ambientais (radiação e temperaturas). Concluíram também que as macieiras têm níveis respiratórios relativamente baixos, possivelmente devido à elevada capacidade de fixação de C, assimilada pelos frutos e devido à biomassa relativamente reduzida. Sendo o saldo líquido C do ecossistema (SLCE) do pomar de macieiras de 69 g C/m<sup>2</sup>/ano. Este armazenamento de C ocorre, sobretudo, nos órgãos lenhosos subterrâneos e aéreos (Zanotelli et al., 2015).

Os órgãos lenhosos, são os que armazenam maior quantidade de C, no entanto, estes valores variam consoante a espécie, e dentro da mesma espécie em função dos diversos fatores bióticos e das diversas práticas culturais. Num trabalho realizado por Wu et al. (2012), referem-se valores de C na biomassa lenhosa de 4,14 t/ha para pomares de macieiras de 18 anos, mas em Bopp et al. (2019), cita-se Rosemary (2013) in “Carbon Storage in Orchard” que obteve valores C na biomassa lenhosa de 180 t/ha para macieiras de sidra velhas. Em Scandellari et al.(2016), refere-se que em ecossistemas de árvores frutíferas maduras obtiveram-se valores de PLE positivos entre 4,30 t C/ha/ano em

macieiras e 7,5 t C/ha/ano em vinhas e valores de saldo líquido de C do ecossistema (SLCE) entre 0,6 a 5,9 t C/ha/ano, respetivamente.

Em pomares de pessegueiros (*Prunus persica*), em Itália e sob influência de práticas culturais sustentáveis, registaram-se valores de SLCE próximos de 730 g C/m<sup>2</sup>/ano. Os resultados do sequestro de C durante a vida do pomar apresentaram capacidade de sequestrar C atmosférico sob condições mediterrâneas até 25 t/C. Sendo um valor considerável de mitigação de GEE (Montanaro et al., 2017a). Num estudo de Correia et al. (2017b), em alfarrobeira (*Ceratonia siliqua L.*), no Algarve obtiveram-se valores de 20 t/ha e 17,8 t/ha de C sequestrado na biomassa, em pomares puro e mistos, respetivamente.

O potencial de sequestro de C destes ecossistemas é elevado e não deve ser menosprezado face ao potencial das florestas.

## **2.9. O ciclo de carbono real numa exploração agrícola (pomar)**

O saldo de C de um agro-sistema é determinado pela diferença entre as operações com práticas culturais efetuadas no ciclo de cultivo, e que levam à emissão de C (fonte de emissão) e o efeito de fixação de C do agro-sistema (efeito de sumidouro ou capacidade de absorção C pela cultura e posterior sequestro no solo).

A metodologia a definir para a análise do saldo de C, consiste em analisar a influência das práticas agrícolas no ciclo C das culturas, contabilizando ou estimando o fluxo líquido de C para a atmosfera. Considerando-se, para tal, o C sequestrado pelo ecossistema da cultura, o C capturado pela biomassa e as emissões de C associadas às práticas culturais necessárias para a produção agrícola (López-Bellido Garrido, 2017; West and Marland, 2002).

## **2.10. Importância das práticas culturais favoráveis ao armazenamento de C nos solos e na biomassa das plantas**

O valor de C fixado no solo pode aumentar, se forem adotadas boas práticas agrícolas. Na região do mediterrâneo, durante a última década, a agricultura de conservação ganhou importância como alternativa viável aos sistemas agrícolas tradicionais (Pardo et al., 2017).

A agricultura de conservação baseia-se em quatro práticas fundamentais: a sementeira direta (cultivo direto no restolho, sem lavoura); a mobilização reduzida (trabalhos superficiais de preparação do terreno reduzidos e com incorporação do restolho); a implementação de um coberto vegetal (para melhorar a proteção do solo) e a rotação de

culturas. As práticas referidas promovem o aumento das reservas de C orgânico no solo, uma maior atividade biológica, diminuição dos custos com a preparação dos solos, nomeadamente em horas de trabalho e energia e menor necessidade de adubos químicos, (Bopp et al., 2019; Chenu et al., 2019; Roxo et al., 2016).

As culturas de cobertura reduzem a necessidade de lavoura e cobrem o solo durante grande parte do ano, conferindo-lhe proteção contra agentes erosivos, melhorando a infiltração de água e a manutenção do seu teor em matéria orgânica, consequentemente aumentam o stock de C no solo. Os tipos de coberto vegetal podem ser vegetação espontânea controlada, cultivo de gramíneas, leguminosas ou outras (Bopp et al., 2019; Roxo et al., 2016).

### **2.10.1. Culturas de cobertura (enrelvamento)**

Os cobertos vegetais são um aspeto muito relevante na técnica cultural dos pomares. Conforme Bopp et al. (2019), os cobertos vegetais aumentam o armazenamento de C, porque produzem biomassa e restituem-na ao solo, aquando da sua decomposição. Nos estudos efetuados, relativamente aos fluxos de armazenamento de C, observaram-se valores próximos de 0,49 t/ha, ao longo de um período de 20 anos, para coberturas com enrelvamento em toda a superfície do pomar. Em vinhas, com enrelvamento nas entrelinhas registaram-se valores próximos de 0,33 t/ha ao longo de 20 anos. A gestão da cobertura de solo determina as contribuições de C para o solo, a frequência de corte tem uma influência significativa sobre o stock de C no solo. Em pomares e vinhas com enrelvamento permanente, Chenu et al. (2019) registou valores entre 0,1 e 0,5 t C/ha/ano, superiores aos registados em pomares sem cobertura.

As culturas de cobertura quando usadas como um adubo verde são uma prática cultural importante para aumentar o stock de COS em solos agrícolas (Poeplau and Don, 2015). A vantagem da sua utilização é que elas não diminuem a produtividade e diminuem as perdas de C por erosão e lixiviação. Poeplau & Don (2015), recolheram dados de 139 parcelas com culturas de cobertura e verificaram que houve um aumento significativo do stock de COS, tendo sido estimada para um período de 50 anos uma compensação de 8% das emissões anuais diretas de GEE da agricultura.

### **2.10.2. Importância das sebes**

As sebes permitem um aumento do retorno de C ao solo através da restituição de matéria orgânica (folhas mortas, ramos), e da renovação das raízes finas e exsudados das

raízes (Bopp et al., 2019). Alguns trabalhos mostram que culturas com presença de sebes apresentam níveis de C mais elevados nos solos. Sendo estimado um valor de cerca 0,02 t C/ha/ano (Bopp et al., 2019).

### 3. OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação foi verificar se o uso da terra nos pomares é significativamente diferente do uso da terra nas florestas e nos solos não cultivados, em termos de capacidade de armazenamento e sequestro de C, nos casos em que os pomares cumprem os pressupostos do Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA), aprovado pelo despacho número 1230/2018. A hipótese a testar foi a de que o stock de C existente no solo, tal como o stock de C orgânico do solo, apresentam valores muito aproximados, quer se trate de pomares, quer se trate de floresta ou solos não cultivados, desde que, evidentemente, se cumpra o CBPA. Para verificar esta hipótese foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

**1.** Avaliar a capacidade de sumidouro de C dos solos e da biomassa do coberto vegetal que os protege, de pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras, em modo de produção integrada e com diferentes práticas culturais a nível de cobertura de solo, por serem estas práticas um dos fatores que mais fazem variar o sequestro de C nos ecossistemas, para além dos fatores climáticos, não controláveis em pomares sem abrigos. Para isso foi determinada a quantidade de C armazenada na biomassa da cobertura vegetal dos solos (vegetação espontânea, vegetação semeada e camada de folhada, quando existente), bem como a quantidade de C, armazenada nos solos;

**2.** Comparar os valores obtidos de armazenamento de C nos solos e cobertos vegetais dos pomares em estudo, com os valores descritos nos diversos trabalhos científicos para outros usos da terra, nomeadamente florestas e solos não cultivados e avaliar o potencial de armazenamento de C dos pomares, como sistema de uso do solo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

A recolha de amostras, bem como as diversas observações e medições necessárias para este trabalho, decorreram em seis áreas de estudo cada uma das quais incluía pomares e respetivas áreas adjacentes. O trabalho inclui três áreas de estudo no concelho de Silves, duas no concelho de Vila Real de Santo António e uma no concelho de Ferreira do Alentejo, conforme Figura 4-1.

O primeiro pomar estudado, situa-se na localidade de Peroguarda, concelho de Ferreira do Alentejo, conforme Figura 4-1 e é gerido pela empresa Valenciagro, do grupo Martinavarro. Este pomar está a ser acompanhado pela Universidade do Algarve no âmbito do projeto LIFE Vida for Citrus “Development of sustainable control strategies for citric under threat of climate change and preventing entry of HLB in EU” LIFE18 CCA/ES/001109, do qual a empresa Martinavarro é parceira.

Estudaram-se, ainda, dois pomares localizados na freguesia de Vila Nova de Cacela, concelho de Vila Real de Santo António, mais concretamente, no sítio do Buraco e no Sítio do Calião, conforme Figura 4-1. As restantes três áreas estudadas localizam-se no concelho de Silves, situando-se uma delas na freguesia de Silves (Cerro de São Miguel), outra na freguesia de Algoz e a última na freguesia de São Bartolomeu de Messines, conforme Figura 4-1. A seleção destes pomares deveu-se à existência de locais com distintas ocupações do solo, passíveis de comparação.



Figura 4-1- Mapas com localização das áreas em estudo (Ferreira do Alentejo, Vila Nova Cacela e Silves). Fonte: Google Earth Pro e INIAV, 2022.

O clima das áreas em estudo neste trabalho, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger é Csa, temperado, de tipo mediterrânico, com verão quente e seco e inverno temperado e húmido, (IPMA, 2022). Evidencia-se uma clara distinção entre as duas estações características do clima mediterrâneo. As temperaturas médias mensais mais altas observam-se nos meses com menor precipitação (entre junho e setembro) e, os meses mais frios coincidem com as precipitações médias mais elevadas (IPMA, 2022).

## 4.1 Caracterização das áreas em estudo

### 4.1.1. Herdade da Zambujeira (Ferreira do Alentejo)

#### 4.1.1.1. Localização e caracterização edafoclimática

Os trabalhos de amostragens e medições decorreram num pomar de tangerineira ‘Nadorcott’ situado na Herdade da Zambujeira (coordenadas GPS: 38°09’41.71’’N, -8°02’36.01’’O e altitude de 145 metros), na freguesia de Peroguarda, concelho de Ferreira do Alentejo, distrito de Beja e na região do Baixo Alentejo, conforme Figura 4-2.

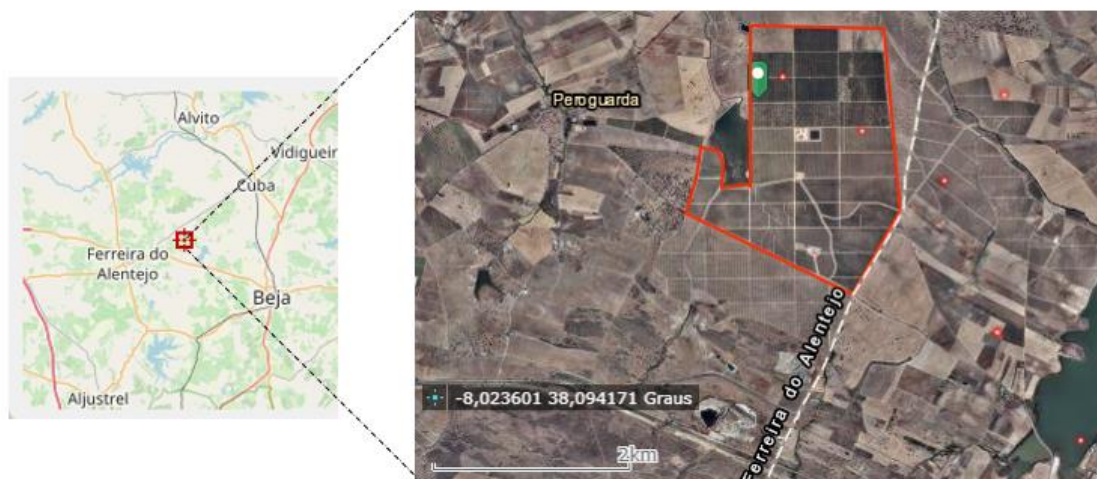


Figura 4-2 - Mapas com localização da área em estudo na Herdade da Zambujeira.

Fonte: Elaboração própria a partir do software disponível na página (INIAV, 2022)<sup>5</sup>.

Para descrever as características climáticas da área em estudo recorreu-se à análise dos dados da normal climatológica para o período 1981-2010, disponibilizada pelo Instituto

5

<https://portalgeo.iniaiv.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac5320>

8

Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Esta normal climatológica tem por base os dados recolhidos na estação climatológica de Beja (Estação número 562, coordenadas geográficas 38°01'N e 7°52'O e altitude de 246 m), que se situa a cerca de 14 km da área em estudo. Sendo a que se encontra mais próxima e, com mais dados disponíveis e representativos.

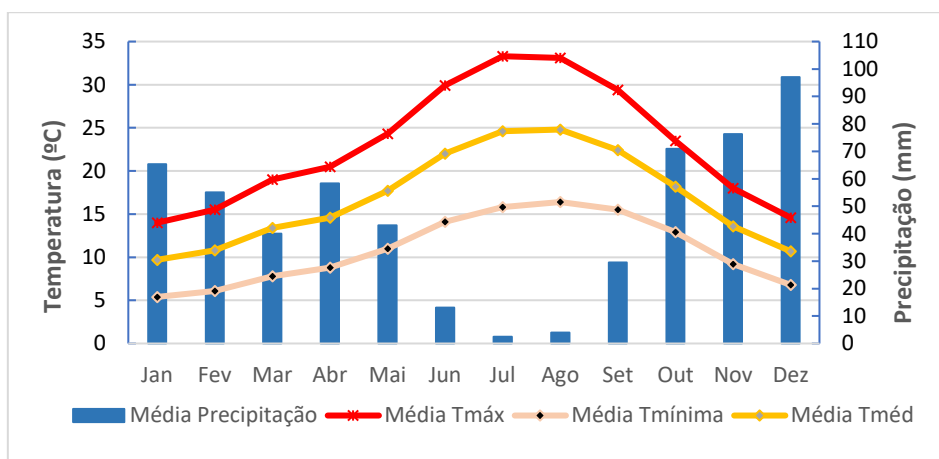


Figura 4-3 – Termoplúviograma com base nos valores da normal climatológica, do período de 1981-2010, da precipitação e da temperatura do ar máxima, média e mínima. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IPMA (IPMA, 2022) referentes à Estação meteorológica de Beja.

Da análise dos dados, observa-se que o valor da temperatura média anual da normal climatológica é elevado, com 16,9 °C, Anexo 1. Conforme a Figura 4-3, o valor médio mensal da temperatura média mais elevado observa-se no mês de agosto com 24,8 °C e o mais baixo em janeiro com 9,7 °C. No período estival, os meses mais quentes são julho e agosto, apresentado um valor anual médio mensal da temperatura máxima de 33,3 °C e 33,1 °C, respetivamente no período 1981-2010, correspondendo aos meses mais secos. O valor anual médio mensal da temperatura mínima é de 5,4 °C e observou-se no mês de janeiro. Quanto à precipitação média anual, registou-se em Beja um valor de 555 mm, conforme Anexo 1, sendo a sua distribuição mais significativa entre os meses de outubro e abril. Estes meses representam no seu conjunto 83,4 % da precipitação média anual. Nos meses de junho a setembro registaram-se valores de precipitação muito baixos, inferiores a 30 mm, sendo meses secos. Os valores médios mensais de precipitação variaram entre os 2,4 mm (registados no mês de julho) e os 97,10 mm (registados e dezembro), conforme Figura 4-3.

Quanto às componentes litológicas e geomorfológicas, após a consulta da carta geológica 1:200000, folha 8 (Duarte et al, 2010), observou-se que a área em estudo

pertence à zona da Ossa Morena (ZOM) do Maciço Ibérico. Nesta zona encontram-se representadas várias unidades litológicas pertencentes ao Complexo Ígneo de Beja (CIB). Nomeadamente, os gabros de Beja (designados de ‘GAMA’ na legenda da Figura 4-4, sendo constituídos por gabros e anortositos) e a Norte destes afloram basaltos e diábases (designados de ‘D2C1’ na legenda da Figura 4-4) pertencentes ao Complexo básico de Odivelas e, ainda, outras litologias ígneas, designadas de pórfiros de Baleizão (designados de ‘pi’ na legenda da Figura 4-4).

O pomar em estudo situa-se dentro deste complexo litológico, conforme Figura 4-4. A zona Norte insere-se no Complexo básico de Odivelas, onde predominam os basaltos e as diábases, numa área caracterizada por Luvisolos (classificação da FAO/World Reference Base for Soil Resources (WBSR)), designação correspondente a solos Argiluvitados pouco insaturados na classificação de solos do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrários (S.R.O.A.) de Portugal. Estes solos, na região Sul do país, correspondem principalmente a solos mediterrâneos pardos de materiais não calcários normais (Px) e para-barros (Pm). São solos evoluídos de perfil ABC, comuns em regiões de climas com características mediterrânicas (Calado et al., 2002).

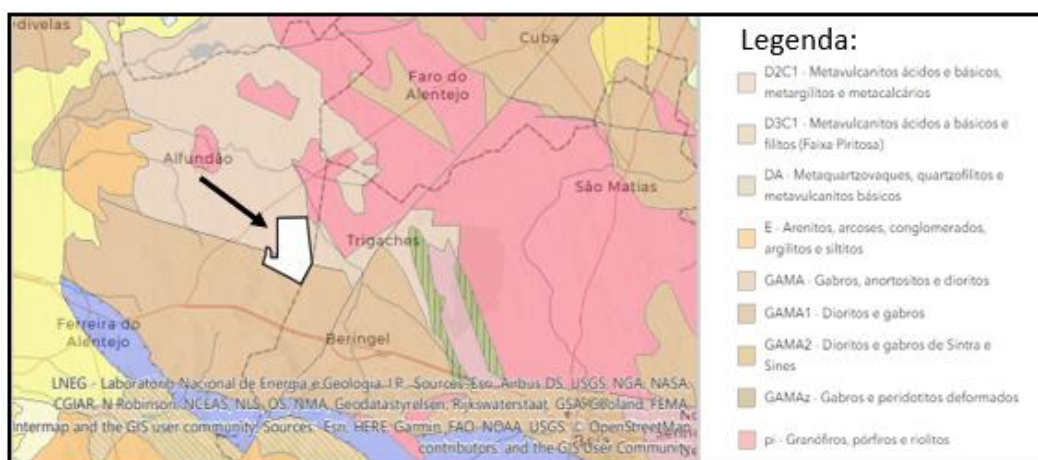


Figura 4-4 - Representação cartográfica da geologia da Herdade da Zambujeira.

Fonte: Elaboração própria a partir do software disponível na página (Lneg, 2022)<sup>6</sup>.

Distinguem-se em função da sua cor em: solos mediterrâneos pardos (entre o amarelado, o acastanhado, o acinzentado e o preto) e solos mediterrâneos vermelhos ou amarelos (de cores avermelhadas ou amareladas (Driessen et al., 2006). Nesta zona do

<sup>6</sup> <https://geoportal.lneg.pt/mapa/#>

pomar os solos são mediterrânicos pardos, de cor castanha, conforme Figura 4-5 e apresentam uma proporção relativamente elevada de elementos grosseiros.

O horizonte sub-superficial B é mais enriquecido em argila do que o horizonte A, sendo uma característica conhecida por gradiente textural e apresentam uma massa



Figura 4-5 – Amostras compósitas de solo recolhidas na entrelinha do pomar de ‘Nadorcott’.

volúmica aparente em geral elevada ao longo do perfil. São considerados solos férteis, com estrutura desenvolvida. Nos solos cultivados o teor de matéria orgânica é normalmente baixo, podendo, no entanto, atingir valores elevados em terrenos incultos. (Calado et al., 2002; Cardoso, 1965; Driessen et al., 2006).

Quanto à parte Sul do pomar insere-se nos gabros (do latim gaber – macio) de Beja, numa zona caracterizada por Vertissolos crómicos (classificação da FAO/(WBSR)), equivalente a Barros na classificação de solos de Portugal (S.R.O.A.).

Os Barros podem ser pretos ou castanho-avermelhados, distinguindo-se pela cor (pardo-acinzentada muito escura ou castanha, no caso dos barros pretos ou castanho-avermelhada). Estes solos são argilosos, podendo apresentar fenómenos de contração-expansão e de abertura de fendas nas épocas secas, sendo mais suscetíveis à degradação física e erosão. Apresentam, também, valores baixos de matéria orgânica (Cardoso, 1965).

Neste estudo efetuaram-se recolhas de amostras de solos, apenas, na localização Norte do pomar. Não tendo sido possível fazer um perfil do solo no local.

#### 4.1.1.2. Caraterização do pomar e sistemas de gestão

O pomar estende-se por uma área total de 373,5 ha, estando dividido em setores de cerca de 11 ha cada. Na Figura 4-6, no setor identificado com (A), foram recolhidas amostras de solos numa área com 1,85 ha, onde está implantado um pomar com a cultivar ‘Nadorcott’, enxertada sobre citrumeleiro ‘Swingle 4475’ e com madeira intermédia de laranjeira. Esta cultivar, também conhecida como ‘Afourer’ (devido à sua origem em Afourer, Marrocos), é provavelmente um híbrido da cv. ‘Murcott’ (tângerá ou tangor, híbrido de tangerineira com laranjeira (*Citrus reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck)) com progenitor masculino desconhecido (Garmendia et al., 2022).

A plantação do pomar decorreu no ano de 2006 e a enxertia em 2008, estando atualmente com cerca de 16 anos e em plena produção. Antes da instalação do pomar e, conforme imagens históricas do Google Earth Pro de 2003 e anteriores, parece ter sido uma área sempre cultivada. Pela consulta do material disponibilizado na página do INIAV (2022)<sup>7</sup>, verificou-se, ainda, que foram recolhidas amostras de solos da área em estudo em 1997 e que no local de amostragem existia cultura de beterraba sacarina.

O compasso de plantação adotado foi de 6 m x 4 m, tendo aproximadamente 417 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso e as filas de árvores estão dispostas em camalhões.

A área em estudo é explorada de dois diferentes modos: 1) produção integrada com vegetação espontânea na entrelinha e aplicação de herbicida na linha; 2) produção integrada com enrelvamento com vegetação semeada (*Vicia sativa L.* e *Lolium sp.*, ambas semeadas em 17 outubro de 2020) na entrelinha e aplicação de cobertura com casca de amêndoa na linha. A rega, em ambas as modalidades, realiza-se de acordo com o cálculo das necessidades hídricas.

Foram recolhidas no setor (A) amostras de solo das linhas, sem cobertura de solo (modalidade 1) e com cobertura com casca de amêndoa (modalidade 2) e nas entrelinhas, com coberto vegetal com vegetação espontânea (modalidade 1) e com vegetação semeada (modalidade 2).

No setor identificado com (B) na Figura 4-6, existe uma zona dedicada a amendoeiras, plantadas em 2015, em modo de produção integrada com coberto vegetal com vegetação espontânea na entrelinha e aplicação de herbicida na linha e rega de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. Nesta zona, foram recolhidas amostras de solos, apenas, das entrelinhas numa área de 0,79 ha. A recolha destas amostras nas entrelinhas do amendoal teve por objetivo a comparação com as amostras recolhidas nas entrelinhas de ‘Nadorcott’, dado que o coberto vegetal destas é semelhante, mas o amendoal tem menos anos de instalação.

---

7

<https://portalgeo.iniaiv.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac5320>

8

Na Figura 4-6, assinalou-se, ainda, o ponto (C) que corresponde a uma área com sebes (linha de casuarinas (*Casuarina spp.*)), na qual foram também recolhidas amostras de solos. Estas amostras foram recolhidas sob a copa das casuarinas, onde existe cobertura de solo com folhada e rega. Na zona identificada com (C) recolheram-se, ainda amostras em local sem cultura e sem coberto vegetal, para comparação com as amostras recolhidas nas entrelinhas dos pomares anteriormente referidos.

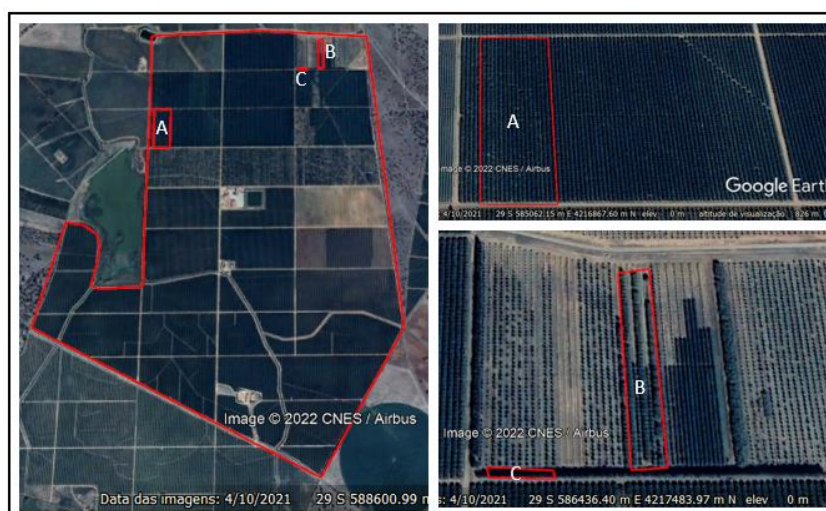


Figura 4-6 - Área do pomar da Herdade da Zambujeira e áreas de amostragem (A – setor com ‘Nadorcott’, B – setor com amendoeiras e C – zona de sebes).

Fonte: Elaboração própria a partir do software (Google Earth Pro, 2022).

#### 4.1.2. Caraterização dos pomares situados na região do Algarve

Para descrever as características climáticas das áreas em estudo na região do Algarve recorreu-se aos dados recolhidos nas redes, convencional e automática, da Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAPALG), dos últimos 32 anos (1986 a 2018) e disponibilizados e tratados por esta. Esta opção deve-se ao facto de não existirem dados contínuos de algumas estações próximas dos locais em estudo e, assim, abranger o maior território possível e contemplar a diversidade de tipos de zonas em termos orográficos e de influência marítima (Oliveira, 2018).

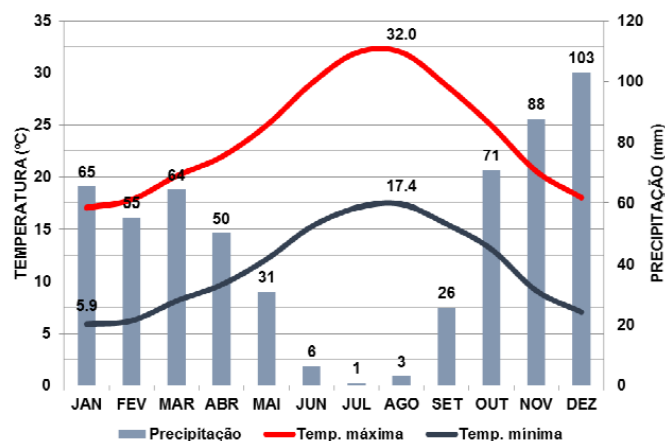


Figura 4-7 – Termoplúviograma com médias mensais das médias das temperaturas máximas e mínimas do ar e médias dos somatórios mensais da precipitação (dados de todas as estações manuais e automáticas, desde 1986 a 2018).

Fonte:(Oliveira, 2018).

Pela análise da Figura 4-7 e, quanto à temperatura do ar, observa-se que os valores máximos das médias das máximas, registaram-se nos meses de julho e agosto com 32 °C e o valor mínimo da média das mínimas registou-se em janeiro com de 5,9 °C.

A precipitação distribui-se entre os meses de setembro a maio, mas a sua concentração mais elevada regista-se entre os meses de outubro a abril com cerca de 88 %. A maior incidência regista-se, no entanto, em dezembro com 103 mm e a menor em julho com 1 mm. Nos meses de junho a agosto observa-se um período de seca com valores de precipitação inferiores a 10 mm.

A amplitude térmica é baixa, com 11 °C em janeiro/fevereiro e 25 °C em julho/agosto, situando-se nos valores esperados para um clima mediterrânico ameno (Oliveira, 2018). Conforme Oliveira (2018), a estação de Messines (serra) registou a maior média anual de precipitação com 665 mm e, a de Tavira a menor com 516 mm. Sendo a média anual acumulada de precipitação na região do Algarve, dos últimos 32 anos, de 571 litros/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.2.1. Caracterização dos pomares localizados em Vila Nova de Cacela

##### 4.1.2.1.1. Localização e caracterização edáfica

Em Vila Nova de Cacela, os trabalhos de amostragens e medições decorreram em duas áreas de estudo distintas.

A primeira (A) situada na Quinta dos Medeiros (coordenadas GPS: 37°16'37.98''N, -7°53'74.59''O e altitude de 24 metros), no Sítio do Buraco, em Vila Nova de Cacela (concelho de Vila Real de Santo António), num pomar de abacateiros 'Hass' e num pomar

de alfarrobeiras, com aproximadamente a mesma idade e, pomar de citrinos adjacente, conforme Figura 4-8.

A segunda área de estudo (B), próxima da anterior, localizada na mesma freguesia, no sítio do Caliço (coordenadas GPS: 37°18'28.10''N, -7°55'54.83''O e altitude de 67 metros) consiste num pomar de abacateiros 'Hass' instalados em curvas de nível, a serem comparados com parcela contígua com vegetação arbustiva espontânea, conforme Figura 4-8.



Figura 4-8 - Mapas com localizações das áreas em estudo em Vila Nova de Cacela (A - Quinta dos Medeiros e B - Sítio do Caliço).

Fonte: Elaboração própria a partir do software disponibilizado na página (INIAV, 2022).<sup>8</sup>

Quanto às componentes litológicas e geomorfológicas, após a consulta da carta geológica 1:200000, folha 8 (Duarte et al, 2010), observa-se que as áreas em estudo pertencem à Bacia sedimentar Meso Cenozóica, conforme Figura 4-9.

---

8

<https://portalgeo.inia.v.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac5320>

8

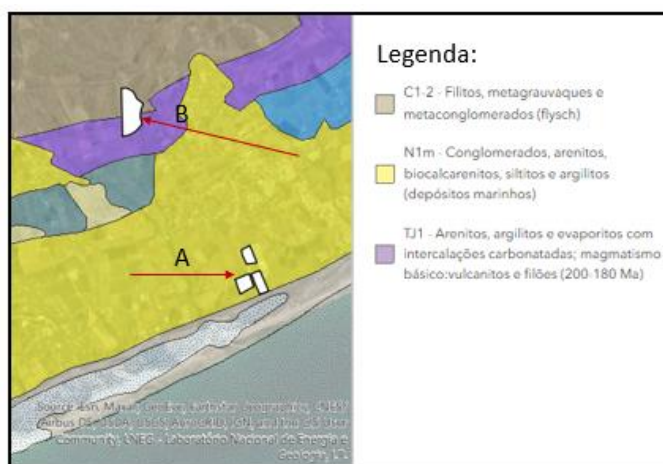


Figura 4-9 - Representação cartográfica da geologia dos pomares de Vila Nova de Cacela (A - Quinta dos Medeiros e B – Sítio do Calicho).

Fonte: Elaboração própria a partir do software disponível na página (Lneg, 2022)<sup>9</sup>

A Quinta dos Medeiros (A) insere-se numa faixa litológica composta por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos (depósitos marinhos), designados de (N1m) na legenda da Figura 4-9. Já o pomar do Sítio do Calicho (B) está inserido numa zona de divisão, a Sul insere-se numa zona de arenitos, argilitos e evaporitos com intercalações carbonatadas (TJ1) e a Norte numa zona de filitos, metagrauvaques e metaconglomerados (C1-2), conforme Figura 4-9.

Ambos os pomares se inserem numa zona caracterizada por Luvisolos Rodocrómicos (classificação da FAO/(WBSR)), designação correspondente a solos mediterrânicos vermelhos a amarelados de arenito isentos de calcário (Vtc), na classificação de solos de Portugal (S.R.O.A.) e (Kopp et al, 1989).

Não foi possível fazer o perfil dos solos no local, no entanto, em Kopp et al. (1989) descreve-se um perfil de solo de Cacela (Manta Rota), local próximo da área em estudo da Quinta dos Medeiros.

A Faixa Litoral algarvia é constituída principalmente por camadas areníticas de depósitos de sedimentos fluviais com faixas de cascalho isentos de calcário, com teores de argila baixos a elevados e de textura grosseira a fina (Kopp et al., 1989).

<sup>9</sup> <https://geoportugal.lneg.pt/mapa/#>

É referido que os solos Vtc têm uma camada superficial arenosa e pobre em argila e, um horizonte Bt, geralmente franco-argilo-arenoso. A textura dos horizontes A e B é diferenciada, sendo o horizonte Ap (0 -30 cm) pardo, com compactidade pequena e alguns



poros médios e finos. O horizonte Bt<sub>1</sub> (30-45 cm) é normalmente pardo avermelhado claro, com compactidade média e poros finos, existindo ainda um horizonte Bt<sub>2</sub> (45-75 cm), laranja, também franco-argilo-arenoso e um horizonte BC de transição para arenito fino não compacto (Kopp et al., 1989).

No Sítio do Calião, embora a classificação do solo seja a mesma, a cor deste é avermelhada (B), enquanto na da Quinta dos Medeiros tem cor parda, amarelada (A), conforme Figura 4-10.

Figura 4-10- Provetas com solos para determinação de textura (A – Buraco, B – Calião).

#### 4.1.2.1.2. Caraterização dos pomares e sistemas de gestão

Conforme referido anteriormente, na Quinta dos Medeiros, Figura 4-8 (A) foram estudados três pomares de culturas distintas:

1) Um pomar de abacateiros (*Persea americana Mill.*), com a cultivar ‘Hass’ (Raça Guatemalteca – Grupo A), enxertada sobre ‘Lula’ (Raça híbrida Antilhana) e, com uma área de 3,16 ha. A plantação do pomar decorreu em 2018, estando atualmente com cerca de 4 anos. O compasso de plantação adotado foi de 6 m x 4 m, tendo aproximadamente 417 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na entrelinha com vegetação espontânea, na linha fez-se aplicação de herbicida nos 2 primeiros anos, mantendo-se, depois, uma camada de folhada superficial permanente e alguma vegetação espontânea que consegue emergir. A rega processa-se de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. As filas de árvores estão dispostas em camalhões.

Neste pomar foram recolhidas amostras de solos e biomassa vegetal nas linhas e nas entrelinhas.

2) Um pomar de alfarrobeiras (*Ceratonia siliqua L.*), com a cultivar ‘Mulata’, enxertada sobre porta enxertos não conhecidos e, com uma área de 3,80 ha. A plantação do pomar decorreu em 2016, estando atualmente com cerca de 6 anos. O compasso de

plantação adotado foi de 8 m x 7 m, tendo aproximadamente 179 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na linha e na entrelinha com vegetação espontânea, e rega de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. Não existem camalhões neste pomar.

Neste pomar recolheram-se amostras de solos e biomassa vegetal, apenas, nas linhas por se considerar ser representativo da linha e da entrelinha, dado que o modo de manutenção do coberto vegetal é o mesmo e as árvores são pequenas, cobrindo uma reduzida área.

