



## DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

### Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microartrópodes de solo usando uma abordagem funcional

Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Paulo Sousa (Universidade de Coimbra).

Filipe Chichorro de Carvalho

2012



## Agradecimentos

Escrever esta tese não faria sentido sem antes expressar aqui umas palavrinhas de carinho.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais e família todo o apoio que sempre me deram. Para a família tanto do lado materno como do lado paterno, mutio obrigado por este espírito de união que envolve as duas famílias. Mãe e Pai, pelas conversas tantas vezes "ecológicas" que temos, pelo espírito crítico que incutiram em mim, por todas as conversas em que me perguntavam o que andava a fazer nesta área e que me ajudaram a perceber melhor o que queria. Por me terem criado, por me darem a oportunidade de hoje poder estar a fazer aquilo que gosto. Obrigado Daniel, André, Artur. Tu, Artur, em especial. Pelas tantas vezes que me tentaste desencaminhar, ao me teres lembrado que por vezes também se tem de descansar um pouco e jogar na consola Wii. Desculpa ganhar-te na maioria das vezes em Fifa 2009. Avô Ferreira, ainda acho que foste tu o principal responsável por me incutires este gosto pela vida debaixo dos nossos pés.

Por muito pouco que a música tenha que ver com isto, o vosso apoio enquanto colegas no conservatório foi-me fundamental para estar aqui hoje. Guilherme (temos de combinar uma basquetebolada!), Mário Siegle, Duarte, Leonardo, Francisca (há quanto tempo é que já nos conhecemos, mesmo?), Luís André (idem aspas?). A música e estar convosco foi sempre um escape muito importante do mundo biológico. Obrigado.

A malta do gabinete do lado! Conheço-vos há pouco tempo, mas é quase como se já fosse há anos. Muito obrigado pelo companheirismo, espírito de ajuda, enfim, foram sempre geniais e nunca deixei de sentir apoio vosso fosse para o que fosse. Tiago, António, Joana, Sónia, Dalila, Ricardo. Mathieu, um abraço especial por teres entrado comigo em Ecologia e termos seguido

rumos muito parecidos. Carla e Sara! As conversas sem nexos que já ocorreram naquele gabinete ultrapassam as 9000. Sara, tu és como a minha madrinha de Mestrado. Obrigado por me teres ajudado a integrar nesta magnífica equipa! Andressa, apesar das circunstâncias, obrigado também a ti, pelo tempo que por cá passaste e pelos bons momentos por que passámos. Pedro, pela disponibilidade que sempre demonstraste em me ajudares, mesmo que isso involvesse ficares imenso tempo a olhar para os dados da minha tese!

Como não podia deixar de ser... um grande, um imenso agradecimento à pessoa mais importante na minha vida. Obrigado Marina por estes seis anos e qualquer coisa. Não sei o que seria hoje sem ti.

Por último... o meu maior agradecimento vai para o Professor José Paulo Sousa. Obrigado pela simpatia, disponibilidade, oportunidade de estar aqui nesta equipa. Sinto que depois destes dois anos estou muito mais capaz de estudar o imenso universo biológico que nos rodeia. Muito, muito obrigado!

Este trabalho está inserido no âmbito do projeto PTDC/AGR-PRO/111123/2009 "A utilização de indicadores biológicos como ferramentas para avaliar o impacto de práticas agrícolas na sustentabilidade do olival", financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

# Índice

	<b>Página</b>
Resumos.....	V
<b>1. Introdução</b>	
1.1. Introdução geral.....	3
1.2. Objetivos.....	8
<b>2. Material e Métodos</b>	
2.1. Descrição dos locais de estudo.....	13
2.2. Amostragem.....	14
2.3. Extração dos microartrópodes.....	15
2.4. Amostras vazias.....	15
2.5. Categorização de morfotipos.....	16
2.6. Variáveis explicativas.....	18
2.7. Tratamento estatístico.....	21
<b>3. Resultados</b>	
3.1. Abundância e riqueza de morfotipos total.....	27
3.2. Diferenças entre linha e entrelinha.....	27
3.3. Diferenças entre comunidades de olivais diferentes.....	29
3.4. Partição de Variâncias.....	33
3.5. Correlação entre WHC e Abundância ponderada.....	34

---

	<b>Página</b>
<b>4. Discussão</b>	
4.1. Diferenças entre olivais.....	37
4.2. Diferenças entre Linha e Entrelinha de cada olival.....	38
4.3. Poder discriminatório de cada tipo de variáveis.....	39
4.4. Considerações acerca dos padrões encontrados.....	40
4.5. Potenciais morfotipos indicadores.....	42
4.6. Considerações finais.....	43
<b>5. Bibliografia.....</b>	<b>45</b>
<b>6. Anexos.....</b>	<b>51</b>

**Resumo**

Os olivais são um importante sistema agrícola na região mediterrânea, com um papel sócio-cultural, paisagístico e económico elevado. Durante os últimos as grandes pressões humanas têm levado à intensificação de práticas de manejo como a aplicação de pesticidas e a lavoura do solo, causando a degradação dos recursos naturais e a perda da biodiversidade nestes sistemas agrícolas. Há cada vez mais evidências que demonstram o papel crucial da biodiversidade na provisão de serviços do ecossistema. A pesquisa em bioindicadores e, especialmente, em indicadores ecomorfológicos está a ser incentivada por diversas organizações internacionais, tais como a OCDE e a UE. Neste estudo foi usado um índice eco-morfológico, baseado na adaptação dos colêmbolos ao solo, que distingue diferentes morfotipos, para estudar o impacto do manejo do solo e da paisagem na estrutura e composição da comunidade de colêmbolos em olivais. Foram selecionados oito olivais com diferentes tipos de manejo do solo. De cada olival foram retiradas dezasseis amostras: oito na linha das árvores e oito na entrelinha. Contou-se o número de colêmbolos e fez-se a distribuição por diferentes morfotipos e calcularam-se diversos índices funcionais e de biodiversidade. Embora pouco significativo, as amostras retiradas da linha das oliveiras (debaixo das copas) influenciou positivamente os descritores funcionais e de biodiversidade, possivelmente devido ao maior sombreamento quando comparado com a entrelinha. A aplicação de herbicida e o corte superficial nas ervas daninhas não mostrou ter nenhum efeito na comunidade de colêmbolos. A lavoura do solo num olival teve

um grande impacto negativo nos descritores funcionais e de biodiversidade. Além disso, de todos os tipos de variáveis de manejo, apenas a pastagem originou diferenças significativas entre olivais, enquanto que, dos parâmetros de solo, a principal causa das diferenças entre os olivais foi a capacidade de retenção de água. A análise de partição de variáveis atribui aos parâmetros de solo a maior percentagem de explicação, seguida pelas variáveis de manejo do olival e por último pelas variáveis de paisagem.



**Abstract**

Olive grove is an important land-use type in the Mediterranean region, with significant socio-cultural, landscape and economic roles. During the last years, high market pressures have led to the intensification of management practices such as the application of pesticides and soil tillage, causing degradation of natural resources and loss of biodiversity in these agro-ecosystems. Growing evidence has emphasized the crucial role of biodiversity on the provisioning of ecosystem services. The research on bioindicators and specially on ecomorphological indicators is being encouraged by several international organizations such as OECD and EU. In this approach, an ecomorphological index, which separates different springtails' morphotypes based on their adaptation to the soil was used to study the impact of land-use management and landscape features on the structure and composition of the springtails' community in olive groves. 8 groves were selected with different land-use management types. 16 samples were taken from each olive grove, 8 in the tree row and 8 in the middle-row. Springtails were counted, distributed among morphotypes and different biodiversity and functional indexes were calculated. Although rarely significant, the row of olive trees positively influenced biodiversity and functional descriptors, possibly as a consequence of greater shading when compared to the middle-row. Herbicide application and superficial cut on weeds showed no effects on the springtail community. Soil tillage inside a olive grove had a strong negative impact on biodiversity and functional descriptors. Yet, from all the management type variables, only grazing was

responsible for significant differences between olive groves, while from soil parameters, the water holding capacity was the main driver for olive groves' differences. The partition of variance analysis assigns soil properties with the most explaining power, followed by management type and lately landscape features. We believe this eco-morphological trait approach is efficient when comparing similar land-use types. However, the same approach, but using identification to species level, should be used to check if similar results are met.

# 1. Introdução



## 1.1. Introdução geral

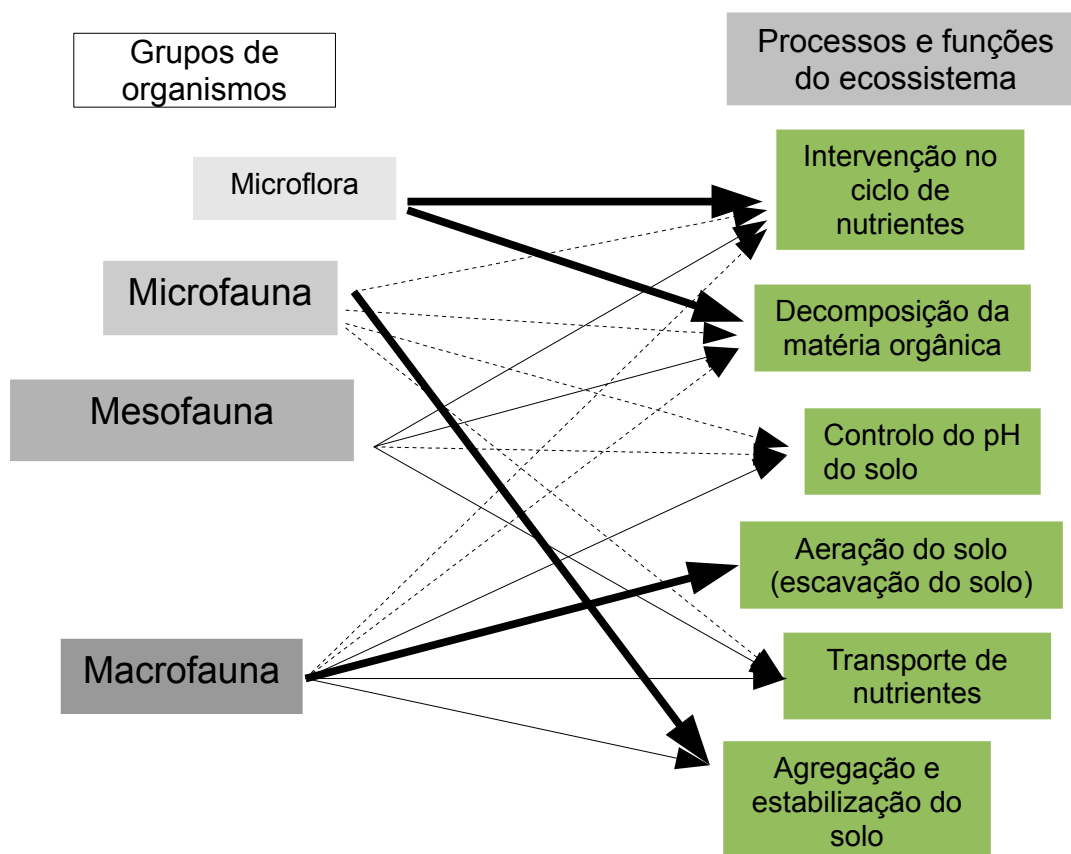
Nos últimos 50 anos, o ser humano desenvolveu técnicas agrícolas e industriais que foram motores do elevado progresso cultural, económico e social dos dias de hoje. No entanto, esse desenvolvimento levou também a pressões cada vez maiores nos ecossistemas e em especial nos solos. Direta ou indiretamente, as práticas agrícolas atuais são responsáveis por grande parte das maiores ameaças aos solos identificadas pela União Europeia (EU, 2002): erosão, compactação, declínio em matéria orgânica, contaminação, salinização, impermeabilização, cheias e derrocadas e perda de biodiversidade.

