

SOLVO

Soluções baseadas em cobertura
do solo com mulch e biochar para
reverter processos de desertificação
nos olivais do Mediterrâneo



UNIVERSIDADE DE ÉVORA





Lista de autores

João Nuno Gomes Vicente Canedo, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Rui Pedro Novado, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Sergio Prats Alegre (coordenador), MBG-CSIC - Misión Biológica de Galicia – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC), 36143 Salcedo, Pontevedra, Espanha | MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Lista de contribuidores

Luísa Isabel Guerreiro David Coelho, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Mariana Custódio, Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Instituto Politécnico de Beja, 7801-295, Portugal; CREATE, Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia do Sistema Terra e Energia, Instituto Politécnico de Beja, Portugal

María Rivera Méndez, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Patrícia Palma, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora.

Revisão científica: José Muñoz Rojas, MED - Instituto Mediterrâneo de Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento e CHANGE – Instituto de Mudança Global e Sustentabilidade, Universidade de Évora; DPAO - Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora.

Editores: Sergio Prats Alegre, João Nuno Gomes Vicente Canedo

Layout e Design: Vicente Carvalho de Sá

Parceiros



Financiamento



Endereço



Universidade de Évora, Largo dos Colegiais, 2 7004-516 Évora

Citação recomendada deste livrete

Canedo, J.N.G.V.C, Novado, R., Prats, S. 2026. Soluções baseadas em cobertura de solo com mulch e biochar para reverter processos de desertificação nos olivais do Mediterrâneo. Projeto SOLVO. S. Prats, J. Canedo (Eds.), Universidade de Évora. ISBN: 978-972-778-557-5. DOI:

[10.5281/zenodo.22301095](https://doi.org/10.5281/zenodo.22301095)

AGRADECIMENTOS

A equipa do SOLVO agradece o financiamento recebido pela Fundação para a Ciência e para Tecnologia (FCT), ao SOLVO (Ref.^a 2022.06004.PTDC (<https://doi.org/10.54499/2022.06004.PTDC2022.06004.PTDCM>; <https://www.solvo.uevora.pt>), à Unidade MED - Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development (<https://doi.org/10.54499/UIDB/05183/2020>), ao projeto com a referência 2025.00523.BD e com o identificador DOI <https://doi.org/10.54499/2025.00523.BD>, e ao contrato CEEC (CEECIND/01473/2020). Igualmente, agradecemos ao Ministério da Ciência, Inovação e Universidades da Espanha, através do contrato de investigação RYC2022-035489-I. O Projeto SOLVO resultou de uma parceria entre a Universidade de Évora, a Universidade de Aveiro e o Instituto Politécnico de Beja. Agradecemos aos parceiros não financiados: Universidade Estadual do Amapá (Brasil), Universidade de Wageningen (Países Baixos), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC) e Herdades de Mouchão e Vale Formoso. Merece especial destaque Pedro Ostos, de Vale Formoso, pelo profundo envolvimento neste projeto, que permitiu aliar a experiência prática ao conhecimento académico. Agradece-se também o envolvimento de Carolina Sardinha e Iain C. Reynolds Richardson, da Herdade de Mouchão, e aos consultores do projeto, João Pedro Nunes e José María de la Rosa, pela validação científica do projeto. Para além dos autores deste guia, é importante agradecer aos investigadores colaboradores: Flavio Silva, Luis Tarelho, Oscar González Pelayo, Catarina Bastos e Frank Verheijen (Universidade de Aveiro); Karrar Mahdi, Vera Silva, João Pedro Nunes (Universidade de Wageningen); Gottlieb Basch, Clarisse Brígido, Diogo Costa, Nuno Guiomar, Tiago Marques, Teresa Pinto-Correia, Celeste Silva, Luísa Coelho, Maria Rivera (Universidade de Évora); Adriana Catarino, Mariana Custódio, Nadine Semedo, Alexandra Tomaz e Patrícia Palma (Instituto Politécnico de Beja); Ana Zelia Miller e José María de la Rosa (Consejo Superior de Investigaciones Científicas IRNAS-CSIC). Agradecemos também a todos os estudantes de licenciatura, mestrado, doutoramento e pós-doutoramento que desenvolveram as suas teses e dissertações enquadradas pelo projeto SOLVO: João Canedo, Rui Novado e Joana Araújo (Universidade de Évora); Mariana Custódio (Universidade de Évora / Instituto Politécnico de Beja); Ana Rita Trindade (Universidade de Évora e Universidade do Algarve); Bart-Jan Hartgers, Tijs de Pagter, Lieke van der Horst, Ruben Heutink, Maaïke Bles e Lukas Keizer, da Universidade de Wageningen; Liviane Castro, Regiane Castillo Corrêa e Alessandro Silva Trindade, da Universidade Estadual do Amapá. Finalmente, desejamos agradecer às seguintes instituições pela disponibilidade de dados de acesso aberto: Sistema nacional de informação de recursos hídricos (SNIRH, <https://snirh.apambiente.pt/>); Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF, <https://icnf.pt/>); Direção-Geral do Território (DGT, <https://www.dgterritorio.gov.pt/>); Agência Portuguesa do Ambiente (APA, <https://apambiente.pt/>); European Soil Data Centre (ESDAC, <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/datasets>).