3) Um pomar de citrinos (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), com a cultivar ‘Dom João’, enxertada sobre laranjeira azeda (*Citrus aurantium* L.), com uma área de 3,90 ha. A plantação do pomar decorreu em 2016, estando atualmente com cerca de 6 anos. O compasso de plantação adotado foi de 6 m x 3.5 m, tendo aproximadamente 476 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na entrelinha com vegetação espontânea, aplicação de herbicida na linha e rega de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. As filas de árvores estão dispostas em camalhões.

Neste pomar foram recolhidas, amostras de solo nas linhas (sem cobertura vegetal) e nas entrelinhas e biomassa vegetal recolheu-se apenas nas entrelinhas, uma vez que a linha se mantém sem coberto vegetal.

Quanto ao histórico de culturas da Quinta dos Medeiros, antes da instalação dos atuais pomares, existia uma zona de vinha e pomares tradicionais de sequeiro, conforme imagens históricas do Google Earth Pro desde 1985. Desde que existe registo de imagens, a Quinta sempre surgiu com culturas.

No sítio do Caliço, Figura 4-8 (B) está implementado um pomar de abacateiros (*Persea americana* Mill.), com a cultivar ‘Hass’ (Raça Guatemalteca – Grupo A), enxertada sobre ‘Zutano’ (Grupo B) e, com uma área de 15,63 ha. A plantação do pomar decorreu em 2019, estando atualmente com cerca de 3 anos. O compasso de plantação adotado foi de 6 m x 3 m, tendo aproximadamente 556 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na entrelinha com vegetação espontânea, aplicação de herbicida na linha (até camada de folhada ser significativa) e rega de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. As filas de árvores estão dispostas em curvas de

nível em grande parte do pomar. Aquando da recolha de amostras, as linhas de abacateiros encontravam-se com alguma vegetação espontânea.

Neste pomar foram recolhidas amostras, apenas de solo na profundidade de 0 a 20 cm e só nas linhas, dado que o pomar se apresentava em curvas de nível e as fruteiras eram ainda muito pequenas.

Na zona adjacente ao pomar existe um vale/encosta com zona inculta de mato. Tendo-se recolhido amostras de solo, neste local, para comparação com o solo da linha do pomar. Quanto ao histórico do pomar, a zona onde está implantado atualmente, era antes uma zona de pinhal, também em curvas de nível.

#### **4.1.2.2. Caraterização dos pomares localizados em Silves**

##### **4.1.2.2.1. Localização e caraterização edáfica**

Em Silves, os trabalhos de amostragens e medições decorreram em três áreas de estudo distintas.

A primeira área (A) situa-se no Sítio das Ferrarias, na freguesia de Algoz (coordenadas GPS: 37°17'52.41''N, -8°30'48.44''O e altitude de 65 metros), concelho de Silves, num pomar de abacateiros com várias cultivares e num pomar de amendoeiras tradicional de sequeiro adjacente ao dos abacateiros, conforme Figura 4-11.

A segunda área (B) situa-se no Monte da Jóia, Cerro de São Miguel, na freguesia e concelho de Silves (coordenadas GPS: 37°18'12.59''N, -8°42'95.56''O e altitude de 90 metros), num pomar de abacateiros 'Hass' e numa zona adjacente, não cultivada, com vegetação espontânea e arbustiva, conforme Figura 4-11.

A terceira área (C) situa-se entre o Sítio de Cortes e o Sítio da Zimbreira, na freguesia de São Bartolomeu de Messines, concelho de Silves, (coordenadas GPS: 37°23'85.15''N, -8°31'30.57''O e altitude de 115 metros), num pomar de abacateiros 'Reed' e numa zona de mato adjacente ao pomar, com vegetação espontânea herbácea e arbustiva, com algumas aroeiras, conforme Figura 4-11.



Figura 4-11 - Mapas com localizações das áreas em estudo no concelho de Silves ((A) Algoz e (B) Cerro de São Miguel e (C) São Bartolomeu de Messines).

Fonte: Elaboração própria a partir do software (Google Earth Pro, 2022).

Quanto às componentes litológicas e geomorfológicas, após a consulta da carta geológica 1:200000, folha 8 (Duarte et al, 2010), observa-se que as três áreas em estudo pertencem à Bacia Meso-Cenozóica. Esta Bacia, nas áreas em estudo, é caracterizada pela presença de calcários, margas e dolomitos (Kopp et al., 1989).

Os três pomares inserem-se numa zona caracterizada por Luvisolos Rodocrómicos Cálculos (classificação da FAO/(WBSR)), designação correspondente a solos mediterrâneos vermelhos e amarelos de Calcários duros e dolomitos (Vcd), na classificação de solos de Portugal (S.R.O.A.) e (Kopp et al., 1989).

Não foi possível fazer o perfil dos solos nos locais, descrevendo-se a caracterização do perfil efetuada por Kopp et al. (1989), para solos de locais muito próximos.

Estes solos apresentam na camada superficial (horizonte A) teores de argila entre os 30 e os 50% (Kopp et al., 1989). Ainda, e, segundo o mesmo autor, trata-se de solos do tipo Vcd, pertencentes à classe de solos argilosos, cujo teor de argila no horizonte B é mais elevado do que no horizonte A, podendo atingir os 80%. A proporção de areia é baixa e, a proporção de material grosseiro, acima dos 2 mm (concreções, pedras calcárias dolomíticas), pode ultrapassar os 50%. O elevado teor de argila deve-se à presença de caulinites. O horizonte Ap (0-15cm), apresenta-se geralmente de cor pardo avermelhada escura, com bastantes pedras e calhaus de calcário duro, apresenta ainda porosidade média e permeabilidade fraca. O horizonte Bt<sub>1</sub> (15-55cm) apresenta-se de cor vermelho-escuro, também com bastantes pedras e calhaus, com porosidade pequena e pouco

permeável. Apresentam, ainda o horizonte Bt<sub>2</sub> (55-80 cm) e horizonte R (>80 cm) com calcário duro compacto.

#### 4.1.2.2.2. Caraterização dos pomares e sistemas de gestão

Conforme referido anteriormente, no concelho de Silves, foram estudados três pomares:

A) Um pomar de abacateiros (*Persea americana Mill.*) em Algoz, com várias



Figura 4-12 – Linha e entrelinha de pomar de abacateiros em Algoz.

cultivares (‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Bacon’, ‘Reed’ e uma cultivar não identificada), enxertados sobre porta enxertos não identificados e, com uma área total de 4,39 ha. No entanto, a área onde se efetuaram as amostragens tem apenas 1,83 ha, tendo sido plantada em 1983, estando atualmente com cerca de 39 anos.

O compasso de plantação adotado foi de 5 m × 5 m, tendo aproximadamente 400 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na linha e na entrelinha com folhada, conforme Figura 4-12. Aquando das podas, é efetuado o destroçamento do material vegetal e é incorporado nas entrelinhas do pomar. A vegetação espontânea é praticamente inexistente neste pomar, dada a camada de folhada existente (> 15 cm), não sendo necessária a aplicação de herbicidas. A rega processa-se de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. Não existem camalhões neste pomar, pelo que linha e entrelinha foram considerados como tendo caraterísticas semelhantes. Tendo-se recolhido amostras de solos e biomassa vegetal apenas nas linhas, sendo estas consideradas representativas do que se passa nas entrelinhas. Desconhece-se o uso do solo antes de 1983.

Adjacente ao pomar existe um pomar tradicional de sequeiro de amendoeiras (cultivares não identificadas), com um número muito reduzido de árvores, sem compasso definido, com coberto vegetal com vegetação espontânea e, com cerca de 0,86 ha. Neste local recolheram-se também amostras de solo e de biomassa vegetal, em locais sob a copa das amendoeiras e em locais sem presença de fruteiras.

B) Um pomar de abacateiros (*Persea americana Mill.*) no Monte da Jóia (Silves), com cultivar ‘Hass’, enxertada sobre porta enxertos ‘Lula’ e ‘Topa Topa’ e, com uma área

total de 1,20 ha. O ano de plantação do pomar foi em 2008, estando atualmente com cerca de 14 anos. O compasso de plantação adotado foi de 5,5 m x 4 m, tendo aproximadamente 455 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção do coberto vegetal na linha e na entrelinha com folhada, no mesmo formato do pomar descrito anteriormente.

A rega processa-se de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. Também não existem camalhões neste pomar, e as linhas e as entrelinhas foram consideradas como tendo características semelhantes. Tendo-se recolhido amostras de solo e biomassa vegetal apenas nas linhas, sendo estas consideradas representativas do que se passa nas entrelinhas.

Relativamente ao historial da parcela, antes da implantação do pomar em 2008, existia no local uma zona de mato, com vegetação espontânea herbácea e arbustiva.

Na zona adjacente ao pomar existe uma zona não cultivada de mato com cerca de 0,27 ha, que se supõe ser idêntica à que existia na parcela onde está, hoje, o pomar de abacateiros. Foram também recolhidas amostras de solos nessa zona de mato para se poder comparar com as amostras recolhidas no pomar.

C) Um pomar de abacateiros (*Persea americana Mill.*) em São Bartolomeu de Messines, concelho de Silves, com cultivar ‘Reed’, enxertada sobre porta enxerto não identificado e, com uma área total de 4,15 ha. A área em estudo do pomar tem cerca de 0,85 ha. O ano de plantação do pomar foi em 2007, estando atualmente com cerca de 15 anos. O compasso de plantação adotado foi de 6 m x 4 m, tendo aproximadamente 417 árvores por ha. O sistema de condução do pomar é em vaso. A forma de exploração do pomar é em modo de produção integrada com manutenção de cobertura das linhas com folhada, e nas entrelinhas com alguma folhada e vegetação herbácea espontânea.

A rega processa-se de acordo com o cálculo das necessidades hídricas. Também não existem camalhões neste pomar, no entanto dado que as linhas e as entrelinhas têm coberto vegetal diferente foram recolhidas amostras de solo em ambos os locais e de biomassa vegetal apenas na linha.

Relativamente ao historial da parcela, antes da implantação do pomar em 2007, existia no local uma zona de mato, com vegetação espontânea herbácea e arbustiva, idêntica à existente, atualmente, na zona adjacente.

Na zona adjacente ao pomar, existe uma zona extensa de mato e com algumas aroeiras (*Pistacia lentiscus L.*), aquando da recolha de amostras no pomar recolheram-se também

amostras na zona de mato, numa área de cerca de 0,27 ha, que se supõe ser idêntica à que existia na parcela onde está, hoje, o pomar de abacateiros. Recolheram-se, apenas, amostras de solo na zona de mato em locais com vegetação espontânea e também sob a copa de aroeiras.

#### **4.2. Amostragens**

As amostragens decorreram ao longo do ano 2021/22, de forma irregular devido à situação pandémica.

Para avaliar a capacidade de sumidouro de C, dos pomares anteriormente referidos, das respetivas áreas adjacentes e das diferentes práticas culturais a nível de cobertura de solo, determinou-se:

- 1) O teor de C dos solos, nas camadas minerais na profundidade de 0 a 20 cm e, na camada mineral mais superficial na profundidade de 0 a 2 cm, quando possível;
- 2) O teor de C presente na biomassa vegetal viva do coberto vegetal do solo;
- 3) O teor de C presente na folhada (biomassa morta de tamanho superior ao considerado para matéria orgânica do solo, conforme IPCC de 2003 (Penman et al., 2003), constituindo a camada orgânica (horizonte O (classificação FAO)).

Para a determinação do teor de C existente no solo, recolheram-se, primeiramente, amostras na profundidade de 0 a 20 cm (correspondendo à profundidade da camada arável), em cada pomar selecionado e respetivas áreas adjacentes (quando estudadas), e para os parâmetros estudados (localização no pomar, cobertura de solo, tipo de cobertura de solo e modo de produção).

Tiveram-se em consideração duas localizações nos pomares: a linha de plantação (L), tendo-se recolhido as amostras no espaço entre as árvores, sob a copa destas, e a entrelinha (E), recolhendo-se as amostras a meia da entrelinha das árvores. Escolheu-se o meio da entrelinha, por ser a zona mais afastada do efeito da copa das árvores e por ser local onde não passam os rodados da maquinaria e o solo, em princípio, poder estar menos compactado, sendo menos um fator a fazer variar a comparação entre os dois locais.

Nas zonas adjacentes não cultivadas de mato e arbustos foram selecionadas localizações aleatórias para a amostragem, exceto na área em estudo de Messines, onde foram recolhidas, também, amostras de solo em local sob a copa de aroeiras.

#### 4.2.1. Amostragens de solo na camada mineral na profundidade de 0 a 20 cm

Quanto ao método de amostragem (0-20 cm): recolheram-se triplicados de amostras de solos compósitas, com pelo menos 0,5 kg de solo (cada uma com 4 subamostras, distando estas cerca de 3 m umas das outras, sendo depois misturadas e devidamente homogeneizadas), tratando-se de 12 subamostras de solo no total de cada modalidade, conforme Figura 4-13. A opção por amostras compósitas teve por objetivo, diminuir a variabilidade e ter uma zona de amostragem mais representativa. As amostras de solo foram recolhidas a uma profundidade de 0 a 20 cm (camada arável), com sonda de rosca (0-20 cm), devidamente acondicionadas em sacos e etiquetadas.

Em cada pomar foram sempre seleccionadas parcelas homogéneas em relação ao tipo de solo, exposição solar, cultivar utilizada, porta-enxerto, idade do pomar e tipo de cobertura vegetal, sendo excluídas zonas de bordadura, fim e início de linha ou entrelinha.

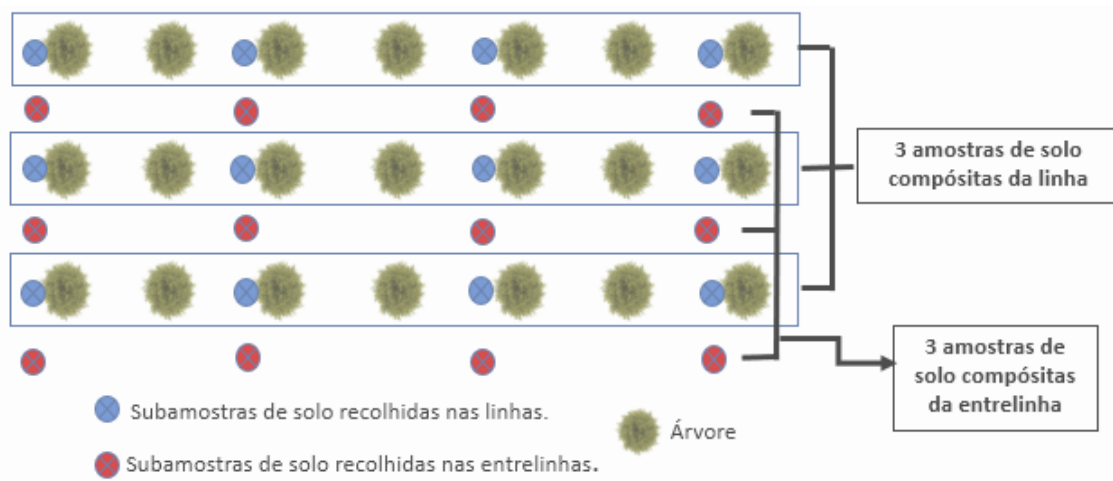


Figura 4-13 – Esquema de recolha de amostras efetuado em cada pomar, com recolha de triplicados de amostras compósitas nas linhas (12 subamostras) e triplicados de amostras compósitas recolhidas nas entrelinhas (12 subamostras).

A recolha de amostras de solo (0-20 cm) para determinação de parâmetros físicos e químicos decorreu conforme parametrização descrita na Tabela 4-1 e pela seguinte ordem cronológica: a 7 de maio de 2021, na Herdade da Zambujeira (HZ), em Ferreira do Alentejo, com recolha de 21 amostras compósitas de solo (84 subamostras); a 27 de agosto de 2021 e 14 de janeiro de 2022, na Quinta dos Medeiros (BU), no Sítio do Buraco, Cacela, com recolha de 15 amostras compósitas (60 subamostras); a 27 de agosto de 2021, no Sítio do Calição (CA), em Cacela com recolha de 8 amostras compósitas (32 subamostras), dado que houve dois locais de amostragem (Encosta e Encosta/Xisto), onde se conseguiu recolher apenas uma amostra compósita de cada; a 27 de janeiro de 2022,

em Algoz (AL), com recolha de 9 amostras compósitas (36 subamostras); a 3 de fevereiro de 2022, no Monte da Jóia (SI), em Silves, com recolha de 6 amostras compósitas (24 subamostras) e, também na mesma data em São Bartolomeu de Messines (ME), com recolha de 12 amostras compósitas (48 subamostras). Com total um total de recolha de 71 amostras de solo (0-20 cm), correspondendo a 284 subamostras.

Tabela 4-1 – Tabela com descrição dos locais/parâmetros de recolha de amostras de solo (0-20 cm), dos pomares e áreas adjacentes selecionados para este trabalho.

Legenda: HZ (pomar da Herdade da Zambujeira); BU (pomar Quinta dos Medeiros - Buraco); CA (pomar do Sítio do Calço); AL (pomar de Algoz); SI (pomar do Monte da Jóia – Silves); ME (pomar de Messines); L (linha de plantação); E (entrelinha); SCV (sem cobertura vegetal); CCV (com cobertura vegetal); Vesp (vegetação espontânea); Vsem (vegetação semeada); Ca (mulching com casca de amêndoa); Fa (folhada).

Local/Parâmetros	Cultura	Posição		Cobertura vegetal		Tipo de coberto vegetal			
		L	E	SCV	CCV	Vesp	Vsem	Ca	Fa
HZ /triplicados	Citrinos	✓		✓					
		✓			✓				✓
			✓		✓	✓			
	S/ cultura Amendoeira		✓	✓			✓		
	Sebes	✓			✓				✓
BU/triplicados	Citrinos	✓		✓					
	Abacateiros	✓	✓		✓	✓			
	Alfarrobeiras	✓			✓	✓			✓
CA	Abacateiros	✓			✓				
	Mato/Vale		✓		✓	✓			
	Mato/Encosta		✓		✓	✓			
	Mato/Xisto		✓		✓	✓			
AL/triplicados	Amendoeira/Seq	✓			✓	✓			
	Abacateiros	✓	✓		✓	✓			✓
SI/triplicados	Abacateiros	✓			✓				✓
	Mato		✓		✓	✓			
ME/triplicados	Abacateiros	✓			✓				✓
			✓		✓	✓			
	Mato		✓		✓	✓			
	Mato/Aroeiras	✓			✓	✓			

Quanto ao tratamento das amostras de solo recolhidas na profundidade (0-20 cm), foram pesadas, colocadas em tabuleiros, secas ao ar, a temperatura ambiente, até peso constante (peso seco). Após o período de secagem, foram colocadas num agitador

mecânico de crivos (Retsch AS 200), cerca de 10 minutos, para homogeneização e de seguida foram crivadas, em crivos (Retsch ASTM Mesh10) com malhas de 2 mm de diâmetro de modo a separar a terra fina do material grosseiro. A fração que ficou retida na parte superior do crivo, composta por partículas de diâmetro superior a 2 mm, é designada de material grosseiro ou elementos grosseiros e a fração que passa no crivo, composta por partículas de diâmetro inferior a 2 mm, é designada de fração fina do solo ou ‘terra fina’.

Após esta separação as amostras foram pesadas e foi determinada a percentagem de elementos grosseiros e de ‘terra fina’, em relação ao peso total da amostra. Sendo a fração de ‘terra fina’ a utilizada, nos diversos procedimentos laboratoriais, para avaliar a qualidade do solo em C.

#### **4.2.2. Amostragens de solo na camada mineral superficial na profundidade de 0 a 2 cm**

Para recolha de amostras de solo na camada superficial (0-2 cm), procedeu-se da seguinte forma: com um aro de madeira de 27 cm x 34 cm (918 cm<sup>2</sup>, área interna), delimitou-se a área de amostragem. Nessa área recolheu-se todo o material vegetal (Vesp ou Vsem) e, no caso, da cobertura de solo ser constituído por uma camada orgânica de folhada, procedeu-se à recolha desta, de seguida limpou-se a camada de solo superficial de qualquer material grosseiro e com uma pequena pá de jardim recolheram-se os 2 cm superficiais de solo.

Quanto ao método de amostragem: recolheram-se triplicados de amostras simples, em locais muito próximos, do local onde se recolheram as amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, mantendo-se os restantes parâmetros.

No entanto houve algumas exceções, locais onde não foi possível efetuar esta amostragem. Na Herdade da Zambujeira não se fez esta recolha por questões de logística, devido à distância do pomar e à quantidade elevadíssima de solo e material vegetal que seria necessário recolher e tratar. No Sítio do Calicho, também não se fez esta amostragem, devido à ocorrência de um incêndio na zona do pomar e zona limítrofe. E por último, na área de mato, de Silves e de Messines, não foi possível fazer a amostragem do solo da camada superficial devido à elevada quantidade de pedras existentes na camada superficial, conforme fotografia do Anexo 2. Na entrelinha do pomar de abacateiros de Messines, também não foi possível fazer a recolha devido às operações de recolha de frutos que estavam em curso.

Quanto ao tratamento destas amostras de solo, o procedimento foi idêntico ao das amostras recolhidas na profundidade de 0 a 20 cm.

#### 4.2.3. Amostragens de biomassa vegetal herbácea e de folhada (camada orgânica)

Para determinação da quantidade de C armazenado na biomassa vegetal herbácea/arbustiva e folhada existente na linha e entrelinha recolheram-se amostras conforme descrição feita para a amostragem anterior (camada superficial (0-2 cm)).

Em algumas áreas estudadas esta amostragem de material vegetal não se efetuou: na Herdade da Zambujeira e no Sítio do Calição, pelos motivos referidos anteriormente; em Messines, na área não cultivada de mato, devido à dimensão do material vegetal arbustivo e, em Messines na entrelinha do pomar de abacateiros devido às operações de colheita de frutos que estavam em curso e à passagem de maquinaria, a Vesp encontrava-se misturada com a camada superficial (0 a 2 cm) de solo.

Quanto ao tratamento das amostras de material vegetal, procedeu-se a dois tratamentos distintos para Vesp e Fa. O material vegetal (Vesp), após a recolha, as amostras foram pesadas para determinação do peso fresco (Pf) e colocadas a secar em estufa ventilada (Labinco) a  $65 \pm 1$  °C até peso constante (peso seco (Ps)). Após este procedimento foi possível determinar o Ps da biomassa vegetal por  $m^2$ , Equação 1.

Equação 1

$$Bs = Ps \text{ amostra} / \text{Área amostra} \times 1m^2$$

$Bs$  ( $kg/m^2$ ) – Biomassa seca;

$Ps \text{ amostra}$  (kg) – Peso seco amostra;

$\text{Área amostra}$  ( $m^2$ ).

De cada amostra de biomassa seca foram retirados, de forma aleatória, cerca de 30 g de biomassa vegetal e moídos, em moinho (JK MF10 basic) com lâmina de 2 mm, para posterior determinação da percentagem de C.

Quanto à Fa, o procedimento foi idêntico ao anterior, no entanto, o peso fresco não foi determinado, dado que se tratava de matéria morta.

Faz-se, de seguida, uma breve caracterização do material vegetal (herbáceo e/ou arbustivo), mais representativo, recolhido em cada uma das áreas de estudo em que se recolheu material vegetal (Vesp).

Na área em estudo da Quinta dos Medeiros, no pomar de citrinos, na entrelinha, existiam, maioritariamente poáceas e uma reduzida quantidade de *Oxalis pes-caprae* L.,

no pomar de abacateiros existia na linha uma camada de 7 a 8 cm de Fa e alguma Vesp (residual) e, na entrelinha Vesp diversificada, estando em predominância a *Oxalis pes-caprae* L., intercalada com *Conyza* sp., *Galactites tomentosus* Moench, *Beta marítima* L., *Raphanus raphanistrum* L. e algumas poáceas.

No pomar de alfarrobeiras a composição da Vesp era semelhante à do pomar de abacateiros, mas com menor densidade e menos rasteira.

Na área em estudo de Algoz, no pomar de abacateiros (linha e entrelinha), existia uma camada de Fa com mais de 15 cm de altura, com Vesp residual. No pomar adjacente de amendoeiras tradicional de sequeiro, apenas se registou a presença de *Oxalis pes-caprae* L., rasteira, formando uma espécie de tapete.

Na área em estudo de Silves, no pomar de abacateiros (linha e entrelinha) existia uma situação semelhante à referida no pomar anterior. Na área de mato, existia, maioritariamente *Crocus serotinus* sp. e *Rosmarinus officinalis* L., com plantas dispersas e rasteiras.

Na área em estudo de Messines, a linha apresentava uma camada se folhada com cerca de 10 cm e a entrelinha Vesp não identificável devido ao pisoteio. Na zona de mato, a Vesp arbustiva era semelhante à do Monte da Jóia, mas de maior dimensão.

### **4.3. Metodologias laboratoriais**

Todas determinações laboratoriais, foram efetuadas no Laboratório de Solos da Universidade do Algarve. As análises efetuadas nas amostras de solo e de biomassa vegetal foram realizadas em triplicado.

#### **4.3.1. Determinações físicas**

##### **4.3.1.1. Densidade aparente**

A densidade aparente (Dap) corresponde à razão da parte sólida de um dado volume aparente de solo (volume ocupado pelas partículas sólidas e volume ocupado pelos interstícios ou poros) e da massa de igual volume de água (Costa, 1999).

Para determinar a Dap recolheram-se amostras não perturbadas de solo, em locais próximos, dos sítios onde se recolheram as amostras de solo (0-20 cm). Estas amostras foram colhidas com cilindros de volume conhecido (100 cm<sup>3</sup>), previamente secos em estufa a 105 ± 1 °C e pesados. Para realizar a recolha, cravaram-se cilindros metálicos no solo e retiraram-se com preceito, para preservar o conteúdo e, colocaram-se as respetivas tampas. Pesaram-se e colocaram-se em estufa ventilada (Labinco) a 105 ± 1 °C, até peso

constante (peso seco). Conhecido o peso seco da amostra, determinou-se a  $Dap$ , através da Equação 2.

Equação 2

$$Dap = P/Vc$$

$Dap$  - Densidade aparente, em (g/cm<sup>3</sup>);

$P$  - Peso da amostra de solo seco a 105 °C, em (g);

$Vc$  - Volume do cilindro, em (cm<sup>3</sup>).

#### 4.3.1.2. Determinação da textura do solo

A textura do solo mostra-nos a proporção relativa em que os diferentes tipos de partículas minerais estão presentes no solo: areia (partículas com diâmetro compreendido entre 2 a 0,02 mm), limo (partículas com diâmetro entre 0,02 e 0,002 mm) e argila (partículas com diâmetro inferior a 0,002 mm) (Costa, 1999).

A composição da textura do solo depende de diversos fatores: das características da rocha-mãe, da topografia e do clima. E pode determinar-se com recurso a análises mecânicas, também designadas análises granulométricas, por avaliação da proporção dos diversos elementos minerais constituintes do solo (Costa, 1999).

Para determinação da textura das amostras de solo utilizou-se o método do densímetro, procedendo-se da seguinte forma: pesaram-se 50 g de solo, previamente seco e crivado (malha < 2 mm); colocou-se o solo num balão Erlenmeyer e adicionaram-se 10 ml de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio, acrescentando água destilada até completar ± 300 ml. Agitou-se durante 30 minutos e colocou-se a suspensão numa proveta de 1000 ml, completando o volume com água destilada. Homogeneizou-se a solução com recurso a uma vareta de vidro durante cerca de 1 minuto, de seguida, colocou-se a proveta em repouso, introduziu-se um densímetro e um termómetro e ao fim de 40 segundos registou-se o valor verificado no densímetro (c) e a temperatura em graus centígrados (t). Retirou-se o densímetro da suspensão e deixou-se a sedimentar. Após 2 horas voltou a introduzir-se o densímetro e o termómetro e registou-se valor observado no densímetro (c120) e a temperatura em graus centígrados (t120).

Para determinar a textura efetuaram-se os cálculos, conforme Equações 3, 4, 5 e 6.

Equação 3

$$\% \text{ Limo} + \text{ Argila} (x) = \frac{c + (t - 20) \times 0,36}{50} \times 100$$

Equação 4

$$\% \text{ Argila} (Y) = \frac{c120 + (t120 - 20) \times 0,36}{50} \times 100$$

Equação 5

$$\% \text{ Limo} = x - y$$

Equação 6

$$\% \text{ Areia} = 100 - x$$

Após a obtenção dos valores de textura de cada solo, utilizou-se o diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo (Gomes and Silva, 1962), para enquadrar a classe de textura de cada solo (Costa, 1999).

### 4.3.2. Determinações químicas

#### 4.3.2.1. Determinação da reação do solo

O pH do solo traduz a atividade dos iões hidrogénio na solução do solo, sendo com base nesta atividade que os solos são classificados quanto à sua reação. Esta acidez tem extrema importância para as raízes das plantas e para os organismos do solo, interferindo nas propriedades físicas, químicas e biológicas destes (Varenes, 2003).

A determinação do pH em (H<sub>2</sub>O) permite efetuar a avaliação da acidez real de um solo (Varenes, 2003). A determinação do pH realizou-se numa suspensão de solo em água, numa proporção de solo: água de 1:2,5, conforme Quelhas dos Santos (1996). Pesou-se uma amostra de 10 g de terra fina (< 2 mm) seca ao ar, para um copo de precipitação e adicionou-se 25 ml de água destilada. Agitou-se durante alguns minutos com a ajuda de uma vareta de vidro, e deixou-se repousar cerca de 60 minutos. De seguida, fez-se a medição por potenciometria direta, utilizando um aparelho medidor de pH (Crison micro pH 2001) que dispõe de um eletrodo de vidro combinado e calibrado com padrões de pH 7,0 e 4,0.

Conforme Quelhas dos Santos (1996), a classificação dos solos quanto à sua reação, pode ser feita de acordo com a tabela aposta no Anexo 3.

#### **4.3.2.2. Determinação da condutividade elétrica (CE) do solo**

A CE do solo traduz o teor de sais dissolvidos na solução de solo, em função dos iões condutores de corrente elétrica dissolvidos na água (Kopp et al., 1989). Para a determinação da CE do solo, utilizou-se um condutímetro. A determinação da CE realizou-se numa suspensão de solo em água, numa proporção de solo:água de 1:5, conforme Quelhas dos Santos (1996). Pesou-se uma amostra de 10 g de terra fina (< 2 mm) seca ao ar, para um copo de precipitação e adicionou-se 50 ml de água destilada. Agitou-se durante alguns minutos com a ajuda de uma vareta de vidro, e deixou-se repousar cerca de 60 minutos. De seguida, utilizando um condutímetro (Crison 522, 1991) para medir a CE da amostra.

#### **4.3.2.3. Verificação de presença de carbonatos**

A presença de carbonatos foi testada pela adição de algumas gotas de HCl a 10 %, em 0,5 g de amostra de solo.

#### **4.3.2.4. Determinação do teor em matéria orgânica do solo**

Para determinar o teor de matéria orgânica presente nas amostras de solos usou-se o método de calcinação ou perda de peso por ignição (LOI), por ser considerado um método simples, rápido e fiável (Jensen et al., 2018). O princípio base deste método, realizado via combustão seca, é a perda de C por aquecimento e incineração. O procedimento consiste na incineração da amostra a temperaturas entre 350 e 600 °C durante algumas horas (dependendo do tipo de amostra). O teor de matéria orgânica é determinado a partir da diferença de peso da amostra seca a 105 °C (para eliminar humidade) e o peso das cinzas obtidas após incineração. Tem vindo a ser testadas diversas temperaturas de aquecimento para incineração da matéria orgânica do solo, obtendo-se resultados diferenciados, variando a temperatura entre 350 e 600 °C (Bisutti et al., 2004; Jensen et al., 2018; Schumacher, 2002). Também em Varennes (2003), se refere que as amostras de solos devem ser calcinadas em mufla a não mais de 425 °C, durante pelo menos 6 horas. Não devendo ser utilizadas temperaturas mais elevadas, para não haver risco de decomposição de carbonatos que possam existir no solo, o que levaria a um resultado superior ao real.

A temperatura elevada acima de 350 °C pode provocar perdas de água estrutural em alguns minerais e destruição de matéria não orgânica (desidroxilação das argilas), sobrestimando o valor do COS (Jensen et al., 2018; Sena et al., 2015).

Não existindo consenso, quanto a temperatura e tempo de calcinação, optou-se pelo tempo de calcinação referido em Varennes (2003) de 6 horas e pela temperatura de 400-425°C, referida em Sena et al. (2015) e Varennes (2003), devido ao teor elevado de argila existente em algumas das amostras a tratar.

Para determinação da matéria orgânica do solo, seguiu-se o procedimento descrito em (Jensen et al., 2018; Schumacher, 2002; Sena et al., 2015). Em todas as pesagens efetuadas foi utilizada uma balança analítica (Sartorius), com erro associado de  $\pm 0,1$  mg. Pesaram-se cerca de 2 g de terra fina ( $< 2$  mm), seca ao ar, para cadinhos de porcelana (previamente secos e pesados). Os cadinhos foram colocados em estufa ventilada (Labinco) a  $105 \pm 1$  °C, até peso constante (peso seco) e foram pesados. Os cadinhos com as amostras secas colocaram-se depois na mufla (Piromax) a  $400 \pm 1$  °C durante 6 horas para serem calcinadas. Retiraram-se os cadinhos da mufla e pesaram-se após arrefecimento num exsiccador. A matéria orgânica foi determinada por diferença entre o peso da amostra seca a 105 °C e o peso das cinzas após calcinação a 400 °C, conforme Equação 7.

Equação 7

$$MOS = \frac{(P105 - P400)}{P105} \times 100$$

*MOS* – Teor de matéria orgânica no solo, em (%).

*P105* - Peso da amostra seca na estufa a 105 °C, em (g).

*P400* - Peso da amostra calcinada na mufla a 400 °C, em (g).

#### 4.3.2.5. Determinação do teor de carbono orgânico do solo

Determinada a percentagem de *MOS*, pode calcular-se a percentagem de C presente nas amostras, dado que a matéria orgânica tem na sua composição cerca de 58 % de C, sendo a determinação efetuada através da utilização do fator 1,724 (Batjes, 2014). Para determinar o teor de C presente no solo em t/ha, pode calcular-se pela aplicação da Equação 8.

## Equação 8

$$TCS = CO \times Dap \times P \times (1 - G)$$

Sendo: *TCS* (t/ha) – teor de C no solo; *CO* (%) - C orgânico; *Dap* (g/cm<sup>3</sup>) - densidade aparente; *P* (cm) - profundidade do perfil da amostra; e *G* (g/100g) - fração grosseira. Conforme a generalidade da bibliografia (Batjes, 2014; Farina et al., 2017; Poeplau and Don, 2015).

#### **4.3.2.6. Determinação do teor de carbono da biomassa herbácea e da folhada (camada orgânica)**

O procedimento para determinação do teor de matéria orgânica e de C da biomassa (Vesp e Fa) foi idêntico ao referido no ponto anterior 4.3.2.4 e 4.3.2.5, exceto em relação a temperatura e duração do processo de calcinação em mufla (Piromax). Para calcinação da biomassa utilizou-se uma temperatura de calcinação de 500-550 °C, com uma duração de 3 horas (Ramos et al, 1987).