O solo constitui a fina fronteira entre a atmosfera e a litosfera, possuindo ainda elementos dos dois: uma fase líquida (água), uma fase gasosa e uma fase sólida (minerais)(Lavelle & Spain, 2001). É o solo que fornece o espaço físico para diversos organismos que nele habitam ou partes deles. A imensa complexidade que o caracteriza oferece naturalmente muitos desafios ao seu estudo, mas também aos organismos que nele habitam. A existência de partículas minerais mais grossas ou mais finas, o teor em matéria orgânica, o tamanho e quantidade de poros, o pH, a quantidade de água; tudo isso são factores suscetíveis de influenciar consideravelmente a estrutura e a comunidade de organismos presentes no solo (Lavelle & Spain, 2001).

Embora muitas vezes menosprezado, o solo é crucial para muitas atividades humanas, já que representa o suporte para a produção primária terrestre, para os edifícios e ainda é responsável por importantes serviços de

controlo da qualidade do ar, da água. É ainda um importante banco genético, ao albergar de 1/4 das espécies conhecidas no nosso planeta (Decäens *et al.*, 2006).

Falar da importância dos serviços realizados pelo solo não teria lógica sem referir o papel fundamental da biodiversidade na disponibilização desses mesmos serviços. No solo podem habitar organismos desde toupeiras e outros pequenos vertebrados, aos quais se dá o nome de megafauna, passando pela macrofauna (formigas, térmites, aranhas, grilos, minhocas), a mesofauna (colêmbolos, ácaros, enquitraídeos), a microfauna (nemátodes) até às minúsculas bactérias, arqueias e microfungos (microflora). Os organismos de maior porte geralmente participam em processos de carácter mais físico do solo, como aeração e escavação do mesmo, estabilização de agregados de húmus, etc (Fig. 1) (Lavelle & Spain, 2001). Os organismos mais pequenos tendem a desempenhar um papel relevante em processos mais químicos e enzimáticos, já que a especialização aumenta (Winding *et al.*, 2005) (Fig. 1). Muitos microorganismos estão envolvidos, por exemplo, na fixação de azoto, processo fundamental em solos onde esse elemento existe em pouca quantidade numa forma captável pelas planta (Winding *et al.*, 2005).



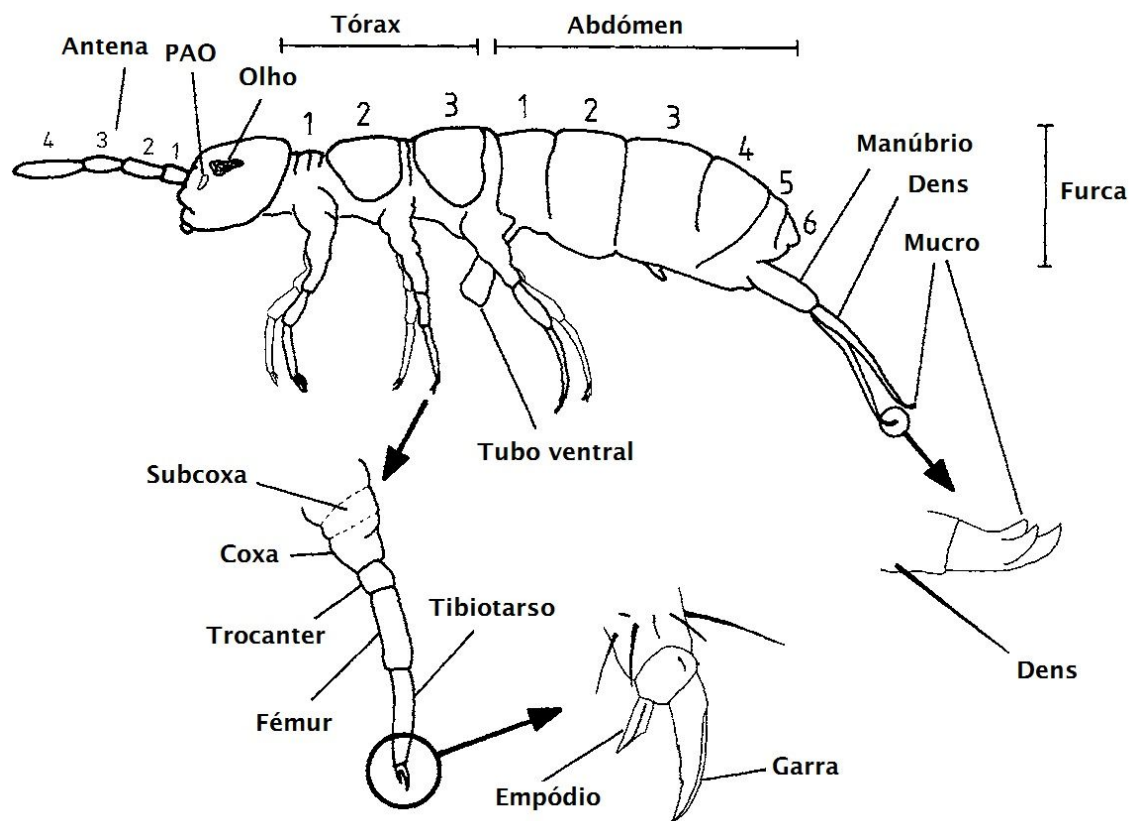
**Figura 1:** Organismos intervenientes no solo e importância de cada grupo para a execução de determinadas funções ou processos no solo. Microflora compreende os microorganismos, como bactérias, arqueias e fungos; microfauna inclui nemátodes; Mesofauna compreende organismos de tamanho reduzido e de até cerca de 2mm, como colêmbolos, ácaros, proturos, dipluros, assim como de outros organismos invertebrados como enquitraídeos; a Macrofauna inclui invertebrados de maiores dimensões como as minhocas, ou artrópodes como formigas, aranhas, etc. O aumento da largura de uma seta indica a maior importância de determinado grupo para a execução de algum processo ou função (inspirado em Lavelle & Spain, 2001; Jänsch *et al.*, 2005; Beck *et al.*, 2005; Römcke *et al.*, 2005)

Apesar de ter sido um dos últimos sistemas ecológicos a merecer destaque nas agendas políticas internacionais (só a partir de 1980 é que este começou a aparecer na legislação de alguns países (Breure & Römcke, 2005), e apenas em 2004 a questão começou a ser abordada na OCDE (OCDE 2003), ao contrário, por exemplo, daquilo que acontece em sistemas aquáticos, cuja necessidade de proteção já consta de legislação datada do século XIX (Breure *et al.*, 2005), na União Europeia tem havido esforços significativos no

sentido de se perceber melhor o funcionamento dos solos, e como os monitorizar. Uma das chaves do processo passaria pela utilização de bioindicadores, isto é, espécies que pela sua ubiquidade, importância no ecossistema e sensibilidade a pressões antropogénicas poderiam de uma forma rápida e barata avaliar a qualidade de um solo (Beck *et al.*, 2005).

Posto isto, imensas espécies bioindicadoras de solo têm sido sugeridas. Uma espécie indicadora fornece informação simples, mensurável, e quantificável acerca do estado ou variação do estado de um determinado processo ou função do ecossistema, ou sobre um elemento da biodiversidade do ecossistema (Harrington *et al.*, 2010). Os colêmbolos (Fig. 2), organismos artrópodes de cerca de 0,2-4mm, têm sido dos mais aceites nessa função (Bispo *et al.*, 2009; OCDE, 2009; Parisi *et al.*, 2001; Parisi *et al.*, 2005; Sousa *et al.*, 2004; Römbke *et al.*, 2006; Sousa & da Gama, 1994; Vandewalle *et al.*, 2010), não só pelas características atrás descritas, mas também pela existência de protocolos de amostragem estandarizados (Römbke *et al.*, 2006), que permitem uma mais fácil comparação de dados. Estes organismos têm sido utilizados como organismo modelo em estudos de ecotoxicologia, existindo por isso igualmente muitos protocolos (OCDE, 2009) e dados sobre a sua sensibilidade contra pesticidas ou outras perturbações. Em sistemas agrícolas, mostram serem sensíveis a diferentes práticas de manejo do solo (Bandyopadhyaya *et al.*, 2002; Gardi *et al.*, 2002; Parisi *et al.*, 2001; Sousa *et al.*, 2006).





**Figura 2:** Anatomia externa básica de um colêmbolo da espécie *Isotoma viridis*. Adaptado de Hopkin, 1997.

Todavia, a taxonomia destes seres vivos (assim como a de muitos outros indicadores) não é fácil, uma vez que requer muito treino e muito material específico para se conseguir com precisão estimar as espécies. Isso, aliado ainda ao facto de estes organismos terem de ser estudados a microscópio ótico a fim de se poder detetar o seu género ou espécie, torna o estudo destes indivíduos muito despendioso em horas de trabalho e recursos humanos.

Assim, índices que tenham em conta aspetos relativos à função dos organismos no ecossistema (índices funcionais) poderão-nos dar a possibilidade de oferecer com um menor esforço uma discriminação superior dos dados (Vandewalle *et al.*, 2010), além de que também nos poderão dar

informações diferentes quanto à comunidade biológica existente para um determinado local. Estes índices têm sido muito utilizados em inventários florísticos, mas no resto dos grupos de seres vivos, não há ainda muitos estudos que os utilizem (Bello *et al.*, 2010).

A comunidade de colêmbolos em olivais portugueses nunca foi estudada, isto apesar de esta produção agrícola, com bastante foco na zona de Bragança, ser de grande importância em países mediterrânicos a nível social, económico e cultural. Por causa da sua paisagem altamente heterogénea, esta região apresenta-se como um ótimo local para o estudo da influência de diferentes tipos de paisagem nas comunidades de artrópodes locais, incluindo colêmbolos. Para além disso, existem muitos olivais com uma agricultura super-intensiva. É, portanto, motivo de debate os impactos que tal exploração possa causar na sustentabilidade de todo o sistema, incluindo no solo. Assim, no presente estudo foram utilizados índices funcionais em colêmbolos, usando como característica (*trait*) discriminante o grau de adaptação dos colêmbolos ao solo e recorrendo em parte características adaptadas de outros trabalhos que adotaram abordagens semelhantes (Parisi *et al.*, 2001; Parisi *et al.*, 2005; Santos, 2008; Vandewalle *et al.*, 2010).

## **1.2. Objetivos:**

-Averiguar o impacto de diferentes práticas agrícolas na comunidade de colêmbolos do solo;

-Avaliar a influência e poder discriminativo de cada um de três níveis de

variáveis explicativas (parâmetros físico-químicos do solo, variáveis de manejo do olival e variáveis de paisagem), a fim de discriminar os diferentes tipos de olivais e de perceber quais as variáveis que mais influenciam a composição funcional das comunidades de colêmbolos;

-Averiguar o poder discriminatório da abordagem funcional.



## **2. Material e Métodos**



## 2.1. Descrição dos locais de estudo

Foram identificados oito olivais para este estudo, todos eles localizados na zona de Bragança e com influências climáticas semelhantes. A seleção foi baseada em diferentes tipos de gestão do uso do solo em cada olival. Os nomes de cada olival foram atribuídos com base na localização geográfica e tipo de produção, a saber, produção biológica e produção integrada. A primeira compreende três olivais: Avantos Bio (AVB), S. Pedro Bio (SPB) e Guribanes (GUB) (acrónimos dos olivais de produção biológica terminam na letra B). A segunda, i.e., produção integrada, compreende cinco olivais: Avantos Prodi (AVP), S. Pedro Prodi (SPP), Cedões (CED) Sucções (SUC) e Paradela (PAR). Apesar desta distinção dicotómica relativamente ao modo de produção, diferentes tipos de manejo realizam-se dentro dos diferentes olivais, independentemente de serem de produção integrada ou biológicos (Tabela 1).