RESUMO

O projeto SOLVO teve como objetivo desenvolver e validar soluções baseadas na natureza para a recuperação de solos degradados em olivais mediterrânicos, recorrendo à aplicação de *mulch* e *biochar* produzidos a partir de resíduos agrícolas e florestais.

Para esse efeito, foram caracterizados diferentes tipos de *biochar*, avaliando-se a sua adequação para utilização agrícola. Em laboratório (simulações de chuva), foram testadas diferentes combinações de *biochar* e *mulch*, assim como distintos modos de aplicação destes materiais, com vista à seleção das soluções com maior potencial para o restauro do solo. As soluções foram apresentadas em um workshop participativo, aberto, aos diversos atores sociais (gestores agrícolas e cientistas), os quais escolheram as medidas mais promissoras para avaliação em ensaios de campo realizados em olivais mediterrânicos. Em um olival integrado de regadio e um olival ecológico em sequeiro foram analisados os seus efeitos em vários serviços do ecossistema do solo: no controlo da erosão hídrica, no armazenamento de água, no aumento dos stocks de carbono orgânico, na melhoria da fertilidade e qualidade biológica do solo.

Os resultados mostram que a combinação de *mulch* e *biochar* constitui uma estratégia eficaz para reduzir as perdas de solo por erosão, aumentar a retenção hídrica e promover o armazenamento de carbono, contribuindo para reforçar a resiliência dos sistemas agrícolas mediterrânicos face às alterações climáticas. Verificou-se ainda que a origem da biomassa utilizada na produção de *biochar* influencia significativamente o seu desempenho e segurança ambiental. Complementarmente, o projeto integrou ferramentas de modelação eco-hidrológica e avaliação do processo participativo com stakeholders, promovendo a transferência de conhecimento e a adoção de práticas de gestão mais sustentáveis. Os resultados obtidos reforçam o potencial da valorização de resíduos agroflorestais no contexto da economia circular e da restauração dos solos mediterrânicos.



ABSTRACT

The SOLVO project aimed to develop and validate nature-based solutions for the recovery of degraded soils in Mediterranean olive groves, using *mulch* and biochar produced from agricultural and forestry residues.

To this end, different types of biochar were characterised and their suitability for agricultural use was assessed. In the laboratory (rainfall simulations), various combinations of biochar and mulch were tested, as well as different application methods, in order to select the solutions with the greatest potential for soil restoration. The solutions were presented at an open participatory workshop to various stakeholders (farm managers and scientists), who chose the most promising measures for evaluation in field trials conducted in Mediterranean olive groves. In an integrated irrigated olive grove and a rainfed ecological olive grove, their effects on several soil ecosystem services were analysed: water erosion control, water storage, increase in organic carbon stocks, improvement of soil fertility and biological quality.

The results show that the combination of mulch and biochar is an effective strategy for reducing soil loss through erosion, increasing water retention and promoting carbon storage, thereby helping to strengthen the resilience of Mediterranean agricultural systems to climate change. It was also found that the origin of the biomass used to produce the biochar significantly influences its performance and environmental safety. Additionally, the project integrated eco-hydrological modelling tools and an assessment of the participatory process with stakeholders, promoting knowledge transfer and the adoption of more sustainable management practices. The results reinforce the potential of valorising agroforestry residues within the circular economy and for the restoration of Mediterranean soils.