Quanto à biomassa viva abaixo do solo determinou-se conforme descrito em Ravindranath and Ostwald (2008), sendo composta por todas as raízes vivas (excluindo as inferiores a 2 mm, por não se distinguirem da MO do solo), apresenta um rácio parte aérea/parte subterrânea de cerca de 0,20 a 0,26 da biomassa total, conforme refere Ravindranath and Ostwald (2008) citando Santantonio et al. (1997) e Cairns et al. (1997), respetivamente. Neste trabalho usou-se o rácio de 0,23, sendo o valor médio do referido anteriormente e o usado em Gonçalves et al. (2013).

#### **4.3.3. Medições dendrométricas das fruteiras**

Nos pomares em estudo procedeu-se à medição das copas das fruteiras. Esta medição realizou-se em dois pontos da copa das fruteiras. Um perpendicular e outro paralelo à linha de plantação, passando pelo centro da fruteira. Determinando-se posteriormente o diâmetro médio da copa. Esta operação repetiu-se em 20 árvores, com escolha aleatória, nos locais onde se realizaram amostragens de solos. Esta determinação teve como objetivo, calcular a área de projeção da copa fruteira.

#### **4.4. Análise estatística dos dados**

A análise estatística dos dados incluiu o cálculo de médias e respetivos erros padrões, assim como análises de variância simples. Quando se encontraram efeitos significativos ao nível  $\alpha=0,05$ , efetuaram-se testes de Tukey para separação de médias.

Foi utilizado o programa estatístico *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS versão 28) e a folha de cálculo Excel integrada no Microsoft Office versão 18.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos nas diferentes áreas em estudo neste trabalho não são comparáveis entre si, uma vez que não partilham grande parte das características, como, por exemplo: a disposição geomorfológica; as propriedades do solo; a idade de plantação; a exposição solar; os ventos a que estão expostos; as variações do clima, entre outras características que não cabe aqui enumerar.

Todos estes fatores agem e interagem entre si, formando um relacionamento complexo e uma forte variabilidade espacial, influenciando a quantidade de C armazenado no solo e na biomassa. O uso da terra e as práticas culturais, nomeadamente as coberturas do solo, são determinantes para as entradas de C no solo e influenciam fortemente o conteúdo de COS e a sua dinâmica (Farina et al., 2017; Lefèvre et al., 2017; Mancinelli et al., 2010).

### **5.1. Condutividade elétrica (CE) dos solos e presença de carbonatos**

Os resultados das medições da CE registados mostraram que em todos os locais em estudo neste trabalho estamos na presença de solos não salinos, com valores de condutividade inferiores a 0,40 dS/m, no extrato a 25 °C, conforme Quelhas dos Santos (1996).

Quanto à testagem da presença de carbonatos com HCl a 10 %, nos solos em estudo, também não se verificou a sua presença em qualquer das amostras estudadas.

### **5.2. Herdade da Zambujeira (HZ), em Ferreira do Alentejo**

#### **5.2.1. Densidade aparente**

Os valores de densidade aparente (Dap) obtidos na Herdade da Zambujeira, registaram alguma variação. No pomar de citrinos, designado por (A) na Figura 4-6, registou-se um valor médio de Dap de 1,10 g/cm<sup>3</sup> (linha e entrelinha). No pomar de amendoeiras, designado de (B) na Figura 4-6, registou-se um valor de 1,03 g/cm<sup>3</sup> de Dap e na entrelinha da área (C) da mesma figura, na zona de sequeiro, sem árvores e sem culturas, bem como na área de sebes, observou-se um valor de Dap de 1,47 g/cm<sup>3</sup>, conforme dados disponibilizados no Anexo 4. A linha apresenta em geral um valor de Dap inferior ao da entrelinha, no entanto, considerou-se neste trabalho a média de ambas as posições, por se considerar ser necessário um maior volume de amostragem para as distinguir convenientemente.

A observação de valores inferiores de Dap nas linhas de plantação de fruteiras, pode ser devida à reduzida perturbação do solo na zona ocupada pelas fruteiras. Já, a entrelinha, devido às diversas práticas culturais, sofre maior compactação, ainda que não exista mobilização de solo e as amostras tenham sido recolhidas na posição média da entrelinha. As áreas (A) e (B), ambas pomares (citrinos e amendoeiras, respetivamente), apresentam diferença pouco significativa quanto à Dap. A área (C) apresenta um valor significativamente superior de Dap, possivelmente devido ao pisoteio e à passagem de alfaias agrícolas no local. Estes solos, conforme caracterização no ponto 4.1.1.1, apresentam uma massa volúmica aparente em geral elevada ao longo do perfil (Calado et al., 2002; Cardoso, 1965).

A presença de enrelvamento permanente na entrelinha pode estar associada a um decréscimo da Dap na camada superficial de solo. O coberto vegetal aumenta a porosidade e melhora as condições físicas do solo de forma direta e indireta, os cobertos vegetais aumentam o armazenamento de C, porque produzem biomassa e restituem-na ao solo, aquando da sua decomposição, conforme Bopp et al. (2019).

Os solos com teores de MO < 2% e com textura média apresentam, conforme Costa (1999), valores de Dap na ordem de 1,30 g/cm<sup>3</sup>. No entanto, com valores de MO > 2% podem apresentar valores bastante inferiores, o que se observa nestes pomares da Herdade da Zambujeira.

Pela consulta da base de dados da INFOSOLO (INIAV, 2022)<sup>10</sup>, verificou-se que existem 3 perfis de solos estudados no local, onde hoje se encontra o extenso pomar de citrinos, com amostras de solos recolhidas em 1997 e 2009. As amostras de solos de 1997 apresentaram valores de Dap de 1,66 g/cm<sup>3</sup> e 1,49 g/cm<sup>3</sup> e no local era cultivada beterraba sacarina (1997). A amostra recolhida em 2009 apresenta um valor de Dap de 1,66 g/cm<sup>3</sup>. O pomar tem atualmente 16 anos e a sua exploração é efetuada respeitando o modo de produção integrada, sem mobilização de solos e com manutenção de enrelvamento permanente. Os valores de Dap obtidos nas amostras de solo recolhidas em 2021, mostram uma descida significativa, face aos valores de 1997 e de 2009. Assim, em 1997, e considerando o valor médio disponibilizado na referida base de dados de 1,58 g/cm<sup>3</sup>,

---

<sup>10</sup> <https://portalgeo.iniaav.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac53208>

observou-se uma descida na Dap de cerca de  $0,48 \text{ g/cm}^3$  na área do pomar de citrinos. Face a 2009, observou-se uma descida de cerca de  $0,56 \text{ g/cm}^3$ . Esta descida acentuada, indica uma melhoria na estrutura do solo, uma diminuição dos efeitos da erosão e um consequente aumento do teor de MO e C no pomar em referência.

### 5.2.2. Textura do solo

Após análise granulométrica das amostras de solo do pomar de citrinos, observou-se que os solos da Herdade da Zambujeira apresentam valores compatíveis com a classe textural de solo franco e textura de terras média, conforme valores médios obtidos de argila ( $10,9 \pm 0,3 \%$ ), limo ( $24,9 \pm 0,9 \%$ ) e areia ( $64,2 \pm 0,6 \%$ ) apresentados na Tabela 5-1 e no diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), Figura 5-1. Quanto aos elementos grosseiros, após crivagem (crivo de 2 mm), registou-se um valor significativo destes elementos ( $22,0 \pm 0,9 \%$ ), conforme Tabela 5-1. Em Costa (1999) refere-se que uma quantidade significativa de elementos grosseiros determina uma diluição da massa ativa do solo, interferindo com as suas propriedades físicas e químicas e, consequentemente, com o desenvolvimento das plantas.

Estes solos apresentam as características de solos argiluvitados pouco insaturados (subordem de solos mediterrâneos pardos, formados a partir de rochas não calcárias, essencialmente xistos e outras, estando a sua cor relacionada com o tipo de rocha-mãe), conforme Cardoso (1965). Os solos de textura franca são, em geral, favoráveis ao desenvolvimento da maioria das espécies anuais ou plurianuais.

A textura das camadas superficiais destes solos é muito próxima da ligeira, devido à

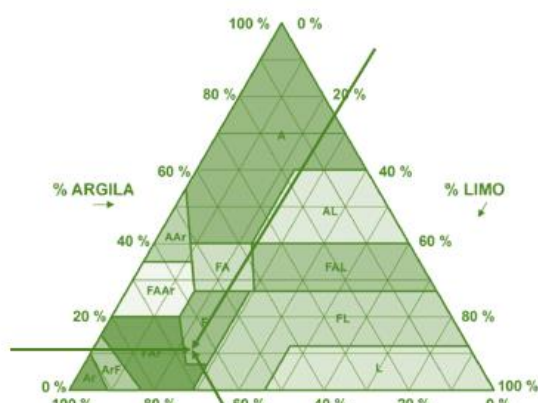


Figura 5-1 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas na Herdade da Zambujeira.

elevada percentagem de areias, conforme Calado et al. (2002) e Cardoso (1965), no entanto, a percentagem de argila vai aumentando ao longo do horizonte B, apresentando permeabilidade lenta e alguma resistência à penetração das raízes. Este aumento dos valores de argila no horizonte B não pôde ser comprovado neste trabalho, dado que apenas se recolheram amostras na profundidade

de 0 a 20 cm. No entanto, verificou-se como se apresentava o perfil do solo nos dados disponibilizados pelo INIAV (2022)<sup>11</sup> e qual a profundidade do horizonte A.

Tabela 5-1- Composição granulométrica dos solos da Herdade da Zambujeira, no pomar de citrinos.

Componentes	Percentagem (média ± erro padrão)
Limo + argila (%)	35,8 ± 0,6
Argila (%)	10,9 ± 0,3
Limo (%)	24,9 ± 0,9
Areia (%)	64,2 ± 0,6
Terra fina (%)	78,0 ± 0,9
Elementos grosseiros (%)	22,0 ± 0,9

Os dados das amostragens realizadas no mesmo local (1997) evidenciam que o solo tem um perfil ABC, conforme referido por Calado et al. (2002), tendo o horizonte Ap<sup>12</sup> uma profundidade de 0 a 25 cm, o horizonte Bt<sup>13</sup> uma profundidade de 25 a 50 cm e o horizonte C uma profundidade de 50 a 80 cm.

O elevado teor de areias também se pode verificar nos dados disponibilizados pelo INIAV, com um valor de 50,7 %, ligeiramente inferior ao obtido neste trabalho (64,2 ± 0,6 %), conforme Figura 5-1 e Tabela 5-1. No entanto, esta diferença observada entre os dados deste trabalho e os dados disponibilizados pelo INIAV não fariam alterar a classe textural em que foi classificado.

### 5.2.3. Reação do solo

Na área em estudo, o pH dos solos varia entre pouco ácido e neutro, conforme classificação de Quelhas dos Santos (1996), apresentada na tabela do Anexo 3.

<sup>11</sup>

<https://portalgeo.iniaiv.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac53208>

<sup>12</sup> Ap – Perturbado por lavouras.

<sup>13</sup> Bt – Acumulação iluvial de argilas.

No gráfico da Figura 5-2, que apresenta os valores de pH médios ( $\pm$  erro padrão), pode observar-se que as amostras recolhidas nas linhas apresentam um valor significativamente inferior ao das amostras recolhidas nas entrelinhas, podendo atribuir-se a designação de pouco ácidos aos solos das linhas e de neutros aos solos das entrelinhas. Segundo refere Varennes (2003), nas regiões de baixa precipitação (Baixo Alentejo), o complexo de troca pode ter um elevado grau de saturação em bases, por não haver tendência para a lixiviação e o pH dos solos em geral ser neutro.

No pomar de citrinos, Figura 4-6, registaram-se valores de pH na linha ( $L/Sc = 6,51 \pm 0,04$  e  $L/Ca = 6,60 \pm 0,03$ ) e na entrelinha de ( $E/Vesp = 7,13 \pm 0,07$  e  $E/Vsem = 7,01 \pm 0,04$ ), Figura 5-2, sendo justificado o valor inferior de pH das linhas, pela aplicação de fertilizantes minerais e no caso da  $L/Sc$  pela possível aplicação de herbicida acidificante. A aplicação de fertilizantes com azoto amoniacal gera uma reação ácida, além disso, também a absorção do ião amónio pelas plantas e/ou a transformação deste em azoto nítrico (realizada por microrganismos do solo), são processos que libertam protões, acidificando o solo. Assim, a aplicação regular de fertilizantes contribui para a acidificação dos solos (Varennes, 2003).

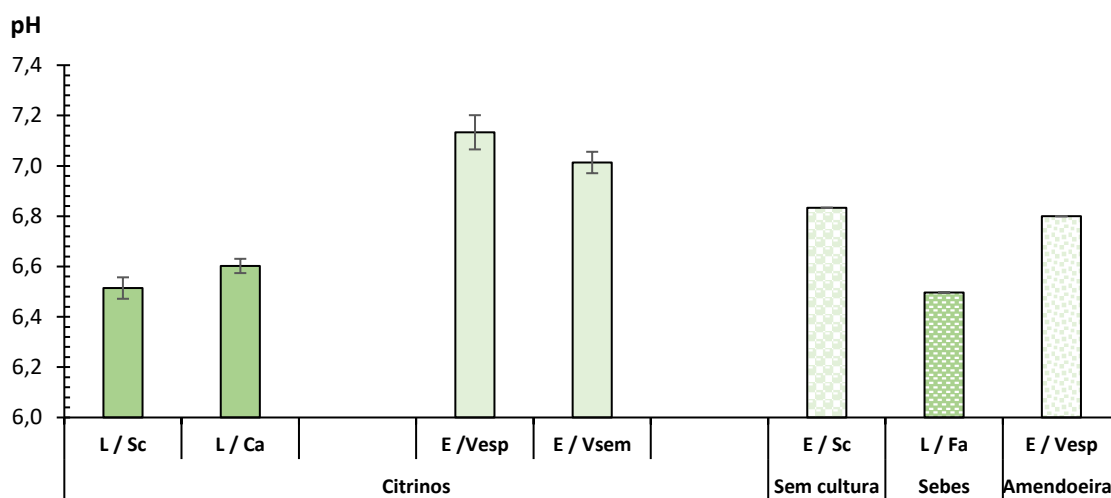


Figura 5-2 – Acidez (pH) dos solos da Herdade da Zambujeira com diferentes ocupações. Posição: L (linha de plantação); E (entrelinha). Tipo de cobertura de solo: Sc (sem cobertura de solo); Ca (mulching com casca de amêndoa); Vesp (vegetação espontânea); Vsem (vegetação semeada) e Fa (folhada).

Nas linhas de citrinos, verifica-se que os solos com cobertura de casca de amêndoa apresentam um valor de pH significativamente superior ao dos solos sem cobertura, Figura 5-2, no entanto, o esperado seria terem um valor inferior. A presença de cobertura de solo (orgânica), tende a baixar o pH, devido ao aumento da taxa de decomposição de

MO (Costa, 1999; Varennes, 2003). O processo de decomposição e transformação da MO compreende a formação de ácidos orgânicos e inorgânicos, que fomentam a acidificação do solo (Varennes, 2003). Também em López et al. (2014) se refere que na camada superior de 0 a 25 cm, o mulching com casca de amêndoa reduziu o pH do solo em 0,5. No entanto, as amostras foram recolhidas na Primavera (abril), quando a temperatura do solo aumenta e, nestas circunstâncias o pH tende a baixar, devido ao aumento da taxa de decomposição da MO (Varennes, 2003), o que pode ter ocorrido nas L/Sc. Porém, nas linhas com Ca, o mulching mantém o solo mais fresco, não promovendo o aumento da taxa de decomposição de forma tão rápida e, por conseguinte, poderá ter-se registado uma menor redução do pH.

Quanto ao pH das entrelinhas de citrinos, observa-se que quando cobertas com Vesp apresentam um valor significativa superior quando comparado com o das entrelinhas com Vsem. Este valor de pH na Vsem pode ser justificado pela presença da *Vicia sativa L.* (semeada em outubro de 2020, Outono anterior à recolha das amostras), sendo uma leguminosa (Fabaceae), tem capacidade de fixação biológica de azoto no solo por associação com as bactérias rizóbio. Desta associação resulta um desequilíbrio entre catiões e aniões na planta, com excesso de absorção de catiões, levando à síntese de grandes quantidades de ácidos orgânicos. Esta acumulação de catiões na rizosfera, faz baixar o valor do pH do solo (Varennes, 2003).

Quanto ao pH nas linhas das sebes de 6,50, não apresenta diferenças significativas face ao valor das L/Sc do pomar de citrinos, sendo inferior ao das L/Ca, este solo também se encontra coberto com camada de agulhas (consideradas Fa) e também é regado.

Relativamente aos solos sem árvores, sem cultura e sem coberto vegetal (E/Sc) apresentam um valor de pH de 6,83, significativamente inferior ao dos solos das entrelinhas do pomar de citrinos. Esta diferença parece ser devida à inexistência de coberto vegetal.

Por último, a E/Vesp do pomar de amendoeiras apresenta um pH de 6,80 significativamente inferior ao das entrelinhas do pomar de citrinos e não muito diferente do apresentado pelo solo sem culturas. O pomar de amendoeiras foi plantado em 2015, sendo mais recente e a Vesp da entrelinha é menos densa que a do pomar de citrinos, estando o solo mais exposto.

#### 5.2.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

Após determinação do teor de MOS pelo método de calcinação, foi possível calcular o teor de C presente nas amostras de solos em função da sua posição (linha e entrelinha) e do tipo de cobertura de solo. Os resultados obtidos de percentagem de C nas amostras de solo do pomar de citrinos nas diferentes modalidades e posições foram os que se apresentam na Figura 5-3.

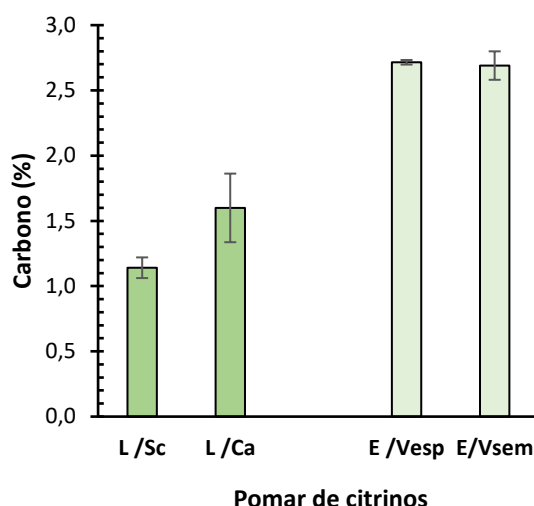


Figura 5-3 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C determinado nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade de 0 a 20 cm. No setor (A) de pomar de citrinos, com amostras recolhidas: em L/Sc e E/Vesp (modalidade 1) e L/Ca e E/Vsem (modalidade 2).

Em Quelhas dos Santos (1996) considera-se que o teor médio de MO se situa no intervalo de 1,6 % a 5 % de MO para solos de textura grosseira e, para solos de textura média ou fina, esse intervalo é de 2,1 % a 7 %, conforme tabela apresentada no Anexo 5. No pomar de citrinos, sendo o solo de textura média, esperam-se valores de MO entre 2,1 % a 7 %. O observado foi um valor mínimo de MO de  $1,97 \pm 0,14$  % na L/Sc e um máximo de  $4,68 \pm 0,03$  % na E/Vesp, correspondendo ao esperado.

Quanto ao teor de C, pela análise da Figura 5-3, verifica-se que as amostras de solos das linhas (Sc e Ca), apresentam uma percentagem de C significativamente inferior ao das entrelinhas (Vesp e Vsem). Nas linhas, a modalidade 2 (Ca) apresenta um teor de C significativamente mais elevado que a modalidade 1 (Sc) com  $1,60 \pm 0,26$  % e  $1,14 \pm 0,08$  %, respetivamente, evidenciando a importância da aplicação das coberturas orgânicas no solo, mais concretamente o mulching nas linhas dos pomares, nomeadamente com Ca para melhoria do teor de MO do solo. Num trabalho de López et al. (2014) refere-se que as cascas das amêndoas decompõem-se lentamente, devido ao seu

elevado teor em lignina, mantendo, em simultâneo uma elevada atividade biológica na camada de cobertura morta e uma significativa quantidade de CO sequestrado no solo durante longos períodos de tempo. A maior parte do CO presente na casca de amêndoa vai sendo transferida e acumulada em formas de MO estabilizadas na camada mineral do solo. Resultando em benefícios ambientais (aumento do CO do solo) e agrícolas (menores custos com manutenção das linhas, devido à longa durabilidade desta cobertura de solo e ao controlo que exercem sobre as infestantes).

O solo livre de vegetação herbácea nas linhas Sc (modalidade 1), embora de alguma forma protegido pela enorme copa das fruteiras, fica mais exposto à erosão e degradação das suas propriedades físicas e químicas, nomeadamente erosão e perda de MO (Roxo et al., 2016).

As amostras das entrelinhas, de ambas as modalidades (Vesp e Vsem), não apresentam diferenças significativas, Figura 5-3, sendo o teor de C presente nas amostras de solo de  $2,72 \pm 0,02$  % e  $2,69 \pm 0,11$  %, respetivamente. A seu tempo a entrelinha com Vsem poderá apresentar valores de C significativamente superiores devido à escolha do tipo de vegetação semeada. A sementeira realizou-se, apenas, em outubro de 2020, não tendo permanecido no solo tempo suficiente para surgirem resultados significativos. A escolha de Fabaceae e Poaceae para semear em consociação (*Vicia sativa L.* e *Lolium sp.*, respetivamente) apresenta vantagens relativamente à vegetação espontânea. As leguminosas formam cobertos vegetais, que conferem elevada proteção ao solo contra a erosão, melhorando a infiltração de água e aumentando o teor de MO e stock de C no solo (com baixa relação C/N, permitem a decomposição e libertação de nutrientes de forma mais rápida) (Bopp et al., 2019; Ramos et al., 2010; Rodrigues, 2017; Varennes, 2003), nomeadamente as ervilhacas, que têm sido usadas pela sua capacidade de fixação biológica de azoto atmosférico e melhoramento da fertilidade do solo, permitindo a redução da aplicação de fertilizantes azotados (Rodrigues, 2017; Varennes, 2003). As poáceas, por seu lado, apresentam maior relação C/N (decomposição mais lenta), taxas de crescimento mais elevadas, além de melhorarem as propriedades físicas do solo, devido ao seu sistema radicular, e favorecerem a transitabilidade de equipamentos agrícolas (Rodrigues, 2017).

Analisando de forma global os valores da Figura 5-3, pode-se dizer que as amostras das entrelinhas apresentam um teor de C significativamente superior ao das linhas. Este facto, dever-se-á em parte, à presença de enrelvamento permanente nas entrelinhas (em

ambas as modalidades) das fruteiras (culturas permanentes), que acumulam continuamente resíduos das coberturas vegetais e, como tal, promovem os processos de humificação, agregação e sedimentação, contribuindo para o aumento do CO fixado no solo (Ramos et al., 2010).

No entanto, as linhas de plantação são, nos pomares, os locais que recebem maior quantidade de resíduos vegetais e frutíferos, fertilizantes e raízes (Deurer et al., 2012). Seria de esperar que tivessem o teor mais elevado de C. Mas, o que se verifica é que a zona da entrelinha apresenta valores superiores de C. Segundo Deurer et al. (2012), e após um estudo de 13 anos, os autores referem que esta situação se deve a uma maior compactação da entrelinha *versus* linha, devido à passagem de equipamentos agrícolas. Após revisão bibliográfica e medições diretas, os autores puderam excluir a possível explicação de uma maior entrada de C na entrelinha ser devida a maior quantidade de resíduos e à ocorrência de menor decomposição microbiana de MO. Sendo a redução da perda de C explicada por uma redução do fluxo de água, com menor lixiviação de C dissolvido e menores atividades da meso/macrofauna a exportar pequenos agregados de material orgânico do solo. Um maior valor de densidade aparente na entrelinha e uma maior concentração de C contribuem para o aumento do stock de C na camada mais superficial do solo. Assim, concluem os autores que uma pequena compactação na profundidade de 0 a 0,1 m pode ser um mecanismo de proteção física para o C do solo.

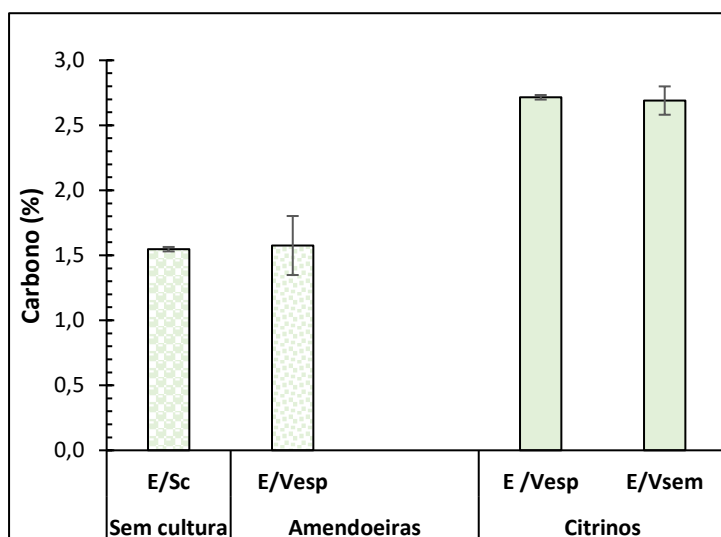


Figura 5-4 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C determinado nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (E/ Vesp (modalidade 1) e E/Vsem (modalidade 2), com setor (B), pomar de amendoeiras (E/Vesp) e com setor (C) área sem cultura (E/Sc).

No gráfico da Figura 5-4 pretende-se comparar: o teor de C presente nas amostras das entrelinhas do pomar de citrinos plantado em 2006, com o teor de C presente nas

amostras das entrelinhas do pomar de amendoeiras plantado em 2015 e estes com zona sem culturas e sem coberto vegetal.

No pomar de citrinos, as entrelinhas (Vesp e Vsem, já discutidas anteriormente) apresentam percentagens de C (E/Vesp  $2,72 \pm 0,02$  % e E/Vsem  $2,69 \pm 0,11$  %) significativamente superiores às presentes nas entrelinhas Vesp do pomar de amendoeiras ( $1,58 \pm 0,23$ %) e à zona sem cultura e sem Sc ( $1,55 \pm 0,02$  %). Em termos de percentagem de C presente nas amostras das entrelinhas do pomar de amendoeiras e a zona sem culturas não se observaram diferenças significativas.

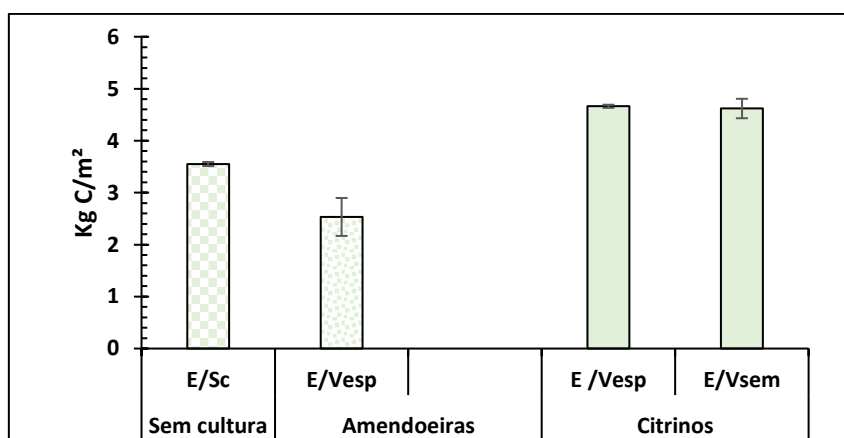


Figura 5-5 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de kg C/m<sup>2</sup> nos solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (E/ Vesp (modalidade 1) e E/Vsem (modalidade 2), com setor (B), pomar de amendoeiras (E/Vesp) e com setor (C) área sem cultura (E/Sc).

No entanto, se observarmos a Figura 5-5 e compararmos os valores médios de kg C/m<sup>2</sup> verifica-se que as entrelinhas do pomar de amendoeiras apresentam um valor significativamente inferior ao da zona sem culturas ( $2,53 \pm 0,36$  kg C/m<sup>2</sup> e  $3,55 \pm 0,04$  kg C/m<sup>2</sup>, respetivamente). Sendo esta diferença devida ao efeito da compactação do solo na zona sem culturas, que apresenta um Dap de  $1,47$  g/cm<sup>3</sup>, enquanto a Dap das entrelinhas do pomar de amendoeiras apresenta  $1,03$  g/cm<sup>3</sup>. As entrelinhas do pomar de citrinos não apresentam diferenças significativas em termos de kg C/m<sup>2</sup>.

A diferença registada entre as entrelinhas de ambos os pomares, evidência o efeito da cobertura vegetal herbácea a longo prazo no stock de C presente no solo, tanto em percentagem, como em kg C/m<sup>2</sup>, Figura 5-4 e Figura 5-5.

É de referir uma meta-análise de Poepflau and Don (2015) sobre a importância das coberturas vegetais para o sequestro de C no solo, onde foram considerados 30 estudos, com 139 amostras de 37 locais (76 %, dos quais, em zonas temperadas) com resultados de 54 anos de amostragens efetuadas numa profundidade de amostragem média de 22 cm.

Nesse estudo de Poeplau and Don (2015) é referido um aumento médio de  $0,32 \pm 0,8$  t C/ha/ano em solos cultivados com cobertura vegetal. Os dados obtidos pelos autores referido foram, posteriormente, inseridos no modelo RothC74 e pôde ser estimada a acumulação de C para um período de 155 anos de 16,5 t C/ha.

Torna-se evidente, que a acumulação de resíduos orgânicos no solo das entrelinhas do pomar de citrinos durante um período de 16 anos, sem mobilizações de solo, terá melhorado significativamente a sua estrutura e o teor de MO, bem como o stock de C. Já, o pomar de amendoeiras, foi plantado em 2015, com preparação prévia de terreno em camalhões, com reviramento de solos de horizontes mais profundos em que a quantidade de C é menor para a superfície e o inverso. Esta operação terá levado à diminuição do teor de C à superfície devido a eventuais perdas de C e à inversão de horizontes. No trabalho de Gonçalves et al. (2013) cita-se Galantini e Iglesias (2007) que refere que o reviramento de solos conduz à rutura dos agregados do solo, com consequente aumento do processo erosivo. Sendo a sua plantação mais recente (6 anos), embora as entrelinhas tenham cobertura vegetal, ainda não houve tempo para se efetuar a reposição do C perdido ou deslocado para maior profundidade.

Após consulta da base de dados da INFOSOLO (INIAV, 2022)<sup>14</sup>, verificou-se que nos dados disponibilizados relativos a 1997, no local do pomar de citrinos, o solo apresentava um teor de C de 0,91 %, muito inferior ao atual das entrelinhas (E/Vesp  $2,72 \pm 0,02$  % e E/Vsem  $2,69 \pm 0,11$  %). Considerando o valor médio das entrelinhas de 2,7 %, houve um incremento de 1,79 % em 24 anos. Salienta-se o facto de a cultura implementada em 1997 ser beterraba sacarina (cultura anual) e o modo de produção ser o convencional, com perdas consideráveis de C no solo (Macías et al., 2005).

No local próximo do pomar de amendoeiras existem também dados disponibilizados pela INFOSOLO, referentes a 2010, com valor de 1,49 % de teor de C, referindo que o local estava na época em pousio. Os resultados obtidos no pomar de amendoeiras foram de  $1,58 \pm 0,23$  %, o que mostra não ter havido, ainda, incremento significativo de C no solo.

---

<sup>14</sup> <https://portalgeo.iniaiv.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac53208>

A zona sem culturas e sem cobertura de solo, mais sujeita a erosão e a mineralização, apresenta  $1,55 \pm 0,02$  % de C. Sendo, também próxima do local de amostragem disponibilizado pela INFOSOLO, que refere 1,49 % de C, não apresentando uma diferença muito significativa, face ao valor atual.

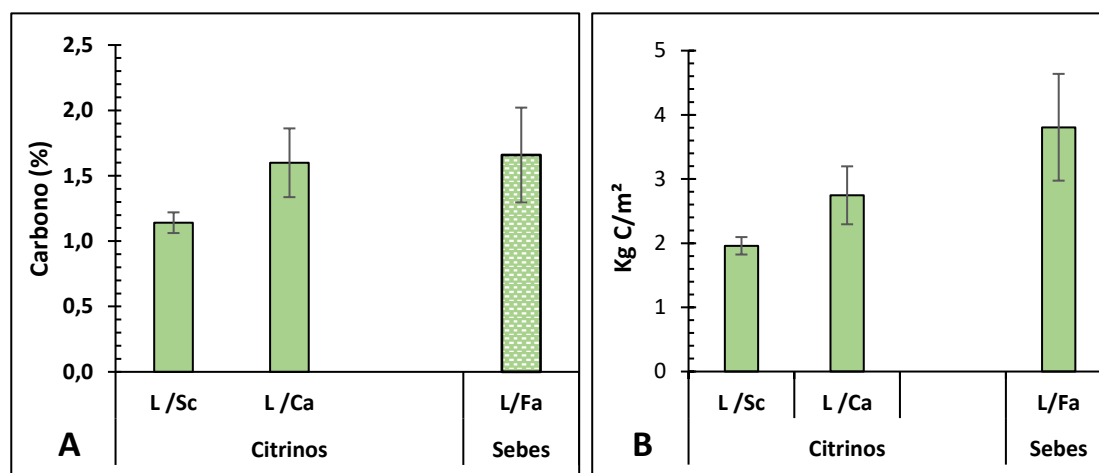


Figura 5-6 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C (A) e  $\text{kg C/m}^2$  (B) determinadas nas amostras de solos da Herdade da Zambujeira, na profundidade 0 a 20 cm. Para comparação dos valores do setor (A) de pomar de citrinos (L/Sc (modalidade 1) e L/Ca (modalidade 2)) com valores do setor (C), referentes às sebes L/Fa.

Com os gráficos da Figura 5-6 (A e B) pretende-se comparar: o teor de C presente nas amostras de solo das linhas do pomar de citrinos plantado em 2006, com o teor de C presente nas amostras das linhas de sebes, plantadas em 2015.

As diferenças entre as linhas (Sc e Ca) do pomar de citrinos já foram discutidas anteriormente. Cabe agora comparar o teor de C, presente no solo das linhas de citrinos (Sc e Ca), com as L/Fa das sebes (L/Sc com  $1,14 \pm 0,08$  %; L/Ca com  $1,60 \pm 0,26$  % e L/Fa das sebes com  $1,66 \pm 0,36$  %, respetivamente). Não se registaram diferenças significativas entre as L/Ca do pomar e as L/Fa das sebes. Mas, quando comparamos o teor de C das L/Sc do pomar com as L/Fa das sebes, estas apresentam um valor significativamente inferior. O mesmo se verifica em  $\text{kg C/m}^2$ .

As L/Ca do pomar e as L/Fa das sebes tem em comum a cobertura de solo, ainda que de diferente proveniência. Os benefícios da utilização da Ca, já foram referidos anteriormente. Quanto à importância da presença das sebes, em termos de contributo para o aumento da MO do solo, são referidos em vários trabalhos.