Os olivais AVB e AVP são os únicos onde é feita a lavra (prática agrícola recorrendo a maquinaria pesada que revolve o solo). O corte superficial, que consiste no corte de plantas herbáceas sem intervencionar o solo, é realizado em CED, SPB e SUC, sendo que herbicidas são sempre aplicados debaixo das oliveiras e nos olivais PAR, SUC e SPP. GUB é o único olival com prática de pastoreio (Tabela 1). Para além disso, outras variáveis de paisagem e de parâmetros físico-químicos do solo caracterizam os diferentes olivais (Tabela 1).

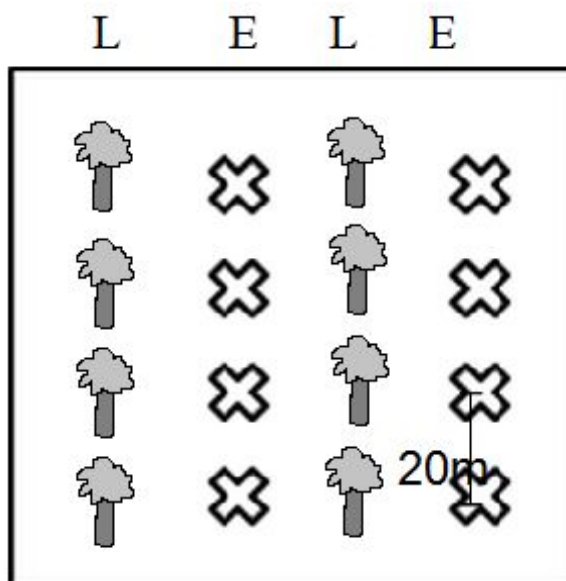
**Tabela 1:** Algumas variáveis de caracterização do olival, tanto ao nível do ponto de amostragem (Solo), do manejo do olival (Olival) e de paisagem (Pais.). **T. de Produção:** tipo de produção, onde **Bio.:** Biológico e **Prod. I.:** produção integrada; **D. de árvores:** Densidade de árvores/ha; **C. de daninhas:** Controlo de plantas daninhas, onde **Past.:** Pastoreio, **L.:** Lavoura, **L. (linha):** Lavoura na linha, **C.S.:** corte superficial e **H. (linha):** Aplicação de herbicida na linha; **Humidade:** média da humidade de todas as amostras do Olival, em %; **WHC:** capacidade de retenção de água do solo, em %; **MO:** média da matéria orgânica de cada amostra, de cada Olival, em %; **SDI:** índice de diversidade de *patches* de Shannon Wiener; **MedPS:** mediana das áreas dos *patches*, em m<sup>2</sup>; Desvios padrão entre parêntesis.

		Olivais							
Tipo	Variáveis	GUB	AVB	SPP	CED	AVP	SPB	PAR	SUC
Olival	<b>T. de produção</b>	Bio	Bio.	Prod. I.	Prod. I.	Prod. I.	Bio.	Prod. I.	Prod. I.
	<b>D. de árvores</b>	124	179	204	204	100	124	159	124
	<b>C. de daninhas</b>	Past.	L. (Linha)	H. (linha)	C. S.	L.	C.S.	H. (linha)	H (linha) e C. S.
Solo	<b>Humidade (%)</b>	5,2 (1,3)	10,4 (2,0)	8,7 (2,0)	3,9 (2,0)	15,7 (3,1)	10,4 (4,1)	15,4 (2,6)	13,9 (3,1)
	<b>WHC (%)</b>	31,8	32,9	31	36,2	38,5	41,2	38,2	44
	<b>pH (H2O)</b>	5,50 (0,53)	6,05 (0,54)	5,71 (0,53)	5,88 (0,30)	5,58 (0,55)	5,84 (0,41)	5,17 (0,43)	5,50 (0,36)
	<b>MO (%)</b>	1,66 (0,85)	1,17 (0,42)	1,35 (0,37)	1,80 (0,42)	1,99 (0,79)	2,42 (0,65)	2,18 (0,55)	2,25 (0,64)
Pais.	<b>SDI</b>	1,5	1,3	1,1	0,7	1,2	1,4	1,2	1,3
	<b>MedPS (m<sup>2</sup>)</b>	3261,9	3257,8	4362,6	6073,3	2720,2	2215,2	3100,8	1798,2

## 2.2. Amostragem

Entre 4 a 12 de Maio de 2011, foram recolhidas por olival 16 amostras de solo, utilizando um *soil corer* e retirando os 5cm<sup>3</sup> de solo mais superficiais, tal como sugere a ISO/FDIS 23611-2:2005 (ISO, 2005). O esquema utilizado baseou-se em: oito amostras recolhidas na linha de árvores, numeradas de L1 a L8, e outras oito recolhidas na Entrelinha (isto é, na zona situada entre duas linhas de árvores adjacentes), amostras essas numeradas de E1 a E8 (Fig 3), tendo sido retiradas com 20m de distância umas das outras. Por vezes não era possível seguir uma mesma linha de olival, donde que este esquema variou um pouco consoante o olival, mas sempre com a preocupação de a amostragem na Linha ser feito perto da linha de oliveiras.





**Figura 3:** Esquema de amostragem utilizado dentro de cada olival. L- Linha (de oliveiras), E- Entrelinha. A distância entre cada ponto de recolha sucessivo foi de 20m.

### 2.3. Extração dos microartrópodes

Depois de trazidas do campo, as amostras com os organismos foram analisadas em Coimbra. Primeiro, os organismos foram extraídos, seguindo uma adaptação ao protocolo de extração de microartrópodes existente (ISO, 1998), na qual as amostras foram colocadas aleatoriamente durante 10 dias no extrator de Macfadyen; o mais brevemente possível desde a sua recolha. Seguidamente, os colêmbolos foram separados do resto dos organismos.

### 2.4. Amostras vazias

As amostras que não possuíam qualquer organismo foram retiradas do tratamento de dados. Em consequência, o número final de amostras para cada olival, Linha e Entrelinha, são fornecidos, na Tabela 2.

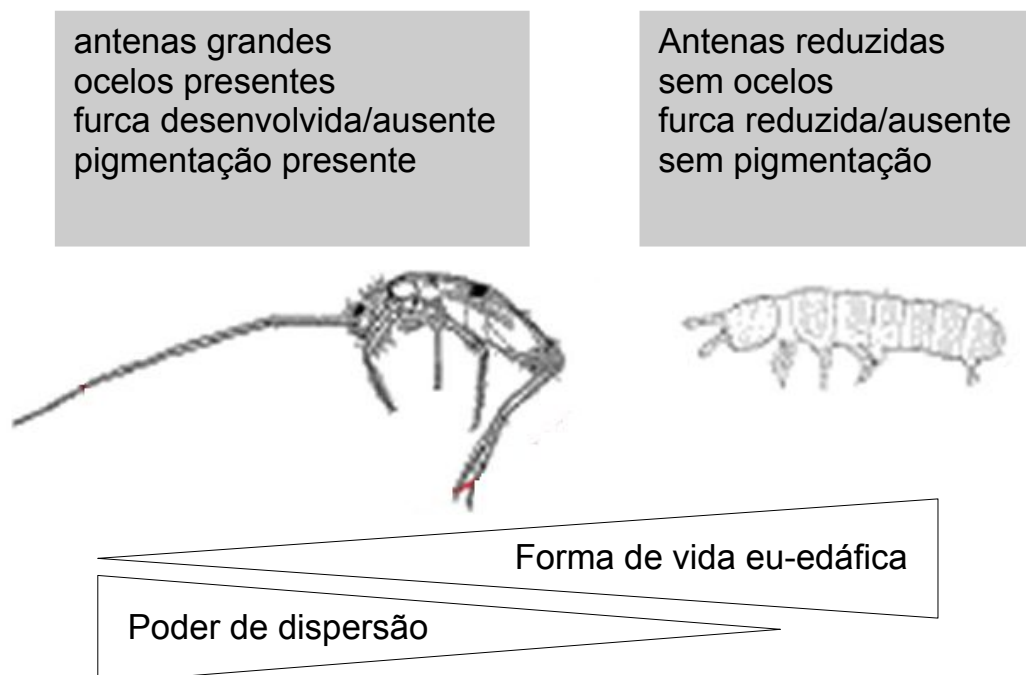
**Tabela 2:** Número total de amostras recolhidas por olival e por Linha/Entrelinha.

	<b>Total</b>	<b>Linha</b>	<b>Entrelinha</b>
<b>GUB</b>	12	6	6
<b>AVB</b>	13	8	5
<b>SPP</b>	12	7	5
<b>CED</b>	10	4	6
<b>AVP</b>	15	8	7
<b>SPB</b>	15	7	8
<b>PAR</b>	14	6	8
<b>SUC</b>	16	8	8

## 2.5. Categorização de morfotipos e cálculo do *trait life-form*

O objetivo do EMI (*ecomorphological index*) (Parisi *et al.*, 2001; Parisi *et al.*, 2005; Santos, 2008) é o de separar colêmbolos consoante o seu grau de adaptação ao solo. Organismos com redução no tamanho das antenas, ausência de ocelos e reduzida pigmentação pressupõem-se mais edáficos e consequentemente com menor poder de dispersão (Fig. 4).

Cinco características são escrutinadas neste índice: comprimento das antenas, tamanho da furca, presença e ausência de ocelos, pigmentação e presença ou ausência de pelos e escamas. Para avaliar essas características usou-se uma adaptação do índice ICQS (Santos, 2008) (Tabela 3), sendo que a característica Ocelos, que no índice utilizado em Santos (2008) incluía várias categorias consoante o número de ocelos na região ocular, é nesta versão uma característica indicadora de presença/ausência (Tabela 3).



**Figura 4:** Esquema representativo das características associadas a um colêmbolo edáfico e a um colêmbolo com elevado poder de dispersão.

Depois de atribuir os valores de EMI parcial a cada organismo, o cálculo final do valor de EMI desse organismo é a soma de todos os valores das cinco características. Este pode variar entre 0 e 20. Quanto maior o valor de EMI, menor o poder de dispersão do organismo e maior a sua adaptação ao solo.

A cada combinação diferente de características foi atribuído um morfotipo (Tabela 1/Anexo). Morfotipos que tivessem pontuação EMI igual ou superior a 14 receberam a denominação Edap1, Edap2, Edap3, etc. (por se considerarem organismos edáficos) e entre 12 e 8 de Semied1, Semied2, Semied3, etc. (por se considerarem organismos hemi(semi)-edáficos). Os organismos entre as pontuações 2 e 8 foram nomeados como Epig1, Epig2, Epig3, etc. (consideraram-se organismos epígeos).

**Tabela 3:** Características e valores das características usadas no cálculo do valor EMI e para a distinção de diferentes morfotipos (adaptado de Santos, 2008).

Característica		Valor EMI parcial
Ocelos	Presentes	0
	Ausentes	4
Tamanho das antenas	Comprimento da antena > 0 comprimento do corpo	0
	Comprimento da antena > 0.5 x comprimento do corpo	2
	Comprimento da antena < 0.5 x comprimento do corpo	4
Furca	Presente	0
	Presente, mas reduzida	2
	Ausente	4
Pêlos/Escamas	Presentes	0
	Ausentes	4
Pigmentação	Presente e com padrões	0
	Presente, sem padrões	2
	Ausente	4

## 2.6. Variáveis explicativas

### 2.6.1. Manejo dos Olivais

Para além dos vários parâmetros da história de cada olival já referidos na tabela 1 - tipo de produção (biológica ou produção integrada), práticas de remoção de plantas herbáceas (pastagem, aplicação de pesticida, lavoura, corte superficial) - também o tempo passado desde a última poda (em anos) foi utilizado. O herbicida é aplicado uma vez por ano nos olivais em que essa prática é realizada. Todo o tipo de manejo foi realizado entre março e junho de 2011 (Tabela 4).