Conteúdo

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
LISTA DE FIGURAS	5
1. INFORMAÇÕES DO PROJETO	6
2. INTRODUÇÃO.....	6
3. OBJETIVOS DO PROJETO	7
4. TAREFAS	8
Tarefa 1 – Seleção de <i>tratamentos</i> para maximizar a capacidade de restauração	8
Tarefa 2 – Avaliação do controlo da erosão e armazenamento de água.....	10
Tarefa 3 – Avaliação dos stocks de carbono do solo.....	11
Tarefa 4 – Avaliação da fertilidade do solo e do habitat edáfico	13
Tarefa 5 – Modelação eco-hidrológica.....	14
Tarefa 6 – Demonstração, disseminação e formação	15
5. DISCUSSÃO INTEGRADA DOS RESULTADOS DO PROJETO.....	16
6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	21
7. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA.....	22
7.1. Artigos científicos	22
7.2. Teses	23
7.3. Artigos em revistas	24
7.4. Apresentações em conferências.....	24
7.5. Workshops	29
8. Bibliografia	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ensaios de germinação e crescimento em solos com diferentes concentrações de biochar, utilizando sementes de <i>Lactuca sativa</i> L.	8
Figura 2. Calibração da intensidade do simulador de chuva, utilizando copos graduados (acima), e preparação do talhão (abaixo).	10
Figura 3. Parcelas de erosão instaladas em MOU (em cima) e VFO (em baixo).	11
Figura 4. Fotografias de (a) armadilha de sedimentos com canal de Parshall modificado e sensor de pressão instalados e (b) armadilha em funcionamento durante um evento de precipitação.	11
Figura 5. Mufla com amostras de serrapilheira e solo.	12
Figura 6. Armazenamento de carbono depois da aplicação das medidas mulch e mulch-biochar (Novado et al., 2026).	12
Figura 7. Evolução temporal do teor em alguns nutrientes nas duas herdades MOU e VFO tratadas com mulch e mulch+biochar (Custódio et al., 2025).	14
Figura 8. Localização da bacia do Sorraia e a sub-bacia do Maranhão. A estrela mostra a área de estudo do olival de Mouchão (Hartgers- 2026).	14
Figura 9. Fotografia de um workshop de campo do projeto.	15
Figura 10. Resultados dos (a) ensaios de fitotoxicidade utilizando sementes de alface e (b) resultados de ecotoxicidade com crustáceos (extraído de Coelho et al. 2025).	16
Figura 11. Escoamento superficial (runoff), água de percolação (leachate) e retenção de água no solo (soil water storage) nos diferentes tratamentos testados em laboratório (extraído de Canedo et al. 2025).	17
Figura 12. Erosão intersulcos (a) e erosão splash (b) nos diferentes tratamentos testados em laboratório (extraído de Canedo et al. 2025).	17
Figura 13. Resultados da erosão medida em campo em olivais em diferentes sistemas de produção: Integrada (Vale Formoso) e orgânica, ou biológica (Mouchão).	19
Figura 14. Stocks de carbono orgânico por tratamentos, da serrapilheira (litter) e do solo nas diferentes profundidades (0-2, 2-5 e 5-10 cm).	19
Figura 15. Perdas de carbono por erosão nos diferentes tratamentos, durante os dois anos de estudo, em total para as duas áreas de estudo.	20
Figura 16. Mapas cognitivos difusos agregados das percepções dos participantes sobre os processos de restauro do solo na Ronda 1 (antes do início do projeto; mapa de cima) e na Ronda 2 (fase final do projeto; mapa de baixo).	21

1. INFORMAÇÕES DO PROJETO

O projeto **SOLVO** — *Soluções baseadas em cobertura do solo com mulch e biochar procedentes de resíduos do lagar para reverter processos de desertificação nos olivais do Mediterrâneo* (Ref.^a 2022.06004.PTDC) — é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e decorreu entre 2023 e 2026. Liderado pela Universidade de Évora, através do Investigador Responsável Sergio Prats e do Co-Investigador Responsável Gottlieb Basch, o consórcio integra a Universidade de Aveiro e o Instituto Politécnico de Beja. Inserido na área científica das Ciências Agrárias e Ambientais, o objetivo geral do SOLVO é desenvolver e validar soluções baseadas na natureza que utilizam *mulch* e *biochar* produzidos a partir de resíduos da fileira do azeite para restaurar solos degradados de olivais mediterrânicos, melhorando os seguintes serviços dos ecossistemas: controlo da erosão, armazenamento de água, sequestro de carbono, fertilidade do solo e habitat edáfico. O projeto conta com o envolvimento ativo de agricultores e produtores de olival, associações do setor olivícola, empresas produtoras de *biochar*, entidades de desenvolvimento regional e a comunidade científica nacional e internacional.

2. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a expansão dos olivais intensivos e superintensivos na região Mediterrânica trouxe importantes benefícios económicos, mas também novos desafios ambientais. A intensificação dos sistemas de produção, associada à mobilização frequente do solo e à redução da cobertura vegetal, tem contribuído para o aumento dos processos de erosão, perda de matéria orgânica e degradação dos solos.

