

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior Agrária de Santarém



**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CULTURAS DE
COBERTURA NA QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO
EM SISTEMAS HORTÍCOLAS**

Dissertação de mestrado

Mestrado em Engenharia Agronómica

Débora Mateus Patinho

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior Agrária de Santarém



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CULTURAS DE
COBERTURA NA QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO
EM SISTEMAS HORTÍCOLAS**

Dissertação de mestrado

Mestrado em Engenharia Agronómica

**Trabalho realizado com vista à
obtenção do grau de mestre
230001169 Débora Mateus Patinho**

**Orientação:
Elsa de Jesus Centeio Valério**

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos à Professora Doutora Elsa Valério por me ter aceitado como orientanda.

Ao Mário Duarte, o meu obrigado pelo precioso e incansável acompanhamento em todas as fases de elaboração deste trabalho. Sem o seu conhecimento na metodologia QBS-ar e a sua mestria na identificação de microartrópodes do solo nada teria sido possível.

RESUMO

O solo é um recurso vital para os ecossistemas e para a agricultura, mas enfrenta sérios problemas de degradação, amplificados por práticas agrícolas intensivas. Entre as soluções para mitigar esses impactos destaca-se o uso de culturas de cobertura, que protegem o solo, melhoram a biodiversidade e potenciam funções ecológicas.

A Diretiva (UE) 2025/2360, relativa à monitorização e resiliência do solo, evidencia a preocupação crescente com a melhoria da saúde dos solos e o método QBS-ar é apresentado nesta proposta como um indicador da sua qualidade. Assim, é importante procurar metodologias de monitorização da qualidade do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da implementação de culturas de cobertura na qualidade biológica do solo em sistemas hortícolas, recorrendo ao índice biológico QBS-ar, que utiliza microartrópodes como bioindicadores, tendo sido realizado no âmbito do projeto Soilife 1st (PRR-C05-i03-I-000006): Adaptação de sistemas produtivos em contexto de alterações climáticas - Conservação e fertilidade do solo.

Os ensaios decorreram em dois campos experimentais um em Torres Vedras (Emergosol) e outro no Brejão (Campotec), tendo sido comparadas duas modalidades em cada local: i) mistura biodiversa de gramíneas e leguminosas; ii) testemunha, onde foram seguidas as práticas habituais do agricultor.

Utilizaram-se dois métodos de amostragem de solo, com pá e com sonda. As amostras foram recolhidas em diferentes momentos do ciclo cultural e transportadas para laboratório. Os microartrópodes foram extraídos através do método de Berlese-Tüllgren e classificados com base em índices eco-morfológicos (EMI) segundo o seu nível de adaptação ao solo. O índice QBS-ar foi posteriormente calculado e os resultados comparados estatisticamente.

De forma geral, evidenciaram-se valores mais elevados de QBS-ar nas modalidades com culturas de cobertura face às testemunhas, confirmando o efeito positivo desta prática na promoção da atividade biológica do solo, em concordância com estudos prévios.

Na Emergosol, a tendência de índices superiores na consociação foi mais evidente nas amostragens com sonda, embora sem diferenças estatisticamente significativas, possivelmente devido ao reduzido número de repetições.

Na Campotec, verificou-se um padrão semelhante, com diferenças mais acentuadas após a instalação da cultura principal, sugerindo sensibilidade dos microartrópodes a outras práticas agrícolas, como a aplicação de herbicidas. Quanto aos métodos de amostragem, na colheita com pá obtiveram-se, em média, valores mais elevados, mas sem evidência suficiente para recomendar um método definitivo.

Conclui-se que o QBS-ar é uma ferramenta útil para monitorizar a qualidade biológica do solo e sensível a variações nas práticas culturais.

Palavras-chave: bioindicadores, QBS-ar; artrópodes do solo; misturas biodiversas.

ABSTRACT

Soil is a vital resource for ecosystems and agriculture, but it faces serious degradation, worsened by intensive farming practices. Among the solutions to mitigate these impacts, the use of cover crops stands out, as they protect the soil, improve biodiversity, and enhance ecological functions.

Directive (EU) 2025/2360 on soil monitoring and resilience highlights the growing concern with improving soil health, and the QBS-ar method is presented in this proposal as one of the indicators of soil quality. Therefore, it is important to identify and apply methodologies for monitoring soil quality.

This study aimed to analyse the impact of cover crops on the biological quality of soil in horticultural systems, using the QBS-ar biological index, which employs soil microarthropods as bioindicators, having been carried out under the Soilife 1st project (PRR-C05-i03-I-000006): Adaptation of production systems in the context of climate change – Soil conservation and fertility.

The trials were conducted in two experimental fields: one in Torres Vedras (Emergosol) and another in Brejão (Campotec). At each site, two plots were compared: (i) a diverse mixture of grasses and legumes; and (ii) a control plot, where the farmer's usual management practices were followed.

Two soil sampling methods were used, shovel sampling and soil coring. Samples were collected at different stages of the cropping cycle and transported to the laboratory for analysis. Microarthropods were extracted using the Berlese–Tüllgren method and classified based on eco-morphological indices (EMI), according to their level of adaptation to the soil. The QBS-ar index was then calculated, and the results statistically compared.

Overall, higher QBS-ar values were observed in plots with cover crops compared to controls, confirming the positive effect of this practice on soil biological activity, in line with previous studies.

At Emergosol, the trend towards higher indices in the cover crop plots was more evident in samples collected with the soil corer, although no statistically significant differences were detected, possibly due to the limited number of replicates.

At Campotec, a similar pattern was observed, with more pronounced differences after the establishment of the main crop, also suggesting the sensitivity of the index to the impact of other degrading practices, such as herbicide application. Regarding sampling methods, shovel sampling yielded, on average, higher values, but there was insufficient evidence to recommend a definitive method.

It is concluded that QBS-ar is a useful tool for monitoring the biological quality of soil and is sensitive to variations in cropping practices.

Keywords: Bioindicators; QBS-ar; Soil arthropods; Biodiverse mixtures

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. IMPACTOS DA AGRICULTURA NO SOLO	3
2.2. CULTURAS DE COBERTURA	3
2.3. INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO	4
2.4. ÍNDICE QBS-ar	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. CAMPOS DE ENSAIO	9
3.1.1. CAMPO DA EMERGOSOL	9
3.1.2. CAMPO DA CAMPOTEC	11
3.2. TÉCNICA DE AMOSTRAGEM	12
3.2.1. AMOSTRAGEM COM PÁ	13
3.2.2. AMOSTRAGEM COM SONDA	13
3.3. EXTRAÇÃO DE MICROARTRÓPODES	14
3.4. IDENTIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE MICROARTRÓPODES E ATRIBUIÇÃO DO EMI (ÍNDICE ECO-MORFOLÓGICO)	15
3.5. CÁLCULO DO ÍNDICE QBS-ar	18
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. EMERGOSOL	19
4.2. CAMPOTEC	22
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
ANEXOS	28
ANEXO A	29
Resultados dos testes não paramétricos Mann-Whitney realizados em R	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Valores de EMI para QBS-ar	8
Figura 2 - Vista Aérea do Campo de Ensaio da Emergosol com Indicação das Modalidades Testemunha (TE) e Consociação (CO).....	9
Figura 3 - Vista Aérea do Campo de Ensaio da Campotec com Indicação das Modalidades Testemunha (TE) e Consociação (CO).....	9
Figura 4 - Modalidade Testemunha da Emergosol a 19/02/2025.....	10
Figura 5 - Modalidade Consociação da Emergosol a 19/02/2025.....	10
Figura 6 - Modalidade Testemunha da Emergosol a 12/06/2025.....	10
Figura 7 - Modalidade Consociação da Emergosol a 12/06/2025.....	10
Figura 8 - Modalidade Testemunha da Emergosol a 01/07/2025.....	11
Figura 9 - Modalidade Consociação da Emergosol a 01/07/2025.....	11
Figura 10 - Modalidade Testemunha da Campotec a 07/02/2025.....	12
Figura 11 - Modalidade Consociação da Campotec a 07/02/2025.....	12
Figura 12 - Modalidade Testemunha da Campotec a 22/05/2025.....	12
Figura 13 - Modalidade Consociação da Campotec a 22/05/2025.....	12
Figura 14 - Vista Aérea do Campo de Ensaio da Emergosol com Indicação das Subamostras.....	13
Figura 15 - Vista Aérea do Campo de Ensaio da Campotec com Indicação das Subamostras.....	13
Figura 16 - Amostragem com Pá.....	13
Figura 17 - Amostra Colocada em Saco para Transporte.....	13
Figura 18 - Sonda.....	13
Figura 19 - Amostragem com Sonda a 20 cm de Profundidade.....	13
Figura 20 - Amostra de Solo.....	13
Figura 21 - Extrator do tipo <i>Berlese-Tüllgren</i>	14
Figura 22 - Microscópio Estereoscópico “Nikon SMZ800N”.....	15
Figura 23 - Tabela de Classificação QBS-ar (i) para as classes: Arachnida, Crustacea, Myriapoda e grupo Entognatha.....	16
Figura 24 - Tabela de Classificação QBS-ar (ii) para as Classes Insecta e Larvas Holometábolos.....	17
Figura 25 - Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Pá em cada Modalidade do Campo Emergosol.....	20