As sebes apresentam um elevado contributo para os aportes de MO (folhas, cascas, etc.), que retornam ao solo e ainda a importância da renovação das raízes finas e

exsudados das raízes. Salientando-se, também, a ação anti-erosão e o aumento da espessura do horizonte A (Bopp et al., 2019; Follain et al., 2007). No trabalho de Follain et al. (2007) é citado Arrouays et al. (2002) que estimou para uma faixa de 5 m de cada lado das sebes um aumento do valor de COS de  $5 \pm 2 \text{ kg C/m}^2$ . Neste trabalho determinou-se um valor médio de  $3,81 \pm 0,83 \text{ kg C/m}^2$  na área de influência da copa, conforme Figura 5-6 B.

Acresce, ainda, referir que a espécie selecionada para as sebes foi da família das Casuarináceas. Tratando-se de plantas actinorrízicas (capazes de fornecer azoto ao solo, devido à sua capacidade em estabelecer simbioses ao nível da raiz com bactérias fixadoras de azoto do género Frankia), maioritariamente lenhosas e resilientes a ambientes extremos, com um grande impacto ecológico, sendo usadas na recuperação e estabilização de ecossistemas degradados e prevenção da desertificação, contribuindo para a fertilização dos solos (Andrade, 2014).

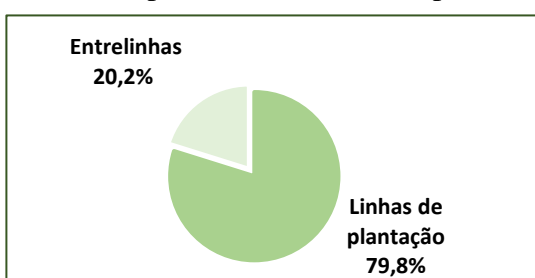
Salienta-se, ainda, que as linhas das sebes apresentam um valor superior de Dap, conforme referido no ponto 5.2.1, aumentando o valor de  $\text{kg C/m}^2$  das sebes conforme a Figura 5-6 B.

### 5.2.5. Carbono armazenado no solo

Após determinação do C armazenado no solo na profundidade de 0 a 20 cm por hectare, com recurso à Equação 8, foi necessário ter em conta a área de influência das fruteiras sobre o solo, nas diferentes posições (linha e entrelinha), considerando um hectare de pomar. Para proceder a estas determinações teve-se em conta a distância entre as linhas e a distância entre as copas das fruteiras. No pomar



Figura 5-8- Linha de plantação e entrelinha do pomar de citrinos, com 16 anos, na Herdade da Zambujeira.



de citrinos, atualmente com 16 anos e em plena produção, as fruteiras são bastante

Figura 5-7 - Proporção da área do pomar de citrinos ocupada pelas linhas de árvores e pelas entrelinhas.

volumosas e frondosas, apresentado um diâmetro médio de  $4,79 \pm 0,45$  m ( $n=20$ ), Figura 5-8. As fruteiras expandem a sua área de influência para além da área ocupada pelo camalhão. A área de projeção da copa é de 79,8 % e o espaço entre copas (não ocupado) é de 20,2 % da área total do pomar, conforme gráfico da Figura 5-7 e fotografia da Figura 5-8.

Após a aplicação da proporção de área ocupada pelas linhas e entrelinhas, em função da área de projeção das copas na linha de plantação, obtiveram-se os seguintes resultados: modalidade 1 (L/SC -  $15,64 \pm 1,09$  t/ha e E/Vesp -  $9,40 \pm 0,06$  t/ha), modalidade 2 (L/Ca -  $21,92 \pm 3,60$  t/ha e E/Vsem -  $9,31 \pm 0,38$  t/ha), conforme expresso no gráfico da

Figura 5-9. As entrelinhas de ambas as modalidades não apresentam diferenças significativas em termos de armazenamento de C no solo, no entanto, as linhas da modalidade 2 apresentam um valor significativamente mais elevado que as da modalidade 1, com influência significativa da cobertura de solo com Ca.

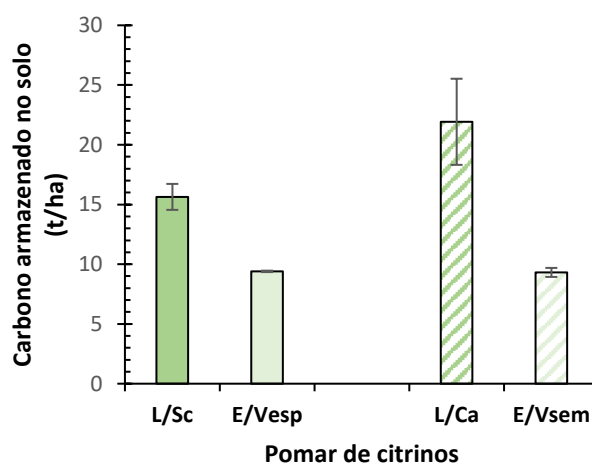


Figura 5-9 – Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos do pomar de citrinos na modalidade 1 (L/Sc) e E/Vesp), com a modalidade 2 (L/Ca e E/Vsem), na profundidade 0 a 20 cm. Em função da proporção ocupada pela linha e entrelinha.

As fruteiras, devido à sua idade e cultivar em produção, apresentam grandes dimensões, com copas de tamanho grande e forma esferoide, com uma altura média de  $4,14 \pm 0,38$  m ( $n=20$ ). Esta dimensão da copa exerce um efeito muito relevante na linha de plantação, em especial na área de sombra, com redução significativa da Vesp e/ou Vsem quer em termos de densidade, quer em termos de crescimento. Esta área de copa tem naturalmente efeitos, na quantidade de C armazenado no solo do pomar.

Analisando o pomar sem distinção entre a posição, mas apenas nas 2 modalidades, conforme a Figura 5-10, verifica-se que a modalidade 2 apresenta um valor médio de C armazenado no solo de  $31,24 \pm 3,98$  t/ha, enquanto a modalidade 1 apresenta um valor significativamente inferior de  $25,04 \pm 1,15$  t/ha. Em estudos semelhantes foram obtidos valores próximos, como 29,2 t/ha na profundidade de 0 a 20 cm (Sahoo et al., 2021) ou ligeiramente mais baixos, também em *Citrus sinensis* (L.) Oesbeck, com 25,07 t/ha na profundidade de 0 a 30 cm (Yasin et al., 2021).

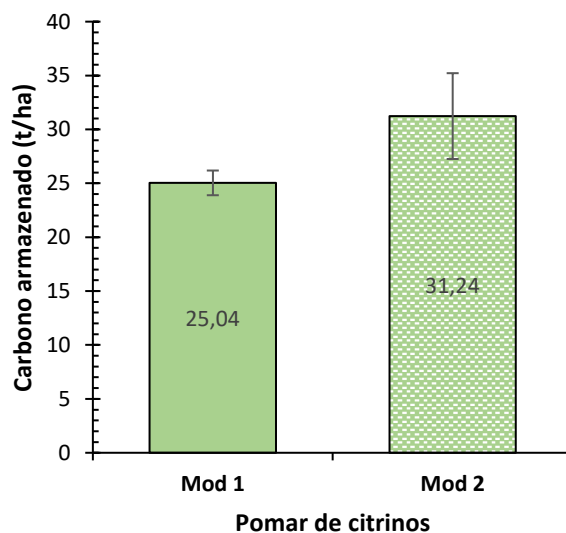


Figura 5-10 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos do pomar de citrinos da modalidade 1 com a modalidade 2, na profundidade 0 a 20 cm.

Tendo por base os dados disponíveis na INFOSOLO<sup>15</sup> (C (%), Dap, elementos grosseiros (%) e profundidade de 20 cm), para o mesmo local de amostragem de 1997, determinou-se um valor de C armazenado no solo em 1997 de 23,47 t/ha, comparando com os valores obtidos em 2021 (decorridos 24 anos) da modalidade 1 (25,04 t/ha) e modalidade 2 (31,24 t/ha), Figura 5-10, foi possível determinar a taxa anual de incremento de C em ambas as modalidades. Assim, para a modalidade 1 regista-se uma taxa anual de incremento de C no solo de 0,07 t C/ha/ano e para a modalidade 2 uma taxa anual de incremento de C no solo de 0,32 t C/ha/ano. Estes valores correspondem a uma taxa de

---

15

<https://portalgeo.iniav.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac5320>

8

sequestro de CO<sub>2</sub> no solo de 0,24 t CO<sub>2</sub>/ha/ano na modalidade 1 e de 1,19 t CO<sub>2</sub>/ha/ano na modalidade 2. Para a modalidade 2 corresponde a 28,48 t CO<sub>2</sub>/ha sequestradas no solo durante o período de 24 anos e para a modalidade 1 o valor de 5,74 t CO<sub>2</sub>/ha.

Mesmo quando ocorre um pequeno aumento no armazenamento de C no solo, este pode desempenhar um papel significativo na limitação do fluxo de C para a atmosfera. Valores médios anuais de armazenamento de C no solo de 0,4 t C/ha/ano foram obtidos em França, em pomares e vinhas com enrelvamento permanente (Arrouays et al., 2002).

### **5.3. Quinta dos Medeiros (BU), em Cacela**

#### **5.3.1. Densidade aparente**

Os valores de densidade aparente (Dap) obtidos na Quinta dos Medeiros, designada por (A) na Figura 4-8 apresentaram valores diferentes conforme o tipo de cultura. Tal como no pomar em estudo anteriormente, também nestes, as linhas de plantação apresentam um valor de Dap inferior ao das entrelinhas. Mas, considerou-se a média de ambas as posições por se julgar ser necessário um maior volume de amostragem para uma correta distinção.

O pomar de citrinos com a cultivar 'D. João', apresentou o valor médio de Dap mais baixo, de 1,39 g/cm<sup>3</sup> entre ambas as posições (linha e entrelinha). Nos pomares de alfarrobeiras e abacateiros registou-se um valor médio de Dap de 1,45 g/cm<sup>3</sup> e 1,53 g/cm<sup>3</sup>, respetivamente.

Conforme referido em Costa (1999), os solos com teores de MO < 2% e com textura média apresentam valores de Dap na ordem de 1,30 g/cm<sup>3</sup>, sendo o que se verifica no pomar de citrinos, onde o valor de MO é de 1,91 ± 0,14 % na linha e de 1,39 ± 0,11 % na entrelinha. O pomar de abacateiros e o de alfarrobeiras, apresentando um valor superior de MO (2,75 ± 0,23 % e 2,49 ± 0,20 %, respetivamente) deveriam ter um valor de Dap inferior, no entanto o mesmo não se verifica.

Estas observações sugerem a existência de alguma compactação e existência de baixa porosidade (Kopp et al., 1989).



5-12, registando-se o valor mais baixo na E/Vesp do pomar de abacateiros, com  $7,04 \pm 0,07$ , e o valor mais elevado na E/Vesp do pomar de citrinos, com  $7,40 \pm 0,01$ .

O pH das linhas de citrinos apresenta-se com valor significativamente mais baixo que as entrelinhas, Figura 5-12, o que se poderá dever ao efeito da aplicação de fertilizantes e alguns herbicidas (Varenes, 2003), situação similar à verificada no estudo do pomar anterior (ponto 5.2.3). No pomar de abacateiros a E/Vesp apresenta-se com um valor de pH significativamente inferior a L/Fa. Esta diferença pode dever-se à diferente composição da cobertura de solo (vegetação herbácea *versus* folhada).

Entre as E/Vesp dos pomares de citrinos e abacateiros observa-se uma diferença no valor do pH significativa, que poderá dever-se à composição da vegetação herbácea destes. O pomar de citrinos apresentava maioritariamente poáceas, enquanto o pomar de abacateiros apresentava uma enorme diversidade de espécies. Salienta-se ainda que as amostras não foram colhidas todas na mesma data, por razões de logística, o que pode ter interferido com os resultados.

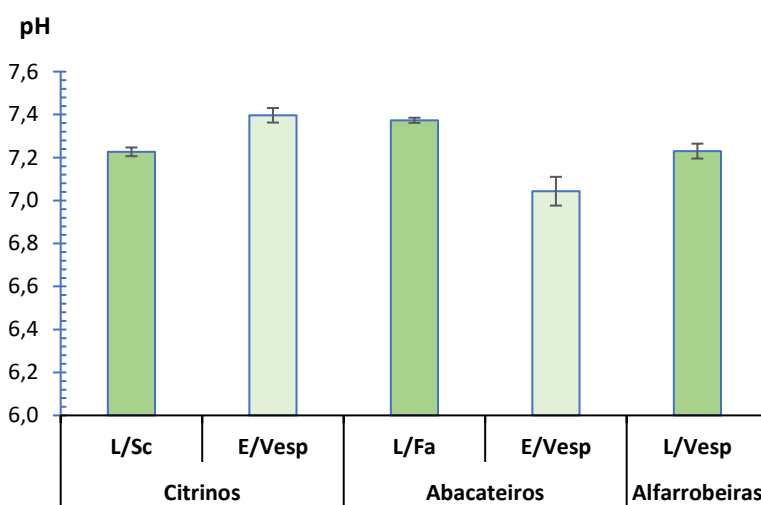


Figura 5-12 - Acidez (pH) dos solos da Quinta dos Medeiros com diferentes ocupações. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp).

#### 5.3.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

Em Kopp et. al. (1989) é referido que a faixa litoral, junto a Manta Rota apresenta valores de MO baixos, Apesar dos pomares serem explorados em modo de produção integrada, sem mobilizações de solo e com cobertura vegetal, a MO registada é baixa, especialmente nas entrelinhas e, no pomar de citrinos, em ambas as posições (linha e entrelinha). Os valores mais baixos observam-se nas entrelinhas de abacateiros e citrinos

( $1,35 \pm 0,12$  % e  $1,39 \pm 0,11$  %, respetivamente) e nas linhas de citrinos, com  $1,97 \pm 0,14$  %. As linhas de abacateiros e alfarrobeiras apresentam os valores mais elevados ( $2,75 \pm 0,23$  % e  $2,49 \pm 0,20$  %, respetivamente).

O teor de C nos 20 cm superficiais de solo e a quantidade de C armazenado nessa camada de solo seguem a mesma tendência, conforme Figura 5-13 e Figura 5-14. A massa de C mais elevada por  $m^2$  regista-se nas linhas de abacateiros e de alfarrobeiras, não apresentando estas diferenças significativas. O pomar de abacateiros apresenta nas L/Fa um valor médio de C de  $1,60 \pm 0,13$  % e  $3,89 \pm 0,32$  kg C/ $m^2$ . No pomar de alfarrobeiras observa-se na L/Vesp um valor médio de C de  $1,45 \pm 0,12$  % e  $3,34 \pm 0,27$  kg C/ $m^2$ . Apesar de não existirem diferenças significativas há que ter em atenção que o pomar de abacateiros foi plantado em 2018 (4 anos) e o pomar de alfarrobeiras foi plantado em 2016 (6 anos). Com menos tempo de plantação, o teor de C no solo dos abacateiros igualou o do pomar de alfarrobeiras.

Importa salientar que a alfarrobeira é uma espécie de crescimento lento (Correia et al., 2017a) e as alfarrobeiras do pomar em estudo ainda cobrem uma pequena área de solo. Os abacateiros são uma espécie de crescimento mais rápido, cobrem uma grande área de solo sob a qual é mantida uma cobertura de folhada de 7 a 8 cm. Na Figura 5-15, pode observar-se claramente a diferença entre as copas de abacateiros (A), citrinos (C) e alfarrobeiras (B).

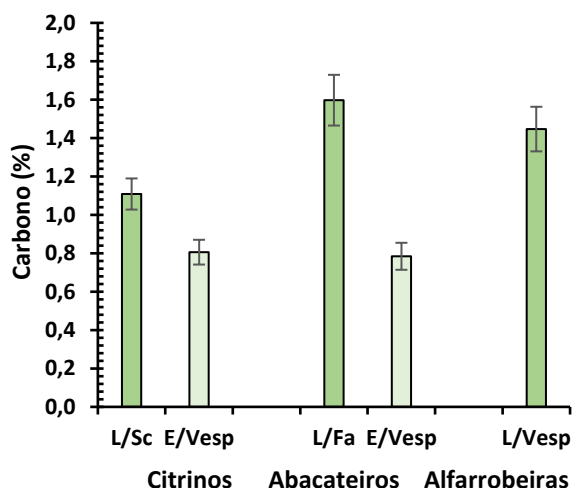


Figura 5-13 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C determinado nas amostras de solos da Quinta dos Medeiros, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp).

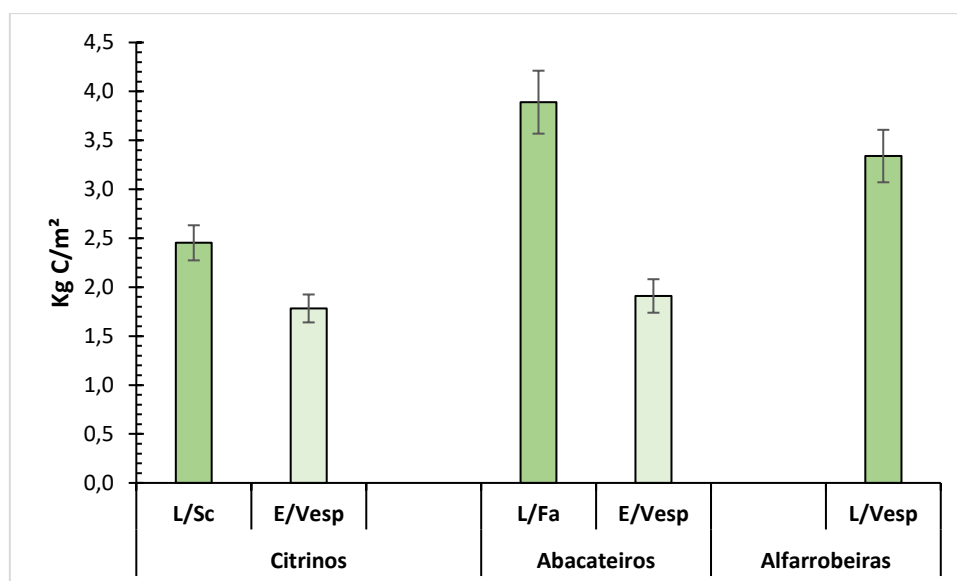


Figura 5-14 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de kg C/m<sup>2</sup> dos solos da Quinta dos Medeiros, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares: de citrinos (amostras na L/Sc e E/Vesp); de alfarrobeiras (amostras da L/Vesp) e pomar de abacateiros (amostras na L/Fa e E/Vesp).

Acresce referir que aquando da preparação do terreno foram armados camalhões no pomar de abacateiros, verificando-se reviramento de solos com inversão de horizontes e eventuais perdas de C na camada superficial de solo, como resultado das mobilizações, conforme já referido para o pomar da Herdade da Zambujeira.

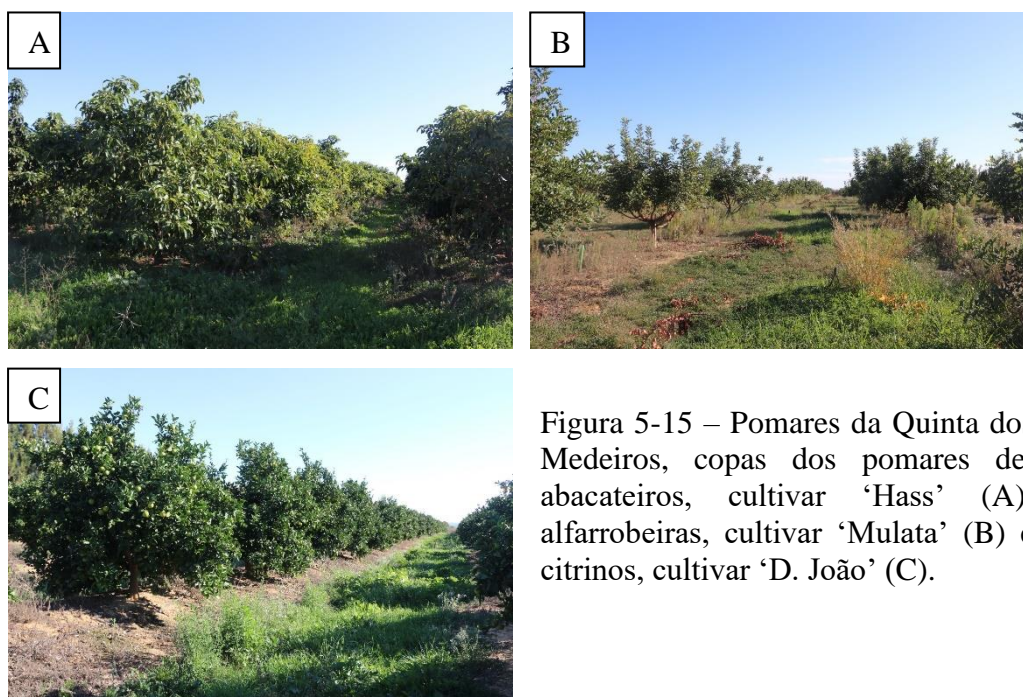


Figura 5-15 – Pomares da Quinta dos Medeiros, copas dos pomares de: abacateiros, cultivar ‘Hass’ (A); alfarrobeiras, cultivar ‘Mulata’ (B) e citrinos, cultivar ‘D. João’ (C).

Relativamente às linhas dos pomares de citrinos, observa-se na Figura 5-13 e na Figura 5-14 que os teores de C no solo são significativamente inferiores aos dos abacateiros e alfarrobeiras, com um valor médio de  $1,11 \pm 0,08 \%$  e uma massa de  $2,45 \pm 0,18 \text{ kg C/m}^2$ .

Esta diferença justificar-se-á pela manutenção das linhas sem infestantes, com aplicação de herbicida, sem qualquer cobertura de solo, e pela pequena dimensão das copas, Figura 5-15 C, em comparação com os abacateiros, ficando os solos expostos à erosão e perda ou, pelo menos, não aumento, do teor de C. Um solo nu permanente pode favorecer a erosão do solo e levar a uma redução progressiva da MO, de forma semelhante à que ocorre na lavoura do solo. A longo prazo, a vegetação torna-se mais difícil de controlar, devido ao aumento da resistência ao herbicida e mudanças na composição florística, com a vegetação sendo dominada por uma alta densidade de algumas espécies resistentes aos herbicidas atualmente em uso (Rodrigues, 2017, 2019).

Quanto às entrelinhas dos pomares de citrinos e abacateiros, não apresentam diferenças significativas entre elas (os citrinos valor médio de C de  $0,81 \pm 0,06 \%$  e  $1,78 \pm 0,14 \text{ kg C/m}^2$  e os abacateiros com  $0,78 \pm 0,07 \%$  e  $1,91 \pm 0,17 \text{ kg C/m}^2$ ). Ambos os pomares mantêm coberto vegetal, conforme já foi referido, sendo o tipo de vegetação herbácea distinta. Mas esta diferença não se manifesta nos resultados obtidos, ainda que o pomar de citrinos apresente substancialmente mais poáceas, resultando numa razão C/N mais elevada, com existência de mais lignina, o que torna a decomposição mais difícil e demorada (Varenes, 2003).

Em geral, as entrelinhas dos pomares, em termos de massa de C, apresentam maior valor que as linhas, no entanto nestes pomares da Quinta dos Medeiros, tal não se verifica. Estes valores inferiores das entrelinhas sugerem influência das mobilizações de solo, ainda recentes, aquando da implantação dos pomares. Para armação dos camalhões foi retirado solo das camadas superiores para o camalhão, deixando exposto solo de camadas inferiores com menos teor de COS, dado que o seu teor vai diminuindo em profundidade e aumentando o CIS. Segundo, Lal et al.(2015) mais de 50% do COS, está armazenado nos horizontes subterrâneos entre os 0,3 m e 1 m de profundidade.

### **5.3.5. Carbono armazenado no solo**

#### **Carbono armazenado à profundidade de 0 a 20 cm**

Tendo em atenção o compasso de plantação de cada pomar e a área ocupada pelas fruteiras determinou-se a percentagem de área ocupada pelas linhas de plantação (área de

projeção das copas), em cada pomar. As fruteiras apresentam diâmetros relativamente diferentes, os abacateiros apresentaram diâmetros médios de  $3,75 \pm 0,37$  m (n=20), as alfarrobeiras  $3,45 \pm 0,56$  m (n=20) e os citrinos  $2,89 \pm 0,30$  m (n=20). Estas diferenças podem observar-se nas fotografias da Figura 5-15, com copados bastante distintos.

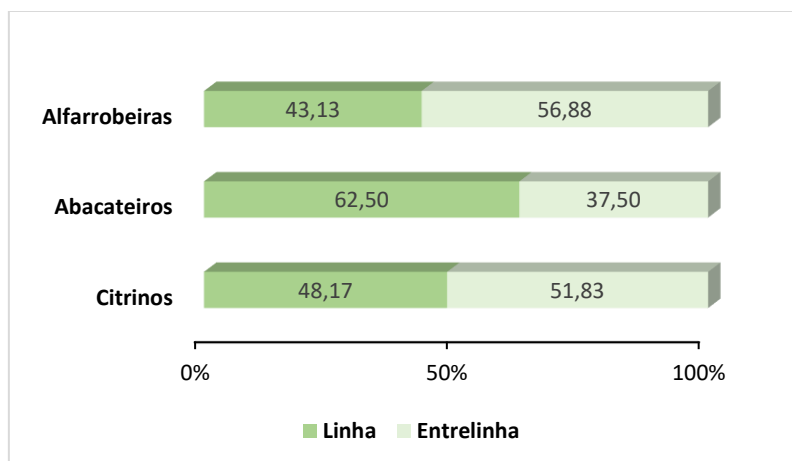


Figura 5-16 – Percentagem de área ocupada pelas linhas e entrelinhas, em função da área de projeção da copa das fruteiras, na Quinta dos Medeiros.

Em função do compasso de plantação, que no pomar de alfarrobeiras é maior, as fruteiras que apresentam maior área de expansão são os abacateiros com 62,5 %, seguindo-se os citrinos e as alfarrobeiras com 48,17 % e 43,13 %, respetivamente. Em termos de entrelinha, o valor mais expressivo surge no pomar de alfarrobeiras, devido ao maior espaçamento entre árvores e entre filas, Figura 5-16.

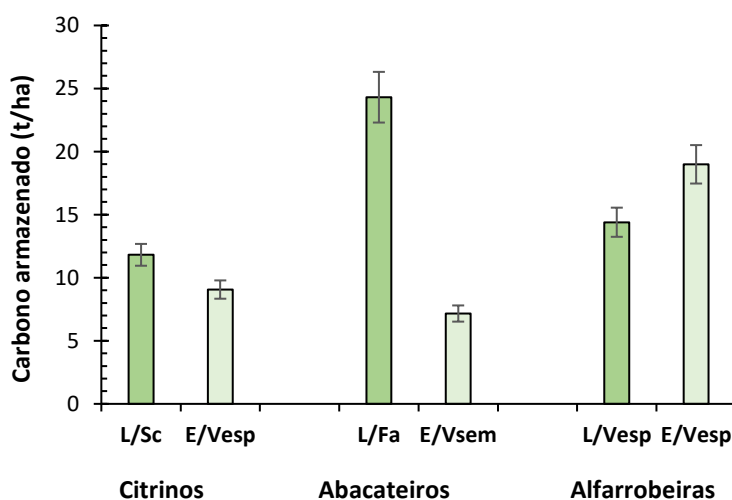


Figura 5-17 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos dos pomares de: citrinos (L/Sc e E/Vesp), abacateiros (L/Fa e E/Vsem) e alfarrobeiras (L/E Vesp), na profundidade 0 a 20 cm. Em função da proporção ocupada pela linha e entrelinha.

As linhas dos pomares de fruteiras apresentam um valor de C armazenado superior ao das entrelinhas, devido à área que ocupa o copado, com exceção das alfarrobeiras, cujas árvores ainda são relativamente pequenas e o compasso do pomar é de 8 m na entrelinha e 7 na linha (distância entre fruteiras).

Da análise da Figura 5-17, pode referir-se que os citrinos apresentam um valor médio de C armazenado de  $11,82 \pm 0,86$  t/ha na L/Sc e na E/Vesp  $9,24 \pm 0,74$  t/ha, ainda que a área ocupada pela entrelinha seja superior, sendo a recente instalação do pomar a justificação deste valor, o solo da entrelinha ainda não recuperou das movimentações ocorridas no pomar e o copado dos citrinos é de pequena dimensão. O pomar de abacateiros apresenta valores de C armazenado nos solos de  $24,31 \pm 2,01$  t/ha na L/Fa e na E/Vesp  $7,16 \pm 0,64$  t/ha, evidenciando claramente a influência da dimensão do copado e a importância da folhada na cobertura de solo e proteção deste. O pomar de alfarrobeiras apresenta na L/Vesp  $14,4 \pm 1,16$  t/ha e na E/vesp  $18,99 \pm 1,52$  t/ha, mostrando claramente a importância da proteção da copa das fruteiras na proteção do solo. No caso das alfarrobeiras de reduzida dimensão, ainda, devido ao crescimento lento da espécie. De ressaltar que não foram colhidas amostras nas entrelinhas deste pomar, fazendo-se a determinação com base na área ocupada pelas alfarrobeiras na linha de plantação.

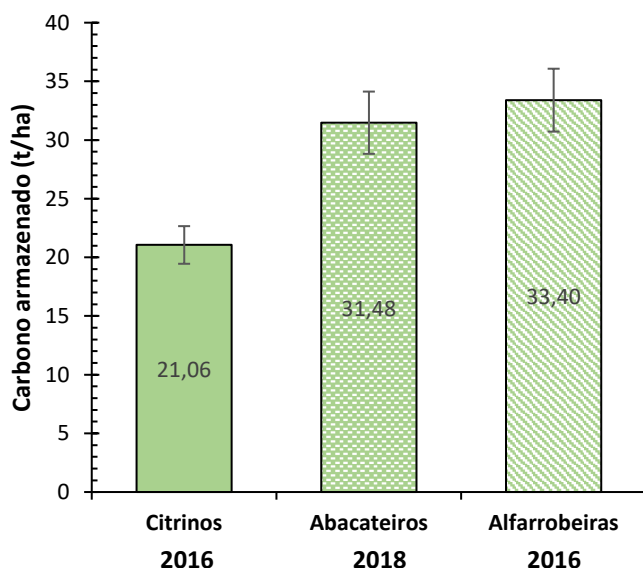


Figura 5-18 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela), tendo em atenção a data de plantação.

Quando comparados os valores totais de C armazenado no solo dos 3 pomares, Figura 5-18 verifica-se não existir diferença significativa entre o pomar de abacateiros e o de alfarrobeiras ( $31,48 \pm 2,65$  t/ha e  $33,4 \pm 2,68$  t/ha, respetivamente), ambos com cobertura de solo na linha e entrelinha. Quanto ao pomar de citrinos apresenta um valor bastante inferior de  $21,06 \pm 1,6$  t/ha.

Os três pomares da Quinta dos Medeiros apresentam condições semelhantes em termos de propriedades de solos (textura, pH, porosidade, etc), exposição solar, ventos, clima. O que varia é a cultura e a forma de gestão e idade de plantação.

Os valores, ora apresentados, apresentam-se em consonância com os valores do pomar de citrinos da Herdade da Zambujeira, aparentando existir uma correlação entre a forma de gestão dos pomares e a capacidade de armazenamento de C, sendo esta significativamente aumentada quando existe cobertura de solo na linha de plantação (casca de amêndoa e folhada) e na entrelinha cobertura com vegetação herbácea.

Nestes pomares não foi possível obter a taxa anual de C, não existindo dados disponíveis de análises de solos de anos anteriores.

### Carbono armazenado à profundidade de 0 a 2 cm

Os resultados das análises de solos na profundidade de 0 a 2 cm, em termos de armazenamento de C (t/ha) e tendo em consideração a área de influência da canópia das fruteiras, conforme descrito no ponto anterior, revelaram uma distribuição análoga à da profundidade 0 a 20 cm, com exceção para o pomar de citrinos, conforme Figura 5-19.

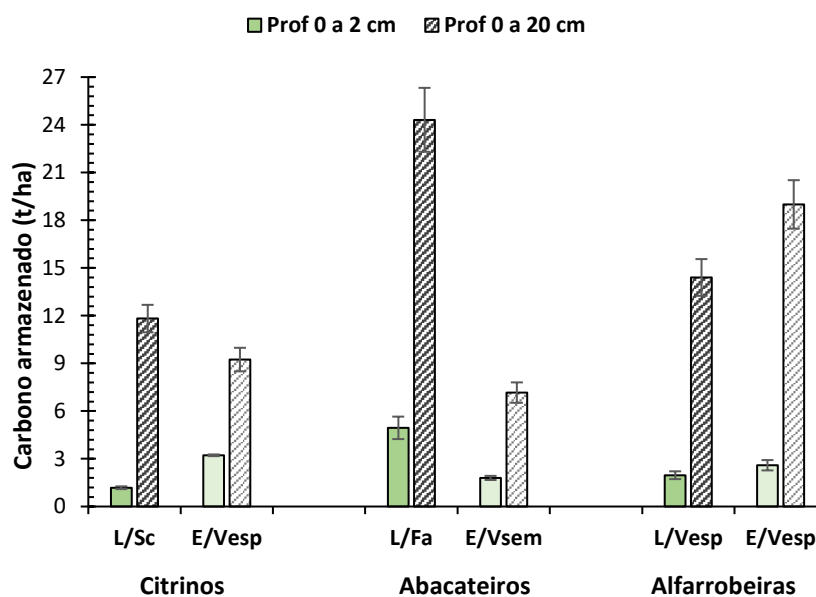


Figura 5-19 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm, com o C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela).

O pomar de abacateiros apresenta o valor mais elevado na camada mineral de 0 a 2 cm, registando-se na L/Fa  $4,95 \pm 0,71$  t/ha de C e na E/Vesp  $1,80 \pm 0,13$  t/ha. No pomar de alfarrobeiras regista-se um valor de C na E/Vesp superior ao da linha ( $2,60 \pm 0,32$  t/ha

e  $1,97 \pm 0,25$  t/ha, respetivamente), tal como na camada mineral de 0 a 20 cm, conforme Figura 5-19.

No pomar de citrinos observa-se na profundidade 0 a 2 cm, Figura 5-19, um valor de C armazenado na entrelinha significativamente superior ao da linha, sendo o inverso do observado na outra profundidade (E/Vesp  $3,22 \pm 0,05$  e L/Sc  $1,18 \pm 0,09$ ). Este valor elevado de C na E/VEsp *versus* L/Sc na camada superficial põe em evidência a importância dos cobertos vegetais e dos resíduos que se vão acumulando e melhorando a MO do solo. Os pomares com elevados índices de cobertura do solo apresentam maior teor de C no solo (Bopp et al., 2019), acumulando-se este na camada mais superficial do solo.

O valor de C registado nas entrelinhas dos citrinos é, ainda, superior ao da E/Vesp e da L/Vesp das alfarrobeiras, o que também não se observa na outra profundidade. Esta diferença dever-se-á predominância das poáceas neste pomar. As poáceas são plantas, que devido à sua fisiologia, podem contribuir com maior aporte de C para o solo. Num estudo de Oliveira et al. (2013) sobre aumento de C e de macronutrientes no solo sob coberturas vegetais em pomares de laranjeira ‘Pera’ concluíram que as coberturas de solo com poáceas proporcionaram maiores teores de COT do solo, quando comparadas com as fabáceas. Os teores de COT do solo variaram entre 6,2 e 7,9 g/kg, tendo as poáceas apresentado os valores mais elevados.