**Tabela 4:** data da intervenção temporalmente mais próxima efetuada em cada olival, por tipo de manejo. -: não aplicável; **mto. freq.:** pelo menos uma vez por semana.

	Data da intervenção em 2011			
	Apl. Herbicida	Corte superficial	Lavoura	Pastoreio
<b>GUB</b>	-	-	-	mto. freq.
<b>AVB</b>	-	-	18-04-2001	-
<b>SPP</b>	03-05-2011	-	-	-
<b>CED</b>	-	28-06-2011	-	-
<b>AVP</b>	-	-	15-03-2011	-
<b>SPB</b>	-	05-06-2011	-	-
<b>PAR</b>	15-04-20011	-	-	-
<b>SUC</b>	26-05-2011	26-05-2011	-	-

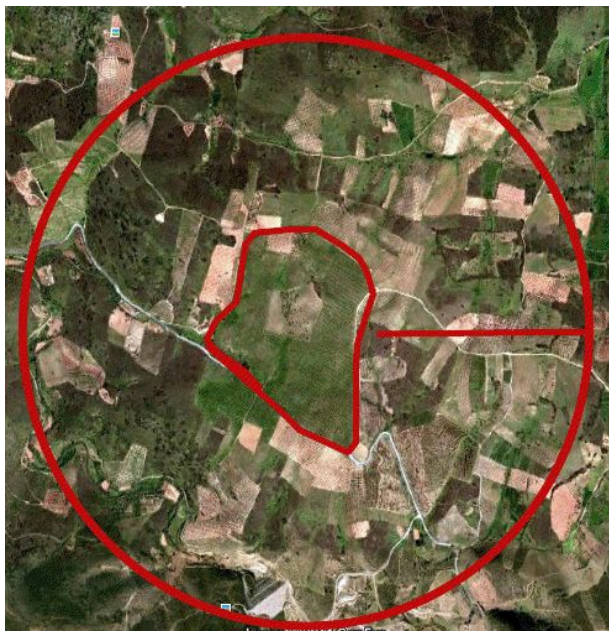
### 2.6.2. Parâmetros de solo

No campo fez-se também recolha de amostras para o cálculo de determinados parâmetros de solo. A capacidade máxima de retenção de água do solo (WHC) foi estimada utilizando protocolos existentes (anexo C da ISO DIS 11268-2, ISO 1998). Nomeadamente, foram determinados o pH (leitura com 10g de solo e 50mL de água destilada, em duplicado), a humidade (%) (ISO, 1998), a densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), a concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e de  $\text{K}_2\text{O}$  (método de Egner-Riehm, 1960), a matéria orgânica (MO) (método de Walkley-Black, 1934) e a textura do solo, recorrendo-se neste caso à classificação do solo e percentagens de argila, limo e areia.

A capacidade máxima de retenção de água foi calculada em Coimbra e o resto dos parâmetros de solo no Instituto Politécnico de Bragança.

### 2.6.3. Parâmetros de Paisagem

Uma análise paisagística de cada local foi feita recorrendo à extensão Patch Analyst (v\_0.22) do programa FRAGSTATS. Definiu-se uma zona tampão à volta de cada olival, com um raio de 1km partindo do ponto central do olival (Fig. 5). Nessa zona tampão calculou-se, na forma de diferentes índices e métricas, a diversidade, o tamanho médio e a complexidade de cada *patch* envolvente: Índice de Diversidade de Shannon e de Simpson (SDI e SIDI, respetivamente), média do perímetro de cada *patch* (MPE, m), média da área de cada *patch* (MPS, m<sup>2</sup>) e respetivo desvio-padrão (PSSD), número de *patches* (NumP), mediana da área de cada *patch* (MedPS, m<sup>2</sup>), média dos índices das formas dos *patches* (MSI), média da relação entre o perímetro e a área de cada *patch* (MPAR).



**Figura 5:** Fotografia aérea do Olival CED e respetiva paisagem circundante. O contorno interno corresponde ao perímetro do olival em questão. A circunferência vermelha externa representa a zona tampão, dentro da qual os diferentes *patches* foram identificados.

## **2.7. Tratamento estatístico**

### **2.7.1. Índices de diversidade funcional e de morfotipos**

Considerando cada morfotipo uma espécie, calcularam-se os índices de Shannon-Wiener (SHW), Pielou (PI) e Margalef (Mrg) (Maguran, 2004), bem como a proporção de espécies edáficas em relação ao total, tanto para cada olival como para a Linha e Entrelinha de cada olival.

Os valores de FD (Diversidade Funcional) e mT (Média do valor do *trait*) (Bello *et al.*, 2010) foram também calculados, utilizando o valor EMI de cada espécie como o valor de *trait* (neste caso o *trait* geral seria o somatório de cada valor atribuído a cada característica). Estes índices também foram calculados tanto para cada Olival como para cada esquema dentro do Olival.

### **2.7.2. Comparação entre Linha e Entrelinha de cada Olival**

Depois de verificar que os pressupostos de homogeneidade de variâncias não foram violados com o teste de Homogeneidade de Bartlett, foram feitas duas ANOVAs de duas vias, como tratamentos o olival e Linha/Entrelinha, para encontrar diferenças entre: 1- Abundância média de colêmbolos entre a Linha e a Entrelinha de cada Olival; e 2- Riqueza média de morfotipos entre Linha e Entrelinha de cada Olival (esta mesma ANOVA de duas vias também serviu para detetar diferenças entre Olivais, conforme se pode ver na secção 2.7.3.)

No sentido de encontrar diferenças significativas entre a composição das comunidades da Linha e da Entrelinha, fez-se uma ANOSIM por cada Olival. Nos casos em que se detetaram diferenças significativas, foi feito um SIMPER com vista a identificar quais os morfotipos que eram mais responsáveis por essas diferenças.

### **2.7.3. Comparação entre diferentes Olivais**

A mesma ANOVA realizada no capítulo 2.7.2 serviu igualmente para encontrar diferenças entre: 1- Abundância média de colêmbolos entre cada olival (com transformação logarítmica dos dados); e 2- Riqueza média de morfotipos entre Olivais. Nos casos em que se constataram diferenças significativas, recorreu-se a testes de Tukey no sentido de perceber entre que Olivais é que elas se verificavam.

No sentido de encontrar diferenças significativas no tocante à composição da comunidade entre os diferentes Olivais, executou-se uma ANOSIM. Nos casos em que ocorriam variações significativas, foi realizado um SIMPER com vista a identificar quais os morfotipos mais responsáveis por essas elas.

Com um DCA (*detrended by segments*) obteve-se um *length of gradient* de 3,2, sugerindo uma resposta dos dados entre o linear e o unimodal (Lepš and Smilauer, 2003). Realizou-se então um PCA a fim de perceber melhor a existência de grupos de amostras e Olivais.



#### **2.7.4. Partição de Variâncias**

De seguida, fez-se uma *forward selection* usando sucessivas RDAs para cada tipo de variáveis, a saber: variáveis de parâmetros de solo, variáveis de manejo do olival e variáveis de paisagem.

De cada tipo de variáveis explicativas foram escolhidas aquelas que melhor explicavam a variação dos dados, tomando todavia em consideração o compromisso com o nível de significância da regressão (dado por *Monte-Carlo permutation tests*), o peso igual de variáveis de cada tipo e a não colineariedade de variáveis do mesmo tipo. Assim, foram escolhidas duas variáveis tanto do solo como de paisagem (WHC e Humidade, e SDI e MedPS, respetivamente), e três de manejo do Olival (Pastagem, Aplicação de Pesticidas e Densidade de árvores). Com elas, foi realizada uma Partição de Variâncias tendo como objetivo perceber qual o tipo de variáveis que poderia explicar melhor a distribuição dos dados.

#### **2.7.5. Correlação entre Abundância e capacidade de retenção de água do solo (WHC)**

No sentido de investigar a eventual influência da capacidade de retenção máxima de água do solo (WHC) na Abundância de colêmbolos em cada olival, foi estabelecida uma correlação tomando como variável independente a média da Humidade de cada olival e como variável dependente a Abundância total de

cada olival (logaritmizada).

### **2.7.6. Software usado**

Durante todo o tratamento estatístico dos dados, e tal como aconteceu no cálculo de descritores, a Abundância foi transformada segundo a fórmula  $\text{Log}(\text{Abundância}+1)$ . Todas as ANOVAs, testes de Bartlett e de Tukey, correlações e respetivas significâncias estatísticas foram levados a cabo utilizando STATISTICA 7 (Statsoft Inc., 2004), ANOSIM e SIMPER em PRIMER versão 5.2.6 (PRIMER-E Ltd, 2001) e DCAs, PCAs, RDAs e Partições de Variância recorrendo ao CANOCO 4.5 (Biometris, 1997-2002).

## **3. Resultados**



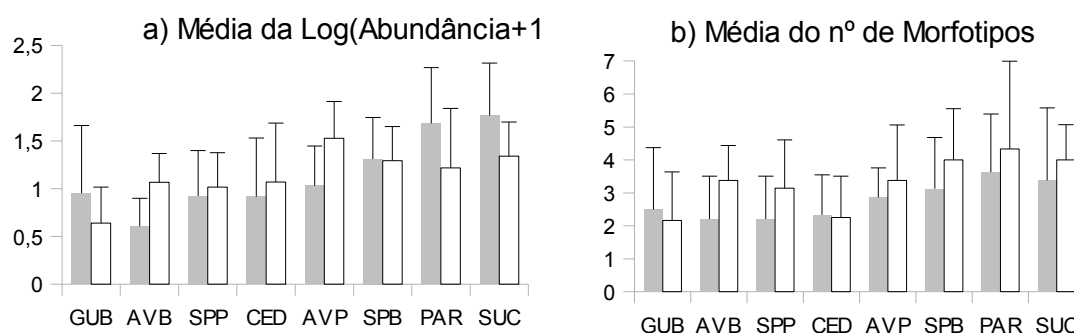
### 3.1. Abundância e riqueza de morfotipos total

No total, 3479 indivíduos foram recolhidos, distribuídos por 21 morfotipos. Semied4, Epig1, Edap6 e Edap1 foram os morfotipos mais representados, com 2598, 257, 190 e 187 indivíduos, respetivamente. Oito morfotipos destacam-se por terem menos de dez indivíduos: Epig7, Epig6, Semied6, Semied3, Semied1, Edap8, Edap4 e Edap3.

### 3.2. Diferenças entre Linha e Entrelinha

#### 3.2.1. Abundância e número de morfotipos

De acordo com o sugerido pela Fig. 6, em PAR, SUC e GUB, a média da abundância é superior na Entrelinha, enquanto que em AVB e AVP essa superioridade se reflete na Linha apesar de não haver diferenças significativas ( $p=0,32$ ). O número de morfotipos também é quase sempre ligeiramente superior na Linha, mas não significativamente ( $p=0,42$ ).



**Figura 6:** Representações gráficas da média dos logaritmos das abundâncias (a) e da média do nº de morfotipos (b) por amostra, por Linha ou Entrelinha, em que barras cinzentas = Entrelinha e barras brancas = Linha.

### 3.2.2. Descritores

Em GUB, SPP, CED, SPB, PAR e SUC, tanto a diversidade de morfotipos (Shannon-Wiener), a Equitabilidade (Pielou), a diversidade funcional (FD) e a proporção de indivíduos eu-edáficos (Eu-Ed) foram superiores na Linha. Em AVB e AVP, a diversidade de morfotipos, a equitabilidade, a diversidade funcional e a proporção de indivíduos edáficos foi superior na Entrelinha. O valor médio do EMI das comunidades (mT) não discrimina diferenças muito relevantes, menos em AVB, sendo que esse valor na Entrelinha é cerca de 4 pontos superior à Linha. O (Tabela 5).