Paralelamente, as previsões associadas às alterações climáticas apontam para cenários mais quentes e secos, acompanhados por eventos de

precipitação mais intensos e concentrados. Estas condições tendem a agravar os fenómenos de degradação do solo e desertificação, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a capacidade produtiva dos olivais a longo prazo.

Ao mesmo tempo, várias fileiras agrícolas e florestais do Mediterrâneo partilham o desafio da gestão e valorização dos seus resíduos. A olivicultura gera subprodutos como o bagaço de azeitona, enquanto a viticultura produz quantidades significativas de engaços e restos de poda; a estes acresce a biomassa proveniente do controlo de espécies invasoras como a acácia (*Acacia spp.*), cuja expansão impõe intervenções recorrentes de gestão florestal. A utilização destes materiais — tradicionalmente vistos como passivos ambientais ou condicionantes operacionais — como recursos para a recuperação dos solos representa uma oportunidade para promover modelos de economia circular e aumentar a sustentabilidade de diferentes setores produtivos.

Foi neste contexto que surgiu o projeto SOLVO. Recorrendo à aplicação combinada de *mulch* com *biochar* (produzido a partir de um leque alargado de resíduos—nomeadamente bagaço de azeitona, engaços e restos de poda de videira, biomassa de acácia e de açai— e submetidos a diferentes processos de pirólise) o projeto procurou desenvolver soluções inovadoras para restaurar solos degradados e a melhoria do funcionamento dos ecossistemas agrícolas mediterrânicos. Estudos preliminares demonstraram que a aplicação superficial de *mulch* e/ou *biochar* pode ser eficaz na mitigação da erosão e do escoamento superficial, particularmente em áreas florestais recentemente ardidas (Prats et al., 2021). No entanto, os resultados obtidos nesses contextos não são diretamente transponíveis para ambientes agrícolas, uma vez que as práticas de gestão do solo —nomeadamente a mobilização, a rega e a densidade de cobertura— condicionam significativamente a eficácia das

medidas de conservação (Rodríguez Sousa et al., 2023). Além disso, a União Europeia tem vindo a desincentivar as práticas de lavoura convencional, devido ao seu potencial para acelerar os processos erosivos e a degradação da matéria orgânica do solo, o que torna premente a definição de estratégias alternativas de aplicação de biochar que conciliem a proteção do solo com a viabilidade operacional (EUA, European Court of Auditors, 2018).

Estudos em ambientes florestais ardidos (Prats et al., 2021, Robichaud et al. 2013) evidenciaram ainda que o *mulch* pode funcionar como uma camada protetora da superfície do solo, reduzindo o impacto direto das gotas de chuva e promovendo a infiltração. Contudo, o potencial desta abordagem em sistemas agrícolas mediterrânicos apresenta diversas incógnitas: o *biochar* deve ser incorporado no solo ou aplicado em superfície? Quais as taxas de aplicação mais adequadas? Os efeitos variam consoante o tipo de biomassa e as condições de pirólise? Estas questões permaneciam em aberto no início do projeto.

Por outro lado, a literatura existente permite identificar que o uso de *mulch* tem revelado sucesso na redução da erosão, sobretudo quando se atinge uma cobertura do solo superior a 60%, condição particularmente relevante em ambientes altamente erosivos, como as áreas florestais ardidas (Robichaud et al., 2013). Contudo, a transposição destes limiares para o contexto agrícola —onde a cobertura do solo é interrompida por ciclos de cultivo e mobilizações periódicas— exige validação experimental específica, que o projeto SOLVO se propôs a realizar.

O projeto integrou trabalho experimental em laboratório e em campo, atividades de modelação e a avaliação da sustentabilidade ambiental e do desempenho das soluções em diferentes cenários espaciais e temporais, através da aplicação integrada de ferramentas de modelação. Incluiu ainda ações de demonstração e transferência de conhecimento para agricultores e outros utilizadores finais, gerando

conhecimento científico relevante e, simultaneamente, disponibilizando soluções práticas para uma gestão mais sustentável dos solos agrícolas.

3. OBJETIVOS DO PROJETO

O principal objetivo do projeto SOLVO foi desenvolver e validar soluções baseadas na natureza capazes de reverter processos de degradação dos solos em olivais mediterrânicos através da aplicação de *mulch* e *biochar* produzidos a partir de resíduos agrícolas e florestais.