Figura 26 - Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Sonda em cada Modalidade do Campo Emergosol.....	20
Figura 27 - Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Sonda na Modalidade Consociação do Campo Emergosol.....	21
Figura 28 - Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Sonda na Modalidade Testemunha do Campo Emergosol.....	22
Figura A1 - Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizados em R com os Índices QBS-ar das modalidades Consociação (CO) e Testemunha (T) da Amostragem com Pá (Cima) e com Sonda (Baixo).....	30
Figura A2 - Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizados em R com os Índices QBS-ar Obtidos pelos Dois Métodos de Amostragem na Modalidade Consociação (Cima) e Testemunha (Baixo).....	30
Figura A3 - Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizado em R com os Índices QBS-ar das Modalidades Consociação (CO) e Testemunha (T) da Amostragem com Pá.....	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação dos Campos de Ensaio.....	9
Tabela 2 - Ocupação Cultural das Modalidades da Emergosol nas Datas de Amostragem de Solo.....	10
Tabela 3 - Ocupação Cultural das Modalidades da Campotec nas Datas de Amostragem de Solo.....	11
Tabela 4 - Tabela de Atribuição de Índices EMI para a Classe Collembola.....	15
Tabela 5 - Tabela de Atribuição de Índices EMI para a Ordem Coleoptera.....	15
Tabela 6 - Cálculo do QBS-ar a Partir das Amostras 37 Dias Após a Plantação no Campo Emergosol	18
Tabela 7 - Grupos de Microartrópodes, Valores de EMI Atribuídos e Índice QBS-ar Final por Data de Amostragem, Modalidade e Método de Amostragem no Campo Emergosol.....	19
Tabela 8 - Grupos de Microartrópodes, Valores de EMI Atribuídos e Índice QBS-ar Final por Data de Amostragem, Modalidade e Método de Amostragem no Campo Campotec	23

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso que assegura o funcionamento dos ecossistemas por todos os serviços vitais que desempenha (Mantoni et al., 2021). Não é apenas o suporte físico para as plantas, que constituem a base da cadeia alimentar global, mas também garante a regulação dos ciclos da água, dos nutrientes e do carbono e constitui um reservatório crucial de biodiversidade (Mantoni et al., 2021).

Mais de 25% de toda a biodiversidade do planeta encontra-se no solo (FAO, 2020), e, apesar de ser ainda parcialmente desconhecida, é esta a principal responsável pela prestação dos serviços de ecossistema (Menta et al., 2018).

Cerca de 60% a 70% dos solos da UE não são saudáveis (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2020), resultado dos processos de degradação como a erosão, compactação, diminuição da matéria orgânica, poluição, perda de biodiversidade, salinização e impermeabilização. A degradação do solo é uma preocupação crescente, uma vez que tem impactos significativos na produtividade agrícola, na qualidade da água e sustentabilidade ambiental e, conseqüentemente na economia e bem-estar das pessoas (European Commission, Directorate-General for Environment, 2021).

A biodiversidade tende a ser maior em áreas florestais e prados permanentes, seguido das áreas cultivadas (Menta et al., 2017), estando associada a menores perturbações humanas. A agricultura é uma atividade que intervém diretamente no solo, podendo potenciar a degradação deste recurso se não forem aplicadas práticas de gestão sustentável, tais como a redução das mobilizações de solo e da utilização de produtos químicos, rotação cultural e utilização de culturas de cobertura que preservam a saúde do solo e mantêm a sua funcionalidade a longo prazo (European Commission, Directorate-General for Environment, 2021).

Para enfrentar estes desafios, torna-se necessário implementar medidas para melhorar a qualidade do solo, como por exemplo a aplicação de culturas de cobertura.

A utilização de indicadores é fundamental para avaliar o estado do solo e monitorizar os impactos das medidas aplicadas (Menta et al., 2018). A presença e a diversidade de microartrópodes no solo são frequentemente utilizadas como indicadores biológicos da qualidade do solo, uma vez que estão extremamente adaptados a condições específicas do solo (Parisi et al., 2003) e são muito sensíveis a alterações na sua qualidade (Menta & Remelli, 2020).

Duarte (2025) utilizou a metodologia do índice biológico QBS-ar em sistemas agroalimentares em Portugal recorrendo a métodos de amostragem do solo com sonda, no entanto, em Portugal, outras técnicas como a amostragem com pá devem ser testadas pois são aconselhadas noutros países, como Itália, como uma boa técnica a utilizar para a amostragem de artrópodes.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito da implementação de culturas de cobertura na qualidade biológica do solo em sistemas hortícolas, utilizando o índice QBS-ar como indicador biológico baseado na comunidade de microartrópodes do solo. Como objetivo específico, pretendeu-se ainda comparar dois métodos de amostragem de solo, pá e sonda, avaliando a sua influência nos valores obtidos de QBS-ar. Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto Soilife 1st (PRR-C05-i03-I-000006): Adaptação de sistemas produtivos em contexto de alterações climáticas - Conservação e fertilidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPACTOS DA AGRICULTURA NO SOLO

A agricultura, essencial para a produção de alimentos, tem impactos significativos no solo, afetando a sua estrutura, composição e biodiversidade (Menta et al., 2017), sendo o ritmo destas alterações muito influenciado pelas condições climáticas e pelas práticas culturais (Mazzoncini et al., 2010).

O solo é responsável pela prestação de serviços reguladores como o sequestro de carbono, controlo de inundações, desintoxicação do solo e proteção de plantas contra pragas (Menta et al., 2017). A capacidade do solo para realizar as funções ecológicas é referida como qualidade do solo (Menta et al., 2018), pelo que a sua degradação irá impactar na sua capacidade de produção e na sustentabilidade dos ecossistemas.

A erosão do solo é um dos maiores problemas enfrentados pela agricultura. Estima-se que cerca de mil milhões de toneladas de solo sejam levadas pela erosão anualmente na Europa (European Commission, Directorate-General for Environment, 2021). Este processo remove a camada superficial do solo, rica em nutrientes, essencial para o crescimento das plantas (Dabney et al., 2001). A erosão é agravada por práticas agrícolas intensivas, como o uso massivo de herbicidas e fertilizantes, a mobilização de solo excessiva, monoculturas e a sobre-exploração do solo (Mazzoncini et al., 2010; Rizk et al., 2017).

A agricultura biodinâmica e biológica pode melhorar a qualidade do solo a longo prazo devido à sua abordagem de gestão do agroecossistema de forma holística e sustentável, baseada na complexidade da rotação de culturas, uso culturas de cobertura, reciclagem de resíduos de culturas e aplicação de fertilizantes e adubos orgânicos (Mazzoncini et al., 2010; Menta et al., 2017; Gagnarli et al., 2015; Rizk et al., 2017)

2.2. CULTURAS DE COBERTURA

As culturas de cobertura são uma prática agrícola que envolve o cultivo de plantas específicas durante períodos em que o solo estaria normalmente descoberto. A utilização desta prática permite proteger o solo da erosão e da perda de nutrientes por lixiviação e escoamento, auxilia no controlo de infestantes, no sequestro de carbono e na gestão integrada de pragas (Dabney et al., 2001).

Esta prática tem sido difundida devido aos seus múltiplos benefícios, especialmente no que diz respeito à melhoria da qualidade do solo e ao aumento da biodiversidade e,

consequentemente, melhoria das propriedades microbiológicas do solo e sustentabilidade agrícola (Rizk et al., 2017).