**Tabela 5:** Valores de várias métricas ou índices calculados, por Linha ou Entrelinha de cada Olival. **N°M:** N° de morfotipos total; **Abtot:** Abundância total; **SHW:** Shannon-Wiener; **PI:** Pielou; **Mrg:** Margalef; **mT** (*mean trait value*): média do trait da comunidade; **FD** (Functional Diversity): Diversidade funcional; **Eu-ed:** proporção relativa de colêmbolos eu-edáficos; **E:** Entrelinha; **L:** Linha.

	GUB		AVB		SPP		CED		AVP		SPB		PAR		SUC	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
<b>N°M</b>	7	9	6	10	6	9	7	6	5	9	7	11	12	12	10	11
<b>AbTot</b>	148	29	19	107	63	90	105	93	99	377	245	147	697	250	765	245
<b>SHW</b>	1,41	2,64	2,19	2,28	1,50	2,35	1,30	1,60	1,27	1,22	1,28	1,62	0,87	1,96	1,01	1,60
<b>PI</b>	0,50	0,83	0,85	0,69	0,58	0,74	0,46	0,62	0,55	0,39	0,45	0,47	0,24	0,55	0,30	0,46
<b>Mrg</b>	6,80	8,70	5,66	9,79	5,76	8,78	6,79	5,78	4,78	8,83	6,82	10,80	11,85	11,82	9,85	10,82
<b>mT</b>	11,47	11,52	13,26	9,57	9,17	8,91	9,24	10,52	10,63	9,69	10,38	11,31	10,40	12,05	10,64	11,27
<b>FD</b>	0,15	0,23	0,29	0,19	0,11	0,18	0,11	0,17	0,15	0,09	0,09	0,17	0,07	0,20	0,09	0,17
<b>Eu-ed</b>	0,25	0,34	0,47	0,10	0,03	0,11	0,05	0,14	0,13	0,04	0,07	0,18	0,07	0,32	0,12	0,18

### 3.2.3. ANOSIM e SIMPER

De acordo com o ANOSIM, apenas foram encontradas diferenças significativas em dois olivais: SUC (4,8% de significância) e AVB (3,1%). Tanto

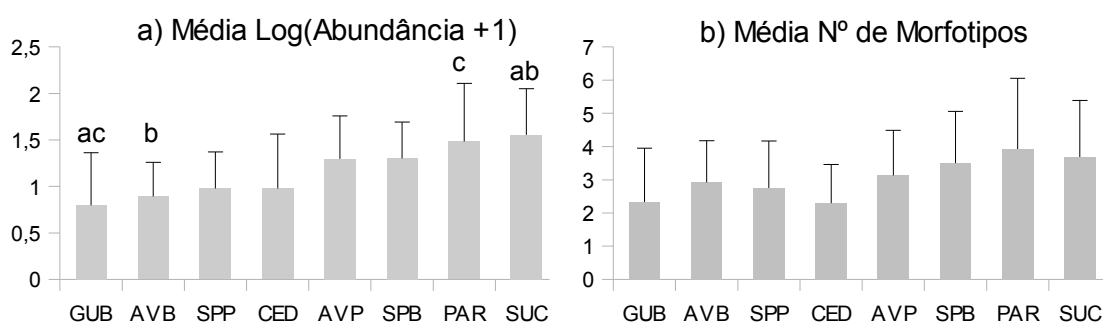
num quanto noutra olival tais discrepâncias são marginais.

Em SUC, o SIMPER mostrou que há 4 morfotipos que são principalmente responsáveis pelas variações detetadas: Semied4, Edap1, Edap6 e Epig1, contribuindo, respetivamente, com 25,8%, 16,2%, 15,6% e 14,8% para a dissimilaridade entre Linha e Entrelinha. Semied4, Edap6 e Epig1 são mais abundantes na Entrelinha e sendo o Edap1 mais abundante na Linha. A dissimilaridade total entre a Linha e Entrelinha é de 56,0%.

Em AVB, essas diferenças são explicadas por três morfotipos: Semied4, Epig1 e Edap1, a que correspondem os valores de 26,7%, 24,7% e 10,7%, respetivamente. Semied4 e Epig1 existem com bastante mais abundância na Linha, sendo que o Edap1 apresenta aí uma abundância apenas ligeiramente superior. A dissimilaridade total entre Linha e Entrelinha é de 72,9%.

### 3.3. Diferenças entre comunidades de Olivais diferentes

#### 3.3.1. Diferenças entre Abundância e Riqueza de morfotipos



**Figura 7:** Representações gráficas da média dos logaritmos das abundâncias (a) e do nº de espécies (b) por amostra, por Olival. Diferenças significativas obtidas por ANOVA de duas vias e marcadas com letras nos gráficos. **a:**  $p=0,003$ ; **b:**  $p=0,013$ ; **c:**  $p=0,016$ .

De acordo com a Fig. 7, a média do logaritmo da abundância por Olival é

superior em PAR e SUC e vai decrescendo. Detetaram-se diferenças significativas nos olivais ( $p < 0,001$ ), no entanto apenas entre PAR e GUB ( $p = 0,003$ ), SUC e GUB ( $p = 0,013$ ) e SUC e AVB ( $p = \text{PAR e GUB}$ ). A média do número de morfotipos foi superior em PAR, SUC e SPB respetivamente, mas não se constataram diferenças significativas entre os Olivais ( $p = 0,11$ ).

### 3.3.2. Descritores

**Tabela 6:** Valores de várias métricas ou índices calculados, por Olival. **NºM:** Nº de morfotipos total; **AbTot:** Abundância total; **SHW:** Shannon-Wiener; **PI:** Pielou; **Mrg:** Margalef; **mT** (*mean trait value*): média do trait da comunidade; **FD** (Functional Diversity): Diversidade funcional; **Eu-ed:** proporção relativa de colêmbolos eu-edáficos.

	GUB	AVB	SPP	CED	AVP	SPB	PAR	SUC
<b>NºM</b>	11	12	10	8	9	11	17	14
<b>AbTot</b>	177	126	153	198	476	392	947	1010
<b>SHW</b>	1,84	2,44	2,12	1,52	1,26	1,48	1,25	1,24
<b>PI</b>	0,53	0,68	0,64	0,51	0,40	0,43	0,31	0,34
<b>Mrg</b>	1,93	2,27	1,79	1,32	1,30	1,67	2,33	1,59
<b>mT</b>	11,48	10,13	9,02	9,84	9,88	10,73	10,83	10,79
<b>FD</b>	0,17	0,22	0,16	0,14	0,10	0,12	0,11	0,11
<b>Eu-ed</b>	0,27	0,16	0,08	0,09	0,06	0,11	0,14	0,14

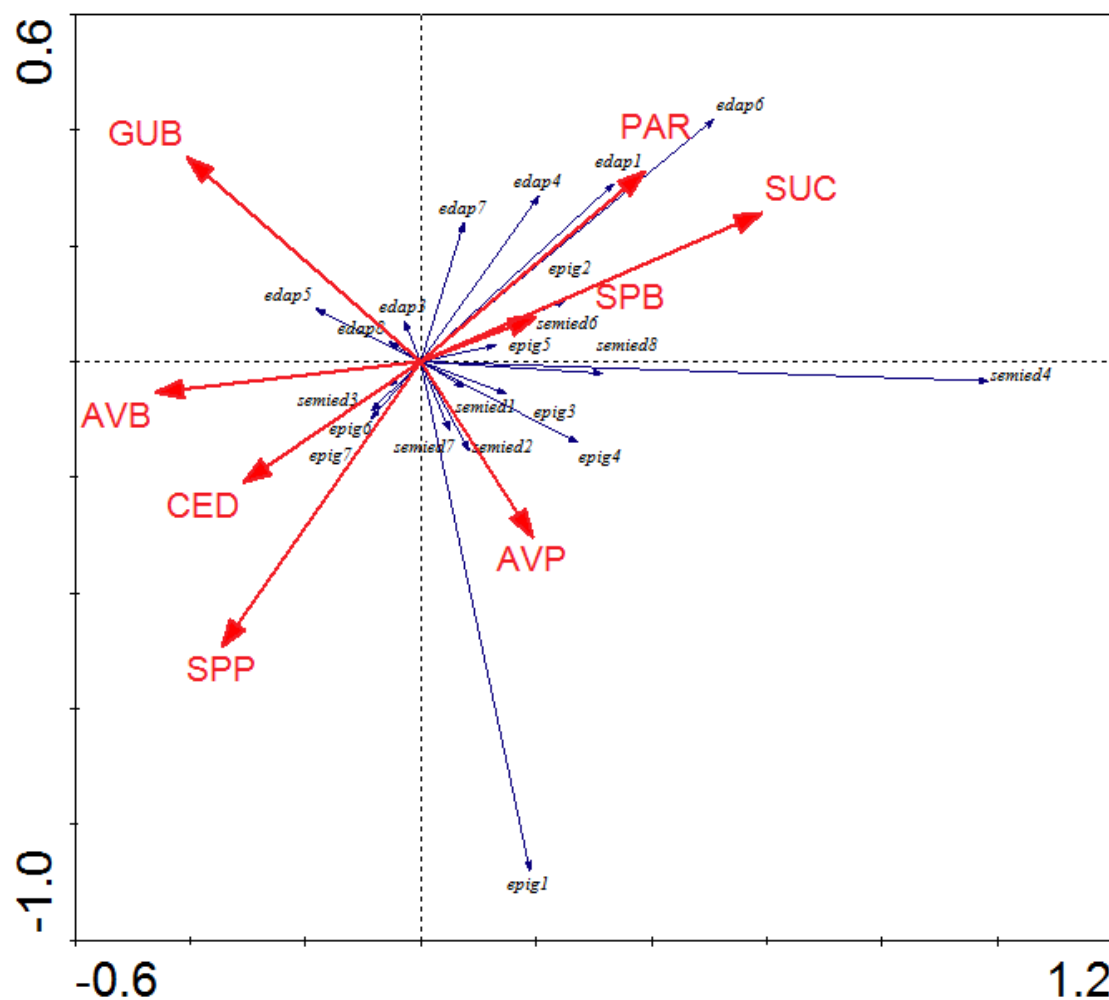
Os índices de diversidade SHW, PI e Mrg e o funcional FD respondem de uma forma bastante semelhante a cada olival. AVB é quase sempre o olival com o maior valor destes índices. Os olivais AVB, CED, GUB e SPP têm maior diversidade funcional, de morfotipos e equidade. O mT é mais ou menos invariável de olival para olival, indicando que em todos eles a comunidade se aproxima do valor médio de EMI 10 (Tabela 6).

A proporção de organismos eu-edáficos face ao resto dos organismos (Eu-ed) (tabela 6) é muito variável. GUB destaca-se de todos os outros olivais com 0,27, sendo que em segundo lugar vem AVB e logo a seguir PAR e SUC.



### 3.3.3. Análise de composição de comunidades

O PCA efetuado coloca os Olivais GUB, AVB, CED e SPP do lado esquerdo do gráfico (Fig. 8), sendo que os Olivais AVP, PAR, SUC e SPB se apresentam distribuídos do lado direito. É de registar, contudo, que a regressão só explica 16,4% da variação total. GUB e AVP são os Olivais que mais se afastam dos outros Olivais.