Para atingir este objetivo geral, foram definidos os 6 seguintes objetivos específicos:

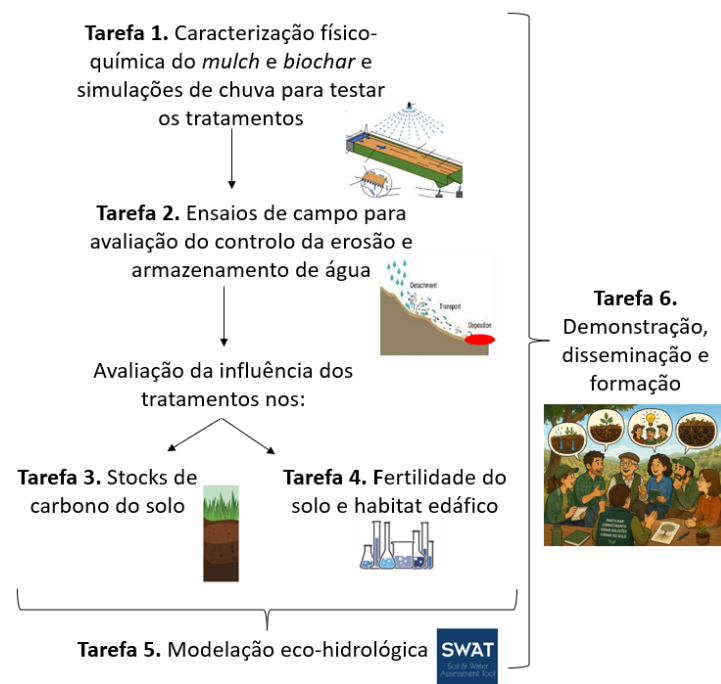
- 1) Selecionar e caracterizar diferentes tipos de *mulch* e *biochar* produzidos a partir de resíduos agrícolas e florestais, identificando as combinações mais eficazes para a recuperação do solo;
- 2) Avaliar os efeitos dos tratamentos na redução da erosão do solo e na melhoria da retenção e armazenamento de água;
- 3) Quantificar o contributo das soluções testadas para o aumento dos stocks de carbono do solo;
- 4) Avaliar os impactos dos tratamentos na fertilidade do solo e no habitat edáfico;
- 5) Avaliar a sustentabilidade ambiental e o desempenho das soluções em diferentes cenários espaciais e temporais, integrando Análise de Ciclo de Vida (ACV) e ferramentas de modelação.
- 6) Promover a transferência de conhecimento e a adoção das soluções desenvolvidas através de atividades de demonstração, formação e envolvimento de stakeholders.

O projeto procurou assim contribuir para a conservação dos solos, para a mitigação dos efeitos das alterações climáticas, para a valorização de resíduos agroindustriais e florestais e para a

promoção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas mediterrânicos.

4. TAREFAS

De forma a alcançar os seis objetivos específicos definidos, o projeto foi estruturado em seis tarefas, cada uma diretamente alinhada com um dos objetivos:



Apresenta-se, para cada tarefa, o trabalho desenvolvido e, de seguida, os seus principais resultados, discussão e a produção científica e técnica associada.

Tarefa 1 – Seleção de *tratamentos* para maximizar a capacidade de restauração

Foram produzidos *biochars* a partir de resíduos agrícolas – nomeadamente bagaço de azeitona, restos de poda, engaços de uva, resíduos de açai – e comparados com *biochars* comerciais produzidos a partir de resíduos florestais (restos de acácia). Todos os *biochars* foram submetidos a uma caracterização físico-química detalhada e avaliados quanto à sua fitotoxicidade e ecotoxicidade (Figura 1).



Figura 1. Ensaios de germinação e crescimento em solos com diferentes concentrações de *biochar*, utilizando sementes de *Lactuca sativa* L.

A compreensão dos trade-offs ecológicos é essencial para a aplicação segura de *biochar* na recuperação de solos, particularmente no que respeita à influência da matéria-prima e das condições de produção na fitotoxicidade. No total avaliaram-se as propriedades de treze *biochars* derivados de: podas de videira e engaços em diferentes proporções (4), madeira triturada de acácia (2), bagaço de azeitona (5) e resíduos de açai (2). Os *biochars* foram produzidos sob diferentes temperaturas de pirólise (450 °C a 800 °C) e tempos de residência (15 min a 12,5 h), com ou sem ativação hidrotermal e enriquecimento com macronutrientes (N, P e K). A caracterização físico-química — pH, condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), capacidade de retenção de água (CRA), teores de carbono e azoto, nutrientes extraíveis com Mehlich-3 (P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, S, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Co, Ni, Na), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (total de 16 HAPs da EPA), espectroscopia FTIR, análise termogravimétrica e teor de inertinite — foi combinada com ensaios de fitotoxicidade utilizando germinação de *Lactuca sativa* e alongamento radicular em dois solos diferentes.