Estudos realizados em Portugal, na região do Ribatejo, demonstraram que a introdução de culturas de cobertura, como a mistura biodiversa (consociação) de leguminosas e gramíneas, azevém anual (*Lolium multiflorum*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), resultou num aumento significativo da atividade microbiológica do solo e na presença de microrganismos benéficos (Fareleira et al., 2022).

Além disso, as culturas de cobertura influenciam positivamente as atividades enzimáticas do solo, que são indicadores importantes da fertilidade do solo (Fareleira et al., 2022). Estas enzimas desempenham papéis essenciais na mineralização de nutrientes, tornando-os mais disponíveis para as plantas (Fareleira et al., 2022).

Em sistemas agrícolas intensivos de monocultura, como os encontrados na produção hortícola industrial, a falta de diversidade de plantas pode levar a desequilíbrios na comunidade microbiana do solo, favorecendo a proliferação de fitopatógenos e resultando na degradação do solo (Fareleira et al., 2022). No entanto, a introdução de culturas de cobertura pode reverter esses efeitos, promovendo uma comunidade microbiana mais equilibrada e diversificada (Fareleira et al., 2022).

Aumentar a diversidade biológica nos agroecossistemas é a estratégia ecológica chave para a produção sustentável (Gagnarli et al., 2015).

2.3. INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Um critério comum na avaliação da sustentabilidade a longo prazo dos ecossistemas é a avaliação das flutuações na qualidade do solo (Parisi et al., 2003).

A qualidade do solo é um conceito complexo que envolve a avaliação de diversos parâmetros no sentido de monitorizar as funções por ele desempenhadas e garantir a sua preservação para o futuro (Aspetti et al., 2010; Menta et al., 2018). É, portanto, fundamental desenvolver metodologias sólidas para monitorizar, avaliar e gerir a integridade dos ecossistemas e avaliar as alterações temporais na estrutura, função e composição do solo em resposta a fatores naturais, atividade humana ou práticas de gestão (Aspetti et al., 2010).

De acordo com Doran e Zeiss (2000), os indicadores de qualidade do solo devem responder pelo menos aos seguintes critérios: 1) sensibilidade a variações na gestão do solo, 2) boa correlação com as funções benéficas do solo, 3) utilidade em revelar processos

ecossistêmicos, 4) compreensibilidade e utilidade para gestores de terras e 5) ser barato e fácil de medir.

Ainda não existe uma fórmula para medir a qualidade do solo que seja universalmente aceite e aplicável (Menta et al., 2018) devido à variabilidade intrínseca dos diferentes solos e à discrepância das escalas temporal e espacial (Parisi et al., 2003).

Parisi et al. (2003) refere que convencionalmente têm sido utilizados indicadores físicos, químicos e microbiológicos, no entanto, a necessidade de ter uma avaliação mais completa e abrangente, incluindo a degradação do solo e riscos associados, levou ao desenvolvimento de indicadores biológicos. Estes incluem a atividade enzimática, a diversidade microbiana e a presença de organismos do solo, como os microartrópodes.

A biodiversidade do solo é crucial para a saúde do ecossistema, pois os organismos do solo desempenham papéis vitais na decomposição da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e manutenção da estrutura do solo (Emilia-Romagna, 2018).

Os artrópodes representam um dos componentes mais importantes das comunidades que vivem no solo (Menta & Remelli, 2020), melhorando a sua qualidade, pois afetam as propriedades estruturais do solo (porosidade, capacidade de infiltração de água e distribuição de matéria orgânica nos horizontes do solo) (Gagnarli et al., 2015) e alguns grupos são altamente sensíveis a alterações na qualidade do solo e estão extremamente adaptados a condições específicas do meio (Parisi et al., 2003), o que os torna bons indicadores.

Recentemente têm sido propostos alguns métodos baseados em indicadores biológicos, mas a sua aplicação tem algumas limitações devido à dificuldade em classificar os microartrópodes (Parisi et al., 2005). A introdução de um índice eco-morfológico simplificado, que não requer a identificação dos organismos ao nível da espécie, veio permitir uma aplicação mais difundida destas metodologias (Parisi et al., 2005).

2.4. ÍNDICE QBS-ar

O corpo dos microartrópodes edáficos, ao longo de um extenso período de adaptação, desenvolveu características que lhes permitem sobreviver no solo, um meio com pouca luz e com espaço muito condicionado. Essas características incluem a redução ou perda de pigmentação e estruturas visuais, forma do corpo aerodinâmica, apêndices reduzidos e mais compactos (pêlos, antenas, pernas), redução ou perda de adaptações para voar, saltar ou correr, e capacidade reduzida de retenção de água. Como resultado dessa

adaptação, os microartrópodes edáficos são particularmente sensíveis à degradação do solo e são incapazes de sobreviver ou mover em solos degradados (Menta et al., 2018).

O índice QBS-ar (Qualidade Biológica do Solo - microartrópodes) é um método desenvolvido para avaliar a qualidade biológica do solo com base na presença e adaptação de microartrópodes ao ambiente do solo. Este índice, desenvolvido por Parisi (2001) é baseado no conceito de que a quantidade de grupos de microartrópodes bem-adaptados ao solo é maior em solos de alta qualidade do que em solos de baixa qualidade (Parisi, 2001).

O QBS-ar combina a biodiversidade da comunidade de microartrópodes do solo com o grau de vulnerabilidade dos animais do solo, fornecendo informações sobre a qualidade biológica do solo e indicando a degradação do solo (Menta et al., 2017).

Este índice foi aplicado a vários ecossistemas, incluindo terrenos agrícolas, pastagens, solos urbanos e florestas, demonstrando sua versatilidade e utilidade em diferentes contextos ambientais (Menta et al., 2018; Aspetti et al., 2010; Parisi et al., 2003; Fareleira et al., 2022; Gruss et al., 2021).

A metodologia do QBS-ar envolve várias etapas principais:

1. Amostragem de Solo: A colheita de amostras de solo é uma fase crucial para a aplicação do QBS-ar (Menta et al., 2018). É importante escolher cuidadosamente a área de colheita e o período de amostragem, considerando a biologia da fauna do solo e os objetivos do estudo. O protocolo sugere a recolha de três amostras de solo (repetições), a uma distância de 5-10 metros uma da outra em cada modalidade (Menta, et al., 2017).
2. Extração de Microartrópodes: As amostras de solo devem ser colocadas no extrator de Berlese-Tüllgren no prazo máximo de 48 horas. O extrator é composto por uma lâmpada incandescente (40-60 W) colocada a 30 cm acima da amostra de solo, um crivo (malha de 2 mm, 20 cm de diâmetro), um funil (plástico ou vidro) e um recipiente com um líquido fixador (2/3 etanol a 75% e 1/3 de glicerol) (Menta et al., 2018).
3. Identificação dos grupos de microartrópodes e atribuição do EMI (Índice Eco-Morfológico): Os microartrópodes extraídos são classificados em grupos principais, e cada grupo recebe uma pontuação que reflete seu nível de especialização na vida no solo. Para grupos que incluem organismos com diferentes níveis de adaptação

ao solo, a pontuação mais alta é atribuída aos microartrópodes mais altamente adaptados pertencentes a esse grupo (Menta et al., 2018)

4. Cálculo do Índice QBS-ar: O índice QBS-ar para uma amostra de solo é calculado como a soma das pontuações registadas para cada táxon. Este índice foca-se na presença de características morfológicas que indicam adaptação ao solo pelos microartrópodes, e não requer identificação taxonómica complexa ao nível de espécie (Menta et al., 2018).

Menta et al. (2018) atribui os valores de EMI de acordo com a **Figura 1**.

O QBS-ar tem sido aplicado em diversos contextos ambientais e é considerado um protocolo padrão para medir a fauna do solo em locais de investigação ecológica na Europa. Este índice é relativamente barato, tanto em termos de equipamentos necessários quanto de tempo e energia necessários para a atividade de amostragem e análise das amostras (Menta et al., 2018; Parisi et al., 2005).

Menta et al. (2018) considera um solo de boa qualidade quando o índice é superior a 93,7, no entanto considera será importante consolidar esta metodologia no sentido de encontrar uma associação mais clara entre o índice e as ocupações de solo.

Figura 1

Valores de EMI para QBS-ar.