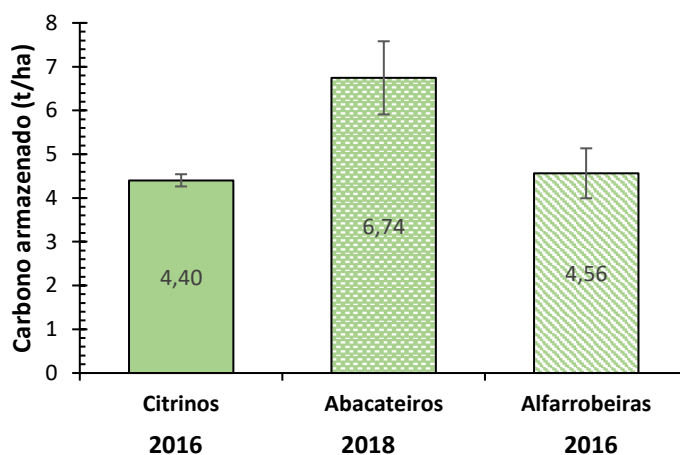


Figura 5-20 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 2 cm) dos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras da Quinta dos Medeiros, tendo em atenção a data de plantação

Quando comparados os valores totais de C armazenado no solo dos três pomares na profundidade de 0 a 2 cm, Figura 5-20, destaca-se o valor do C armazenado de  $6,74 \pm$

0,84 t/ha do pomar de abacateiros plantado em 2018. Sendo o pomar de plantação mais recente apresenta à superfície o valor mais elevado de C. Este acréscimo de C no solo pode atribuir-se à camada de folhada permanente acumulada superficialmente, Figura 5-21 A e, também, à elevada quantidade de raízes finas de abacateiros que se encontram à superfície, Figura 5-21 B, libertando os exsudados radiculares, nestas camadas minerais do solo.

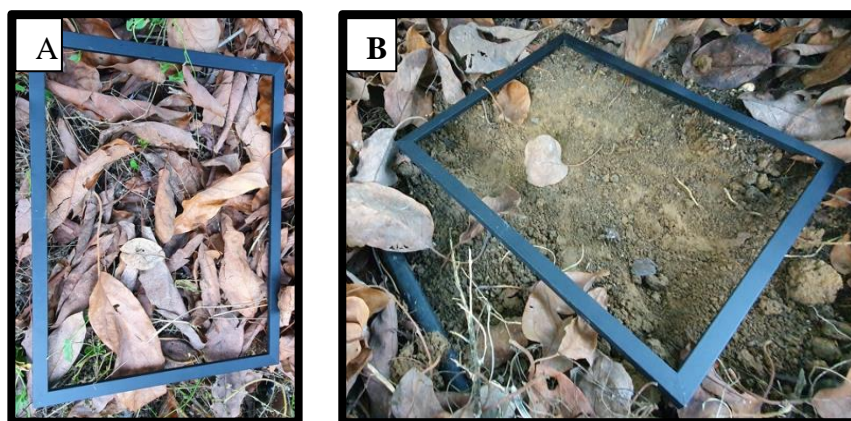


Figura 5-21 – Camada de folhada recolhida (A) e local de recolha de camada (0 a 2 cm) sob a camada de folhada com raízes finas à superfície (B), na linha do pomar de abacateiros da Quinta dos Medeiros.

Num estudo de Paranychianakis et al. (2021) sobre potencial de armazenamento de C nas culturas de abacateiros e oliveiras (em clima semiárido mediterrânico) e a sua relação com o tipo de culturas e propriedades do solo, referiu-se que os solos plantados com abacateiros apresentaram maiores teores de MOS, principalmente na camada superior do solo (0-10 cm), estando esse aumento relacionado com maiores entradas provenientes da camada de folhada e da composição química desta.

Entre o pomar de alfarrobeiras e citrinos não se observa diferença significativa; ambos apresentam E/Vesp e canópis pequenas.

### 5.3.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica)

Dada a importância das coberturas de solo na preservação da qualidade dos solos, decidiu-se determinar qual o teor de C presente na sua biomassa. A composição da vegetação herbácea era bastante diferente entre os 3 pomares, tendo já sido referida no ponto 4.2.3.

O valor médio de MO obtido na camada de manta morta Fa (composta por folhas secas, pequenos ramos secos, frutos secos, etc) das linhas de abacateiros foi

significativamente superior ao obtido na vegetação herbácea, assim, como a percentagem de C. A camada de Fa apresentou um valor médio de MO de  $88,29 \pm 0,33$  % e um teor de C de  $51,21 \pm 0,19$  %. A Vesp apresentou valores inferiores de MO com  $74,07 \pm 3,24$  % e valores de C de  $42,97 \pm 1,88$  %. Acresce referir que a Vesp do pomar de alfarrobeiras estava excecionalmente grande e seca, quando se fez a colheita, o que não será de toda a situação normal. Os resultados destas amostragens irão distorcer a situação comum.

Na Figura 5-22 pode observar-se a distribuição do armazenamento de curta duração do C (t/ha) na biomassa da vegetação herbácea aérea e nas suas raízes (HO), bem como na camada orgânica da folhada, tendo em consideração a proporção ocupada pela linha e pela entrelinha, em cada pomar.

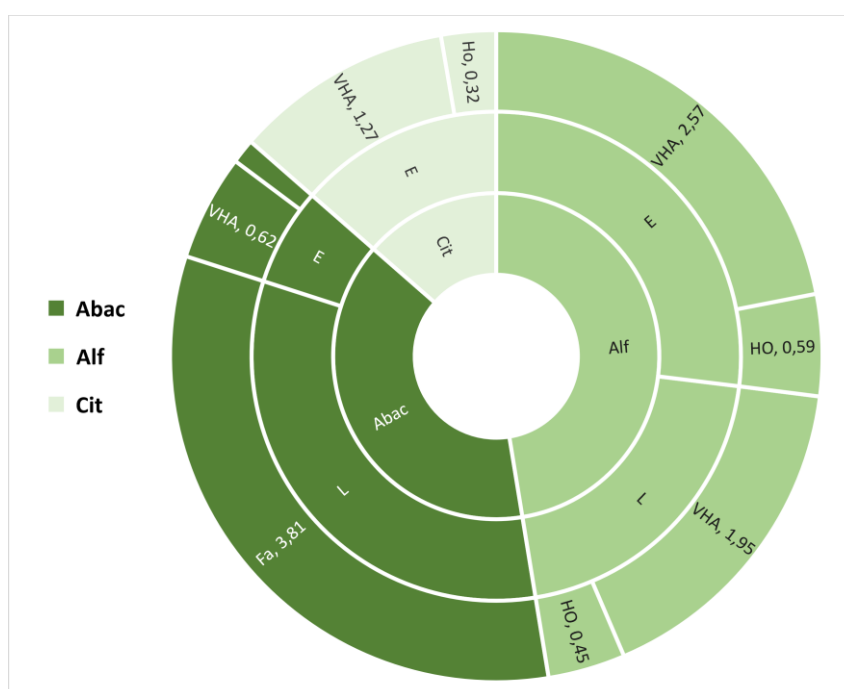


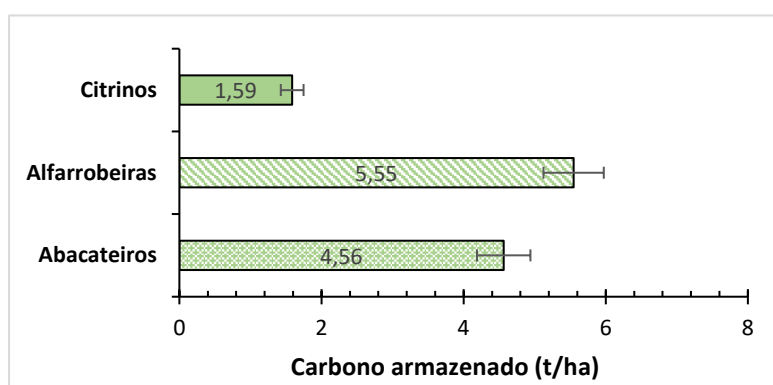
Figura 5-22 – Distribuição dos valores médios (n=3) do C armazenado (t/ha), na parte aérea da vegetação herbácea (VHA), nas raízes da vegetação herbácea (HO) e na folhada (Fa) dos pomares de: citrinos (Cit) na (E/Vesp), abacateiros (Abac) (L/Fa e E/Vsem) e alfarrobeiras (Alf) (L/E Vesp). Distribuídos em função da cultura e da proporção da área ocupada pela linha de plantação.

As linhas de abacateiros apresentam o valor mais elevado de C armazenado com  $3,81 \pm 0,34$  t/ha e as suas entrelinhas o valor mais baixo com  $0,76 \pm 0,03$  t/ha, devendo-se este facto à enorme copa dos abacateiros quando comparada com os outros 2 pomares. No pomar de alfarrobeiras o valor mais elevado encontra-se na entrelinha com  $3,16 \pm 0,24$  t/ha, a linha apresenta um valor inferior de  $2,39 \pm 0,18$  t/ha. No pomar de citrinos registou-

se na entrelinha um valor de  $1,59 \pm 0,16$  t/ha. Este valor reflete a elevada quantidade de lignina presente nas poáceas desse pomar.

Pode referir-se que o valor de C armazenado nas raízes da vegetação herbácea é bastante residual, conforme demonstram os valores de HO apresentados na Figura 5-22, mas sobremaneira importantes para a manutenção e preservação da estrutura do solo (Varenes, 2003).

Fazendo a avaliação global dos 3 pomares, conforme Figura 5-22 e Figura 5-23, observa-se que o pomar de alfarrobeiras apresenta um valor significativamente superior com  $5,55 \pm 0,42$  t/ha de C armazenado na vegetação herbácea e o pomar de abacateiros um valor de  $4,56 \pm 0,38$  t/ha, ressaltando a anormal dimensão da vegetação herbácea à



data das amostragens no pomar de alfarrobeiras. O pomar de citrinos apresenta um valor significativamente inferior, de  $1,59 \pm 0,16$  t/ha.

Figura 5-23 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados na vegetação herbácea presente na cobertura dos solos e na camada de folhada, nos pomares de citrinos, abacateiros e alfarrobeiras do Sítio do Buraco (Cacela).

Os valores obtidos de C (t/ha) armazenados na biomassa herbácea e na folhada dos abacateiros e das alfarrobeiras são bastante significativos, dada a idade dos pomares. No trabalho de Madeira et al. (2009) sobre armazenamento de C e nutrientes em pinhal bravo, a biomassa da parte aérea da vegetação sob coberto (mais jovem - 14 anos) foi de 8,6 t/ha, registando um decréscimo nos povoamentos mais velhos. Se considerarmos que 50% do peso da biomassa determinada pelos autores é C, teríamos cerca de 4,3 t/ha de C armazenadas na biomassa da parte aérea da vegetação sob coberto. O valor obtido por Madeira et al. (2009) apresenta-se próximo dos valores obtidos no pomar de alfarrobeiras e superior ao obtido nas entrelinhas dos pomares de citrinos e de abacateiros. Em Murovhi et al. (2012) refere-se que a produção anual de folhada em abacateiro (base para matéria seca) foi de 5,6 t ha/ano, apresentando esta uma correlação positiva com a idade de plantação. A base para matéria seca quantificada na Quinta dos Medeiros na data da amostragem no pomar de abacateiros foi de  $6,09$  t/ha  $\pm 0,55$ .

### 5.3.7. Apreciação global do armazenamento de carbono

Conforme Figura 5-24, verifica-se não existir diferença significativa entre o armazenamento de C no pomar de abacateiros e no de alfarrobeiras. O pomar de abacateiros apresenta um valor total de C armazenado nos diversos compartimentos de  $36,04 \pm 3,03$  t/ha e o pomar de alfarrobeiras um valor de  $38,95 \pm 3,10$  t/ha. No entanto, a distribuição é significativamente diferente. Na profundidade de 0 a 2 cm, os abacateiros apresentam um valor significativamente superior, representando esta camada 21,4 % do C armazenado no solo (0-20 cm), denotando a importância da camada orgânica sobre o solo. A importância desta camada superior é também referida em Paranychianakis et al. (2021). Já, nas alfarrobeiras e citrinos a camada (0 a 2 cm) representa 13,6 % e 20,9 %, respetivamente. Os citrinos, quanto ao armazenamento total de C, apresentam um valor significativamente mais baixo, de  $22,65 \pm 1,76$  t/ha.

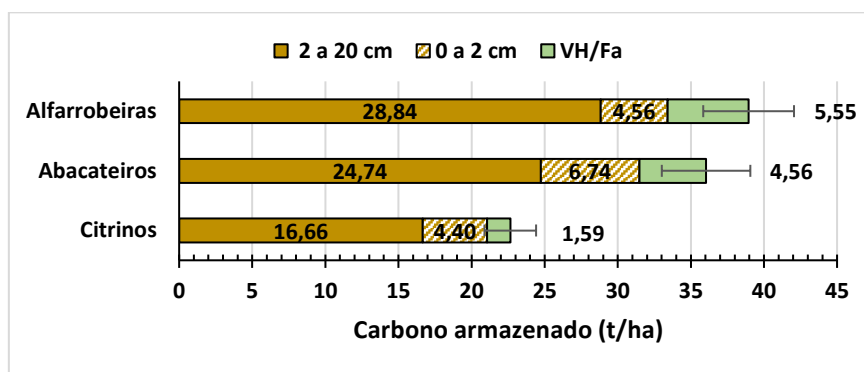


Figura 5-24 – Distribuição do C (t/ha) nos pomares da Quinta dos Medeiros, nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea (VH) e folhada (Fa) presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm).

Na mesma figura pode também observar-se que os solos podem armazenar cerca de duas a três vezes o equivalente ao C contido na vegetação e de forma mais estável (Gonçalves et al., 2013; Madeira et al., 2009). Neste trabalho não se estudou o C armazenado na biomassa das fruteiras.

As características do solo (equivalentes nos três pomares) e o tipo de gestão que é efetuada são fundamentais para o crescimento das fruteiras, para a produção e para a acumulação de C no sistema.

O pomar de citrinos apresentou um valor inferior aos encontrados em estudos semelhantes. Em Sahoo et al. (2021) obteve-se um valor de 29,2 t/ha, na profundidade

de 0 a 20 cm em *Citrus sinensis* (L.) Oesbeck, e, em Yasin et al. (2021) refere-se o valor de 25,07 t/ha na profundidade de 0 a 30 cm.

Para os pomares de alfarrobeiras foi encontrado um trabalho recente de Palacios-Rodríguez et al. (2022) realizado em Cádiz, Sul de Espanha, numa plantação de alfarrobeiras para reflorestamento, implantada em 1994 e com compasso de 5 m × 6 m, onde se referem valores de COS na profundidade de 0 a 20 cm de 41,51 t/ha, sendo estes valores significativamente superiores aos encontrados em alfarrobeiras em solos agrícola de referência (23,16 t/ha) referidos pelo autor.

O valor obtido no pomar de alfarrobeiras apenas com 6 anos de 33,4 ± 2,68 t/ha apresenta-se superior ao valor de referência para solos agrícolas de 23,16, referido em Palacios-Rodríguez et al. (2022), no entanto, não é referida a forma de gestão destes cultivos em solos agrícolas. O valor obtido no pomar da Quinta dos Medeiros revela-se inferior ao referido pelo autor para zona de reflorestamento com 14 anos (41,51 t/ha), podendo esta diferença dever-se à idade da plantação.

Quanto a valores de C armazenado no solo em pomares de abacateiros, encontrou-se um estudo de Ordóñez et al. (2008) realizado na região de Purepecha (México) que refere valores de C armazenado no solo de 21,3 ± 2,6 t/ha na profundidade de 0 a 5 cm, 21,8 ± 2,6 t/ha na profundidade de 5 a 15 cm e 41,8 ± 3,5 t/ha na profundidade de 15 a 30 cm. Nesse estudo, o total de C armazenado de 0 a 30 cm foi de 84,9 ± 14,3 t/ha. No entanto, não é referida a idade de plantação, nem outras condicionantes que podem afetar os valores. O valor obtido no pomar da Quinta dos Medeiros (31,48 ± 2,65 t/ha) é inferior ao referido, no entanto, o pomar tem apenas 4 anos.

## **5.4. Sítio do Calião (CA), em Cacela**

### **5.4.1. Densidade aparente**

Os valores de densidade aparente (Dap) obtidos no Sítio do Calião, designado por (B) na Figura 4-8 foram de 1,31 g/cm<sup>3</sup> no pomar de abacateiros e 1,56 g/cm<sup>3</sup> na zona de encosta sob coberto de vegetação espontânea arbustiva (mato). Sendo, também, solos com baixos teores de MO, bastante arenosos e de textura ligeira, a Dap deverá situar-se próxima de 1,50 g/cm<sup>3</sup>, conforme refere Costa (1999). O que se observa na zona inculta de mato e arbustos, sendo o teor de MO de 1,71 ± 0,23 %. A encosta onde se recolheram as amostras tem exposição a sul, o que, segundo Kopp et al. (1989), tem consequências no desenvolvimento dos solos, na vegetação e na erosão. A cobertura vegetal (arbustiva)

é menor e, por conseguinte, a erosão é maior. Os solos são em geral menos profundos, com menor potencial para o armazenamento de água. E como tal, menor potencial de armazenar C por longos períodos.

O teor de MO do pomar de abacateiros é de  $1,47 \pm 0,07$  % na linha, sendo um valor baixo, no entanto, a Dap é inferior à da zona de mato, denotando melhorias na estrutura do solo, após implementação do pomar em curvas de nível.

#### 5.4.2. Textura do solo

As análises granulométricas das amostras de solo do Sítio do Calicho, enquadram-se na classe textural de solos franco-arenosos, com textura de terras ligeira, conforme valores médios de argila ( $7,3 \pm 0,0$  %), limo ( $13,6 \pm 0,6$  %) e areia ( $79,1 \pm 0,6$  %), na zona de encosta com mato e arbustos, Figura 5-25 B e Tabela 5-3 e no pomar de abacateiros adjacente, conforme Figura 5-25 A com argila ( $15,6 \pm 0,3$  %), limo ( $11 \pm 0,3$  %) e areia ( $73,4 \pm 0,3$  %) e Tabela 5-3.

Relativamente à presença de elementos grosseiros, observou-se um valor significativo destes, de  $27,5 \pm 3,1$  %, conforme Tabela 5-3.

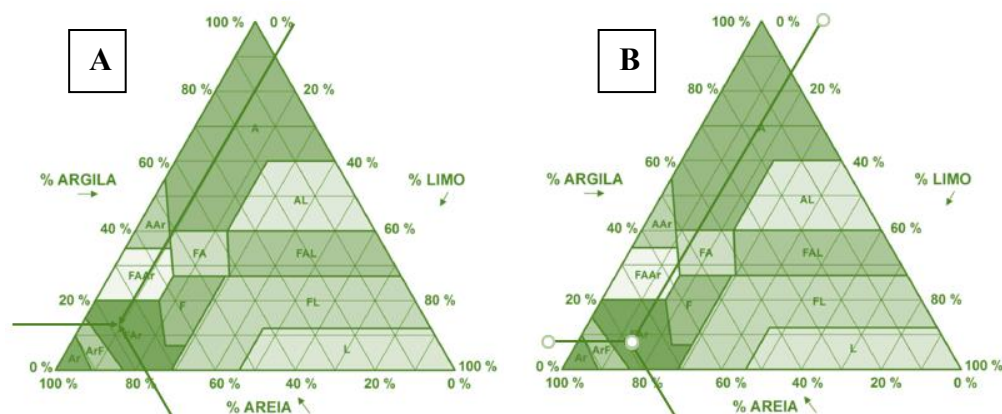


Figura 5-25 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Sítio do Calicho. Pomar de abacateiros (A) e zona não cultivada com vegetação arbustiva (B).

Na Figura 5-25 podem observar-se diferenças consideráveis nos componentes do solo da zona de encosta com mato, face ao pomar de abacateiros. O pomar apresenta teores de argila de  $15,6 \pm 0,3$  %, enquanto a zona de mato apresenta 7,3 %. Também os teores de areia apresentam diferenças acentuadas entre o pomar e a zona não cultivada ( $73,4 \pm 0,3$  % e  $79,1 \pm 0,6$  %, respetivamente).

A zona de mato apresentará as características do solo do local em estudo, dado não terem ocorrido quaisquer mobilizações ao longo dos anos. Já, no pomar de abacateiros, houve implementação de terraços em curvas de nível, para plantação do pomar em zona com declive acentuado.

Tendo ocorrido movimentação e reviramento de solos das camadas mais profundas (horizonte Bt) para as camadas superficiais (horizonte A), explicando, assim, a presença de um teor de argila consideravelmente superior na camada 0 a 20 cm, face à zona adjacente. Tal como referido em Kopp et al. (1989), os solos Vtc apresentam-se com uma camada superficial arenosa e pobre em argila e, um horizonte Bt, por norma franco-argilo-arenoso.

Tabela 5-3 - Composição granulométrica dos solos do Sítio do Calição, pomar de abacateiros *versus* Zona de encosta não cultivada com mato e arbustos.

Componentes	Abacateiros	Sem cultura
	Percentagem (média $\pm$ erro padrão)	
Limo+ argila (%)	26,6 $\pm$ 0,3	20,9 $\pm$ 0,6
Argila (%)	15,6 $\pm$ 0,3	7,3 $\pm$ 0,0
Limo (%)	11,0 $\pm$ 0,3	13,6 $\pm$ 0,6
Areia (%)	73,4 $\pm$ 0,3	79,1 $\pm$ 0,6
Terra fina (%)	72,5 $\pm$ 3,1	72,5 $\pm$ 3,1
Elementos grosseiros (%)	27,5 $\pm$ 3,1	27,5 $\pm$ 3,1

O teor de MO reduziu-se superficialmente e deverá ter aumentando em profundidade (não verificado neste estudo), promovendo a mistura de camadas do solo, resultantes das movimentações de terras. Estas preparações no terreno aumentaram os teores em argila e reduziram ligeiramente os teores de areia do horizonte A.

#### 5.4.3. Reação do solo

O pH dos solos do Sítio do Calição é neutro, em ambos os locais de amostragem (pomar e zona não cultivada), conforme classificação de Quelhas dos Santos (1996), apresentada na tabela do Anexo 3. O pomar de abacateiros apresenta um pH médio de  $7,31 \pm 0,01$  e a zona não cultivada, de mato,  $7,18 \pm 0,04$ , ou seja, ligeiramente inferior.

#### 5.4.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

O objetivo do estudo dos solos do Sítio do Calição foi comparar o teor de C presente nos solos do pomar de abacateiros com 3 anos em curvas de nível, com o da zona

adjacente sem culturas implantadas e com solos sob coberto de vegetação espontânea herbácea e arbustiva.

Em relação ao teor de C presente nos solos, em ambos os locais referidos, não se observaram diferenças significativas (pomar  $0,85 \pm 0,04$  % e área de mato com  $0,99 \pm 0,13$  %), conforme Figura 5-26, sendo um teor de C bastante reduzido. Em termos de massa de C por  $m^2$ , observa-se um valor médio de  $1,62 \pm 0,08$  kg C/ $m^2$  na linha do pomar de abacateiros e  $2,24 \pm 0,31$  kg C/ $m^2$  na zona não cultivada. Os solos do pomar de abacateiros foram sujeitos a movimentações recentes, com mistura de horizontes e eventual perda de C. A rutura dos agregados do solo acelera o processo erosivo de forma temporária, (Gonçalves et al., 2013) até novo revestimento da superfície mobilizada (Kopp et al., 1989).

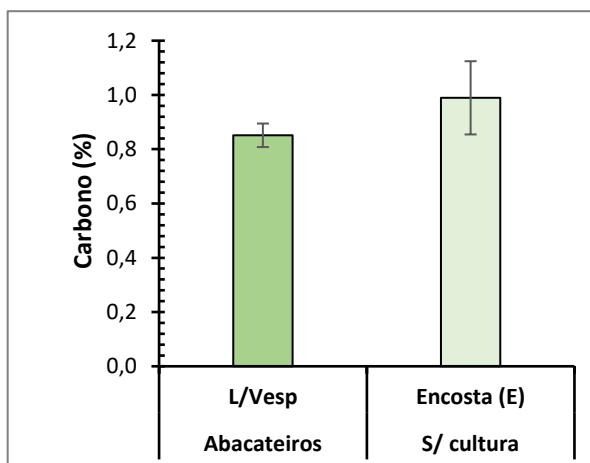


Figura 5-26 - Teor de C ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) nos solos do Sítio do Caliço, na profundidade 0 a 20 cm. No pomar de abacateiros (L/Vesp) e zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva (matos).

Os solos do pomar sujeitos a movimentações recentes nos horizontes, à implantação recente do pomar, à reduzida cobertura da superfície do solo na linha de plantação pelo copado dos abacateiros (ainda de pequena dimensão) e ao reduzido coberto vegetal espontâneo da linha e entrelinha, tiveram uma eventual perda de C, quando comparados com a área adjacente.

#### 5.4.5. Teor de carbono armazenado no solo

Pela análise da Figura 5-27, pode constatar-se que o valor de C armazenado na zona não cultivada é de  $22,39 \pm 3,05$  t/ha, enquanto na linha do pomar de abacateiros é de  $16,18 \pm 0,82$  t/ha. É de referir que antes da instalação do pomar, o local estava arborizado com pinhal, que terá contribuído certamente para o teor atual de C armazenado.

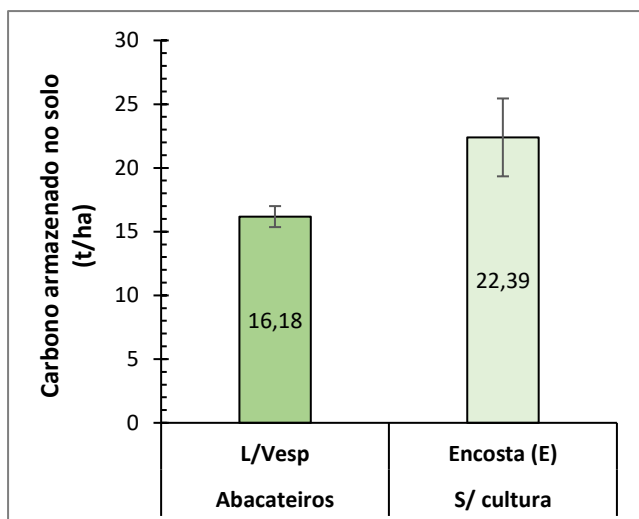


Figura 5-27 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva (matos) no Sítio do Calço.

Comparando a área de abacateiros com a área adjacente de mato, verificou-se uma diminuição de pelo menos  $6,21 \pm 2,23$  t/ha de C armazenado no solo das linhas de plantação. Nas entrelinhas do pomar não foi feita a avaliação. Em Madeira et al. (2004) refere-se que em áreas sob coberto arbustivo e pastagem natural no Sul de Portugal, obtiveram-se valores de C orgânico até 20 cm de profundidade de  $4,57 \text{ kg/m}^2$ , sendo o valor máximo obtido de  $\approx 5 \text{ kg C/m}^2$ . Os valores registados no Sítio do Calço sob coberto arbustivo foram bastante inferiores cerca de  $2,24 \text{ kg C/m}^2$ . Sendo de referir a importância da textura dos solos para o armazenamento de C, nomeadamente o teor de argila. Neste local de estudo os solos apresentam um baixo teor de argila e textura franco arenosa, o que não facilita a acumulação de C (Paustian et al., 2019).

## 5.5. Sítio das Ferrarias (AL), em Algoz

### 5.5.1. Densidade aparente

Os valores de densidade aparente (Dap) observados nos pomares do Sítio das Ferrarias, designados por (A) na Figura 4-11 foram de  $1,17 \text{ g/cm}^3$  no pomar de amendoeiras de sequeiro e de  $0,94 \text{ g/cm}^3$  no pomar de abacateiros adjacente (valor médio entre linha e entrelinha), conforme Anexo 4. Sendo solos com teor de MO médio a baixo, conforme Costa (1999), com  $3,03 \pm 0,28 \%$  e  $2 \pm 0,25 \%$  de MO na linha e entrelinha do pomar de amendoeiras de sequeiro e  $4,43 \pm 0,19 \%$  na linha de plantação do pomar de abacateiros e apresentando textura franco argilosa, é natural que apresentem um valor de Dap mais baixo do que os das anteriores localizações.

O valor de Dap do pomar de abacateiros apresenta-se  $< 1 \text{ g/cm}^3$ , com influência da densa camada de folhada ( $> 15 \text{ cm}$ ). A quantidade e a natureza da MO do solo e a

atividade dos microrganismos influenciam o volume de poros. Em solos com elevados teores de MO, a porosidade é elevada e, a Dap é mais baixa (Costa, 1999).

### 5.5.2. Textura do solo

As análises granulométricas das amostras de solo do Sítio das Ferrarias, apresentam valores compatíveis com a classe textural de solos franco-argilosos, com textura de terras na interseção entre média a pesada, conforme valores médios de argila ( $31,3 \pm 0,0$  %), limo ( $24 \pm 0,9$  %) e areia ( $44,7 \pm 0,9$  %), Figura 5-28 e Tabela 5-4.

Quanto à presença de elementos grosseiros, observou-se um valor bastante reduzido destes, de  $6,2 \pm 1,2$  %, conforme Tabela 5-4.

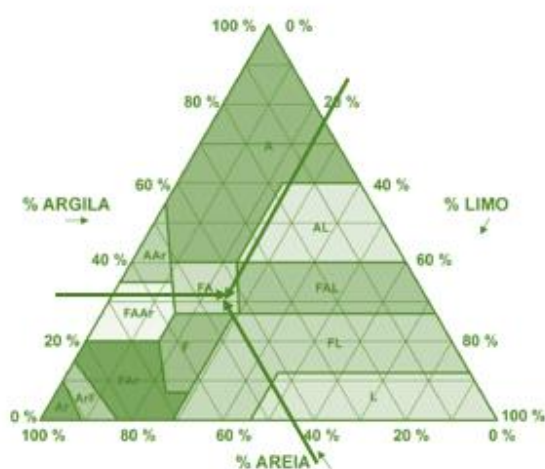


Figura 5-28 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Sítio das Ferrarias (Algoz).

Tabela 5-4 - Composição granulométrica dos solos do Sítio das Ferrarias (Algoz).

Componentes	Percentagem (média $\pm$ erro padrão)
Limo+ argila (%)	55,3 $\pm$ 0,9
Argila (%)	31,3 $\pm$ 0,0
Limo (%)	24,0 $\pm$ 0,9
Areia (%)	44,7 $\pm$ 0,9
Terra fina (%)	93,9 $\pm$ 1,2
Elementos grosseiros (%)	6,2 $\pm$ 1,2

Os componentes do solo têm elevado impacto na sua qualidade. Os solos que apresentam uma textura mais pesada, têm naturalmente um maior teor de argila, concentrando maior teor de C e uma maior capacidade de troca catiónica (Costa, 1999). Tratando-se de solos Vcd, conforme Kopp et al. (1989), os teores de argila na camada superficial são elevados, podendo chegar aos 50%. No solo em análise temos 31,3 %.

### 5.5.3. Reação do solo

O pH dos solos do Sítio das Ferrarias apresenta-se também neutro em ambos os locais de amostragem (pomar de abacateiros e pomar de amendoeiras de sequeiro), conforme classificação de Quelhas dos Santos (1996), apresentada no Anexo 3. No pomar de abacateiros o solo apresenta um pH médio de  $7,34 \pm 0,01$  e no pomar de amendoeiras, um valor médio de  $7,21 \pm 0,02$  sob a copa e  $7,32 \pm 0,09$  na entrelinha, não apresentando diferenças significativas entre estes.

### 5.5.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

No Sítio da Ferrarias comparou-se o teor de C presente nos solos do pomar de amendoeiras tradicional de sequeiro, com o do pomar de abacateiros com 39 anos. O pomar tradicional de sequeiro acomoda a exploração estreme ou consociada de culturas perenes arbóreas (oliveira, figueiras, amendoeiras e alfarrobeiras), tendo elevada preponderância na zona do Barrocal. Este modo de produção, associado à reduzida precipitação anual (entre 665 mm e 516 mm (Oliveira, 2018)), tende a reduzir o crescimento primário do coberto vegetal do solo do pomar (Rodrigues et al., 2019). E, por seu lado, o aumento de temperatura, tende a acelerar a mineralização do substrato orgânico do solo. Logo, quanto mais quente e seca for uma área, menor será o teor de MO presente e maior será o risco de erosão do solo (Rodrigues et al., 2019).

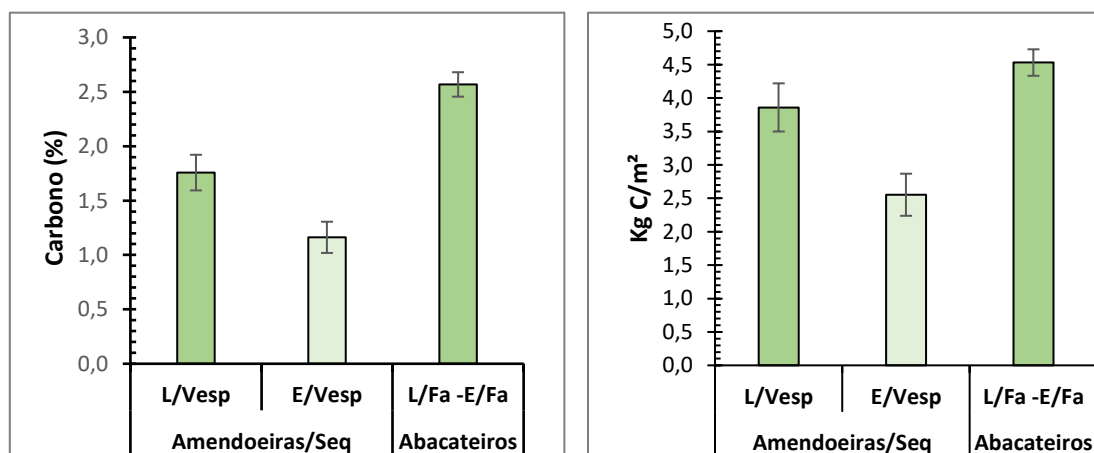


Figura 5-29 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de teor de C e kg C/m<sup>2</sup> determinadas nas amostras de solos do Sítio da Ferrarias, na profundidade 0 a 20 cm. Nos pomares de: amendoeiras tradicionais de sequeiro (L/Vesp e E/Vesp) e pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa).

O esperado, no Sítio das Ferrarias, era um teor substancialmente inferior de C no pomar de amendoeiras. Assim, pela análise da Figura 5-29, verificou-se que o teor de C presente nas amostras de solo da linha (L/Vesp -  $1,76 \pm 0,16$  %) e entrelinha (E/Vesp -  $1,16 \pm 0,14$  %) do pomar de amendoeiras apresentou-se significativamente inferior ao do pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa -  $2,57 \pm 0,11$  %). De notar que a linha e entrelinha do pomar de abacateiros estavam completamente cobertas por uma camada de folhada e, o copado dos abacateiros cobria, quase por completo todo o solo, pelo que se considerou não existirem diferenças significativas entre elas.

Em termos de  $\text{kg C/m}^2$ , a tendência observada foi a mesma; o pomar de amendoeiras apresentou a L/Vesp com  $3,86 \pm 0,36$   $\text{kg C/m}^2$  e a E/Vesp com  $2,55 \pm 0,32$   $\text{kg C/m}^2$  e, no pomar de abacateiros registou-se  $4,53 \pm 0,20$   $\text{kg C/m}^2$ . As linhas do pomar de amendoeiras apresentam um teor de C significativamente superior ao das entrelinhas. Este facto será devido ao sombreamento conferido pela reduzida copa das amendoeiras (reduz a temperatura do solo, diminui a velocidade de mineralização e reduz a perda de C) e pela presença de algumas folhas e frutos secos.