O tipo de matéria-prima foi o principal determinante da fitotoxicidade. Os *biochars* derivados de acácia apresentaram a menor fitotoxicidade, enquanto os *biochars* de bagaço de azeitona produzidos por pirólise rápida também demonstraram um perfil de segurança comparável. Os *biochars* de videira e engaços são fortemente alcalinos (pH de 10,3 a 10,8), com elevado teor de carbono total (63,3% a 71,9%) e razões C/N elevadas (80,1 a 109). Os *biochars* de bagaço de azeitona exibem variabilidade extrema: Co e B1 apresentam condutividade elétrica muito elevada e elevado teor de potássio, enquanto os *biochars* de bagaço de azeitona P1-UA e P2-UA apresentaram a maior concentração de azoto total (2,3% e 1,6%, respetivamente) e razões C/N molares substancialmente mais baixas (25,8 e 40,6), indicando maior disponibilidade de azoto. Os *biochars* de acácia (IMF, Knat) tiveram menor concentração de carbono (28,6% a 58,4%) e razões C/N molares muito elevadas (84,1 a 139). As amostras de açai (Açai, Açai_E) apresentam concentração de carbono intermédia (37,9% a 41,0%) e razão C/N molar moderada (~40). Os *biochars* de videira e engaços apresentam níveis muito elevados de HAPs (69 a 109 mg/kg), enquanto os *biochars* de açai e de bagaço de azeitona produzidos por pirólise rápida exibem quantidades negligenciáveis (<1 mg/kg).

Globalmente, os *biochars* de origem lenhosa aplicados a 3% a 5% (m/m) são os mais adequados para a recuperação de solos, promovendo a germinação e o crescimento radicular de *Lactuca sativa*. A aplicação de *biochar* a 3% e a 5% (m/m) otimizou as condições do solo, particularmente em solos ácidos e com baixo teor de matéria orgânica, promovendo a neutralização do pH e aumentando a retenção de água (Coelho et al. 2025). No entanto, os *biochars* provenientes de subprodutos agrícolas requerem uma triagem prévia à aplicação, particularmente para salinidade e HAPs, que

permanecem como fatores-chave para a segurança ambiental.

O *biochar* que apresentou os melhores resultados globais foi posteriormente combinado com dois tipos de *mulch* de elevada disponibilidade no Alentejo: palha e folhas de oliveira. Recorrendo a simulações de chuva em laboratório, foi testado o efeito destas combinações, bem como de diferentes modos de aplicação do *mulch* e do *biochar*, no controlo da erosão, no armazenamento de água e na fitotoxicidade da água de infiltração.

Foram testadas quatro estratégias de aplicação: (i) mistura de *biochar* (2,8% em peso); (ii) camada de *biochar* (aplicação superficial de 10 Mg ha⁻¹); (iii) camada de *mulch* (2 Mg ha⁻¹ de palha); e (iv) camada de *mulch* + *biochar* (palha de 2 Mg ha⁻¹ sobre *biochar* de 10 Mg ha⁻¹). As simulações de chuva, com duração de 30 minutos e intensidade de 85,6 mm h⁻¹, foram realizadas em solos franco-arenosos de uma vinha e de um olival. O lixiviado recolhido foi utilizado para avaliar a fitotoxicidade dos tratamentos, utilizando *Lactuca sativa* L (Figura 2).



Figura 2. Calibração da intensidade do simulador de chuva, utilizando copos graduados (acima), e preparação do talhão (abaixo).

Os resultados demonstraram que o escoamento superficial e a erosão entressulcos diminuíram 52–91% e 55–81%, respetivamente, com as maiores reduções nos tratamentos que incluíam uma camada de *mulch* (Canedo et al. 2025). O *biochar* aumentou o comprimento radicular (29–45%), enquanto o *mulch* não teve efeito significativo. O tratamento com *mulch* + *biochar* apresentou o melhor desempenho global, destacando os benefícios complementares dos dois produtos na redução da degradação do solo e na melhoria do habitat das culturas.

Tarefa 2 – Avaliação do controlo da erosão e armazenamento de água

Com o objetivo de avaliar os efeitos das soluções desenvolvidas pelo projeto no controlo da erosão e no armazenamento de água, foram instalados ensaios de campo em dois olivais da região do Alentejo. Os ensaios decorreram durante cerca de

dois anos e meio, permitindo avaliar o desempenho dos tratamentos sob condições reais de exploração agrícola e perante a variabilidade climática característica da região.