Taxa	Main characteristics	EMI
Pseudoscorpiones	Pincers similar to those of scorpions	20
Scorpiones	Pincers and tail with a venomous stinger. Only juvenile forms	10
Palpigrades	3 mm Segmented abdomen with a whip-like flagellum	20
Opiliones	Eyes Segmented abdomen	10
Araneae	Eight legs Chelicerae with fangs	> 5mm → 1 < 5mm, scarcely pigmented → 5
Mites	4 pair of legs	20
Isopods	7 pairs of jointed limbs	10
Diplopods	2 pairs of ventrally jointed legs	> 5mm → 10 < 5mm Polixenida → 20
Pauropods	< 2 mm 11 pairs of legs in adults Branched antennae	20
Symphylans	Long segmented antennae Abdominal cerci	10
Chilopods	Forcipules Segmented body with a pair of legs (> 15)	> 5mm Well-developed legs → 10 < 5mm Geophilomorphs (Fig. 2) → 20
Praturans	No antennae 3 pairs of legs, the first ones held up, pointing forward	20
Diplurans	Eyes-less, Long antennae Cerci (filamentous or pincer-like)	20
Springtails	Furca 3 pair of legs	> 2 mm Complex pigmentation Well-developed appendages → 1 Pigmentation Well-developed appendages Well-developed visual apparatus → 2 Small size Modest pigmentation Average length of appendages → 4 Developed visual apparatus Not elongated appendages Pigmentation → 6 Scarcely developed appendages Short or absent furca Pigmentation → 8 Absence of pigmentation Reduced dimension Furca present but reduced → 10 No pigmentation No furca Short appendages → 20

Taxa	Main characteristics	EMI
Mycrrocaryphia	Elongated body Long tail-like structures	10
Zygentoma	Silvery glitter scales 2 lateral filaments as cerci	10
Dermaptera	Forceps-like pincers as cerci	1
Orthoptera	Elongated hind legs for jumping	1 Mole cricket juveniles → 20
Embioptera	Elongated body Wings in male	10
Isoptera	Short abdominal cerci	10
Blattaria	Flattened body	5
Psocoptera	Long antennae Wings or wing-less	1
Hemiptera	Stylet mouthpart	Epigeous or root-feeders → 1 Cicada larvae → 10
Tysanoptera	Rectangular head Fringed wings	1
Coleoptera	Elytra	Epigeic forms → 1 5 10 15 < 2 mm Slight pigmentation Eye-less Wings-less → 20
<p>4 parameters have to be considered: - Dimension (< 2 mm) - Pigmentation (tan-brown colour) - Reduced or absence of eyes - Reduced or absence of wings For each parameter, if present, 5 points are attributed and their sum is the EMI value.</p>		
Hymenoptera	Narrow waists	Ants → 1 5
Diptera	Halteres (balancing organs)	1
Larvae	Coleoptera (Fig. 3) Sclerified head 3 pairs of legs	10
	Diptera Small or absent head No legs	10
	Hymenoptera Battles hape Sometimes prolegs	10
	Lepidoptera 3 pairs of small legs Prolegs with grasping spines	10
Other holometabolos	Mecoptera, Neuroptera, Raphidioptera	1

Nota: Menta et al. (2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CAMPOS DE ENSAIO

Este trabalho desenvolveu-se em dois campos hortícolas, um na zona Oeste – Emergosol – e outro no litoral alentejano – Campotec.

Na **Tabela 1** está indicada a localização dos campos e nas **Figuras 2 e 3** estão indicadas as modalidades em estudo.

Tabela 1

Identificação dos Campos de Ensaio

Emergosol	Campotec
São Pedro da Cadeira, Torres Vedras	Brejão, Odemira
39.062916, -9.371857	37.490639, -8.780333

Figura 2

Vista Aérea do Campo de Ensaio da Emergosol com Indicação das Modalidades Testemunha (TE) e Consociação (CO)

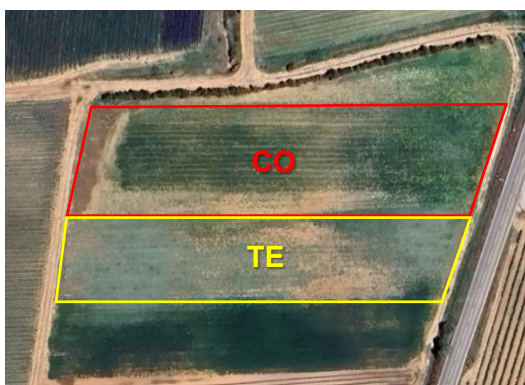


Figura 3

Vista Aérea do Campo de Ensaio da Campotec com Indicação das Modalidades Testemunha (TE) e Consociação (CO)



Em ambos os campos existe uma modalidade testemunha, onde o agricultor manteve as suas práticas agrícolas habituais, e uma modalidade de consociação, onde foi instalada uma cultura de cobertura que consiste numa mistura biodiversa de gramíneas e leguminosas.

3.1.1. CAMPO DA EMERGOSOL

A cultura principal deste campo foi o Bimi, um híbrido pertencente à família das brássicas, que foi instalada a 6 de maio de 2025 em ambas as modalidades. Antes dessa data na modalidade de consociação esteve instalada a cultura de cobertura com mistura de

gramíneas e leguminosas e na modalidade testemunha o agricultor manteve a sua prática habitual, que neste caso foi deixar o solo com a vegetação espontânea.

Na **Tabela 2** estão indicadas as datas em que foram feitas as colheitas de amostras de solo e qual a ocupação cultural em cada modalidade.

Tabela 2

Ocupação Cultural das Modalidades da Emergosol nas Datas de Amostragem de Solo

Data	Dias após a plantação	Ocupação cultural das modalidades	
		Modalidade Testemunha	Modalidade Consociação
19/02/2025	-	Prática habitual do agricultor	Cultura de cobertura
12/06/2025	37 dias	Cultura principal	Cultura principal
01/07/2025	56 dias	Cultura principal	Cultura principal

As **Figuras 4 a 9** mostram a ocupação cultural presente em cada modalidade na Emergosol por data de amostragem de solo.

Figura 4

Modalidade Testemunha da Emergosol a 19/02/2025



Figura 5

Modalidade Consociação da Emergosol a 19/02/2025



Figura 6

Modalidade Testemunha da Emergosol a 12/06/2025



Figura 7

Modalidade Consociação da Emergosol a 12/06/2025



Figura 8

*Modalidade Testemunha da Emergosol a
01/07/2025*



Figura 9

*Modalidade Consociação da Emergosol
a 01/07/2025*



3.1.2. CAMPO DA CAMPOTEC

Na Campotec a cultura principal foi a alface, também instalada a 6 de maio de 2025 em ambas as modalidades. Antes dessa data na modalidade de consociação esteve instalada a cultura de cobertura com mistura de gramíneas e leguminosas e na modalidade testemunha o agricultor manteve a sua prática habitual, que neste caso foi a sementeira de mostarda.

Na **Tabela 3** estão indicadas as datas em que foram feitas as colheitas de amostras de solo e qual a ocupação cultural em cada modalidade.

Tabela 3

Ocupação Cultural das Modalidades da Campotec nas Datas de Amostragem de Solo

Data	Dias após a plantação	Ocupação Cultural das Modalidades	
		Modalidade Testemunha	Modalidade Consociação
07/02/2025	-	Prática habitual do agricultor	Cultura de cobertura
22/05/2025	16 dias	Cultura principal	Cultura principal

Não foi possível realizar três amostragens como previsto devido a condicionantes relativas à gestão da cultura.

As **Figuras 10 a 13** ilustram a ocupação cultural de cada modalidade em cada data de amostragem.

Figura 10

Modalidade Testemunha da Campotec a 07/02/2025



Figura 11

Modalidade Consociação da Campotec a 07/02/2025



Figura 12

Modalidade Testemunha da Campotec a 22/05/2025



Figura 13

Modalidade consociação da Campotec a 22/05/2025



3.2. TÉCNICA DE AMOSTRAGEM

Foram utilizados dois métodos de amostragem de solo com vista à sua comparação: amostragem com pá e amostragem com sonda.

De acordo com Menta et al. (2018), as colheitas devem ser feitas de manhã para evitar os períodos de maior calor o que foi seguido criteriosamente em ambos os campos

As colheitas em cada modalidade (testemunha e consociação) de cada campo foram realizadas em 3 subamostras distanciadas 5-10 metros entre si e a pelo menos 10 metros dos limites de cada modalidade, de acordo com a metodologia definida por Menta et al. (2018).