### 5.5.5. Carbono armazenado no solo

#### Carbono armazenado à profundidade de 0 a 20 cm

As copas das amendoeiras ocupam uma área bastante reduzida, com um valor médio de  $9,64 \pm 0,39$   $\text{m}^2$ , sendo a densidade de plantio do pomar muito reduzida e bastante dispersa no local de amostragem. As amendoeiras ocupam, apenas 15 % da área de amostragem, considerando-se os restantes 85 % zona de entrelinha. No pomar de abacateiros o copado apresenta-se com uma zona de sombreamento próxima de 100 %.

É notória a diferença entre o pomar de sequeiro e o pomar de regadio, ainda que estejamos perante culturas distintas. Em Madeira et al. (2004) refere-se que as culturas de regadio apresentam maior produtividade e, quando a cultura passa de modo de sequeiro para regadio verifica-se um aumento da quantidade de C no solo na ordem dos 53 a 65 %.

Na Figura 5-30 A, tendo em consideração a área de projeção da copa das amendoeiras, observou-se que a L/Vesp apresentou o valor mais baixo de C armazenado, com  $5,68 \pm 0,53$   $\text{t/ha}$  e a E/Vesp  $21,27 \pm 2,69$   $\text{t/ha}$ . O valor de C armazenado no pomar de amendoeiras foi de  $27,45 \pm 3,22$   $\text{t/ha}$  e no pomar de abacateiros, de  $45,31 \pm 1,98$   $\text{t/ha}$ , conforme Figura 5-30 B, portanto, significativamente superior neste último.

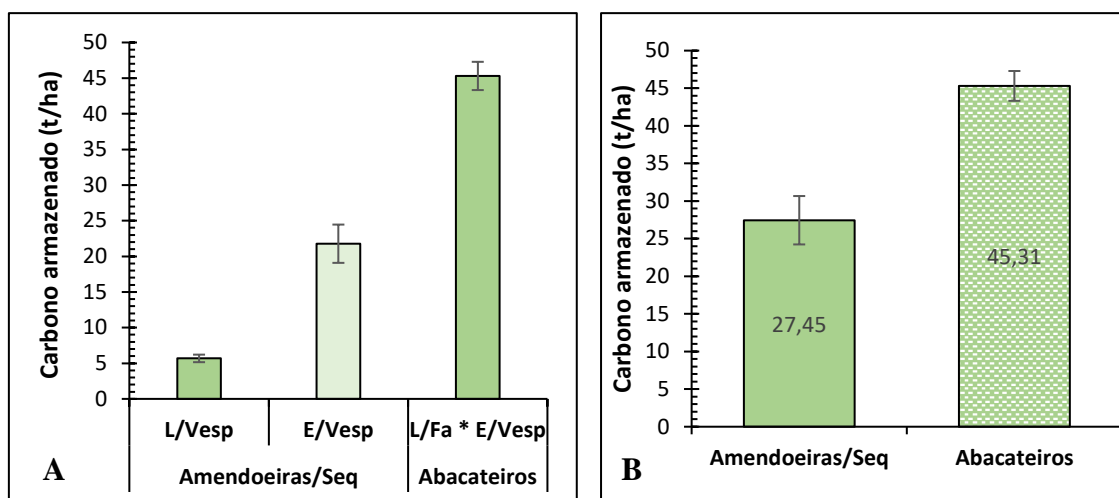


Figura 5-30 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de amendoeirias de sequeiro e de abacateiros, no Sítio das Ferrarias. Comparação de posições (A) e de culturas (B).

Num estudo sobre a influência de diferentes cobertos vegetais no armazenamento de C em pomares de amendoeirias localizados em Córdova, determinaram-se valores de C no solo (profundidade 0 a 20 cm) entre 23 e 30 t/ha (Repullo-Ruibérriz de Torres et al., 2021). Os valores determinados no pomar de amendoeirias do Sítio das Ferrarias inserem-se no intervalo de valores encontrado no estudo referido. Tratando-se, ainda assim, de valores baixos de C no solo.

Quanto ao pomar de abacateiros, embora apresente um valor bastante superior de C armazenado, face ao do pomar de amendoeirias, dada a sua idade de plantação, a camada de folhada existente e o teor de argila presente no solo, seria de esperar que apresentasse um valor mais elevado de C armazenado no solo. No estudo de Ordóñez et al. (2008), já citado anteriormente, referem-se valores de C armazenado no solo de 43,1 t/ha de 0 a 15 cm, sendo próximo dos valores obtidos neste pomar.

A enorme canópia dos abacateiros, que cobre a quase totalidade do solo forma um “microclima”, conforme referido em Serrano et al. (2018). Este autor cita Benavides et al. (2009) que refere que as árvores dificultam a passagem de luz, tornam as temperaturas mais baixas, alteram os níveis de humidade do solo e dificultam o desenvolvimento da vegetação herbácea sob o seu copado. A existência deste “microclima” reduz a velocidade de decomposição da MO presente na manta morta (composta por folhada e resíduos de poda triturados), mantendo os compostos orgânicos de certa forma imobilizados. Também os diferentes resíduos vegetais podem apresentar taxas de degradação diversas,

dependendo da sua composição, sendo as ligninas e os compostos fenólicos mais resistentes à decomposição (Varenes, 2003). Estudos para controlar as diferenças na respiração autotrófica entre culturas e as condições ambientais indicaram menores taxas de decomposição na camada orgânica do abacateiro, bem como uma significativa presença de compostos recalcitrantes (lignina) (Paranychianakis et al., 2021).

Paralelamente, conforme Asaja Málaga (2021) o abacateiro apresenta-se com a peculiaridade de ter um sistema radicular bastante superficial, concentrando 70% desse sistema nos primeiros 30 a 40 cm de profundidade do solo. A presença de MO no solo protege as raízes, mas ao mesmo tempo estimula o seu crescimento. Todos estes fatores associados contribuem para que o armazenamento de C no solo, não seja tão elevado como o esperado.

### Carbono armazenado à profundidade de 0 a 2 cm

Os resultados das análises de solos na profundidade de 0 a 2 cm, quanto ao armazenamento de C (t/ha) e tendo em consideração a área de influência do copado das fruteiras, conforme ponto 5.5.5, apresentam uma distribuição similar à da profundidade 0 a 20 cm, conforme Figura 5-31 e Figura 5-32.

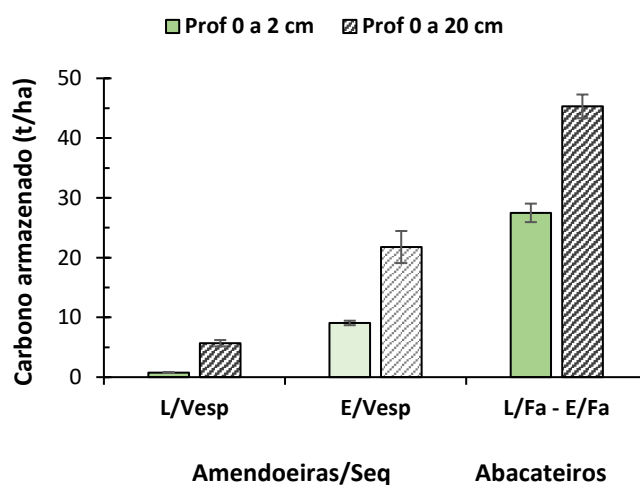


Figura 5-31 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm, com o C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm dos pomares de amendoieiras tradicional de sequeiro e abacateiros do Sítio das Ferrarias (Algoz).

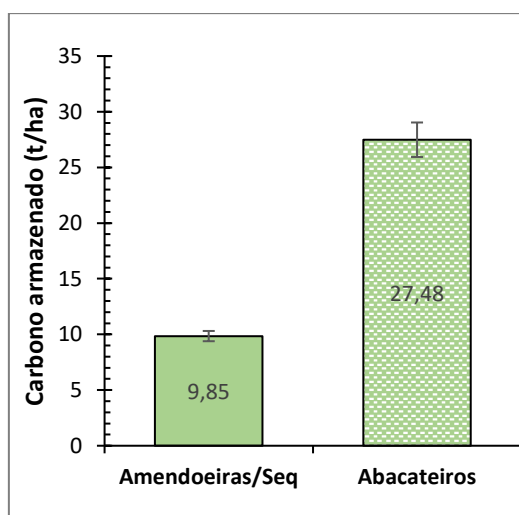


Figura 5-32 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 2 cm) de um pomar de amendoeiras tradicional de sequeiro e de abacateiros do Sítio das Ferrarias (Algoz).

O pomar de abacateiros apresenta o valor médio mais elevado de C armazenado na profundidade de 0 a 2 cm com  $27,48 \pm 1,55$  t/ha (L/Fa e E/Fa), representando 60,6 % do C armazenado no solo na profundidade de 0 a 20 cm, conforme Figura 5-31 e Figura 5-32. No pomar de amendoeiras os valores são significativamente mais baixos, sendo a área sob as canópias (L/Vesp) a que proporcionalmente apresenta o menor valor, apenas  $0,78 \pm 0,08$  t/ha de C armazenado representando 13,7 % do C armazenado sob a canópia na profundidade de 0 a 20 cm. A área de E/Vesp regista um valor médio superior à L/Vesp, com  $9,07 \pm 0,38$  t/ha, sendo conforme com a área ocupada por esta e representando 41,7 % do C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm. Sendo o total do C armazenado no pomar de  $9,85 \pm 0,46$  t/ha, conforme Figura 5-31 e Figura 5-32.

O pomar de abacateiros apresenta um valor muito elevado de C armazenado na profundidade de 0 a 2 cm, sendo este valor explicado pela enorme camada de manta morta que se encontra acima deste. De realçar, no entanto, que todos estes valores resultam da acumulação de C ao longo de 39 anos. Podendo também ser reflexo de alguma imobilização dos complexos orgânicos, conforme referido no ponto 5.5.5. Em Ordóñez et al. (2008) refere-se o valor de  $21,3 \pm 2,6$  t/ha na profundidade de 0 a 5 cm, sendo inferior ao obtido neste pomar. No entanto, desconhece-se a dimensão da cobertura com folhada existente nos pomares referidos pelo autor.

#### 5.5.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica)

A cobertura de solos dos pomares em análise apresentou-se bastante distinta. No pomar de amendoeiras compunha-se de vegetação herbácea espontânea muito rasteira e bastante densa. No pomar de abacateiros a vegetação herbácea espontânea surgia de

forma muito pontual, estando o solo coberto com uma camada de folhada e resíduos de poda (> 15 cm) em toda a superfície do solo do pomar.

O teor médio de MO na camada de manta morta Fa do pomar de abacateiros não foi significativamente diferente do obtido na vegetação herbácea do pomar de amendoeiras na entrelinha Vesp, bem como o teor de C. No entanto, quando comparado com a linha Vesp, esta foi significativamente inferior. A camada de Fa apresentou um valor médio de MO de  $84,09 \pm 0,97$  % e um teor de C de  $48,77 \pm 0,56$  % e a Vesp na linha apresentou um valor médio de MO de  $76,58 \pm 6,47$  % e um teor de C de  $44,52 \pm 3,75$  %, na entrelinha apresentou um valor médio de MO de  $86,12 \pm 2,74$  % e um teor de C de  $49,95 \pm 1,59$  %.

Na determinação do C armazenado na biomassa (t/ha) no pomar de amendoeiras teve-se em consideração a proporção ocupada pelas fruteiras. No pomar de abacateiros considerou-se não existirem diferenças significativas entre linha e entrelinha.

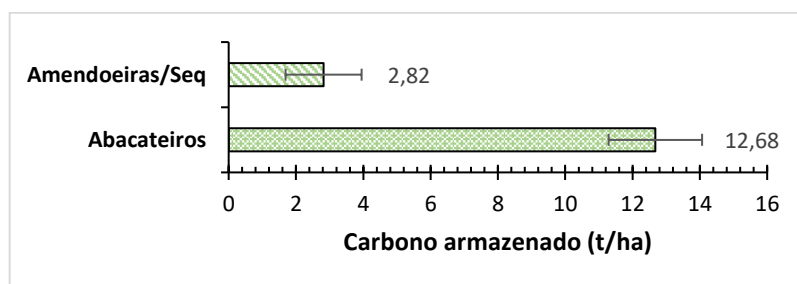


Figura 5-33 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados na cobertura de solo do pomar de amendoeiras de sequeiro composta por vegetação herbácea espontânea, com a do pomar de abacateiros, com cobertura de solo com camada de folhada, no Sítio das Ferrarias.

Como era expectável, o pomar de amendoeiras (em função da área ocupada pelas fruteiras) apresentou um valor médio de C armazenado no coberto vegetal inferior ( $2,82 \pm 1,13$  t/ha), enquanto o pomar de abacateiros apresentou uma camada de folhada com  $12,68 \pm 1,39$  t/ha de C armazenado, resultante de muitos anos de acumulação, conforme Figura 5-33. A comparação destes dois pomares coloca em evidência mais uma vez a importância da cobertura do solo e dos aportes que esta traz para o solo em termos de MO e C.

### 5.5.7. Apreciação global do armazenamento de carbono

Na Figura 5-34 observa-se uma diferença muito significativa entre a distribuição do armazenamento de C no pomar de abacateiros face ao pomar de amendoeiras. No primeiro determinou-se um valor total de C armazenado nos diversos compartimentos de

57,98 ± 4,92 t/ha com especial destaque para a camada (0 a 2 cm) e no segundo um valor de 30,27 ± 4,81 t/ha.

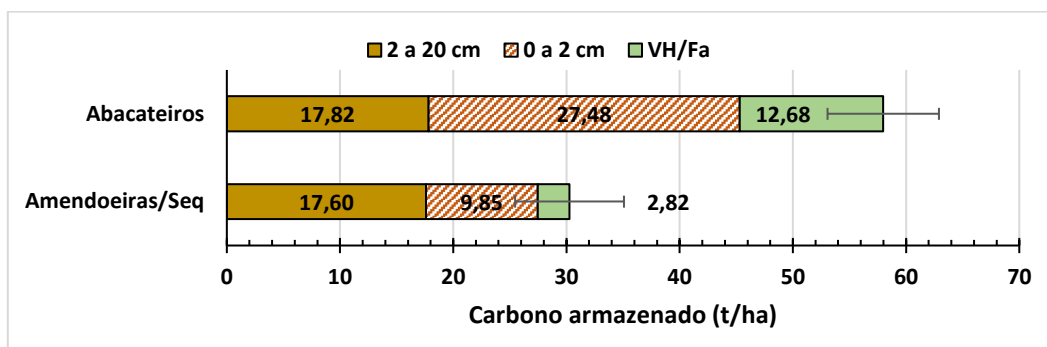


Figura 5-34 - Distribuição do C (t/ha) nos pomares do Sítio das Ferrarias nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea e folhada presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm).

A distribuição entre as camadas apresenta-se significativamente diferente nos dois pomares, registando-se a maior diferença na profundidade (0 a 2 cm) e na cobertura de solo, Figura 5-35. Nos abacateiros, o C armazenado na camada (0 a 2 cm) apresentou

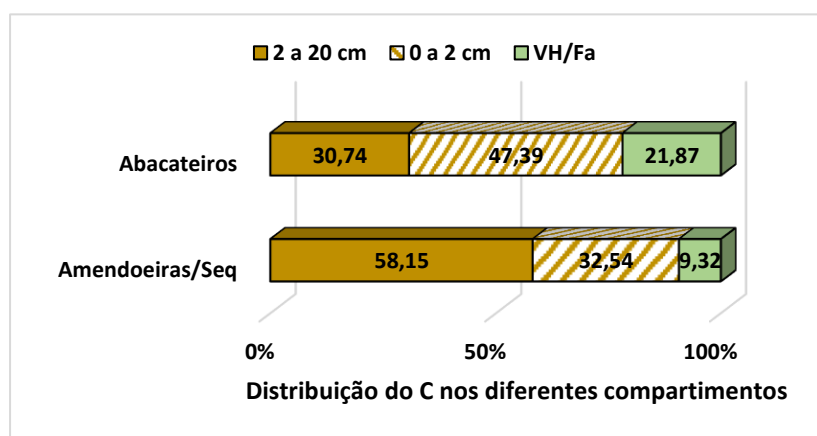


Figura 5-35 – Percentagem de distribuição do C armazenado nos diferentes compartimentos (solo e cobertura de solo), Sítio das Ferrarias.

47,39 % do C total e Fa 21,87 %. No pomar de amendoeiras a Vesp apresentou um valor reduzido de 9,32 % do C total e o C no solo na profundidade (2 a 20 cm) registou a maior percentagem de 58,15 % do C total.

A Figura 5-35 coloca em evidência que 69,26 % do C do pomar de abacateiros, encontra-se armazenado na folhada e nos primeiros 2 cm de profundidade, de 2 a 20 cm encontra-se apenas 30,74 % do C. Seria importante num próximo trabalho verificar o que se passa nas camadas mais profundas de solo, para perceber se o C permanece armazenado em camadas menos superficiais ou, se no processo de decomposição por microrganismos do solo o C existente na camada (0 a 2 cm) se oxida, forma CO<sub>2</sub> e, retorna à atmosfera. Seria, ainda necessário, avaliar o processo de decomposição da

folhada e dos resíduos de podas, se é muito moroso e se o C permanece em formas menos lábeis e mais recalcitrantes ou o inverso.

Pode dizer-se que camadas de manta morta com baixa razão C:N decompõe-se mais rapidamente do que camadas com maiores razões C:N. (Rocío Rodríguez Pleguezuelo et al., 2018). Num estudo sobre taxa de decomposição de manta morta de espécies subtropicais em Granada (Espanha), no qual se incluiu o abacateiro, Rocío Rodríguez Pleguezuelo et al. (2018) referiram uma percentagem de biomassa residual em abacate de 56 %, ao fim de 159 dias em processo de decomposição e de 39 % ao fim de 459 dias. Referindo os mesmos que a razão C:N inicial da folhada de abacateiro era de 27,7, sendo uma razão menor do que a observada noutras espécies (manga e nespereira).

A imobilização temporária de nutrientes na manta morta, proporciona libertações líquidas lentas, o que minimiza as perdas do ecossistema e contribui para responder às necessidades de absorção das culturas (Rocío Rodríguez Pleguezuelo et al., 2018).

Neste pomar de abacateiros poderá também colocar-se a questão da possibilidade de ter sido atingido o limiar de saturação de COS face à quantidade de partículas finas do solo (Zomer et al., 2017).

## **5.6. Monte da Jóia (SI), em Silves**

### **5.6.1. Densidade aparente**

No pomar do Monte da Jóia e na zona adjacente não cultivada com matos, designados por (B) na Figura 4-11, obtiveram-se valores de  $D_{ap}$  de  $1,31 \text{ g/cm}^3$  no pomar de abacateiros (valor médio entre linha e entrelinha) e  $1,16 \text{ g/cm}^3$  na área arbustiva adjacente, conforme Anexo 4.

Estes solos apresentam um teor de MO médio, conforme Costa (1999), com  $4,90 \pm 0,39 \%$  na linha de plantação do pomar de abacateiros e  $4,63 \pm 0,07 \%$  na zona de mato. Sendo a textura do solo franca a franco-arenosa, seria de esperar um teor de  $D_{ap}$  no pomar de abacateiros de valor inferior ao da zona não cultivada, mas tal não se observou, provavelmente devido à existência de alguma pedregosidade no local e do elevado volume de raízes.

### **5.6.2. Textura do solo**

As análises granulométricas das amostras de solo do Monte da Jóia, apresentam valores compatíveis com a classe textural de solos francos, com textura de terras média, conforme valores médios de argila ( $15,3 \pm 0,0 \%$ ), limo ( $21,3 \pm 0,3 \%$ ) e areia ( $63,4 \pm 0,3$

%), no pomar de abacateiros, conforme Figura 5-36 B e Tabela 5-5. A presença de elementos grosseiros, mostrou-se bastante significativa no pomar com  $32,1 \pm 2,5$  %, conforme Tabela 5-5.

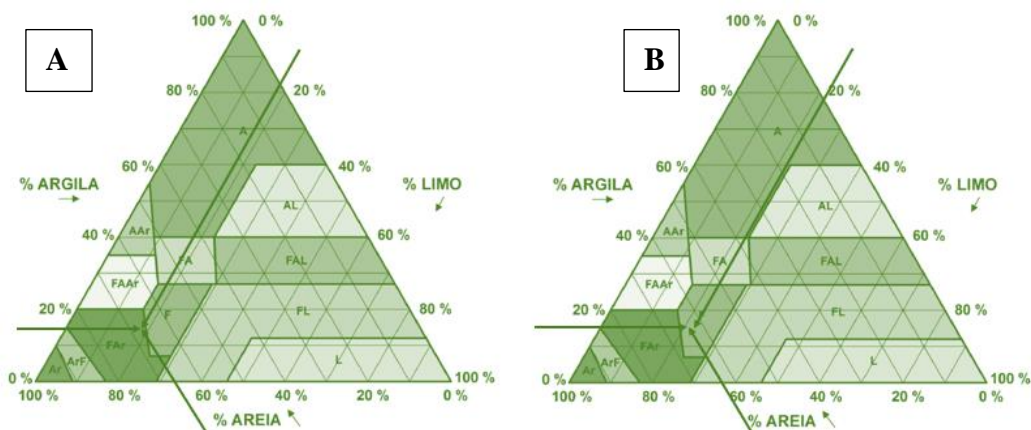


Figura 5-36 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas no Monte da Jóia. Pomar de abacateiros (B) e zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva (A).

Na área adjacente não cultivada, as análises granulométricas apresentam valores na interseção entre a classe textural de solo franco a franco-arenoso, com textura de terras entre média a ligeira, conforme valores médios de argila ( $14,2 \pm 0,3$  %), limo ( $19,6 \pm 0,9$  %) e areia ( $66,2 \pm 0,6$  %), conforme Figura 5-36 A e Tabela 5-5. O teor de elementos grosseiros apresenta-se ligeiramente superior ao do pomar de abacateiros, sendo bastante significativo com  $39,1 \pm 3,3$  %, conforme Tabela 5-5 e fotografia do Anexo 2.

Tabela 5-5 - Composição granulométrica dos solos do Monte da Jóia, pomar de abacateiros *versus* zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva.

Componentes	Abacateiros	Sem cultura
	Percentagem (média $\pm$ erro padrão)	
Limo+ argila (%)	36,6 $\pm$ 0,3	33,8 $\pm$ 0,6
Argila (%)	15,3 $\pm$ 0,0	14,2 $\pm$ 0,3
Limo (%)	21,3 $\pm$ 0,3	19,6 $\pm$ 0,9
Areia (%)	63,4 $\pm$ 0,3	66,2 $\pm$ 0,6
Terra fina (%)	67,9 $\pm$ 2,5	60,9 $\pm$ 3,3
Elementos grosseiros (%)	32,1 $\pm$ 2,5	39,1 $\pm$ 3,3

Em Kopp et al. (1989) refere-se que nos solos Vcd a proporção de elementos grosseiros, acima dos 2 mm (concreções, pedras calcárias dolomíticas), pode ultrapassar os 50%, na área em estudo varia entre os 30 e 40%, salientando que o local se situa num cerro. Esta pedregosidade poderá afetar de alguma forma o raizame do pomar de abacateiros, dificultando à penetração das raízes.

### 5.6.3. Reação do solo

Quanto ao pH dos solos do Monte da Jóia, apresenta-se neutro, nos dois locais de amostragem (pomar de abacateiros e zona não cultivada), conforme classificação de Quelhas dos Santos (1996), apresentada na tabela do Anexo 3. No pomar de abacateiros determinou-se um pH médio de  $7,25 \pm 0,02$  e na zona não cultivada um valor médio de  $7,47 \pm 0,03$ . O pomar de abacateiros apresenta um pH ligeiramente inferior, provavelmente, devido à presença de cobertura de solo orgânica (folhada), que tende a baixar o pH devido ao aumento da taxa de decomposição de MO (Costa, 1999; Varennes, 2003).

### 5.6.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

Na área em estudo do Monte da Jóia comparou-se o teor de C presente nos solos do pomar de abacateiros com o da zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva espontânea. O pomar de abacateiros tem 14 anos e o solo coberto quase na totalidade (linha e entrelinha) com folhada (camada > 10 cm).

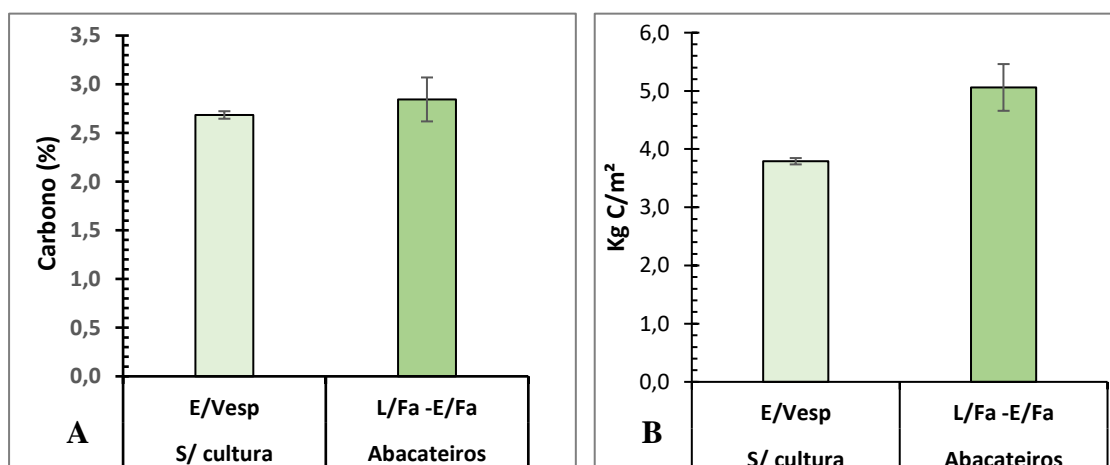


Figura 5-37 - Valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de teor de C e kg C/m<sup>2</sup> determinadas nas amostras de solos do Monte da Jóia, na profundidade 0 a 20 cm. No pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa) e zona adjacente não cultivada (E/Vesp).

Dadas as características do pomar e da sua cobertura de solo, esperava-se que apresentasse um teor de C superior ao da zona adjacente, no entanto, tal não se verificou, não se observando diferenças significativas entre as duas áreas, conforme Figura 5-37 A. No pomar de abacateiros determinou-se um teor de C de  $2,84 \pm 0,23$  % e na zona não cultivada  $2,68 \pm 0,04$  %.

Quanto ao teor de C em  $\text{kg/m}^2$ , conforme Figura 5-37 B e, comparando as duas áreas verifica-se que o pomar de abacateiros apresenta um valor significativamente superior (L/Fa e E/Fa) com  $5,06 \pm 0,40$   $\text{kg/m}^2$ , enquanto a zona não cultivada apresentou  $3,79 \pm 0,05$   $\text{kg/m}^2$ . Esta diferença deve-se ao valor superior de Dap e de terra fina do pomar de abacateiros, pois o teor de MO não apresentou diferenças significativas.

A zona não cultivada apresentava uma cobertura vegetal (arbustiva) bastante reduzida e muito dispersa, com diversos locais de solo exposto, embora com muitas pedras a fazer a sua cobertura. Esperar-se-ia que a erosão fosse mais significativa e apresentasse menor teor de MO. Nas zonas declivosas o alastramento do mato e a formação de pavimentos de pedras protegem as posições de declive e são fatores muito eficazes para a obstrução da erosão (Kopp et al., 1989).

### 5.6.5. Carbono armazenado no solo

#### Carbono armazenado à profundidade de 0 a 20 cm

No pomar de abacateiros o copado cobre uma zona de sombreamento próxima de 100 %, tal como se verificou no pomar do Sítio das Ferrarias (Algoz), pelo que não se aplicou qualquer proporcionalidade e considerou-se que linha e entrelinha não teriam diferenças significativas.

O C armazenado no pomar de abacateiros foi significativamente superior ao da zona não cultivada, com  $50,59 \pm 4,01$  t/ha e  $37,91 \pm 0,55$  t/ha, respetivamente, Figura 5-38.

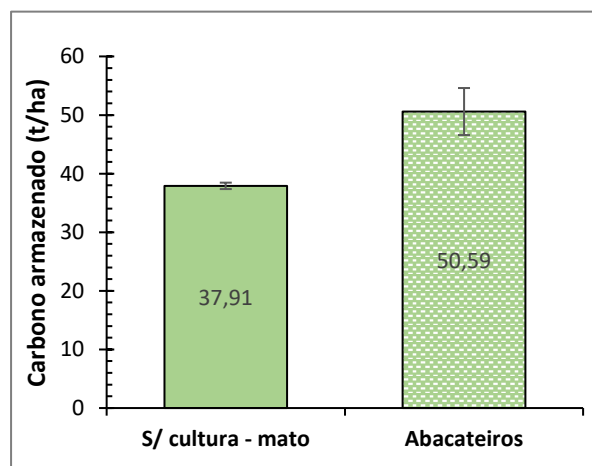


Figura 5-38 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada, no Monte da Jóia.

No trabalho, já citado de Madeira et al. (2004) referem-se valores de C orgânico até 20 cm de profundidade de 4,57 kg m<sup>2</sup>, em áreas sob coberto arbustivo e pastagem natural, na área não cultivada do Monte da Jóia obtiveram-se valores de  $3,79 \pm 0,05$  kg/m<sup>2</sup>, sendo inferiores aos do autor citado, mas o coberto arbustivo certamente será bastante diverso. Quanto ao pomar de abacateiros e tendo em consideração os valores referidos em Ordóñez et al. (2008) de 43,1 t/ha de 0 a 15 cm e de  $84,9 \pm 14,3$  t/ha de 0 a 30 cm, verifica-se um valor intermédio no Monte da Jóia.

Neste pomar de abacateiros observa-se um ecossistema muito similar ao referido no pomar de Algoz, no ponto 5.5.5, um “microclima”, que terá muita influência na forma como se vai decompondo a MO e no teor de C armazenado no solo. Também a textura do solo se apresentou com maior teor de areia e menos argila, promovendo uma menor formação de agregados no solo (Varenes, 2003).

### Carbono armazenado à profundidade de 0 a 2 cm

As análises de solos na profundidade (0 a 2 cm), só se puderam efetuar no pomar de abacateiros, na zona adjacente não foi possível devido à quantidade de pedras existentes. Assim, no pomar de abacateiros determinou-se um valor médio de  $27,11 \pm 1,52$  t/ha de C armazenado nos primeiros 2 cm solo, conforme Figura 5-39.

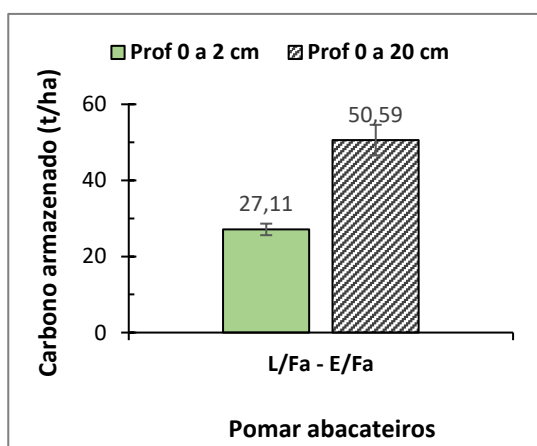


Figura 5-39 - Comparação de valores médios ( $\pm$  erro padrão, n=3) de C (t/ha) armazenados nos solos na profundidade de 0 a 2 cm e de 0 a 20 cm, no pomar de abacateiros do Monte da Jóia.

O valor de C armazenado na camada (0 a 2 cm) representa 54,5 % do C armazenado no solo na camada de 0 a 20 cm, mais de metade do C encontra-se à superfície do solo. Trata-se de uma situação semelhante à reportada no pomar de Algoz.

### 5.6.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica)

As coberturas dos solos das duas áreas adjacentes são bastante distintas. O pomar de abacateiros encontra-se coberto com uma camada de folhada (linha e entrelinha) > 10 cm, que não permite o aparecimento de vegetação herbácea espontânea, também o elevado grau de sombreamento das copas das fruteiras inibe o aparecimento desta. A zona adjacente apresenta-se com coberturas pontuais de vegetação arbustiva, pouco densas.

O valor médio de MO e de teor de C da folhada do pomar de abacateiros mostrou-se ligeiramente inferior ao da vegetação herbácea da zona adjacente. A camada de L/Fa e E/Fa apresentou um valor médio de MO de  $86 \pm 0,63$  % e um teor de C de  $49,88 \pm 0,36$  % e a E/Vesp da zona não cultivada) apresentou um valor médio de MO de  $88,99 \pm 0,18$  % e um teor de C de  $51,62 \pm 0,11$  %.

Na determinação do C armazenado na Fa do pomar de abacateiros admitiu-se que a linha e a entrelinha não tinham diferenças significativas. Os resultados obtidos foram bastante diferentes nas duas áreas, conforme Figura 5-40. A folhada (linha e entrelinha) do pomar de abacateiros apresentou um valor médio de C armazenado de  $10,45 \pm 1,57$  t/ha, enquanto a Vesp da zona adjacente apresentou um valor médio de  $0,56 \pm 0,11$  t/ha, sendo um valor residual.

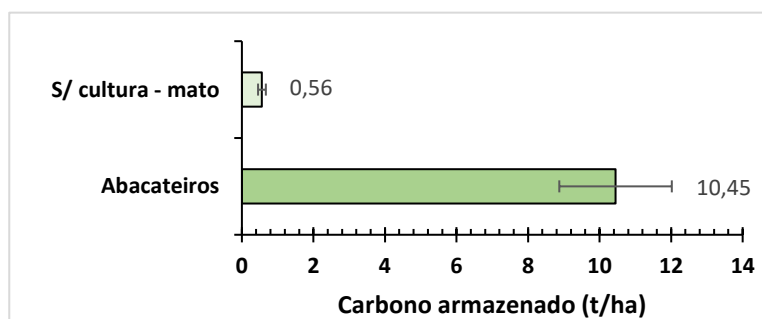


Figura 5-40 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados na cobertura de solo do pomar de abacateiros (L/Fa e E/Fa), com a zona não cultivada de Vesp, no Monte da Jóia.

O C armazenado na manta morta do pomar de abacateiros mostrou-se bastante elevado, tal como no pomar analisado no ponto anterior.

### 5.6.7. Apreciação global do armazenamento de carbono

A distribuição do C armazenado nos diferentes compartimentos estudados mostrou-se significativamente diferente nas duas áreas, conforme Figura 5-41 e Figura 5-42. A zona não cultivada apresentou um valor médio total de C armazenado de  $38,47 \pm 0,65$  t/ha, Figura 5-41. Sendo este valor distribuído entre a profundidade (0 a 20 cm) e a

vegetação herbácea, a profundidade (0 a 2 cm) era composta apenas por elementos maioritariamente grosseiros.