Foram comparados três tratamentos:

- Controlo - não tratado;
- Aplicação de *mulch* – folhas de oliveira à taxa de 2 t ha⁻¹;
- Aplicação combinada de *mulch* e *biochar* superficialmente em duas camadas, primeiro uma de *biochar* à taxa de 10 t ha⁻¹ e depois outra camada de *mulch*, à taxa de 2 t ha⁻¹ por cima da camada de *biochar*.

Para quantificar as perdas de solo por erosão hídrica, foram instaladas mais de 20 armadilhas de sedimentos em dois olivais: VFO (Vale Formoso; olival intensivo integrado, de regadio) e MOU (Mouchão; olival extensivo orgânico, semelhante ao tradicional e de sequeiro), que foram monitorizadas ao longo de 3 anos (2023-2025). Enquanto que em MOU foram instaladas 9 armadilhas (3 controlos 3 *mulch* e 3 *mulch+biochar*) em VFO foram instaladas 12 armadilhas, pois foi aplicado um quarto tratamento (controlo, *mulch*, *mulch+biochar* e composto de bagaço de azeitona). Estas estruturas permitiram recolher e quantificar os sedimentos transportados pela escorrência superficial após os eventos de precipitação (Figura 3).



Figura 3. Parcelas de erosão instaladas em MOU (em cima) e VFO (em baixo).

Nas armadilhas de sedimentos foram igualmente instalados canais *Parshall* modificados, equipados com sensores de pressão para monitorizar continuamente a escorrência superficial. Estes equipamentos permitiram medir os volumes de água escoados e caracterizar a resposta hidrológica dos diferentes tratamentos ao longo do período experimental (Figura 4).



Figura 4. Fotografias de (a) armadilha de sedimentos com canal de *Parshall* modificado e sensor de pressão instalados e (b) armadilha em funcionamento durante um evento de precipitação.

Os resultados demonstraram uma redução da erosão sempre que os tratamentos foram aplicados. O caso mais severo ocorreu num olival íngreme, onde

o *mulch* reduziu a erosão em 29,2%, enquanto o tratamento com *mulch + biochar* alcançou 35,6% (Coelho et al. 2025 EUROSOL). As perdas de carbono seguiram os padrões de erosão, atingindo valores máximos nos olivais intensivamente geridos e íngremes. No entanto, os tratamentos de *mulch* e *mulch+biochar* reduziram as perdas de carbono em todas as parcelas.

Estes resultados evidenciam o potencial da utilização de corretivos orgânicos, particularmente o *mulch* e o *biochar*, como ferramentas eficazes para mitigar a erosão do solo e a depleção de carbono, especialmente em sistemas agrícolas intensivamente geridos. A adoção destas práticas de conservação é essencial para preservar a saúde do solo, manter os serviços dos ecossistemas e apoiar os esforços de mitigação das alterações climáticas.

Em relação aos resultados de monitorização hidrológica, os sensores de pressão mostraram que o tratamento com *mulch* reduziu os caudais de pico em 11%, enquanto o tratamento com *mulch + biochar* alcançou uma redução de 47%, em comparação com o solo não tratado (Keizer, 2024). Relativamente aos microambientes, a humidade do solo foi menor nas fileiras das árvores/plantas (*Árvore*) e a repelência à água foi maior na zona compactada por onde passam as rodas do trator (*Roda*) (Heutink et al. 2024). O tratamento com *mulch + biochar* apresentou o melhor desempenho global, destacando os benefícios complementares dos produtos na melhoria do balanço hídrico do solo, através da redução das perdas por escoamento e do consequente aumento da humidade do solo.

Tarefa 3 – Avaliação dos stocks de carbono do solo

Com o objetivo de quantificar o efeito dos tratamentos nos stocks de carbono orgânico do solo, foram realizadas duas recolhas de amostras de serrapilheira e de solo mineral (em três profundidades distintas: 0-2, 2-5 e 5-10 cm) nas parcelas não tratadas (controlo) e nas parcelas

tratadas (*mulch* e *mulch + biochar*): a primeira logo após a aplicação dos tratamentos e a segunda 15 meses depois. Em cada recolha, as amostragens consideraram ainda três microambientes representativos do olival: debaixo da árvore (na zona designado “Tree”); na região compactada por onde passam os rodados do trator (“Rut”); e na zona de vegetação da entrelinha (“Veg”).

As amostras de serrapilheira e de solo foram analisadas em laboratório para determinação da densidade aparente, humidade, pedregosidade, textura e teor de matéria orgânica, através do método de perda por ignição em mufla a 560 °C durante 3 horas (Figura 5).