Figura 14

Vista Aérea do Campo de Ensaio da Emergosol com Indicação das Subamostras



Figura 15

Vista Aérea do Campo de Ensaio da Campotec com Indicação das Subamostras



3.2.1. AMOSTRAGEM COM PÁ

Em cada modalidade e cada campo foram recolhidas 3 amostras de solo de 20 cm x 20 cm x 20 cm com recurso a uma pá que foram colocadas em sacos de plástico transparente, identificadas e posteriormente transportadas para laboratório para serem analisadas separadamente, conforme **Figuras 16 e 17**.

Figura 16

Amostragem com Pá



Figura 17

Amostra Colocada em Saco para Transporte



3.2.2. AMOSTRAGEM COM SONDA

A recolha das amostras foi feita com recurso a uma sonda de 20 cm de diâmetro e até 20 cm de profundidade, conforme **Figuras 18 a 20**.

Figura 18

Sonda



Figura 19

Amostragem com Sonda a 20 cm de Profundidade



Figura 20

Amostra de Solo



Em cada campo, as 3 subamostras de cada modalidade foram colocadas no mesmo saco de plástico para serem transportadas para o laboratório e analisadas conjuntamente como uma única amostra.

3.3. EXTRAÇÃO DE MICROARTRÓPODES

No próprio dia da colheita as amostras foram colocadas num extrator do tipo *Berlese-Tüllgren*, como ilustrado na **Figura 21**.

Figura 21

Extrator do tipo Berlese-Tüllgren



Este extrator é composto por lâmpadas incandescentes de 40W, colocadas a uma altura de 30 cm sobre as amostras de solo, que se encontram em crivos com malha de 2mm em funis de plástico que direcionam o material para recipientes de vidro com uma lâmina de líquido fixador (2/3 etanol a 75% e 1/3 glicerol).

O calor gerado pela lâmpada vai secar o solo nos crivos e criar um ambiente inóspito para a fauna, o que leva à migração dos microartrópodes para as camadas mais profundas do solo para o recipiente sob o funil (Menta et al., 2018).

A duração deste processo depende da humidade do solo, tendo a extração decorrido durante 7 dias consecutivos para todas as amostras.

3.4. IDENTIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE MICROARTRÓPODES E ATRIBUIÇÃO DO EMI (ÍNDICE ECO-MORFOLÓGICO)

Os indivíduos extraídos foram colocados em placas de Petri e foram observados e fotografados com o auxílio de um microscópio estereoscópico “Nikon SMZ800N”, apresentado na Figura 22.

Figura 22

*Microscópio
Estereoscópico
“Nikon SMZ800N”*



A cada indivíduo de cada subamostra e amostra foi atribuído um valor EMI (índice eco-morfológico) de acordo com a sua ordem/classe, valores esses que variam entre 1 (não adaptação ao solo) e 20 (máxima adaptação ao solo), conforme as tabelas adaptadas por Duarte (2025) **Tabelas 4 e 5 e Figuras 23 e 24.**

Tabela 4

Tabela de Atribuição de Índices EMI para a Classe Collembola

	Tamanho	Pigmentação	Apêndices	Aparelho visual	Fúrcula	EMI
Epígeos	Largo (>2mm)	Complexa	Bem desenvolvidos	Bem desenvolvido	-	1
	Médio	Presente	Médios	Desenvolvido		2
	Pequeno	Modesta				4
Hemi-Edáficos	-	Presente / Cuticular	Curtos	Desenvolvido	-	6
				Escasso	Curta ou ausente	8
Eu-Edáficos	Reduzido	Ausente	Curtos	Reduzido ou ausente	Reduzida	10
				Pseudo	Ausente	20

Nota: Duarte (2025).

Tabela 5

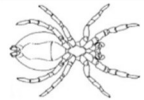
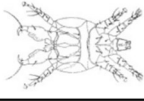
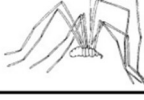
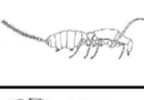
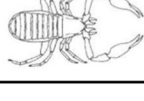
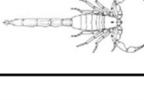
Tabela de Atribuição de Índices EMI para a Ordem Coleoptera

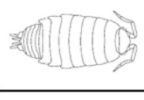
	Condição	EMI (aditivo)
Coleoptera	Presença	1
	<2mm	+4
	Integumento fino Coloração castanho-bronze	+5
	Redução ou ausência de asas membranosas	+5
	Redução ou ausência de estruturas visuais	+5


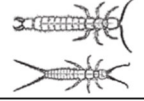
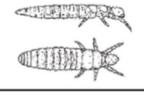
Nota: Duarte (2025).

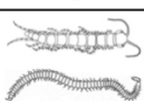
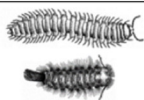
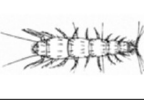
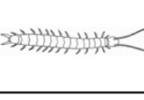
Figura 23

Tabela de Classificação QBS-ar (i) para as Classes: Arachnida, Crustacea, Myriapoda e Grupo Entognatha

Classe Arachnida Crédito das imagens: (Gibb & Oseto, 2019).			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Araneae		<ul style="list-style-type: none"> • 8 patas. • Quelíceras. 	<ul style="list-style-type: none"> • > 5mm: 1 • < 5mm; pigmentação escassa: 5
Acari		• 8 patas (adultos).	20
Opiliones		<ul style="list-style-type: none"> • Olhos. • Abdómen Segmentado. 	10
Palpigradi		• Abdómen Segmentado com flagelo comprido.	20
Pseudo-scorpiones		• Pinças semelhantes a escorpiões.	20
Scorpiones		• Pinças e cauda com ferrão venenoso.	10

Classe Crustacea Crédito das imagens: Shultz, (2018)			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Isopoda		• 7 pares de patas.	10

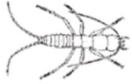
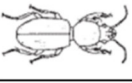
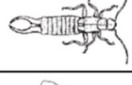










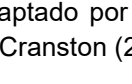
Grupo Entognatha Crédito das imagens: (Gullan & Cranston, 2014).			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Collembola		• Furca.	1 - 20 (Consultar Quadro x)
Diplura		<ul style="list-style-type: none"> • Sem olhos. • Antenas longas. • Cerci. 	20
Protura		<ul style="list-style-type: none"> • Sem antenas. • 1º par de patas aponta para a frente. 	20





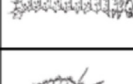

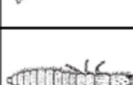
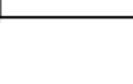
Classe Myriapoda Crédito das imagens: Minelli & Golovatch, (2013)			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Chilopoda		<ul style="list-style-type: none"> • Forceps. • Segmentos com 1 par de patas. 	<ul style="list-style-type: none"> • > 5mm: 10 patas desenvolvidas. • < 5mm : 20 Geofilomorfos.
Diplopoda		• 2 pares de patas juntas ventralmente.	<ul style="list-style-type: none"> • > 5mm: 10 • < 5mm: 20 Polixenida
Paupopoda		<ul style="list-style-type: none"> • < 2 mm. • 11 pares de patas. • Antenas ramificadas. 	20
Symphyla		<ul style="list-style-type: none"> • Antenas longas e segmentadas. • Cerci. 	20

Nota: Adaptado por Duarte (2025) de Parisi et al. (2005), Minelli & Golovatch (2013), Gullan & Cranston (2014), Menta et al. (2017), Gibb & Oseto (2019).

Figura 24

Tabela de Classificação QBS-ar (ii) para as Classes Insecta e Larvas Holometábolos

Classe Insecta Crédito das imagens: (Gullan & Cranston, 2014).			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Blattaria		• Corpo achatado.	10
Coleoptera		• Élitros.	1 - 20
Dermaptera		• Cerci tipo forceps.	1
Diptera		• Halteres.	1
Embioptera		• Corpo alongado.	10
Hemiptera		• Estilete.	1
Hymenoptera		• Cintura fina	• Regular: 1 • Formigas: 5
Mycrocoryphia (Archaeognatha)		• Corpo alongado. • Estruturas terminais.	10
Isoptera		• Cerci curto.	10
Orthoptera		• Patas traseiras longas.	• Regular: 1 • Juvenis Grillidae: 20
Psocoptera		• Antenas longas.	1
Thysanoptera		• Cabeça retangular. • Asas franjadas.	1
Zygentoma		• Escamas prateadas. • 2 filamentos laterais como cerci.	10
Outros holometábolos		• Neuroptera • Mecoptera • Raphidioptera	1

Larvas Crédito das imagens: Gullan & Cranston, (2014).			
Taxa	Imagem	Características	EMI
Larvae Coleoptera		• Cabeça esclerificada. • 3 pares de patas torácicas.	10
Larvae Diptera		• Cabeça pequena ou ausente.	10
Larvae Lepidoptera		• Pseudópodes a partir do 3º segmento abdominal.	10
Larvae Hymenoptera		• Pseudópodes a partir do 2º segmento abdominal. • ou ápodas.	10
Larvae Mecoptera		• Pseudópodes a partir do 1º segmento abdominal.	10
Larvae Neuroptera			10
Larvae Siphonaptera			10
Larvae Raphidioptera			10

Nota: Adaptado por Duarte (2025) de Foia et al. (2004), Parisi et al. (2005), Gullan e Cranston (2014), Menta et al. (2017).