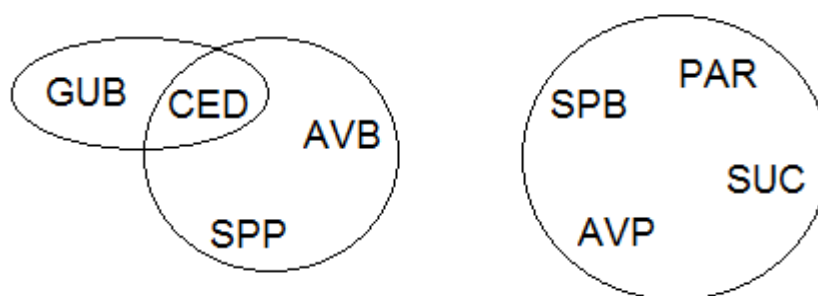


**Figura 8:** Resultados de um PCA, centrado a espécies, onde cada Olival representa o ponto médio de todas as amostras desse Olival. O modelo regressivo explica 16,4% da variação total, 50,4% dos quais explicado pelo eixo 1 (horizontal) e 38,8% explicado pelo eixo 2 (vertical).

Na Tabela 7 estão os valores de significância de cada comparação entre dois olivais com ANOSIM. Foram agrupados os Olivais em que, de acordo com a ANOSIM, não se observaram diferenças significativas (Fig. 9). O que se verifica é a existência de dois grupos distintos de Olivais: CED, AVB e SPP (Grupo A) e PAR, AVP, SUC e SPB (Grupo B); por outro lado, GUB é um olival que apresenta semelhanças com o grupo A, apenas não se observando diferenças significativas com CED.

**Tabela 7:** Nível de significância (em percentagem) de cada comparação entre dois olivais. A cinzento estão destacadas as diferenças significativas.

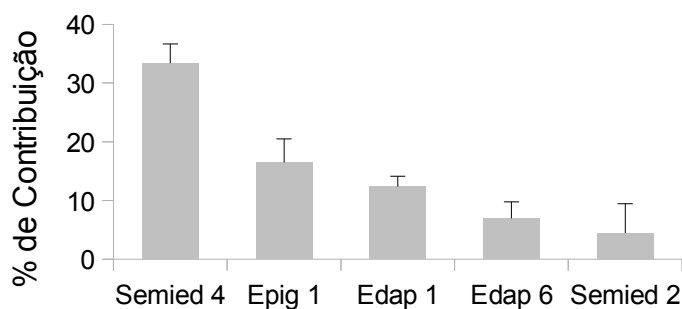
	GUB	AVB	SPP	CED	AVP	SPB	PAR	SUC
GUB								
AVB	2,1							
SPP	1,0	18,6						
CED	11,8	28,5	23,3					
AVP	0,8	0,7	2,4	0,5				
SPB	0,1	0,2	0,2	0,3	9,3			
PAR	2,1	1,3	0,7	1,1	33,4	22,9		
SUC	0,1	0,2	0,1	0,5	13,7	6,2	54,1	



**Figura 9:** Esquema representativo de diferenças significativas entre Olivais, segundo resultado dado por ANOSIM. Olivais sem diferenças significativas encontram-se dentro da mesma bolha.

A análise SIMPER efetuada revela que as maiores diferenças entre os Olivais ficaram a dever-se aos morfotipos Semied4, Epig1 e Edap1, embora

outras duas espécies também tenham apresentado, nalgumas comparações entre olivais, percentagens de explicação superiores a 10%: Edap6 e Semied2 (Fig. 10).



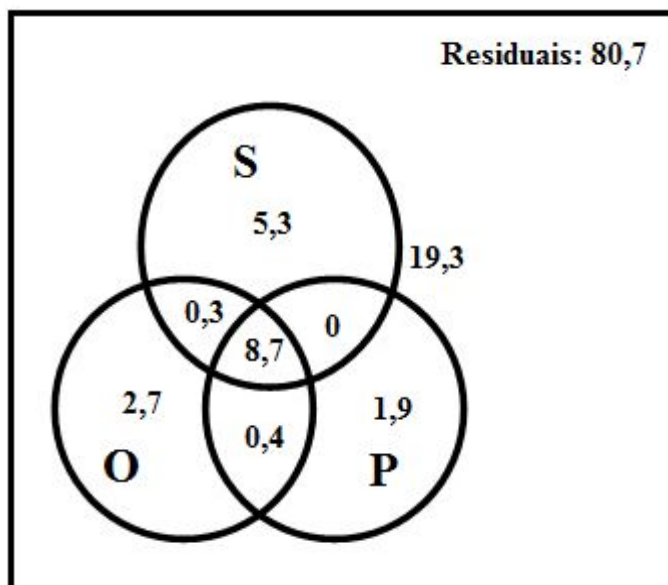
**Figura 10:** Média da contribuição relativa dos morfotipos mais relevantes para a dissimilaridade entre grupos de Olivais.

O morfotipo Semied4 (a única de EMI 10) ocorre ubiquamente e é sempre o morfotipo com mais representação em todos os olivais. (Fig. 2/Anexo).

### 3.4. Partição de Variâncias

Tal como referido nos Materiais e Métodos, apenas 7 variáveis explicativas foram escolhidas para a análise de Partição de Variâncias: 2 de parâmetros de solo, 3 de manejo do olival e 2 de paisagem.

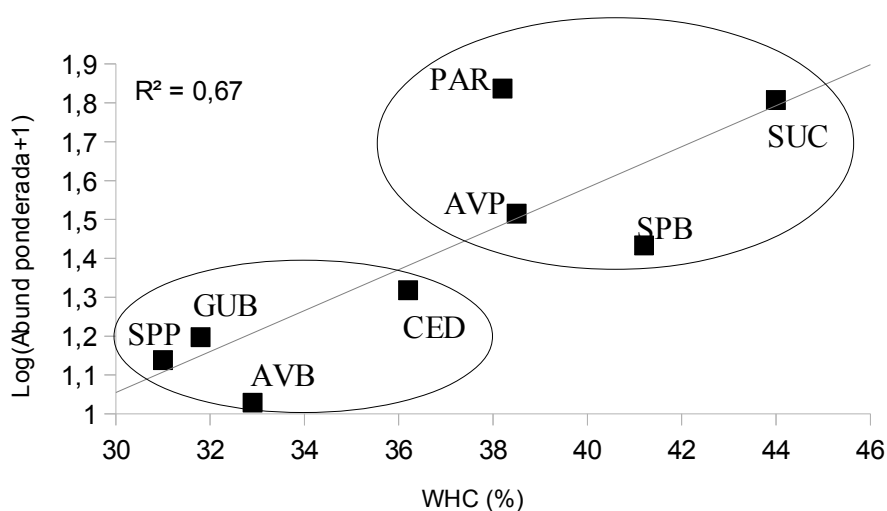
Os parâmetros de solo são os que mais explicam variação (5,7%) (Fig. 11), depois o manejo do olival (2,7%) e por último a Paisagem (1,9%). Há no entanto que referir ainda que 8,7% da variação dos dados é explicada em simultâneo pelos três grupos.



**Figura 11:** Partição de variâncias pelos diferentes componentes das variáveis explicativas. A explicação total das variáveis selecionadas é de 19,3%.

### 3.5. Correlação entre WHC e Abundância ponderada

Os valores de WHC médios dos Olivais PAR, SUC, AVP e SPB foram sempre superiores aos detetados nos restantes olivais, tal como se pode ver na Tabela 1. Existe uma correlação significativa ( $p=0,013$ ) entre a WHC e a abundância ponderada logaritmicada de cada olival ( $R^2=0,56$ ) (Fig.12).



**Fig. 12:** Correlação entre a WHC de cada Olival e a Abundância ponderada transformada  $\text{Log}(\text{Abundância total}+1)$ .  $F=12,13$ ,  $df=1,6$   $P=0,013$ ,  $R=0,82$ . Entre parêntesis estão assinalados os grupos de Olivais A + GUB (esquerda) e B (direita).

## 4. Discussão



#### 4.1. Diferenças entre olivais

Os valores de abundância e de diversidade de colêmbolos, quer de diversidade taxonómica, quer de diversidade funcional variaram ao longo dos vários olivais amostrados, independentemente do tipo de produção ser biológico ou de produção integrada. A análise da estrutura das comunidades, baseada na PCA e na análise de ANOSIM, evidenciou que os diferentes olivais também se agruparam independentemente deste factor. Cada olival do grupo A incluindo GUB (GUB, AVB, SPP e CED) tem sempre menor abundância do que os Olivais do grupo B (PAR, SUC, AVP e SPB) (Fig. 7) mas, por outro lado, tanto o índice FD, como o Shannon e o Pielou apontam para a existência de maior diversidade nos primeiros olivais (Tabela 6). A análise de PCA, por seu turno, mostra que os olivais do grupo B estão altamente correlacionados com a presença do morfotipo Semied4 (Fig. 8), sendo que este mesmo morfotipo explica, de acordo com o SIMPER, cerca de 33% das diferenças. Também ele pode mesmo ter sido determinante para a menor diversidade encontrada no segundo grupo de olivais.

Das variáveis de manejo do olival, apenas o pastoreio foi relevante para a discriminação do olival GUB dos outros. Apesar disso, neste olival não houve nenhuma morfoespécie que o tenha caracterizado especialmente, sendo apenas de salientar que é o olival com o maior rácio de indivíduos eu-edáficos face aos restantes analisados (Tabela 6) e também o que apresenta menor abundância (Fig. 7). Este mesmo aspeto está em desacordo com Dombos, 2001, que verificou em pradarias que a influência do pastoreio aumentava a

abundância de colêmbolos, isto apesar de ao mesmo tempo diminuir a diversidade dos mesmos.

Assim, não há qualquer variável de manejo ou de prática agrícola que justifique a maior parte das diferenças entre olivais. Outras variáveis, de microescala como parâmetros do solo, ou de macroescala como variáveis de paisagem poderiam estar a discriminar os olivais.

#### **4.2. Diferenças entre Linha e Entrelinha de cada olival**

De um modo geral, houve sempre uma tendência para as amostras de Linha revelarem maior diversidade funcional e de morfotipos (Tabela 5).

Seria de prever que a aplicação de herbicidas nos olivais em que essa prática foi efetuada diminuísse a diversidade tanto funcional como de morfotipos na Linha, ao reduzir o número de espécies mais sensíveis, mas, apesar disso, também nos olivais onde é aplicado o herbicida a diversidade na Linha foi superior. SUC é um desses olivais e, ainda assim, foi aí que se verificaram diferenças significativas entre a Linha e a Entrelinha.

Pelo contrário, a tendência oposta de diversidade da Linha para a Entrelinha verifica-se em AVB e AVP. Tanto num como noutro Olival o solo é lavrado. Em AVP, a lavoura realizou-se integralmente, enquanto que em AVB esta foi quase integral: parte da entrelinha não é lavrada. Talvez por isso se justifiquem as diferenças significativas detetadas na estrutura da comunidade entre a Linha e a Entrelinha em AVB, e não em AVP. No entanto, o número de amostras da Linha para a Entrelinha não é igual, pelo que há que ter cuidado



com a interpretação de dados (Tabela 2).

### 4.3. Poder discriminatório de cada tipo de variáveis

O resultado da partição de variância (Fig. 11) sugere que a influência ambiental na composição da comunidade de colêmbolos de solo diminui com o aumento da escala a que falamos, já que foram as variáveis de microescala (parâmetros de solo) que melhor souberam justificar variação dos dados.