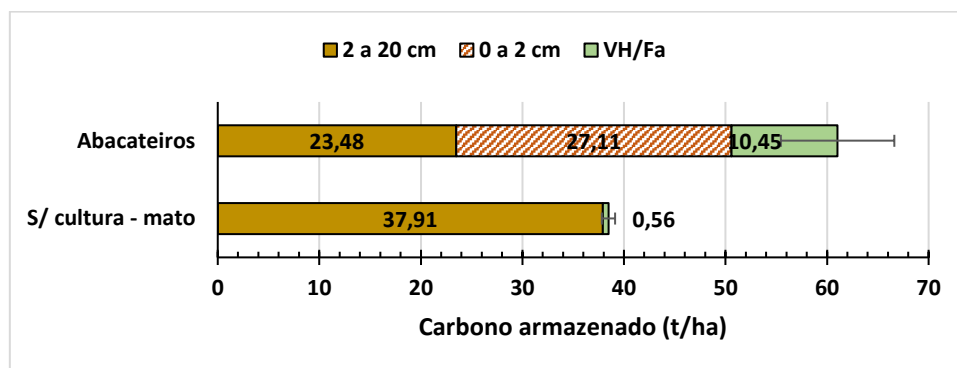


Figura 5-41 - Distribuição do C (t/ha) no pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada no Monte da Jóia nos vários compartimentos estudados (vegetação herbácea e folhada presente na cobertura dos solos, camada com profundidade de 0 a 2 cm e camada de profundidade de 2 a 20 cm).

A camada de solo (0 a 20 cm) representa 98,54 % do C armazenado nos diversos compartimentos, representando o coberto vegetal apenas 1,46%, Figura 5-42. No pomar de abacateiros a distribuição nos diversos compartimentos é similar à da área de Algez, ponto 5.5.7. Sendo a percentagem de C armazenada na folhada menor, pois a espessura da camada de folhada era menor e os resíduos de podas também.

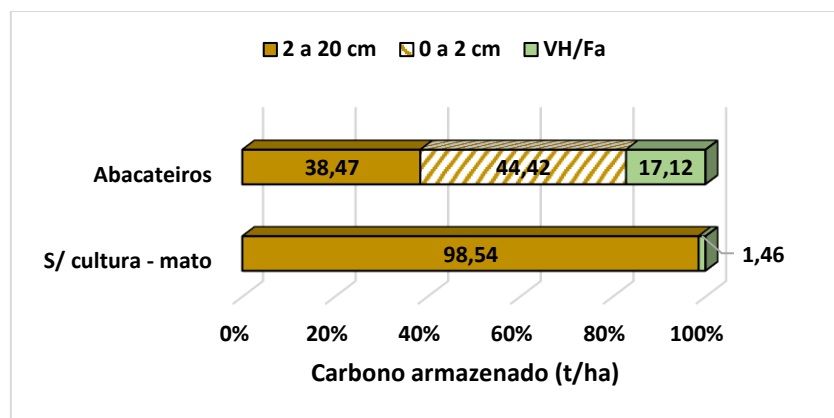


Figura 5-42 – Percentagem de distribuição do C armazenado nos diferentes compartimentos (solo e cobertura de solo), Monte da Jóia.

O C armazenado nos diferentes compartimentos ascende a  $61,04 \pm 5,59$  t/ha, Figura 5-41, concentrando-se maioritariamente na profundidade (0 a 2 cm), com 44,42 % do C ali armazenado, o solo na profundidade de 2 a 20 cm apresenta 38,47 % do C e a camada de manta morta 17,12 %, conforme Figura 5-42. A camada de profundidade (0 a 2 cm) e a folhada sequestram 61,54 % do C dos compartimentos estudados. Situação similar à observada no pomar de abacateiros de Algez.

Admitindo que o C armazenado na zona não cultivada, contígua ao pomar de abacateiros, seria idêntico ao armazenado no local do pomar, caso este não existisse, poderemos determinar uma taxa anual de incremento de C. Considerando a diferença entre C armazenado no pomar de abacateiros (50,59 t/ha) e o C armazenado na zona não cultivada de (37,91 t/ha) e tendo em consideração a idade do pomar (14 anos), obtém-se uma taxa anual de incremento de 0,91 t C/ha/ano. Sendo significativamente superior às obtidas para o pomar de citrinos da Herdade da Zambujeira (0,07 t C/ha/ano e 0,32 t C/ha/ano) e superior a 0,4 t C/ha/ano obtidos em França, em pomares e vinhas com enrelvamento permanente (Arrouays et al., 2002). A taxa obtida aproxima-se das referidas em Paranychianakis et al. (2021), que oscilaram entre 1 e 1,8 t C/ha/ano, tendo sido determinadas no solo (0-20 cm) em pomares de abacateiros na Grécia (clima semiárido Mediterrânico). O valor obtido no pomar de abacateiros corresponde a uma taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> no solo (0 a 20 cm) de 3,3 t CO<sub>2</sub>/ha/ano corresponde a 46,2 t CO<sub>2</sub>/ha sequestradas no solo durante o período de 14 anos.

## **5.7. São Bartolomeu de Messines (ME)**

### **5.7.1. Densidade aparente**

No pomar de Messines e na zona adjacente não cultivada com vegetação espontânea arbustiva, designados por (C) na Figura 4-11, determinaram-se valores de Dap de 1,05 g/cm<sup>3</sup> no pomar de abacateiros (valor médio entre linha e entrelinha) e 1,12 g/cm<sup>3</sup> na área arbustiva adjacente, conforme Anexo 4.

Os solos da área estudada em Messines apresentam um teor de MO médio, conforme Costa (1999), com valores entre  $3,71 \pm 0,19$  % na zona de mato (E/Vesp) e  $6,14 \pm 0,43$  % na linha de plantação dos abacateiros, sendo a textura dos solo franco argilosa. Nos solos com estas características espera-se que o valor da Dap seja próximo de 1 (Costa, 1999), sendo o da zona não cultivada ligeiramente superior, com cobertura de solo pontual.

### **5.7.2. Textura do solo**

Nas análises granulométricas das amostras de solo do pomar e área adjacente (Messines), apresentam-se valores compatíveis com a classe textural de solos francos na zona não cultivada, com textura de terras média, conforme valores médios de argila ( $24,2 \pm 0,3$  %), limo ( $26,6 \pm 0,3$  %) e areia ( $49,2 \pm 0,6$  %), conforme Figura 5-43 B e Tabela

5-6. Quanto à presença de elementos grosseiros verificou-se ser bastante reduzida com  $5,8 \pm 1,2 \%$ , conforme Tabela 5-6.

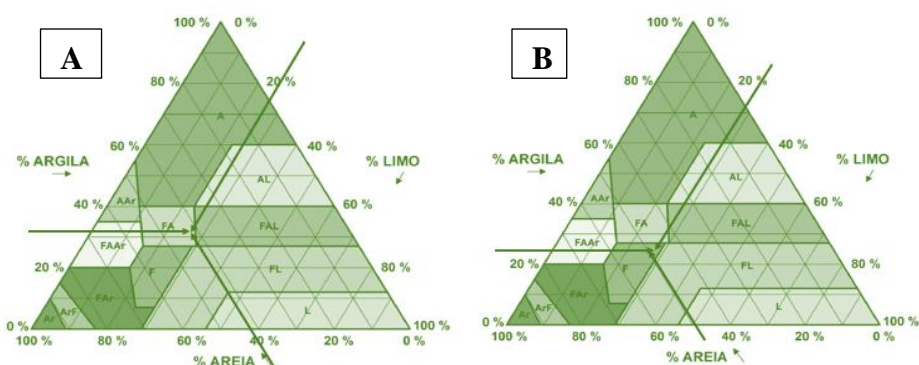


Figura 5-43 - Diagrama triangular de classificação de classes de textura de solo de Pereira Gomes e Antunes da Silva (1962), com apresentação dos valores obtidos nas amostras recolhidas em Messines. Pomar de abacateiros (A) e zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva (B).

No pomar de abacateiros os valores apresentam-se compatíveis com a classe textural de solos franco-argilosos, com textura de terras entre média a pesada (Kopp et al., 1989), conforme valores médios de argila ( $32,9 \pm 0,3 \%$ ), limo ( $25,2 \pm 1 \%$ ) e areia ( $41,9 \pm 0,9 \%$ ), conforme Figura 5-43 A e Tabela 5-6. A presença de elementos grosseiros verificou-se ser igualmente reduzida com  $6,4 \pm 1,8 \%$ , conforme Tabela 5-6.

Tabela 5-6 - Composição granulométrica dos solos de Messines, pomar de abacateiros *versus* zona adjacente não cultivada e com vegetação arbustiva.

	Abacateiros	Sem cultura
Componentes	Percentagem (média $\pm$ erro padrão)	
Limo+ argila (%)	58,1 $\pm$ 0,9	50,8 $\pm$ 0,6
Argila (%)	32,9 $\pm$ 0,3	24,2 $\pm$ 0,3
Limo (%)	25,2 $\pm$ 1,0	26,6 $\pm$ 0,3
Areia (%)	41,9 $\pm$ 0,9	49,2 $\pm$ 0,6
Terra fina (%)	93,6 $\pm$ 1,8	94,2 $\pm$ 1,2
Elementos grosseiros (%)	6,4 $\pm$ 1,8	5,8 $\pm$ 1,2

Estes solos Vcd, nomeadamente o do pomar de abacateiros, apresentam uma componente significativa de argila (32,89 %) na camada superficial Kopp et al. (1989). Solos ricos em argila apresentam maior teor de MO, devido à interligação da argila com as moléculas orgânicas, protegendo-as durante mais tempo no solo (Varenes, 2003).

### 5.7.3. Reação do solo

O pH dos solos em estudo em Messines, verificou-se ser neutro, nos dois locais de amostragem (pomar de abacateiros e zona não cultivada), conforme classificação de Quelhas dos Santos (1996), apresentada na tabela do Anexo 3. No pomar de abacateiros registou-se um pH médio de  $7,42 \pm 0,00$  e na zona não cultivada um valor médio de  $7,5 \pm 0,05$ . Sendo o pH do pomar de abacateiros inferior, tal como se observou no pomar do Monte da Jóia (ponto 5.6.3.), devido à aplicação de fertilizantes e ao processo de decomposição da folhada.

### 5.7.4. Teor de matéria orgânica e de carbono orgânico no solo

Nas áreas em estudo em Messines comparou-se o teor de C presente nos solos do pomar de abacateiros com o da zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva espontânea, onde se destacava a presença de algumas aroeiras. O pomar de abacateiros tem atualmente 15 anos e o solo coberto na linha de plantação com folhada (camada > 10 cm) e na entrelinha com vegetação herbácea espontânea.

Quando se comparou o teor de C presente no solo da linha do pomar de abacateiros (valor médio de C (L/Fa) de  $3,56 \pm 0,25$  %) com o do solo sob a copa das aroeiras (valor médio de C (L/Vesp) de  $3,35 \pm 0,03$  %) não se encontraram diferenças significativas, Figura 5-44. O esperado seria que o solo da linha do pomar tivesse um valor de C superior ao da zona não cultivada, dada a existência da espessa camada de folhada (> 10 cm) sobre o solo.

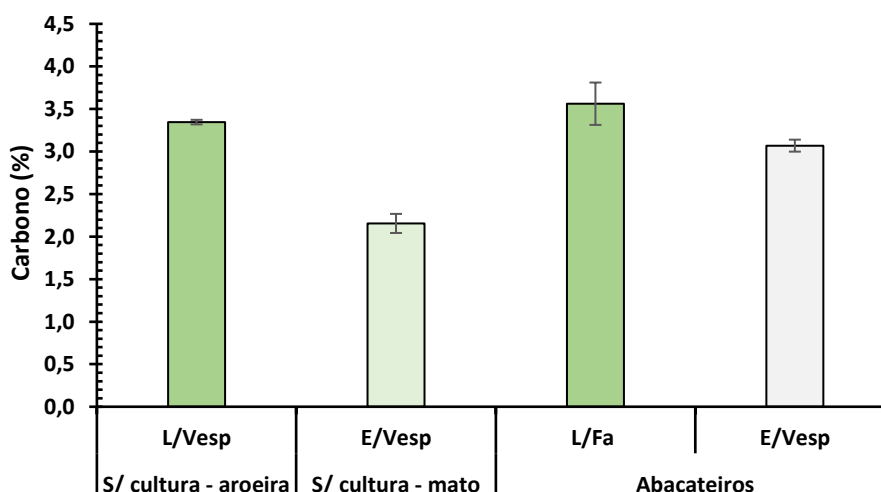


Figura 5-44 - Comparação entre valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) do teor de C das amostras de solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros (L/Fa e E/Vesp), com a zona adjacente não cultivada com vegetação arbustiva espontânea (E/Vesp) e aroeiras (L/Vesp).

Nas zonas não cultivadas concentra-se uma parte da vegetação arbustiva espontânea, sendo zonas de importantes reservatórios de C terrestre. O stock de C armazenado no solo na profundidade de 0 a 20 cm contribuí com cerca de 80 % do C total destes ecossistemas (Fonseca et al., 2012). A área ocupada pelas aroeiras apresenta um importante contributo para a preservação do C no solo, dado o teor de C elevado que apresenta.

Quanto ao teor de C das entrelinhas, o pomar de abacateiros E/Vesp apresentou valores significativamente mais elevados que a zona não cultivada E/Vesp (fora da área de projeção da copa das aroeiras), com valores médios de C de  $3,07 \pm 0,07$  % e  $2,15 \pm 0,11$  %, respetivamente.

A presença de vegetação herbácea permanente nas entrelinhas melhora os processos de humificação, agregação e sedimentação (Ramos et al., 2010). Aumentando o teor de C armazenado no solo da entrelinha, sendo esta a posição do pomar que geralmente apresenta maior concentração de C. No entanto, neste pomar (sem presença de camalhões e decorridos 15 anos de plantação) a linha de plantação apresenta um teor significativamente mais elevado de C que a entrelinha. Tal situação dever-se-á à presença da espessa camada de folhada (> 10 cm) na linha.

Relativamente à massa de C por  $m^2$ , os valores registados seguem a mesma tendência do teor de C, Figura 5-44. Registando-se no pomar de abacateiros valores médios de  $7 \pm 0,49$  kg C/ $m^2$  na L/Fa e  $6,03 \pm 0,14$  kg C/ $m^2$  na E/Vesp. Na zona não cultivada sob a copa das aroeiras registou-se  $7,06 \pm 0,03$  kg C/ $m^2$  e fora da copa destas  $4,55 \pm 0,24$  kg C/ $m^2$ .

Num trabalho de Fonseca et al. (2012) estudou-se o armazenamento de C no solo em zonas não cultivadas com vegetação arbustiva composta por *Cistus ladanifer*, *Cytisus multiflorus* e *Erica australis* spp. *Aragonensis*, onde os autores obtiveram valores médios no solo na profundidade de 0 a 20 cm de 9,5, 9,6 e 10,3 kg C/ $m^2$  em *C. ladanifer*, *C. multiflorus* e *E. australis*, respetivamente. Os valores obtidos na zona não cultivada com aroeiras ( $7,06 \pm 0,03$  kg C/ $m^2$ ) revelaram-se inferiores aos dos autores referidos, sendo o local e a tipologia do solo diferentes.

### **5.7.5. Carbono armazenado no solo**

#### **Carbono armazenado à profundidade de 0 a 20 cm**

No pomar de abacateiros, a área de projeção da copa ascendeu a 73,17 % e o espaço entre copas (não ocupado) foi de 26,83 % da área total do pomar. Na zona não cultivada,

as copas das aroeiras apresentaram uma área reduzida de projeção de copa de apenas 14,99 %, sendo a restante área de 85,01%.

Tendo em consideração as áreas ocupadas pelas posições (linha e entrelinha) obtiveram-se no pomar de abacateiros na L/Fa  $51,24 \pm 3,58$  t/ha de C armazenado no solo e na E/Vesp  $16,19 \pm 0,37$  t/ha, conforme Figura 5-45 A, as L/Fa armazenam a maior quantidade C. Na área não cultivada os valores de C armazenado foram significativamente inferiores com  $10,58 \pm 0,09$  t/ha no solo sob a copa das aroeiras e de  $38,65 \pm 2,01$  t/ha na restante área com vegetação arbustiva pontual, Figura 5-45 A. As aroeiras eram pouco numerosas, pelo que as suas áreas de projeção de copa também se mostraram reduzidas, sendo o C armazenado sob as suas copas significativamente inferior à restante área não cultivada.

Analisando a Figura 5-45 B, verifica-se que no pomar de abacateiros temos um valor médio de C armazenado de  $67,44 \pm 3,95$  t/ha e na zona não cultivada adjacente  $49,23 \pm 2,10$  t/ha.

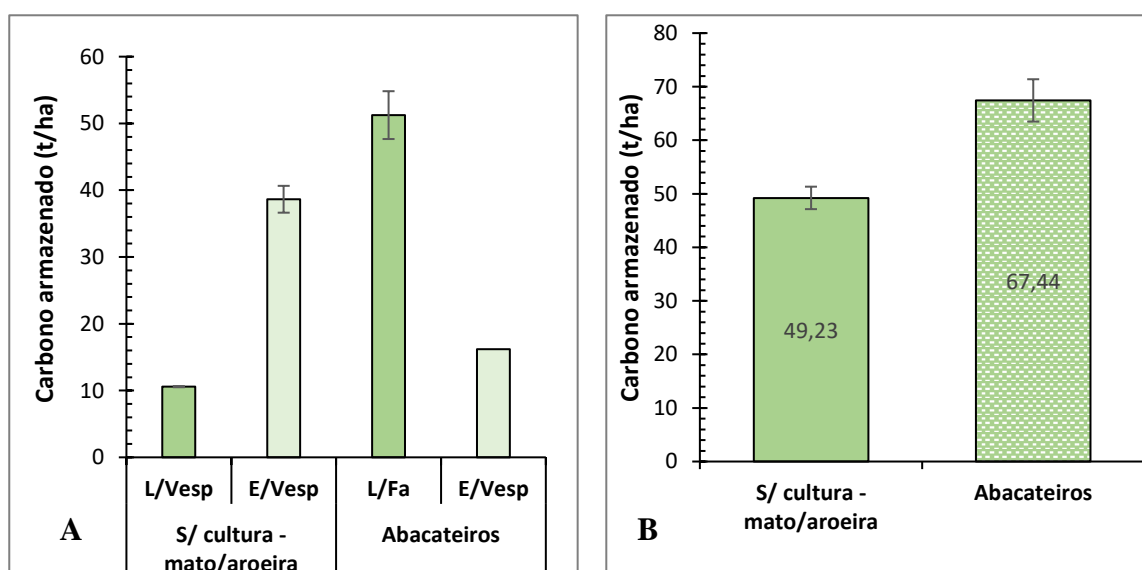


Figura 5-45 - Comparação entre os valores médios ( $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) de C (t/ha) armazenados nos solos (profundidade de 0 a 20 cm) do pomar de abacateiros com área adjacente não cultivada, em Messines. Comparação de posições (A) e de cultura *versus* não cultivado (B).

A área não cultivada de vegetação arbustiva apresenta-se com teor de C armazenado no solo inferior ao encontrado no trabalho de Fonseca et al. (2012), onde se referem valores entre 95 e 103 t C/ha na profundidade de 0 a 20 cm, variando os valores em função da espécie arbustiva presente. Valores inferiores aos obtidos em Messines, de 18,7 t C/ha

na mesma profundidade e em zonas áridas de mato (Chile) foram referidos por (Perez-Quezada et al. (2011) e de 22,9 t C/ha em pastagens com vegetação arbustiva durante a estação seca (Argentina) (Bonino, 2006).

Os sistemas agrícolas arbóreos armazenam mais C no solo na área de projeção da copa, aumentando teor de COS com a densidade de árvores e com a percentagem de limo e argila (tornam o C mais estável) (Ramachandran Nair et al., 2010). Correlação semelhante em relação aos teores de argila, em pomares de abacateiros foi referida por Paranychianakis et al. (2021). O solo do pomar de abacateiros de Messines apresenta valores significativos de limo e argila ( $58,1 \pm 0,09$  %), sendo de todos os pomares estudados anteriormente, o que apresenta os valores mais elevados, a copa das fruteiras mostra-se bastante frondosa e, por conseguinte, é de todos os pomares estudados o que apresenta o valor mais elevado de C armazenado no solo. Ainda assim, o C armazenado no solo de 0 a 20 cm de  $67,44 \pm 3,95$  t/ha é inferior aos de  $84,9 \pm 14,3$  t/ha de 0 a 30 cm (Ordóñez et al., 2008).

#### **Carbono armazenado à profundidade de 0 a 2 cm**

Tal como, nas áreas em estudo no Monte da Jóia, as análises de solos na profundidade de 0 a 2 cm, só se realizaram no pomar de abacateiros. Na zona adjacente não foi possível devido à quantidade de pedras existentes. No pomar de abacateiros, só foi possível recolher amostras na profundidade de 0 a 2 cm na linha (L/Fa). A data de recolha de amostras coincidiu com a altura da colheita de frutos e devido ao pisoteio e passagem de equipamentos agrícolas a camada de Vesp encontrava-se misturada com a camada superficial do solo, pelo que não foi possível colher as amostras de solo de 0-2 cm de profundidade.

A linha do pomar de abacateiros apresentou um valor médio de  $35,75 \pm 3,42$  t/ha de C armazenado nos primeiros 2 cm solo e de 0 a 20 cm com  $67,44 \pm 3,95$  t/ha (linha com  $51,24 \pm 3,58$  t/ha e entrelinha com  $16,19 \pm 0,37$  t/ha), contendo os 2 cm superficiais cerca de 53% do C armazenado no solo do pomar.

Tal como nos dois pomares de abacateiros estudados anteriormente, a camada de 0 a 2 cm contem mais de 50 % do C armazenado.

#### **5.7.6. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea e na folhada (camada orgânica)**

No pomar de abacateiros, pelos motivos descritos no ponto 5.7.5, só foi possível colher amostras de folhada na linha (L/Fa), a entrelinha que tinha como cobertura de solo

vegetação herbácea espontânea, não se pôde colher. Também, na área adjacente não cultivada, a vegetação arbustiva não se colheu devido à sua dimensão.

O pomar de abacateiros apresentou na linha (L/Fa) um valor médio de MO de  $87,34 \pm 0,37$  % e um teor de C de  $50,66 \pm 0,21$  %.

Na determinação do C armazenado na folhada da linha do pomar de abacateiros teve-se em consideração a área de projeção da copa. A folhada apresentou um valor médio de C armazenado de  $6,97 \pm 0,13$  t/ha. Tendo presente o C armazenado na folhada dos pomares de abacateiros do Sítio das Ferrarias e do Monte da Jóia ( $12,68 \pm 1,39$  t/ha e  $10,45 \pm 1,57$  t/ha, respetivamente), verifica-se que no pomar de Messines o C armazenado na folhada é significativamente inferior. Esta diferença justificar-se-á pela forma de gestão do pomar, existindo neste uma gestão diferenciada da linha e entrelinha. A linha apresenta-se coberta com camada de folhada ( $> 10$  cm) e a entrelinha coberta com vegetação herbácea espontânea. Também a área de projeção da copa das fruteiras abrange 73,17 % e não a quase totalidade do solo, como nos pomares referidos. Estes factos conduzem a um aumento da temperatura do solo, com aceleração do processo de decomposição e respiração dos organismos do solo (Varenes, 2003). Por conseguinte, o C armazenado na folhada é inferior.

### **5.7.7. Apreciação global do armazenamento de carbono**

A distribuição do C armazenado nas duas áreas de Messines, nos diferentes compartimentos estudados, mostrou-se significativamente diferente, conforme Figura 5-46. A zona não cultivada apresentou um valor médio total de C armazenado na profundidade de 0 a 20 cm de  $49,23 \pm 2,10$  t/ha, não tendo sido possível estudar os outros compartimentos pelas razões descritas anteriormente.

No pomar de abacateiros, o C armazenado na camada de 0 a 2 cm representa apenas a zona da linha. O C armazenado na biomassa da vegetação herbácea da entrelinha e na camada superficial de solo (0 a 2 cm) foi determinado em conjunto com o solo até 20 cm de profundidade (barra castanha da Figura 5-46). O C armazenado na totalidade dos compartimentos estudados é de  $74,41 \pm 4,08$  t/ha e na profundidade de 0 a 2 cm é de  $35,45 \pm 3,42$  t/ha, representando 48,04 % do C total. O C armazenado na profundidade (0) 2 a 20 cm e na folhada representam 42,59 % e 9,37 % do C total, respetivamente.

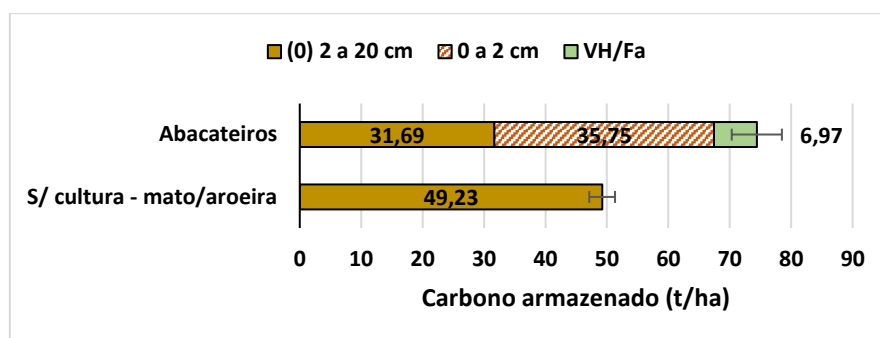


Figura 5-46 - Distribuição do C (t/ha) no pomar de abacateiros e zona adjacente não cultivada, em Messines, nos vários compartimentos estudados (folhada (L/Fa), camada com profundidade de 0 a 2 cm (L/Fa) e camada de profundidade de (0) 2 a 20 cm).

O C armazenado no pomar de abacateiros é significativamente superior ao da área não cultivada e o C armazenado na camada (0 a 2 cm) representa mais de 50 % do C armazenado no solo (0 a 20 cm). O CO diminui acentuadamente com a profundidade do solo, estando as concentrações mais elevadas nos primeiros centímetros de solo (Paustian et al., 2019).

Dos pomares de abacateiros estudados, o de Messines apresenta os valores mais elevados de C armazenado no solo. O destaque deste pomar será devido à congregação de fatores bióticos e abióticos, havendo que enfatizar a forma de gestão da cultura e as características do solo. Com especial relevo para o teor de argila, que está interrelacionado com a textura e os componentes minerais do solo, como os principais determinantes da capacidade de saturação do solo (Schweizer et al., 2021).

Considerando que o C armazenado na zona não cultivada, adjacente ao pomar de abacateiros, se assemelharia ao armazenado no local do pomar, caso este não existisse, poder-se-á determinar a taxa anual de incremento de C. Tendo por base o C armazenado no pomar de abacateiros de 67,44 t/ha e o C armazenado na área não cultivada de 49,23 t/ha e a idade do pomar (15 anos), obtém-se uma taxa anual de incremento de 1,21 t C/ha/ano. Taxa que se insere no intervalo de valores de 1 a 1,8 t C/ha/ano referido em Paranychianakis et al. (2021). Esta taxa de incremento corresponde a uma taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> no solo (0 a 20 cm) de 4,4 t CO<sub>2</sub>/ha/ano, que corresponde a 66,6 t CO<sub>2</sub>/ha sequestradas no solo durante o período de 15 anos.

## 5.8. Avaliação do potencial de armazenamento de carbono dos pomares *versus* outros usos do solo

O cultivo de árvores frutíferas perenes, aparenta ter uma capacidade significativa de armazenamento de C nos diferentes compartimentos estudados (solo e coberturas de

solos). No presente estudo avaliou-se o C armazenado nos solos de pomares na profundidade de 0 a 20 cm, em diferentes culturas (citrinos, alfarrobeiras, abacateiros e amendoeiras) e num dado momento. Bem como o C armazenado na vegetação herbácea e na manta morta dos mesmos pomares. Ao longo do trabalho os resultados obtidos foram sendo comparados com valores de estudos semelhantes e em condições o mais semelhantes possível. Tarefa bastante dificultada pela reduzida existência de estudos sobre C armazenado nos solos das fruteiras. Ainda que sobre o C armazenado na biomassa total o leque de estudos seja muitíssimo variado.

Pela observação da Tabela 5-7, pode referir-se que dos solos (profundidade de 0 a 20 cm) dos pomares estudados e que estão atualmente em plena produção (14 a 39 anos), os dos pomares de abacateiros apresentam uma capacidade de armazenamento de C significativamente superior aos dos pomares de citrinos (abacateiros -  $45,31 \pm 1,98$  t/ha,  $50,59 \pm 4,01$  t/ha e  $67,44 \pm 3,95$  t/ha *versus* citrinos -  $25,04 \pm 1,15$  t/ha e  $31,24 \pm 3,98$  t/ha). Adicionalmente, os pomares de abacateiros apresentam uma camada orgânica de folhada bastante significativa, que nos pomares de citrinos é inexistente, aumentando o C total sequestrado. Nos pomares jovens, entre 4 e 6 anos, os pomares de abacateiros e alfarrobeiras apresentam um armazenamento de C no solo, também significativamente superior ao dos citrinos (abacateiros -  $31,48 \pm 2,65$  t/ha, alfarrobeiras -  $33,4 \pm 2,68$  t/ha e citrinos -  $21,06 \pm 1,6$  t/ha).

Estas diferenças consideráveis obtidas nos pomares de abacateiros requerem confirmação, em estudos com maior número de locais de amostragem, no entanto sugerem que as características da cultura favorecem o acúmulo de C. Nomeadamente, o seu sistema radicular bastante superficial, 70% do sistema surge nos primeiros 30 a 40 cm de profundidade do solo (Asaja Málaga, 2021). E ainda, a presença de MO no solo proveniente da camada de folhada, que protege as raízes, estimula o seu crescimento e favorece a presença de uma biota no solo que melhora a absorção de nutrientes (micorrizas, etc.) e os agregados (Asaja Málaga, 2021). Também a sua copa frondosa favorece a proteção do solo.

A quantidade de C armazenada nos pomares de abacateiros, conforme Tabela 5-7 parece aumentar com a idade destes, o que pode sugerir a existência de uma correlação positiva, mas tal não foi possível verificar devido ao reduzido número de pomares estudados. Observou-se ainda, que no pomar de abacateiros de Algoz, apesar deste ter 39 anos e a quantidade mais elevada de C armazenada na folhada, este não apresentou mais

C armazenado. Tal, pode sugerir a possibilidade de ter sido atingido o limiar de saturação de COS. Para comprovar ou não esta situação, serão necessários mais estudos.

Tabela 5-7 - C armazenado nos solos na profundidade de 0 a 20 cm e na camada de folhada dos pomares estudados e áreas adjacentes.

Região	Pomares	Idade	Carbono (t/ha) Solo (0 a 20 cm)	Carbono (t/ha) Folhada
Algarve	CA	3	16,18 ± 0,82	
	BU	4	31,48 ± 2,65	3,81 ± 0,34
	abacateiros SI	14	50,59 ± 4,01	10,45 ± 1,57
	ME	15	67,44 ± 3,95	6,97 ± 0,13
	AL	39	45,31 ± 1,98	12,68 ± 1,39
	Alfarrobeiras BU	6	33,40 ± 2,68	
	Amendoeiras AL		27,45 ± 3,22	
	Citrinos BU	6	21,06 ± 1,06	
Alentejo	Citrinos (Mod1) HZ	16	25,04 ± 1,15	
	Citrinos (Mod2) HZ	16	31,24 ± 3,98	
Região	Áreas não cultivadas c/vegetação arbustiva	Idade	Carbono (t/ha) Solo (0 a 20 cm)	Carbono (t/ha) Folhada
Algarve	CA		22,39 ± 3,05	
	SI		37,91 ± 0,55	
	ME		49,23 ± 2,10	

Legenda: HZ (pomar da Herdade da Zambujeira); BU (pomar Quinta dos Medeiros - Buraco); CA (pomar do sítio do Calço); AL (pomar de Algoz); SI (pomar do Monte da Jónia - Silves); ME (pomar de Messines).

Parece, ainda existir uma correlação positiva, entre solos de textura franca a fraco-argilosa e a capacidade de armazenamento de C no solo dos pomares de abacateiros, também referida por Paranychianakis et al. (2021), não sendo possível verificar devido ao reduzido número de pomares estudados.

Quanto ao C armazenado nos solos das zonas não cultivadas, Tabela 5-7, em dois dos locais de estudo (SI e ME) apresentou-se com valores significativamente superiores aos obtidos nos pomares dos citrinos (não cultivado - 37,91 ± 0,55 t/ha e 49,23 ± 2,10 t/ha, citrinos - 21,06 ± 1,6 t/ha, 25,04 ± 1,15 t/ha e 31,24 ± 3,98 t/ha). Na área não cultivada do CA (com declive acentuado), o C armazenado (22,39 ± 3,05 t/ha) não foi significativamente diferente dos pomares de citrinos.

O C armazenado na área não cultivada de ME apresentou valores significativamente superiores aos registados nos pomares das diversas culturas, com exceção do pomar de abacateiros de ME.

Cabe agora comparar os resultados obtidos de C armazenado nos solos dos pomares estudados, com outros usos do solo, nomeadamente florestas.

Tabela 5-8 - C armazenado no solo de povoamentos florestais, determinado por diferentes autores.

Região	Povoamentos florestais	Idade	Carbono (t/ha) Solo (0 a 20 cm)	Carbono (t/ha) Folhada	Referências
Norte	<i>Pinus pinaster</i>	60	30,3	9,7	(Fonseca and Figueiredo, 2017)
	<i>Pinus nigra</i>	60	64,6	27,3	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.)	60	52,1	12,3	
	<i>Castanea sativa</i> Miller	60	58,3	5,5	
Centro	<i>Pinus pinaster</i>	14	30,0		(Madeira et al., 2009)
		25	45,0		
		40	60,0		
		83	60,0		
			<b>Solo (0 a 25 cm)</b>		
Alentejo	<i>Quercus rotundifolia</i> L.	100	60,5		(Ferreiro-Domínguez et al., 2022)
			<b>Solo (0 a 100 cm)</b>		
Alentejo	<i>Pinus pinea</i>	30 a 50	60,0	18,0	(Correia et al., 2008)
			<b>Solo (0 a 30 cm)</b>		
Andaluzia	<i>Ceratonia siliqua</i>	26	60,7		(Palacios-Rodríguez et al., 2022)
		26	43,6		

Os dados apresentados na Tabela 5-8 são bastante díspares, quer em termos de C armazenado no solo, quer em termos de idade de plantação e localização geográfica.

No estudo de Fonseca and Figueiredo (2017), realizado em povoamentos de quatro espécies florestais com 60 anos, em Vila Pouca de Aguiar, conforme Tabela 5-8, a quantidade de C armazenada na camada de solo de 0 a 20 cm varia entre 64,6 t/ha em *Pinus nigra* a 30,3 t/ha em *Pinus pinaster*. Os valores de C armazenado nos solos dos pomares de abacateiros com mais de 14 anos ( $45,31 \pm 1,98$  t/ha,  $50,59 \pm 4,01$  t/ha e  $67,44 \pm 3,95$  t/ha), conforme Tabela 5-7 encontram-se neste intervalo de valores, bem como os do pomar de alfarrobeiras ( $33,4 \pm 2,68$  t/ha). Não esquecendo de referir que os teores de CO no sul de Portugal, em geral são inferiores aos registados no norte (Madeira et al., 2004).