3.5. CÁLCULO DO ÍNDICE QBS-ar

As amostras foram analisadas por data e por modalidade de forma independente para cada campo.

No caso da amostragem por pá, para cada modalidade (testemunha e consociação) existiram três subamostras de solo (repetições – “CO1”, “CO2” e “CO3” nas modalidades de consociação e “T1”, “T2” e “T3” nas de testemunha) observadas.

Em cada uma dessas subamostras foram observados e identificados os grupos dos indivíduos presentes e atribuído o valor de EMI correspondente a cada, sendo depois atribuído a cada táxon apenas o valor mais alto do índice encontrado (“CO_pá”).

Das três subamostras de cada modalidade resulta apenas um único valor de QBS-ar final, calculado pela soma dos valores máximos de EMI de cada grupo taxonómico, conforme

Tabela 6.

Tabela 6

Cálculo do QBS-ar a Partir das Amostras 37 Dias Após a Plantação no Campo Emergosol

	12/06/2025											
	CO1	CO2	CO3	CO_pá		T1	T2	T3	T_pá		CO_sonda	T_sonda
Acari	20	20	20	20		20	20	20	20		20	20
Collembola	20	20	10	20		10	10	20	20		20	20
Diptera		1	1	1			1		1		1	
Coleoptera			1	1		1	1		1			
Thysanoptera												
Hemiptera											1	
Symphyla												
Hymenoptera (Formicidae)												
Araneae												
Larvae - Coleoptera	10	10	10	10		10	10		10		10	10
Larvae - Diptera							10		10			
QBS-ar	50	51	42	52		41	52	40	62		52	50

No caso da amostragem por sonda, as três subamostras foram analisadas como uma única amostra (“CO_sonda” e “T_sonda”), sendo o cálculo do índice a soma direta.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram tratados estatisticamente através de testes não paramétricos (Mann-Whitney) para amostras independentes recorrendo ao software “R[®]”, versão 4.3.1, com o objetivo de comparar os métodos de amostragem e as modalidades.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EMERGOSOL

Na **Tabela 7** apresentam-se os resultados dos índices EMI e QBS-ar para o campo Emergosol por data de amostragem, por modalidade e por método de amostragem.

Tabela 7

Grupos de Microartrópodes, Valores de EMI Atribuídos e Índice QBS-ar Final por Data de Amostragem, Modalidade e Método de Amostragem no Campo Emergosol

	19/02/2025				12/06/2025				01/07/2025			
	CO_pá	T_pá	CO_sonda	T_sonda	CO_pá	T_pá	CO_sonda	T_sonda	CO_pá	T_pá	CO_sonda	T_sonda
Acari	20	20			20	20	20	20	20	20	20	20
Collembola	10	10	20	10	20	20	20	20	20	10	10	10
Diptera	1	1		1	1	1	1			1		
Coleoptera		1			1	1			1	1	1	1
Thysanoptera	1								1			
Hemiptera							1					
Symphyla											20	
Hymenoptera (Formicidae)												5
Araneae									5	5		
Larvae - Coleoptera		10			10	10	10	10	10	10	10	
Larvae - Diptera						10			10			
QBS-ar	32	42	20	11	52	62	52	50	67	47	61	36

Na primeira amostragem, a comparação é entre uma cultura de cobertura semeada (consociação) e a vegetação espontânea (testemunha).

Nas amostragens seguintes, ambas as modalidades se encontravam com a cultura principal instalada, Bimis, neste caso, pelo que a comparação passa a refletir eventuais efeitos residuais da cultura de cobertura anterior, em diferentes fases do desenvolvimento da cultura principal.

Nas amostras recolhidas por pá, nas duas primeiras datas a modalidade testemunha apresenta maiores índices QBS-ar do que a modalidade de consociação.

Apenas nas amostras colhidas a 01/07/2025, 57 dias após a plantação, os índices de qualidade biológica do solo da modalidade de consociação são superiores aos da testemunha.

O mesmo não acontece com as amostras recolhidas por sonda, em que em todas as datas de amostragem os índices tiveram valores superiores na modalidade consociação; semelhante ao obtido por Duarte (2025), no mesmo campo de ensaio, durante a campanha de 2024.

Observando os diagramas de caixa nas **Figuras 25 e 26**, verifica-se que os valores máximos e medianas dos índices QBS-ar mais elevados são obtidos nas modalidades de consociação em ambos os métodos de amostragem, corroborando as conclusões de

Fareleira et al. (2022), que as culturas de cobertura podem potenciar a atividade biológica do solo.

Figura 25

Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Pá em Cada Modalidade do Campo Emergosol

Diagrama de Caixa (QBS-ar) por parcela na amostragem com pá

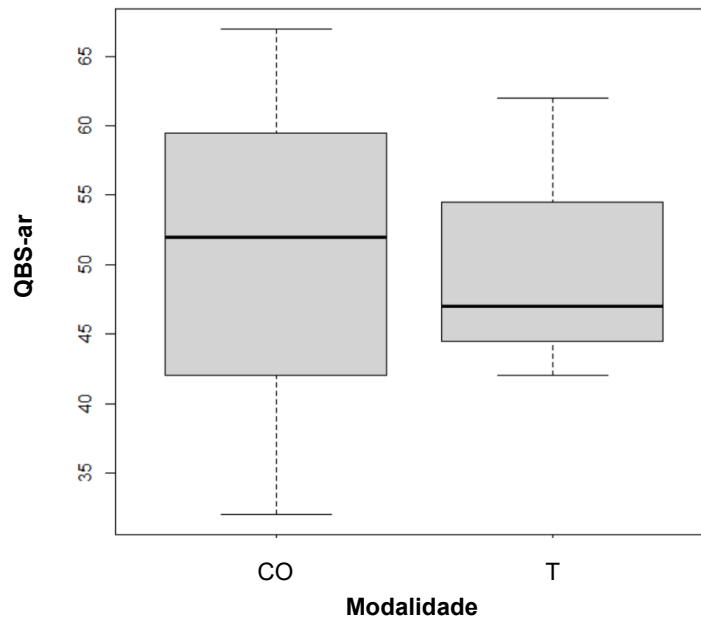
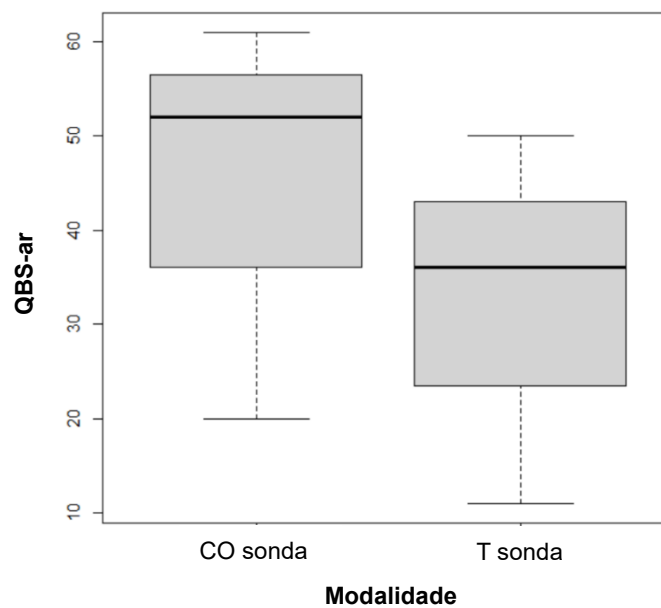


Figura 26

Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Sonda em Cada Modalidade do Campo Emergosol

Diagrama de Caixa (QBS-ar) por parcela na amostragem



No entanto, a análise estatística não indica diferenças significativas entre os índices das duas modalidades, testemunha e consociação; potencialmente devido ao baixo número de amostragens efetuadas, que limita a sua robustez.