Destas variáveis de solo, espera-se sempre que influenciem grandemente a estrutura e composição das comunidades de colêmbolos de solo, como seja o pH (Lavelle & Spain, 2001; Loranger et al., 2001; Ponge et al., 2000), a matéria orgânica (Chagnon et al., 2000; Sousa & da Gama, 1994), e a textura do solo (Lavelle & Spain, 2001; Dittmer & Schrader, 2000; Heisler & Kaisler, 1995). No entanto, concluiu-se que não havia grande variação no que se refere a estas variáveis, razão pela qual a maior parte acabou por não ser incluída nas RDAs, através das forward selections, já que possuíam, nestas condições, pouca influência na variação dos dados (Tabela 2/Anexo). Os níveis de matéria orgânica, por exemplo, variam mais ou menos entre 1 e 2% em todos os olivais, o que faz com que poucas diferenças possam ser explicadas com base nos parâmetros de solo.

A correlação entre os valores de WHC (capacidade de retenção de água do solo) de todos os Olivais (Fig. 11) mostra que o Grupo A + GUB apresenta valores de WHC mais baixos e que a WHC está altamente e significativamente correlacionada com a abundância ponderada de cada olival. A WHC pode,

portanto, ter sido decisiva para que pudéssemos estabelecer uma demarcação entre os olivais, apesar de variar apenas entre 31% em SPP e 44% em SUC.

A influência da heterogeneidade da paisagem na distribuição de colêmbolos ainda está em debate, não sendo certo até que ponto variáveis de paisagem podem interferir com a estrutura da comunidade de colêmbolos. Há estudos que apontam para uma influência positiva da heterogeneidade da paisagem na diversidade de colêmbolos, influenciando positivamente a biodiversidade (Sousa *et al.*, 2006), mas por outro lado essa influência pode ser negativa no que se refer aos colêmbolos de dispersão lenta (os mais adaptados ao solo) (Diekötter *et al.*, 2010). Neste estudo, não foi possível com precisão encontrar grandes diferenças causadas pelos índices paisagísticos na comunidade (Tabela 2/Anexo).

Assim, há que ter cuidado quando se estuda a influência de fatores de larga escala nas comunidades de colêmbolos: descritores de pequena escala devem sempre ser colocados nessas análises.

#### **4.4. Considerações acerca dos padrões encontrados**

De acordo com estes dados, o facto de se designar um olival de "Biológico" não quer imediatamente dizer que as condições ecológicas de solo sejam melhores do que em olivais de produção integrada. O modo como o solo era trabalhado acabou sempre por se revelar mais importante (lavoura, pastoreio).

O facto de a abundância não ter aparentemente ajudado a discriminar

diferentes olivais com base na sua intensidade de produção está em conformidade com Filser et al., 1995, quando sugeriu que os colêmbolos conseguem originar densidades muito grandes de indivíduos mesmo em sistemas agrícolas mais intensivos.

A herbivoria por parte de ovelhas seleciona certas espécies de plantas em detrimento de outras e altera as dinâmicas de nutrientes de solo (Dombos, 2001). As diferenças encontradas em GUB podem ter sido devidas a isso e também porque a prática do pastoreio nesse olival é muito frequente, ocorrendo todas as semanas (Tabela 4).

A maior diversidade da Linha em relação à Entrelinha, constante em praticamente todos os olivais, deve-se, provavelmente, ao facto de as amostras da linha terem sido recolhidas debaixo das copas das oliveiras, onde há mais sombra e, por isso, uma menor amplitude térmica diária, consequentemente evitando que haja igualmente grandes perdas de água por parte do solo ao longo do dia. Estudos que comparam zonas mais cobertas com zonas mais fechadas revelam igualmente uma tendência para a ocorrência de maior diversidade no primeiro caso (Alvarez *et al.*, 2000; Lauga-Reyrel & Deconchat, 1999).

A lavoura é um tipo de manejo que perturba grandemente os solos (Alvarez et al., 2000), ao revolvê-los e ao compactá-los, por ação de maquinaria pesada. A comunidade de colêmbolos é especialmente responsiva à compactação (Dittmer & Schrader, 2000; Larsen et al., 2004), já que estes animais não têm capacidade de escavar túneis no solo (Heisler & Kaiser 1995). Estas razões poderão ter levado à inversão dos valores dos descritores de

diversidade nos olivais onde a lavoura foi efetuada.

Uma maior WHC pode representar menores amplitudes no que toca à humidade do solo. Sendo os colêmbolos muito sensíveis a este fator, aceita-se que exista maior abundância de indivíduos nos olivais com maior WHC, apesar de, por outro lado, a diversidade diminuir e de não haver incremento na proporção de indivíduos edáficos (que seriam, à partida, os mais sensíveis a tais amplitudes de humidade).

#### **4.5. Potenciais morfotipos bioindicadores**

Os resultados deste trabalho evidenciaram que houve três morfotipos que, com regularidade, explicaram grande parte das diferenças entre os olivais: Semied4, Epig1 e Edap1. Os três morfotipos juntos explicam em média cerca de 60% da variação total entre olivais e representam grande parte dos diferentes níveis de adaptação dos colêmbolos ao solo: Edap1 é o mais edáfico de todos os morfotipos analisados, com pontuação EMI 20, Semied4 é um shemi-edáfico de pontuação 10 e Epig1 é um epígio de pontuação 6 (Tabela 1/Anexo). Os restantes 20 morfotipos explicam a outra parte. Assim, podemos eventualmente considerar estes morfotipos como sendo os mais importantes neste sistema agrícola. A identificação ao nível da espécie destes morfotipos traria, no entanto, mais informação quanto ao seu eventual uso enquanto bioindicadores.

Por ter respondido a diversas variáveis das quais se esperava reposta, esta abordagem poderá vir a ser utilizada em mais estudos do género. No

entanto, complementação com estudos que façam o mesmo tipo de análise mas com espécies taxonómicas são necessários para avaliar melhor o poder discriminatório da variável. Os espécimes utilizados nesta abordagem estão guardados, pelo que a mesma análise com os mesmos dados poderá ser feita.

#### **4.6. Considerações finais**

-As comunidades de colêmbolos em olivais são mais influenciadas por parâmetros de solo do que por diferentes tipos de manejo do olival e parâmetros de paisagem, consecutivamente; no entanto, elas são fortemente influenciadas por práticas que perturbem muito o solo, como a lavoura.

-Quando o foco de determinado estudo é a larga escala espacial (heterogeneidade de paisagem, práticas de manejo agrícolas, etc.), é importante também registar as outras variáveis de escala mais concentrada no ponto de recolha da amostra, pois poderão ser responsáveis por uma variação dos dados maior.

-Apesar de não se ter recorrido à taxonomia dos colêmbolos, esta abordagem funcional conseguiu distinguir diferentes tipos de gestão em olivais. O facto de incluir dados funcionais sobre os organismos e ao mesmo tempo reduzir brutalmente o tempo de análise no laboratório, dá-lhe viabilidade para ser realizada mais vezes em monitorização dos solos e, eventualmente, ser utilizada por decisores enquanto ferramenta de monitorização ambiental de solos.

-Como trabalho futuro será importante realizar esta mesma abordagem

mas utilizando uma base de dados de espécies. Esse tipo de informação poder-nos-á dar a informação que falta para podermos confirmar a robustez da abordagem, pelo menos a robustez em relação a uma abordagem taxonómica. Neste sentido, o objectivo será identificar espécies dentro dos morfotipos mais abundantes. Importante para validar esta abordagem será também aplicá-la a comparações entre diferentes sistemas agrícolas a fim de validar esta abordagem de bioindicação como ferramenta em estudos de avaliação e monitorização da biodiversidade.

## 5. Bibliografia





- Alvarez, T., Frampton, G. K. & Goulson, D. The role of hedgerows in the recolonisation of arable fields by epigeal Collembola. *Pedobiologia* **44**, 516–526 (2000).
- Bandyopadhyaya, I., Choudhuri, D. K. & Ponge, J. F. Effects of some physical factors and agricultural practices on Collembola in a multiple cropping programme in West Bengal (India). *European journal of soil biology* **38**, 111–117 (2002).
- Beck, L., Römbke, J., Breure, A. M. & Anton, C. Considerations for the use of soil ecological classification and assessment concepts in soil protection. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **62**, 189–200 (2005).
- Bello, F. *et al.* Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodivers Conserv* **19**, 2873–2893 (2010).
- Bispo, A. *et al.* Indicators for monitoring soil biodiversity. *Integrated Environmental Assessment and Management* **5**, 717–719 (2009).
- Breure, A. M. & Römbke, J. Editorial - The ecological classification and assessment of soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **62**, 185–186 (2005).
- Chagnon, M., Hébert, C. & Paré, D. Community structures of Collembola in sugar maple forests: relations to humus type and seasonal trends. *Pedobiologia* **44**, 148–174 (2000).
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J. & Lavelle, P. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology* **42**, Supplement 1, S23–S38 (2006).
- Diekötter, T., Wamser, S., Wolters, V. & Birkhofer, K. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **137**, 108–112 (2010).
- Dittmer, S. & Schrader, S. Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia* **44**, 527–538 (2000).
- Dombos, M. Collembola of loess grassland: effects of grazing and landscape on community composition. *Soil Biology and Biochemistry* **33**, 2037–2045 (2001).
- Egner, H., Riehm, H. & Domingo, W. R. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der

- Böden. *II.Landbr.Högsk. Ann.* **26**, 199–215 (1960).
- European Commission. *Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.* (COM (2002)179 final: Brussels).
- Filser, J., Fromm, H., Nagel, R. F. & Winter, K. Effects of previous intensive agricultural management on microorganisms and the biodiversity of soil fauna. *Plant and soil* **170**, 123–129 (1995).
- Gardi, C., Tomaselli, M., Parisi, V., Petraglia, A. & Santini, C. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* **38**, 103–110 (2002).
- Harrington, R. *et al.* Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary. *Biodivers Conserv* **19**, 2773–2790 (2010).
- Heisler, C. & Kaiser, E. A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. *Biology and fertility of soils* **19**, 159–165 (1995).
- Hopkin, S. P. *Biology of Springtails (Insecta, Collembola)*. (Oxford University Press: New York, 1997).
- ISO (International Organization for Standardization) *Draft: Soil quality — Sampling of soil invertebrates — Part 2: Sampling and extraction of microarthropods (Collembola and Acarina)*. (ISO 23611-2, Geneva, 2004).
- ISO (International Organization for Standardization) *Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (Eisenia fetida) - Part 2: Determination of effects on reproduction*. (ISO 11268-2, Geneva, 1998).
- J. Römbke, Jänsch, S. & Didden, W. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **62**, 249–265 (2005).
- Jänsch, S., Römbke, J. & Didden, W. The use of enchytraeids in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and environmental safety* **62**, 266–277 (2005).
- Larsen, T., Schjøning, P. & Axelsen, J. The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Applied Soil Ecology* **26**, 273–281 (2004).
- Lauga-Reyrel, F. & Deconchat, M. Diversity within the Collembola community in fragmented coppice forests in south-western France. *European Journal of Soil Biology* **35**, 177–187 (1999).