Ainda em Fonseca and Figueiredo (2017) refere-se que a quantidade de C armazenada nas profundidades de solo de 0 a 10 cm apresenta mais de 50% do C armazenado de 0 a 20 cm. Também nos pomares de abacateiros com mais idade de plantação (14 a 39 anos) se registaram valores de C armazenado na camada de 0 a 2 cm superiores a 50% (ME – 53 %, SI – 54,5% e AL – 60,6 %). Os mesmos autores referem ainda valores de C presentes nas camadas orgânicas de folhada entre 5,5 t/ha em *Castanea sativa* e 27,3 t/ha em *Pinus nigra*, na camada orgânica dos pomares de abacateiros registaram-se valores

entre 3,81 t/ha em BU e 12,68 t/ha em AL, conforme Tabela 5-7 e Tabela 5-8. Os valores obtidos, com exceção do pomar de BU (6 anos) inserem-se no intervalo de valores referido pelos autores.

Os povoamentos florestais de pinheiro-bravo (entre 14 e 83 anos) situados no pinhal de Leiria, na região centro, referidos em Madeira et al. (2009), apresentam valores de C armazenado no solo (0 a 20 cm) entre 30 t/ha e 60 t/ha, conforme Tabela 5-8. Neste intervalo cabem os valores obtidos nos pomares de abacateiros com mais de 14 anos e o do pomar de abacateiros, anteriormente referidos.

Nos restantes povoamentos florestais apresentados na Tabela 5-8, referem-se estudos de Ferreira-Domínguez et al. (2022), de Correia et al. (2008) e de Palacios-Rodríguez et al. (2022) sobre o C armazenado nos solos de *Quercus rotundifolia* L., *Pinus pinea* e *Ceratonia siliqua*, respetivamente. Nestes estudos a camada de solo em análise é superior a 20 cm, o que dificulta uma possível comparação. Ainda assim, o pomar de abacateiros de ME com  $67,44 \pm 3,95$  t/ha e com 14 anos aproximar-se-ia dos valores referidos por estes autores (60,5 t/ha, 60,5 t/ha e 60,7 t/ha na linha, respetivamente).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As práticas de gestão dos pomares influenciam os processos biogeoquímicos, modificando os parâmetros de qualidade dos solos, nomeadamente os processos de humificação, agregação e sedimentação e como tal tendem a aumentar o stock de C dos solos. Os solos dos pomares estudados apresentaram uma considerável capacidade de armazenamento de C, sendo notório o aumento dessa capacidade quando está presente uma cobertura de solo na entrelinha com vegetação herbácea espontânea ou semeada. As práticas de cobertura de solo na linha de plantação com mulching com casca de amêndoas e com folhada também contribuíram para um aumento apreciável da capacidade de armazenamento de C nos pomares de citrinos estudados.

A presença de uma camada orgânica composta por folhada nos pomares de abacateiros e a sua decomposição contribuem para o ciclo dos nutrientes, transferindo-se a MO e os nutrientes da parte aérea da planta para a superfície do solo em quantidades consideráveis. Os pomares de abacateiros estudados apresentavam uma camada orgânica muito significativa com reflexos muito evidentes na quantidade de C sequestrada na camada orgânica superficial e na camada mineral estudada de 0 a 2 cm. O aumento de idade dos pomares reflete um aumento do C sequestrado nas camadas referidas.

Os dados ora obtidos sugerem que os solos dos pomares de citrinos armazenam menor quantidade de C que os solos das alfarrobeiras e dos abacateiros. Entre os pomares de alfarrobeiras e de abacateiros não foi possível fazer uma apreciação válida, dado que apenas se estudou um pomar de alfarrobeiras jovens.

Os pomares de abacateiros foram os que apresentaram maior quantidade de C armazenado nos vários compartimentos estudados. Parecendo existir uma correlação positiva entre o aumento do C armazenado, a idade do pomar e o teor de argila presente no solo, no entanto neste estudo não se analisou um número suficientemente diversificado de pomares para se poder aferir a existência destas correlações.

Quando comparada a quantidade de C armazenada nos solos dos pomares das diferentes culturas (citrinos, amendoeiras, alfarrobeiras e abacateiros) com a quantidade armazenada pelos solos de alguns povoamentos florestais, os solos dos pomares de abacateiros e alfarrobeiras apresentaram a melhor performance. Apresentando os pomares de abacateiros valores próximos dos povoamentos florestais de pinheiro (manso, bravo e larício), castanheiro, abeto e azinheira.

As zonas não cultivadas com vegetação herbácea e arbustiva apresentaram neste estudo, uma quantidade de C armazenado no solo superior aos pomares de citrinos, amendoeiras e alfarrobeiras jovens. Nos pomares de abacateiros (14 e 15 anos), o C armazenado mostrou-se superior.

Em alguns pomares foi possível determinar a taxa anual de incremento de C no solo, nos pomares de citrinos verificou-se que esta se encontrava abaixo dos valores referidos noutros estudos para pomares e vinhas de 0,4 t/ha/ano. Nos pomares de abacateiros determinou-se uma taxa superior de 0,91 t C/ha/ano e 1,21 t C/ha/ano. Tendo ocorrido incremento de C no solo ao longo dos anos, os pomares funcionaram efetivamente como sumidouros de C a longo prazo.

Em trabalhos futuros sobre esta temática sugere-se o estudo do solo na profundidade de 0 a 60 cm ou de 0 a 100 cm, com subamostras de cada 10 cm. Para que se possa perceber o que se passa em maior profundidade, especialmente nos pomares de abacateiros que estão pouco estudados. Será importante proceder-se ao estudo do tempo de decomposição da folhada dos abacateiros, quantificar o C nas formas lábeis e recalcitrantes, de modo a perceber melhor o que se passa na camada superficial do solo. E ainda estudar a biomassa aérea e subterrânea dos abacateiros nas nossas condições climáticas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M., Saunders, M., Hastings, A., Williams, M., Smith, P., Osborne, B., Lanigan, G., Jones, M.B., 2013. Simulating the impacts of land use in Northwest Europe on Net Ecosystem Exchange (NEE): The role of arable ecosystems, grasslands and forest plantations in climate change mitigation. *Sci. Total Environ.* 465, 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.030>
- Andrade, I.M.C.G., 2014. Análise funcional de uma quitinase da classe III (CgCHI3) e de uma glutatona S-transferase (CgGST), envolvidas na simbiose entre *Casuarina glauca* e *Frankia*. Universidade Nova de Lisboa.
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J.C., Jayet, P.A., Soussana, J.F., Stengel, P., 2002. Increasing carbon stocks in French agricultural soils? An assessment report compiled by the French Institute for Agricultural Research (INRA).
- Asaja Málaga, 2021. Manual de manejo práctico del cultivo del aguacate [WWW Document]. Grup. Oper. Innovación del Aguacate. URL [www.goaguacatespain.com](http://www.goaguacatespain.com) (accessed 8.25.22).
- Baldi, E., Cavani, L., Margon, A., Quartieri, M., Sorrenti, G., Marzadori, C., Toselli, M., 2018. Effect of compost application on the dynamics of carbon in a nectarine orchard ecosystem. *Sci. Total Environ.* 637–638, 918–925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.093>
- Batjes, N.H., 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 65, 10–21. [https://doi.org/10.1111/ejss.12114\\_2](https://doi.org/10.1111/ejss.12114_2)
- Benavides, R., Douglas, G.B., Osoro, K., 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* 76, 327–350. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9186-6>
- Bisutti, I., Hilke, I., Raessler, M., 2004. Determination of total organic carbon – an overview of current methods. *TrAC Trends Anal. Chem.* 23, 716–726. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.09.003>
- Bonino, E.E., 2006. Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the Dry Chaco, Argentina. *For. Ecol. Manage.* 223, 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.069>
- Bopp, M.-C., Grasselly, D., Lescourret, F., Colleu, S., Bergère, D., 2019. Les services rendus par les cultures fruitières: Synthèse du rapport final - Septembre 2019. CTIFL; INRAE; Groupement d'Intérêt Scientifique Fruits. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.15454/LS7UCR>
- Burbano, H., 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Ciencias Agrícolas* 35, 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests.
- Calado, M., Sobral, S., Madeira, M., 2002. A mineralogia e o complexo de troca de solos argiluvados da região de Évora-Beja Mineralogy and exchange complex of soils with illuvial B horizons from Évora-Beja region. *Rev. Ciencias Agrar.* XXV(3/4), 42-52.
- Calouro, F., 2005. *Actividades Agrícolas e Ambiente*. Sociedade Portuguesa de Inovação (SPI), Porto.
- Cardoso, J.V.C., 1965. *Os Solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese; A Sul do Rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- Ceschia, E., Béziat, P., Dejoux, J.F., Aubinet, M., Bernhofer, C., Bodson, B., Buchmann, N., Carrara, A., Cellier, P., Di Tommasi, P., Elbers, J.A., Eugster, W., Grünwald, T., Jacobs, C.M.J., Jans, W.W.P., Jones, M., Kutsch, W., Lanigan, G., Magliulo, E.,

- Marloie, O., Moors, E.J., Moureaux, C., Oliosio, A., Osborne, B., Sanz, M.J., Saunders, M., Smith, P., Soegaard, H., Wattenbach, M., 2010. Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 363–383. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.020>
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., 1992. Water Stress, CO<sub>2</sub> and Climate Change, *Journal of Experimental Botany*.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J., 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil Tillage Res.* 188, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Correia, A., Evangelista, M., Ochoa, P., 2008. O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Correia, A.C., Minunno, F., Caldeira, M.C., Banza, J., Mateus, J., Carneiro, M., Wingate, L., Shvaleva, A., Ramos, A., Jongen, M., Bugalho, M.N., Nogueira, C., Lecomte, X., Pereira, J.S., 2012. Soil water availability strongly modulates soil CO<sub>2</sub> efflux in different Mediterranean ecosystems: Model calibration using the Bayesian approach. *Agric. Ecosyst. Environ.* 161, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.07.025>
- Correia, A.C., Tomé, M., Carlos, P., Sónia, F., Dias, A., Freire, J., Carvalho, P.O., Pereira, J.S., 2010. Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinea* L.) in Portugal. *For. Syst.* 19, 418. <https://doi.org/10.5424/fs/2010193-9082>
- Correia, A.P., Fabião, A., Pereira, J.S., Pita, G., Carneiro, M., Nogueira, C., Silva, J., Rodrigues, A., Madeira, M., Banza, J., 2005. Balanço de carbono no eucaliptal - Comparação entre o fluxo turbulento de CO<sub>2</sub> e a estimativa do modelo CO<sub>2</sub>FIX V3.1, in: SPCF (Ed.), *Ecology. Congresso Florestal Nacional, 5º*, Viseu, 2005, pp. 1–6.
- Correia, A., Correia, Alexandra, Pereira, J.S., 2005. Principais Impactos das Alterações Climáticas na Produtividade da Floresta em Portugal : Projecto SIAM, in: *Actas Do 5º Congresso Florestal Nacional. Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais*.
- Correia, P.J., Guerreiro, J.F., Bouça, E., 2017a. Alfarrobeira: Estado da Produção. CNCFS.
- Correia, P.J., Guerreiro, J.F., Pestana, M., Martins-Loução, M.A., 2017b. Management of carob tree orchards in Mediterranean ecosystems: strategies for a carbon economy implementation. *Agrofor. Syst.* 91, 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9929-8>
- Costa, J.B., 1999. Caracterização e Constituição do Solo, 6ª edição. ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Davis, M.R., Alves, B.J.R., Karlen, D.L., Kline, K.L., Galdos, M., Abulebdeh, D., 2017. Review of soil organic carbon measurement protocols: A US and Brazil comparison and recommendation. *Sustain.* 10, 4–8. <https://doi.org/10.3390/su10010053>
- Deurer, M., Müller, K., Kim, I., Huh, K.Y., Young, I., Jun, G.I., Clothier, B.E., 2012. Can minor compaction increase soil carbon sequestration? A case study in a soil under a wheel-track in an orchard. *Geoderma* 183–184, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.013>
- Driessen, P., Nachtergaele, F., Spaargaren, O., Seppe Deckers, J., 2006. World Reference Base for Soil Resources. *Encycl. Soil Sci. Second Ed.* <https://doi.org/10.1201/noe0849338304.ch410>
- Duarte, M.L., Bento dos Santos, T.M., 2010. A nova Carta Geológica de Portugal à escala 1/1.000.000 e a importância da cartografia geológica de base. *Lneg.*

- EEA Report, 2017. Trends and projections in Europe 2017.
- Espada Carbó, J.L., 2013. Los árboles frutales como sumideros de CO2 desempeñan un importante servicio ambiental. *Inf. técnicas* 12.
- Farina, R., Marchetti, A., Francaviglia, R., Napoli, R., Bene, C. Di, 2017. Modeling regional soil C stocks and CO2 emissions under Mediterranean cropping systems and soil types. *Agric. Ecosyst. Environ.* 238, 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.015>
- Farrelly, D.J., Everard, C.D., Fagan, C.C., McDonnell, K.P., 2013. Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 21, 712–727. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.038>
- Ferreiro-Domínguez, N., Palma, J.H.N., Paulo, J.A., Rigueiro-Rodríguez, A., Mosquera-Losada, M.R., 2022. Assessment of soil carbon storage in three land use types of a semi-arid ecosystem in South Portugal. *Catena* 213, 106196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106196>
- Follain, S., Walter, C., Legout, A., Lemercier, B., Dutin, G., 2007. Induced effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. *Geoderma* 142, 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.08.002>
- Fonseca, F., de Figueiredo, T., Bompastor Ramos, M.A., 2012. Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agrofor. Syst.* 86, 463–475. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9509-5>
- Fonseca, F., Figueiredo, T. de, 2017. Armazenamento de carbono em solos desenvolvidos sob quatro espécies florestais na região mediterrânea, in: III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia Armazenamento. pp. 379–382.
- Galantini, J.A. J.O.I., 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región Pampeana de Argentina., in: En: “Captura de Carbono En Ecosistemas Terrestres de Iberoamérica.” pp. 169–182.
- Garmendia, A., García-Breijo, F., Reig, J., Raigón, M.D., Beltrán, R., Zornoza, C., Cebrián, N., Merle, H., 2022. Agronomic treatments to avoid seed presence in ‘Nadorcott’ mandarin I. Effect on in vivo pollen tube growth. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 294. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110760>
- Gatto, A., Barros, N.F. de, Novais, R.F., Silva, I.R., Mendonça, E. de S., Villani, E.M. de A., 2009. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 33, 735–740. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832009000300026>
- Gomes, M.P., Silva, A.A., 1962. Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Garcia Orta* 10, 171–179.
- Gonçalves, I., Fonseca, F., Al, T. de F. et, 2013. Evolução Temporal do Carbono Armazenado em Povoamentos Florestais Jovens: Efeito da Intensidade de Preparação do Terreno. *Silva Lusit.* 111–125.
- GPP, 2018. Informação de mercados 2017, GPP.
- ICNF, n.d. 6.º Inventário Florestal Nacional [WWW Document]. 2019. URL [http://www2.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/doc/ifn/ifn6/IFN6\\_Relatorio\\_completo-2019-11-28.pdf](http://www2.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/doc/ifn/ifn6/IFN6_Relatorio_completo-2019-11-28.pdf) (accessed 2.21.21).
- Iglesias, D.J., Quiñones, A., Font, A., Martínez-Alcántara, B., Forner-Giner, M.Á., Legaz, F., Primo-Millo, E., 2013. Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain. *Agric. Ecosyst. Environ.* 171, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.015>
- INIAV, 2022. Base de dados Infosolo [WWW Document]. INIAV. URL

- <https://portalgeo.iniav.pt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=17574ca60800415dace9a6369ac53208> (accessed 4.10.22).
- IPCC Working Group 1, I., Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., 2013. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Ipcc AR5*, 1535.
- IPMA, 2022. Normais Climatológicas - 1981-2010 [WWW Document]. IPMA. URL <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/index.jsp#562> (accessed 4.10.22).
- Jensen, J.L., Christensen, B.T., Schjøning, P., Watts, C.W., Munkholm, L.J., 2018. Converting loss-on-ignition to organic carbon content in arable topsoil: pitfalls and proposed procedure. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 604–612. <https://doi.org/10.1111/ejss.12558>
- Kopp, E., Sobral, M., T., S., Woerner, M., 1989. Os solos do Algarve e as suas características. Vista geral. Direcção Regional de Agricultura do Algarve, Faro.
- Kupper, P., Sellin, A., Klimánková, Z., Pokorný, R., Puértolas, J., 2006. Water relations in Norway spruce trees growing at ambient and elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *Biol. Plant.* 50, 603–609. <https://doi.org/10.1007/s10535-006-0095-0>
- Lakso, A.N., 2011. EARLY FRUIT GROWTH AND DROP - THE ROLE OF CARBON BALANCE IN THE APPLE TREE. *Acta Hort.* 733-742 citado por (Zanotelli et al., 2015). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.102>
- Lal, R., Negassa, W., Lorenz, K., 2015. Carbon sequestration in soil. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 15, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002>
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L., 2017. Soil organic carbon: hidden potential., Banking. FAO, Roma.
- Liguori, G., Gugliuzza, G., Inglese, P., 2009. Evaluating carbon fluxes in orange orchards in relation to planting density. *J. Agric. Sci.* 147, 637–645. <https://doi.org/10.1017/S002185960900882X>
- Lneg, 2022. Cartas geológicas de Portugal [WWW Document]. Lneg. URL <https://geoportal.lneg.pt/mapa/#> (accessed 4.10.22).
- López-Bellido Garrido, P.J., 2017. Balance y huella de carbono en plantaciones de olivar en el sur de España. UCOPress. Universidad de Córdoba.
- López, R., Burgos, P., Hermoso, J.M., Hormaza, J.I., González-Fernández, J.J., 2014. Long term changes in soil properties and enzyme activities after almond shell mulching in avocado organic production. *Soil Tillage Res.* 143, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.06.004>
- Lorenz, K., Lal, R., 2014. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 443–454. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>
- Macías, F., Arbestain, M.C., Lado, L.R., 2005. Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recur. rurais Rev. Of. do Inst. Biodiversidade Agrar. e Desenvolv. Rural ( IBADER )* 1, 71–85.
- Maciél, H., Pereira, T.C., Seabra, T., Torres, P., 2012. PORTUGUESE NATIONAL INVENTORY REPORT ON GREENHOUSE GASES, 1990 - 2010. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Portuguese. ed, Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.
- Madeira, M., Fabião, A., Páscoa, F., Magalhães, C., Cameira, M.C., Ribeiro, C., 2009. Carbono e nutrientes na biomassa aérea arbórea, vegetação sob coberto e solo numa

- cronossequência de povoamentos de pinhal bravo Carbon and nutrient amounts in aboveground biomass, understory and soil in a pine stand chronosequence. *Rev. Ciências Agrárias* 32, 154–170. <https://doi.org/10.19084/rca.15735>
- Madeira, M., Ricardo, P.R., Correia, A., Garcez, A., Monteiro, F., Raposo, A.J., Duarte, M.J., 2004. Quantidade De Carbono Orgânico Nos Solos De Portu- Gal Continental E Particularidades Nos Solos Do Nor- Oeste E Dos Montados Do Sul Cuantificación Del Carbono Orgánico De Los Suelos De Portugal Continental Y Particularidades De Los Sue-. *Edafologia* 11, 279–293.
- Mancinelli, R., Campiglia, E., Di Tizio, A., Marinari, S., 2010. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by conventional and organic cropping systems in Mediterranean environment. *Appl. Soil Ecol.* 46, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.06.013>
- Montagnini, F., Nair, P.K.R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems, in: Springer, Dordrecht. Springer, Dordrecht, pp. 281–295. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_20)
- Montanaro, G., Tuzio, A.C., Xylogiannis, E., Kolimenakis, A., Dichio, B., 2017a. Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 238, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.031>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., Dichio, B., 2017b. Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Moreira, C., 2013. Fotossíntese. *Rev. Ciência Elem.* 1, 1–5.
- Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L.M., De la Rosa, D., Abd-Elmabod, S.K., Anaya-Romero, M., 2015. Impact of Land Use and Land Cover Changes on Organic Carbon Stocks in Mediterranean Soils (1956–2007). *L. Degrad. Dev.* 26, 168–179. <https://doi.org/10.1002/ldr.2194>
- Murovhi, N.R., Materechera, S.A., Mulugeta, S.D., 2012. Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa. *Agrofor. Syst.* 86, 61–71. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9508-6>
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, in: Wiley Online Library (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. pp. 961–1010. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Nguyen, C., 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie* 23, 375–396. <https://doi.org/10.1051/agro:2003011>
- Oliveira, J.D.M., Francisco, H., Neto, S., Xavier, S., 2013. Dinâmica da decomposição de coberturas vegetais em pomar de laranjeira no Estado da Bahia. (1), in: *Atas XXX Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo*. pp. 1–5.
- Oliveira, P., 2018. Considerações sobre o clima do Algarve. *Direção Reg. Agric. e Pescas do Algarve* 6.
- Olson, K.R., Al-Kaisi, M.M., 2015. The importance of soil sampling depth for accurate account of soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss. *Catena* 125, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.004>
- Ordóñez, J.A.B., de Jong, B.H.J., García-Oliva, F., Aviña, F.L., Pérez, J. V., Guerrero, G., Martínez, R., Maser, O., 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *For. Ecol. Manage.* 255, 2074–2084. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.024>
- Palacios-Rodríguez, G., Quinto, L., Lara-Gómez, M.A., Pérez-Romero, J., Recio, J.M., Álvarez-Romero, M., Cachinero-Vivar, A.M., Hernández-Navarro, S., Navarro-

- Cerrillo, R.M., 2022. Carbon Sequestration in Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Plantations under the EU Afforestation Program in Southern Spain Using Low-Density Aerial Laser Scanning (ALS) Data. *Forests* 13, 1–15. <https://doi.org/10.3390/f13020285>
- Palmer, J.W., Wünsche, J.N., Meland, M., Hann, A., 2002. Annual dry-matter production by three apple cultivars at four within-row spacings in New Zealand. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 77, 712–717. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511561>
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* (80- ). 333, 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Paranychanakis, N. V., Giannakis, G., Moraetis, D., Tzanakakis, V.A., Nikolaidis, N.P., 2021. Crop litter has a strong effect on soil organic matter sequestration in semi-arid environments. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su132313278>
- Pardo, G., del Prado, A., Martínez-Mena, M., Bustamante, M.A., Martín, J.A.R., Álvaro-Fuentes, J., Moral, R., 2017. Orchard and horticulture systems in Spanish Mediterranean coastal areas: Is there a real possibility to contribute to C sequestration? *Agric. Ecosyst. Environ.* 238, 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.034>
- Paustian, K., Collier, S., Baldock, J., Burgess, R., Creque, J., DeLonge, M., Dungait, J., Ellert, B., Frank, S., Goddard, T., Govaerts, B., Grundy, M., Henning, M., Izaurralde, R.C., Madaras, M., McConkey, B., Porzig, E., Rice, C., Searle, R., Seavy, N., Skalsky, R., Mulhern, W., Jahn, M., 2019. Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. *Carbon Manag.* 10, 567–587. <https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1633231>
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Ippc.
- Pereira, H.M., Domingos, T., Marta-Pedroso, C., Proença, V., Rodrigues, P., Ferreira, M., Ricardo Teixeira, Mota, R., Nogal, A., 2009. Uma avaliação dos serviços dos ecossistemas em Portugal, in: Pereira, H.M., Domingos, T., Vicente, L., Proença, V. (Eds.), *Ecossistemas e Bem-Estar Humano Avaliação Para Portugal Do Millennium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora, Lisboa, pp. 687–716.
- Pereira, J.S., Mateus, J.A., Aires, L.M., Pita, G., Pio, C., David, J.S., Andrade, V., Banza, J., David, T.S., Paço, T.A., Rodrigues, A., 2007. Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems – the effect of drought. *Biogeosciences* 4, 791–802. <https://doi.org/10.5194/bg-4-791-2007>
- Perez-Quezada, J.F., Delpiano, C.A., Snyder, K.A., Johnson, D.A., Franck, N., 2011. Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *J. Arid Environ.* 75, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.08.003>
- Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Quelhas dos Santos, J., 1996. Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos, 2ª Edição. ed. Publicações Europa-América.
- Ramachandran Nair, P.K., Nair, V.D., Mohan Kumar, B., Showalter, J.M., 2010. Carbon Sequestration in Agroforestry Systems, in: *Advances in Agronomy* (Vol. 108). pp. 237–307. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08005-3)

- Ramos, J. C. M., Vilaseca, J. S., Ramon, A.C., 1987. Control analític de la qualitat del compost i estudi de la seva maduració. Serv. del Medi Ambient. Diput. Barcelona (eds). *Experiències amb el Compost. Estud. I Monogr.* 12, 31–69.
- Ramos, M.E., Benítez, E., García, P.A., Robles, A.B., 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 44, 6-14 citado por (Zanotelli et al., 2015). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.005>
- Ravindranath, N.H., Ostwald, M., 2008. Carbon inventory methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects, *Advances in Global Change Research.* <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6547-7>
- Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Moreno-García, M., Ordóñez-Fernández, R., Rodríguez-Lizana, A., Rodríguez, B.C., García-Tejero, I.F., Zuazo, V.H.D., Carbonell-Bojollo, R.M., 2021. Cover crop contributions to improve the soil nitrogen and carbon sequestration in almond orchards (Sw Spain). *Agronomy* 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020387>
- Rocío Rodríguez Pleguezuelo, C., Franco Tarifa, D., Ramón Francia Martínez, J., Gálvez Ruíz, B., Mamani Pati, F., Francisco García Tejero, I., Hugo Durán Zuazo, V., Molina-Murillo, S.A., Mónica Araya, D., Rica Limpia, C., Rica Gerardo Ávalos-Rodríguez SFS UCR, C., Costa Rica Manuel Guariguata CIFOR-Perú Luko Hilje, U., Rica Arturo Sánchez, C., Rodríguez-Brenes Editorial, S., 2018. NOTA TÉCNICA Dinámica de las concentraciones de carbono y nitrógeno en la descomposición de hojarasca de cultivos subtropicales del sureste de España TECHNICAL NOTE Dynamic of Carbon and Nitrogen Concentrations in the Decomposition of Leaf Litter of Subt. Trop J Env. Sci. (Enero-Junio 52, 175–189. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-1.10>
- Rodrigues, M.A., 2017. Manutenção do solo, in: *Amendoeira: Estado Da Produção.* M.A. (Editor Científico), Bragança, pp. 185–231.
- Rodrigues, M.Â., 2019. Cover Cropping in Rainfed Fruticulture. *World J. Agric. Soil Sci.* 1, 4–6. <https://doi.org/10.33552/WJASS.2019.01.000511>
- Rodrigues, M.A., Raimundo, S., Arrobas, M., 2019. Um olhar sobre a gestão do solo em olival face ao aquecimento global. *Rev. Voz do Campo* 225, 56–57.
- Rosemary, A., 2013. “Carbon Storage in Orchard.” Bangor: School of “Environment, Natural Resources and Geography Bangor University, citado por (Bopp et al., 2019).
- Roxo, M.J., Fonseca, A.L., Vizinho, A., Paiva, L., 2016. Boas Práticas para a Conservação do Solo e da Água em Meios Semiáridos [WWW Document]. FCSH – Fac. Ciências Sociais e Humanas, Univ. Nov. Lisboa.
- Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.H., Kozyr, A., Ono, T., Rios, A.F., 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science* (80-. ). 305, 367–371. <https://doi.org/10.1126/science.1097403>
- Sahoo, U.K., Nath, A.J., Lalnunpuii, K., 2021. Biomass estimation models, biomass storage and ecosystem carbon stock in sweet orange orchards: Implications for land use management. *Acta Ecol. Sin.* 41, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.12.003>
- Santantonio, D., Hermann, R.K., Overton, W.S., 1997. Root biomass studies in forest ecosystems. *Pedobiologia* (Jena). 17(1), 1–31, citado por Ravindranath and Ostwald (2008).
- Santos, H., Nunes, J.P., Morais, I., Dias, L., 2019. Relatório setor agricultura: vulnerabilidades atuais e futuras.

- <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10400.1/12868>
- Sanz-Sáez, Á., Erice, G., Aranjuelo, I., Nogués, S., Irigoyen, J.J., Sánchez-Díaz, M., 2010. Photosynthetic down-regulation under elevated CO<sub>2</sub> exposure can be prevented by nitrogen supply in nodulated alfalfa. *J. Plant Physiol.* 167, 1558–1565. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.06.015>
- Sato, J.H., de Figueiredo, C.C., Marchão, R.L., Madari, B.E., Benedito, L.E.C., Busato, J.G., de Souza, D.M., 2014. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. *Sci. Agric.* 71, 302–308. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0306>
- Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese Assunta, M., Zanotelli, D., Celano, G., Gucci, R., Inglese, P., Pitacco, A., Tagliavini, M., 2016. A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *Eur. J. Hortic. Sci.* 81, 106–114. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2016/81.2.4>
- Schumacher, B.A., 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments: ecological risk assessment support center, Academy of Management Journal. United States Environmental Protection Agency.
- Schweizer, S.A., Mueller, C.W., Höschel, C., Ivanov, P., Kögel-Knabner, I., 2021. The role of clay content and mineral surface area for soil organic carbon storage in an arable toposequence. *Biogeochemistry* 156, 401–420. <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00850-3>
- Sena, K.N., Santos, A.A. dos, Maltoni, K.L., Andreotti, M., 2015. Quantificação do carbono orgânico total do solo : uma comparação entre métodos. Apresentação Oral no XXXV Congr. Bras. Ciência do Solo, 02 a 07 agosto, 2015, Cent. Conv. Natal-RN 1–4.
- Serrano, J., Shahidian, S., Marques da Silva, J., Machado, E., Carvalho, M., 2018. Avaliação do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem no ecossistema montado: estudo de caso. *Rev. Ciências Agrárias* 41, 72–81. <https://doi.org/10.19084/rca17200>
- Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Ewert, F., 2005. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080. *Glob. Chang. Biol.* 11, 2141–2152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x>
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Smith, J., 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 789–813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
- Standard methods for the examination of water and wastewater [WWW Document], 2012. . Choice Rev. Online. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.49-6910>
- Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Courcelles, V. de R. de, Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D., Zimmermann, M., 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164, 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
- Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F., 2008. Carbon exchange and water use efficiency of a growing, irrigated olive orchard. *Environ. Exp. Bot.* 63, 168–177.

- <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.006>
- Valentini, R., Matteucci, G., Dolman, A.J., Schulze, E.-D., Rebmann, C., Moors, E.J., Granier, A., Gross, P., Jensen, N.O., Pilegaard, K., Lindroth, A., Grelle, A., Bernhofer, C., Grünwald, T., Aubinet, M., Ceulemans, R., Kowalski, A.S., Vesala, T., Rannik, Ü., Berbigier, P., Loustau, D., Guðmundsson, J., Thorgeirsson, H., Ibrom, A., Morgenstern, K., Clement, R., Moncrieff, J., Montagnani, L., Minerbi, S., Jarvis, P.G., 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404, 861–865. <https://doi.org/10.1038/35009084>
- Varenes, A. de, 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora.
- West, T.O., Marland, G., 2002. Net carbon flux from agricultural ecosystems: Methodology for full carbon cycle analyses. *Environ. Pollut.* 116, 439–444. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00221-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00221-4)
- Wu, T., Wang, Y., Yu, C., Chiarawipa, R., Zhang, X., Han, Z., Wu, L., 2012. Carbon sequestration by fruit trees - Chinese apple orchards as an example. *PLoS One* 7, 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038883>
- Yasin, G., Nawaz, M.F., Zubair, M., Qadir, I., Saleem, A.R., Ijaz, M., Gul, S., Bashir, M.A., Rehim, A., Rahman, S.U., Du, Z., 2021. Assessing the contribution of citrus orchards in climate change mitigation through carbon sequestration in Sargodha district, Pakistan. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su132212412>
- Zanotelli, D., Montagnani, L., Manca, G., Scandellari, F., Tagliavini, M., 2015. Net ecosystem carbon balance of an apple orchard. *Eur. J. Agron.* 63, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.12.002>
- Zanotelli, D., Vendrame, N., Caruso, G., 2018. Carbon sequestration in orchards and vineyards 1. *Italus Hortus* 25, 13–28. <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2018.3.1328>
- Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R., Verchot, L. V., 2017. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Sci. Rep.* 7, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15794-8>

## 8. ANEXOS

### Anexo 1 - Dados do IPMA (2022) referentes à Normal climatológica de Beja 1981/2010.

Número / Estação: 562 / Beja

Localização: 38°1'N; 7°52' W; Alt. 246m

1981/2010	Média			
	Mês	Tmáx	Tmínima	Tméd
Jan	14,0	5,4	9,7	65,3
Fev	15,5	6,1	10,8	55,0
Mar	19,0	7,8	13,4	40,0
Abr	20,5	8,8	14,6	58,3
Mai	24,3	11,0	17,7	43,1
Jun	29,9	14,1	22,0	13,1
Jul	33,3	15,8	24,6	2,4
Ago	33,1	16,4	24,8	4,0
Set	29,4	15,5	22,4	29,5
Out	23,5	12,9	18,2	70,9
Nov	18,0	9,2	13,6	76,3
Dez	14,6	6,8	10,7	97,1
<b>Média</b>	<b>22,9</b>	<b>10,8</b>	<b>16,9</b>	<b>555,0</b>

### Anexo 2 - Zona não cultivada de mato, com vegetação arbustiva espontânea, no Monte da Jóia.



### Anexo 3 - Classificação dos solos quanto à reação do solo (pH (H<sub>2</sub>O)), (Quelhas dos Santos, 1996).

pH (H <sub>2</sub> O)	Designação do solo
< 4,5	Muito ácido
4,6 a 5,5	Ácido
5,6 a 6,5	Pouco ácido
6,6 a 7,5	Neutro
7,6 a 8,5	Pouco alcalino
8,6 a 9,5	Alcalino
> 9,5	Muito alcalino

### Anexo 4 - Densidade aparente (Dap) nos 6 locais de amostragem.

Local	Amostras		Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Localização/Pomar	Posição	
Herdade da Zambujeira	Citrios	L e E	<b>1,10</b>
	S/ cultura - sequeiro	E	<b>1,47</b>
	Amendoeiras	E	<b>1,03</b>
	Sebes	L	<b>1,47</b>
Quinta dos Medeiros (Buraco)	Citrios	L e E	<b>1,39</b>
	Abacateiros	L e E	<b>1,53</b>
	Alfarrobeiras	L e E	<b>1,45</b>
Sítio do Calicho	Abacateiros	L e E	<b>1,31</b>
	Mato	E	<b>1,56</b>
Algoz	Amendoeiras	L e E	<b>1,17</b>
	Abacateiros	L e E	<b>0,94</b>
Monte da Jóia (Silves)	Abacateiros	L e E	<b>1,31</b>
	Mato	E	<b>1,16</b>
Messines	Abacateiros	L e E	<b>1,05</b>
	Mato	E	<b>1,12</b>

Legenda: HZ (Herdade da Zambujeira); BU (Quinta dos Medeiros - Buraco); CA (Sítio do Calicho); AL (Algoz); SI (Monte da Jóia – Silves); ME (Messines); L (linha de plantação) e E (entrelinha).

Anexo 5 - Classificação dos solos quanto ao teor de MO, (Quelhas dos Santos, 1996)

% de M.O.		Classificação
Solos ligeiros	Solos médios e pesados	
< 0.5	< 1.0	Muito baixo
0.6 - 1.5	1.1 - 2.0	Baixo
1.6 - 5.0	2.1 - 7.0	Médio
5.1 - 10.0	7.1 - 15.0	Alto
> 10.0	> 15.0	Muito alto