Nos testes não paramétricos efetuados aos índices QBS-ar entre as duas modalidades, obteve-se um p-value de 1 no caso da amostragem com pá e um p-value de 0.4 na amostragem com sonda (**Figura A1**).

Observando os Diagramas de caixa nas **Figuras 27 e 28**, verifica-se que os valores máximos dos índices QBS-ar mais elevados tanto da modalidade de consociação como testemunha são obtidos na amostragem com pá.

Figura 27

Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Pá na Modalidade Consociação do Campo Emergosol

Diagrama de Caixa (QBS-ar) por tipo de amostragem na modalidade

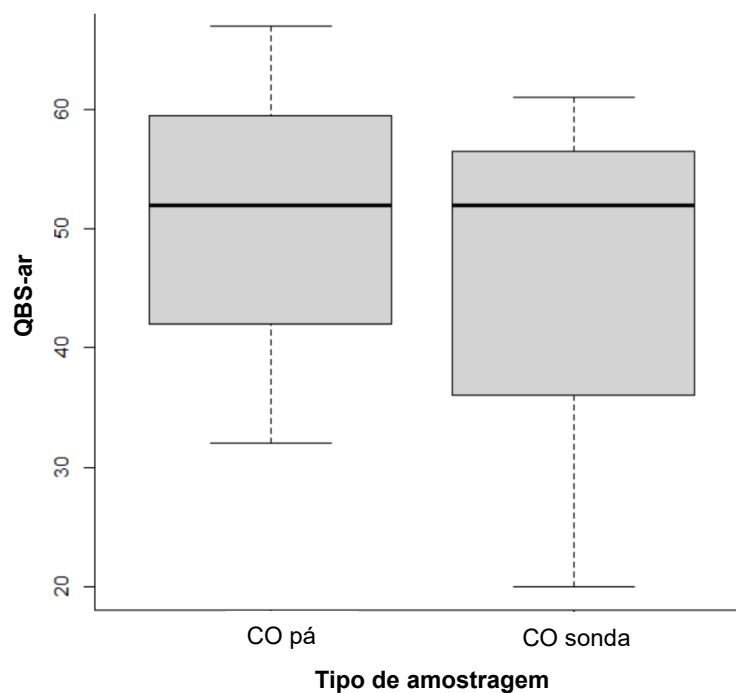
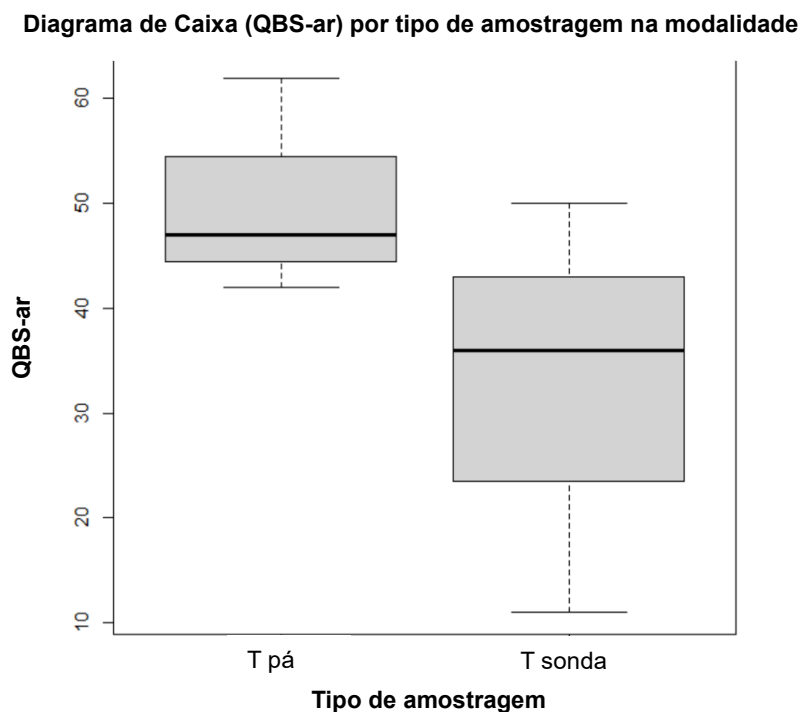


Figura 28

Diagrama de Caixa com Representação dos Valores Máximos e Mínimos, Primeiros e Terceiros Quartis e Medianas dos Índices QBS-ar Obtidos pelo Método de Amostragem da Sonda na Modalidade Testemunha do Campo Emergosol



De forma semelhante, a análise estatística não indica diferenças significativas entre os índices das duas modalidades, testemunha e consociação; reforçando que o baixo número de amostragens pode não ser suficiente para aferir acerca da metodologia de amostragem mais indicada.

Nos testes não paramétricos efetuados aos índices QBS-ar entre as duas metodologias de amostragem obteve-se um p-value de 0.8 na modalidade de consociação e um p-value de 0.4 na modalidade testemunha (**Figura A2**).

4.2. CAMPOTEC

Na **Tabela 8** apresentam-se os resultados dos índices EMI e QBS-ar para o campo Campotec por data de amostragem, por modalidade e por método de amostragem.

Na primeira amostragem, a comparação é entre uma cultura de cobertura semeada (consociação) e a mostarda (testemunha).

Nas amostragens seguintes, ambas as modalidades se encontravam com a cultura principal instalada, alface, neste caso, pelo que a comparação passa a refletir eventuais

efeitos residuais da cultura de cobertura anterior, em diferentes fases do desenvolvimento da cultura principal.

Tabela 8

Grupos de Microartrópodes, Valores de EMI Atribuídos e Índice QBS-ar Final por Data de Amostragem, Modalidade e Método de Amostragem no Campo Campotec

	07/02/2025		22/05/2025			
	CO_pá	T_pá	CO_pá	T_pá	CO_sonda	T_sonda
Acari	20	20			20	
Collembola	10	20	20	8	20	8
Diptera		1				1
Coleoptera			1			
Larvae - Coleoptera			10			
QBS-ar	30	41	31	8	40	9

Na primeira data de amostragem, a modalidade de consociação apresenta um valor de índice QBS-ar inferior ao da modalidade testemunha. Já na segunda data, 16 dias após a plantação, em que foi possível realizar os dois métodos de amostragem, em ambas a consociação tem índices mais elevados que a testemunha; também em acordo com os resultados apresentados por Duarte (2025) nas campanhas de 2023 e 2024 do mesmo campo.

Na segunda data de amostragem é também onde se verifica uma maior diferença entre os índices das duas modalidades, apresentando a testemunha valores mais baixos que na primeira data. Duarte (2025) refere a possível perturbação na ecologia dos organismos mediante a aplicação de herbicidas, que poderá ter ocorrido nesta modalidade.

Devido ao baixo número de amostras, apenas foi possível realizar análise estatística para a amostragem com pá, não existindo diferenças significativas entre os valores dos índices QBS-ar entre as duas modalidades testemunha e consociação (p-value = 1; **Figura A3**).

5. CONCLUSÕES

Para garantir as funcionalidades do solo no futuro tem de ser possível avaliar e monitorizar o seu estado atual, o que é conseguido através de indicadores. O índice QBS-ar é uma dessas ferramentas que permite avaliar a qualidade biológica do solo através da análise dos microartrópodes do solo que atuam como agentes suscetíveis à degradação do meio.

Neste trabalho os microartrópodes revelaram-se sensíveis às diferentes práticas culturais, nomeadamente a aplicação de culturas de cobertura em sistemas hortícolas, tendo as modalidades de consociação apresentado valores mais elevados do índice face às modalidades testemunha onde o agricultor manteve as suas práticas habituais.

Os resultados sugerem ainda que há sensibilidade desta metodologia aos impactos negativos de outras operações culturais, reforçando o seu papel como boa ferramenta de análise.

Relativamente às metodologias de amostragem, a pá demonstrou índices mais elevados face à sonda, no entanto serão necessários estudos futuros para estabelecer tendências concretas.