- Lavelle, P. & Spain, A. *Soil Ecology*. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2001).
- Lepš, J. & Smilauer, P. *Multivariate analysis of data using CANOCO*. (Cambridge University Press, Cambridge, 2003).
- Loranger, G., Brandyopadhyaya, I., Razaka, B. & Ponge, J.-F. Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities? *Soil Biol. Biochem.* **33**, 381–393 (2001).
- Maguran, A.E., *Measuring biological diversity*. (Oxford: Blackwell Publishing: 2004).
- OECD/OCDE *OECD Guideline for the Testing of Chemicals 232 - Collembolan Reproduction Test in Soil*. (2009).
- Organisation for Economic Co-operation and Development *Agriculture and biodiversity: developing indicators for policy analysis : Proceedings from an OECD expert meeting Zurich, Switzerland, November 2001*. (OECD: Paris, France, 2003).
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C. & Jacomini, C. Evaluation of Soil Quality and Biodiversity in Italy: The Biological Quality of Soil Index (QBS) Approach. (2001).
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C. & Mozzanica, E. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **105**, 323–333 (2005).
- Ponge, J. F. Acidophilic Collembola: living fossils? *Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University* **29**, 65–74 (2000).
- Römbke, J., Sousa, J. P., Schouten, T. & Riepert, F. Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. *European journal of soil biology* **42**, S61–S64 (2006).
- Santos, P. Utilização de Colêmbolos edáficos (Insecta: Collembola) como indicadores da qualidade do solo, com recurso a características funcionais. *Universidade de Coimbra* (2008).
- Sousa, J. P. & da Gama, M. M. Rupture on a Collembola community structure from a *Quercus rotundifolia* Lam. forest due to the reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. *Env. J. Soil Biol.* **30**, 71–78 (1994).
- Sousa, J. P. *et al.* Changes in Collembola richness and diversity along a gradient of land-use intensity: A pan European study. *Pedobiologia* **50**, 147–156 (2006).
- Vandewalle, M. *et al.* Functional traits as indicators of biodiversity response to

land use changes across ecosystems and organisms. *Biodivers Conserv* **19**, 2921–2947 (2010).

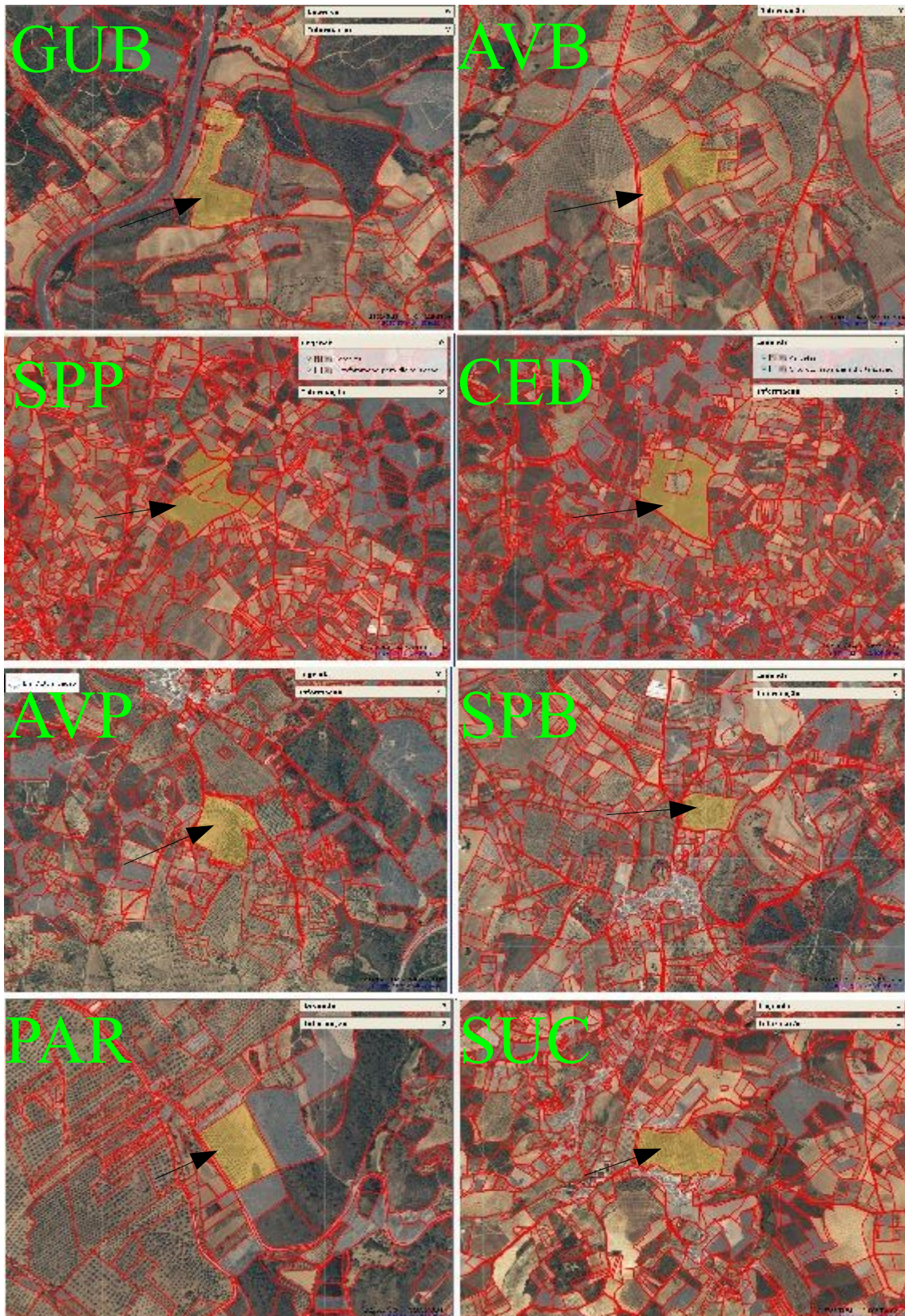
Walkley, A. & Black, I. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* **37**, 29–37 (1934).

Winding, A., Hund-Rinke, K. & Rutgers, M. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **62**, 230–248 (2005).

## **6. Anexos**





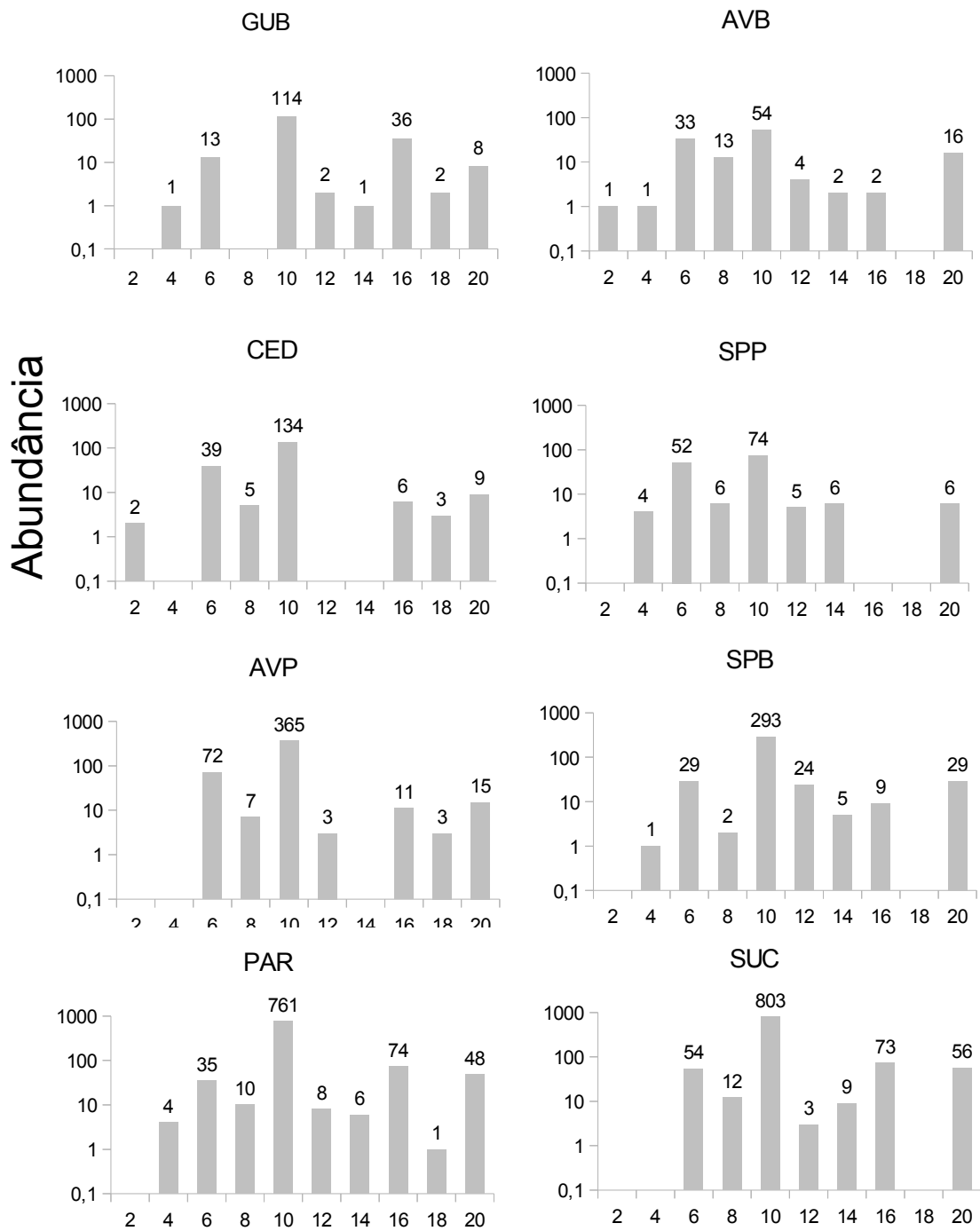


**Figura 1:** Ortofotomapas da paisagem de cada Olival. O *patch* referente ao Olival onde ocorreram as coletas está identificado com uma seta. Os diversos *patches* à volta estão delimitados por contornos vermelhos.

**Tabela 1:** Total dos morfotipos e pontuações correspondentes de EMI, assim como de pontuações parciais de EMI para cada característica. **Comp. Antenas-** Comprimento das antenas.

	Ocelos	Comp. Antenas	Furca	Pêlos/Escamas	Pigmentação	Pontuação EMI
<b>edap1</b>	4	4	4	4	4	20
<b>edap2</b>	4	4	4	4	2	18
<b>edap3</b>	4	4	2	4	4	18
<b>edap4</b>	4	4	4	0	4	16
<b>edap5</b>	4	4	0	4	4	16
<b>edap6</b>	0	4	4	4	4	16
<b>edap7</b>	0	4	4	4	2	14
<b>edap8</b>	0	4	2	4	4	14
<b>semied1</b>	4	4	0	0	4	12
<b>semied2</b>	0	4	2	4	2	12
<b>semied3</b>	0	4	0	4	4	12
<b>semied4</b>	0	4	0	4	2	10
<b>semied5</b>	0	4	2	0	2	8
<b>semied6</b>	0	4	0	4	0	8
<b>semied7</b>	0	4	0	0	4	8
<b>semied8</b>	0	2	0	4	2	8
<b>epig1</b>	0	4	0	0	2	6
<b>epig2</b>	0	0	0	4	2	6
<b>epig3</b>	0	2	0	4	0	6
<b>epig4</b>	0	0	0	4	2	6
<b>epig5</b>	0	4	0	0	0	4
<b>epig6</b>	0	0	0	4	0	4
<b>epig7</b>	0	2	0	0	0	2





### Pontuações EMI

**Figura 2:** Distribuição da abundância de morfotipos de cada Olival pelos diferentes valores de EMI.

**Tabela 2:** Efeitos marginais de todas as variáveis explicativas depois de corrida uma RDA com *forward selection*. A legenda de todas as variáveis está descrita no material e métodos.

<i>Marginal Effects</i>		
	<b>Variáveis</b>	<b>Lambda</b>
Par. de solo	WHC	0.10
	Humidade	0.10
	MO	0.05
	Argila	0.05
	K <sub>2</sub> O	0.02
	Areia	0.02
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02
	Limo	0.01
	pH	0.01
	Densidade aparente	0.01
Manejo do Olival	Densid. Árvores	0.05
	Apl. Herb.	0.03
	Tipo de Produção	0.03
	Pastejo	0.03
	Corte Superficial	0.02
	ultima poda	0.02
	Lavoura	0.01
Par. Paisagem	MedPS	0.06
	NumP	0.05
	MSI	0.05
	MPAR	0.04
	MPS	0.04
	SDI	0.01
	SIDI	0.01