O baixo número de amostragens realizado não permite uma análise estatística muito robusta, pelo que no futuro será necessário aumentar o número de repetições em cada modalidade para aferir melhor tanto acerca do aparente impacto das culturas de cobertura na qualidade do solo como qual o melhor método de amostragem a adotar.

A relativa simplicidade na aplicação deste método, apesar da complexidade intrínseca dos bioindicadores, torna-o bastante interessante para analisar diversas variáveis no meio agrícola, que por si só já apresenta bastantes condicionantes que não são facilmente controláveis.

A robustez das conclusões ficou limitada pelo número reduzido de amostragens, sendo recomendada a realização de mais repetições para consolidar os resultados.

Ambos os campos apresentam solos de baixa qualidade, uma vez que os valores de QBS-ar obtidos são inferiores a 93,7.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aspetti, G., Boccelli, R., Ampollini, D., Re, A. & Capri, E. (2010). Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in Northern Italy. *Ecological Indicators*, 10, 129-135. 10.1016/j.ecolind.2009.03.012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.03.012>.
- Dabney, S. M., Delgado, J. A. & Reeves, D. W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7),1221-1250. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-100104110>.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6).
- Duarte, M. (2025). Avaliação da qualidade biológica do solo em sistemas agroalimentares em Portugal - Metodologia QBS-ar. Dissertação de mestrado, Escola Superior Agrária de Santarém - Instituto Politécnico de Santarém.
- European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, Veerman, C., Pinto Correia, T., Bastioli, C., Biro, B. et al. (2020). *Caring for soil is caring for life – Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate – Report of the Mission board for Soil health and food*. Luxemburgo, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>.
- European Commission, Directorate-General for Environment. (2021). *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions - EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate*. Publications Office.
- FAO [et al.] *State of knowledge of soil biodiversity - status, challenges and potentialities. Report 2020*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- Fareleira, P., Castro, I. V., Soares, R., Matos, S., Almeida, L., Barradas, A. & Nunes, A. P. (2022). Cover crops for the improvement of soil microbiological properties in intensive horticultural production systems. *Revista de Ciências Agrárias*, 45(4), 482-486. <https://doi.org/10.19084/rca.28573>.
- Galli, L., Capurro, M., Menta, C. & Rellini, I. (2014). Is the QBS-ar index a good tool to detect the soil quality in Mediterranean areas? A cork tree *Quercus suber* L. (Fagaceae) wood as a case of study, *Italian Journal of Zoology*, 81(1), 126-135. <https://doi.org/10.1080/11250003.2013.875601>

Gagnarli, E.; Goggioli, D.; Tarchi, F.; Guidi, S.; Nannelli, R.; Vignozzi, N.; Valboa, G.; Lottero, M. R.; Corino, L. & Simoni, S. (2015). Case study of microarthropod communities to assess soil quality in different managed vineyards. *Soil*, 1, 527-536. <https://doi.org/10.5194/soil-1-527-2015>, 2015.

Gruss, I., Twardowski, J., Nebeská, D., Trögl, J., Stefanovska, T., Pidlisnyuk, V. & Machová, I. (2021). Microarthropods and vegetation as biological indicators of soil quality studied in the poor sandy stand at former military sites. *Land Degradation & Development*, 33(2), 358-367. <https://doi.org/10.1002/ldr.4157>.

Mantoni, C., Pellegrini, M., Dapporto, L., Del Gallo, M.M., Pace, L., Silveri, D. & Fattorini, S. (2021). Comparison of soil biology quality in organically and conventionally managed agroecosystems using microarthropods. *Agriculture*, 11, 1022. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101022>.

Mazzoncini, M.; Canali, S.; Giovannetti, M.; Castagnoli, M.; Tittarelli, F.; Antichi, D.; Nannelli, R.; Cristiani, C.; & Bàrberi, P. (2010). Comparison of organic and conventional stockless arable systems: a multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.001>.

Menta, C., Bonati, B., Staffilani, F. & Conti, F.D. (2017) Agriculture management and soil fauna monitoring: the case of Emilia-Romagna region (Italy). *Agri Res & Tech: Open Access J.*, 4(5): 555649. DOI:10.19080/ARTOAJ.2017.04.555649

Menta, C., Conti, F. D., & Pinto, S. (2017). Microarthropods biodiversity in natural, seminatural and cultivated soils—QBS-ar approach. *Applied Soil Ecology*, 123, 740–743. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2017.05.020>

Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., & Bodini, A. (2018). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, 85, 773–780. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.11.030>

Menta, C., Leoni, A., Tarasconi, K., & Affanni, P. (2010). Does compost use affect microarthropod soil communities? *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(10A), 2303–2311. <https://air.unipr.it/handle/11381/2330403>

Menta, C., & Remelli, S. (2020). Soil Health and Arthropods: From Complex System to Worthwhile Investigation. *Insects*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/INSECTS11010054>.

Menta, C., Tagliapietra, A., Caoduro, G., Zanetti, A., & Pinto, S. (2015). Ibs-Bf and Qbs-Ar comparison: Two quantitative indices based on soil fauna community. *EC Agriculture*, 2(5), 427–439. https://www.academia.edu/download/61244364/IBS-QBS_E_Cronicon20191117-3711-1u2ngjj.pdf

Ntsomboh-Ntsefong, G., Mbi. K.T. & Seyum, E.G. (2024) Advancements in soil science for sustainable agriculture: a blend of conventional and emerging knowledge and innovations. *Academia Biology*, 2. <https://doi.org/10.20935/AcadBiol6264>

Parisi, V. (2001). The biological soil quality, a method based on microarthropods. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense* 37, 97–106.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., & Jacomini, C. (2003). Evaluation of soil quality and biodiversity in Italy: the biological quality of soil index (QBS) approach. *Proceedings: "OECD" Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators*.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2), 323–333. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2004.02.002>

Parlamento Europeu e Conselho (2025). DIRETIVA (UE) 2025/2360 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 12 de novembro de 2025 relativa à monitorização e resiliência do solo (Diretiva Monitorização do Solo). *Jornal Oficial da União Europeia*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2025/2360/oj>.

Regione Emilia-Romagna. (2018). Qualità biológica dei suoli emiliano-romagnoli. *Rapporti tecnici del servizio geológico sismico e dei suoli*.

Rizk, M. A.; Mikhail, W. Z. A.; Ghallab, M. M.; Zaki, A. Y.; Habashi, N. H. & Iskander, A. K. F., (2017). A review article: the effect of agricultural practices on the abundance and biodiversity of soil fauna. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 10(7), 357–376.

Tabaglio, V., Gavazzi, C., & Menta, C. (2009). Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2009.06.006>.

ANEXOS

ANEXO A

Resultados dos testes não paramétricos Mann-Whitney realizados em
R

Figura A1

Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizados em R com os Índices QBS-ar das modalidades Consociação (CO) e Testemunha (T) da Amostragem com Pá (Cima) e com Sonda (Baixo)

```
> #EMERGOSOL#
> #AMOSTRAGEM COM PÁ#
> #CO VS T#
> wilcox.test(CO,T)

Wilcoxon rank sum exact test

data: CO and T
W = 5, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

> #EMERGOSOL#
> #AMOSTRAGEM COM SONDA#
> #COsonda VS Tsonda#
> wilcox.test(COsonda,Tsonda)

Wilcoxon rank sum exact test

data: COsonda and Tsonda
W = 7, p-value = 0.4
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Figura A4

Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizados em R com os Índices QBS-ar Obtidos pelos Dois Métodos de Amostragem na Modalidade Consociação (Cima) e Testemunha (Baixo)

```
> #EMERGOSOL#
> #COMPARACAO METODOS AMOSTRAGEM#
> #CO VS COsonda#
> wilcox.test(CO,COsonda)

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: CO and COsonda
W = 5.5, p-value = 0.8248
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

> #EMERGOSOL#
> #COMPARACAO METODOS AMOSTRAGEM#
> #T VS Tsonda#
> wilcox.test(T,Tsonda)

Wilcoxon rank sum exact test

data: T and Tsonda
W = 7, p-value = 0.4
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Figura A7

Testes Não Paramétricos Mann-Whitney Realizado em R com os Índices QBS-ar das Modalidades Consociação (CO) e Testemunha (T) da Amostragem com Pá.

```
> #CAMPOTEC#
> CO<-c(30,31)
> T<-c(41,8)
> boxplot(CO,T)
> wilcox.test(CO,T)

Wilcoxon rank sum exact test

data: CO and T
W = 2, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```