Figura 5. Mufla com amostras de serrapilheira e solo.

Com base nesses teores e nos valores de peso seco por unidade de área (no caso da serrapilheira) e de densidade aparente (no caso das camadas minerais), foram estimados os stocks de carbono orgânico (Mg ha^{-1}) para a folhada e para as três camadas de solo, em cada tratamento e microambiente.

Adicionalmente, quantificou-se o carbono orgânico aplicado ao solo através dos tratamentos: $1,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ no tratamento apenas com *mulch* e $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ no tratamento combinado de *mulch +*

biochar. Estes valores foram obtidos a partir das taxas de aplicação e dos teores médios de matéria orgânica e de carbono determinados para estes produtos. Os olivais apresentaram teor médio de matéria orgânica do solo de 5,7%, e os tratamentos com *mulch + biochar* produziram os maiores aumentos da matéria orgânica e carbono orgânico do solo, particularmente nas camadas de serrapilheira (litter) e 0–2 cm, seguido pelo tratamento com *mulch* (Novado et al. 2026), uma vez que os tratamentos foram aplicados na superfície (Figura 6).

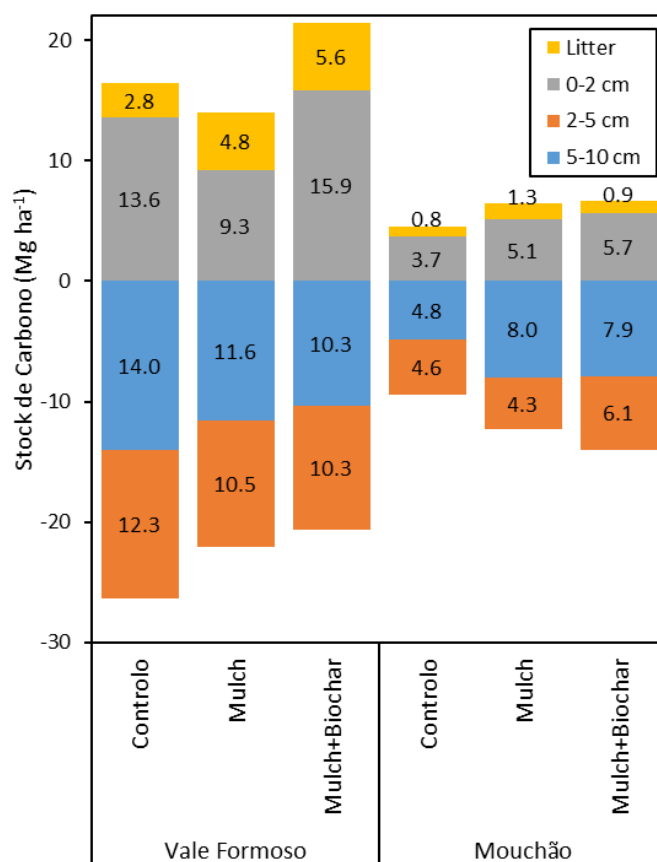


Figura 6. Armazenamento de carbono depois da aplicação das medidas *mulch* e *mulch-biochar* (Novado et al., 2026).

Os resultados também mostraram uma clara influência da gestão do olival na resposta dos tratamentos (por exemplo, sistema integrado versus orgânico; regadio versus sequeiro; ou intensivo versus extensivo). Por esta razão, foi necessário reconhecer os efeitos das práticas de gestão do solo, uma vez que olivais sujeitos a diferentes regimes de manejo evidenciaram comportamentos extremamente díspares em matéria de erosão e

conservação do solo (Rodríguez Sousa et al., 2023). Este estudo demonstrou que o controlo da vegetação em sistemas agrícolas pode influenciar a erosão e, consequentemente, afetar as exportações e perdas de carbono, pondo em risco a capacidade destes solos para armazenar carbono. No entanto, permanecia por conhecer o efeito comparado da aplicação de herbicidas versus a mobilização do solo (lavoura), ou a presença de vegetação, sobre a erosão e, mais ainda, sobre o balanço de carbono nos olivais. Esta lacuna de conhecimento justificou a inclusão de diferentes práticas de gestão como variável central na presente investigação.

Novos estudos vieram esclarecer estas questões. Daimonakos et al. (2026) demonstrou que a erosão é fortemente condicionada pela escala e pela prática de gestão: os herbicidas induzem as maiores perdas de solo à escala de vertente ($11,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto a lavoura domina a erosão à escala de microparcela e as parcelas não intervencionadas apresentam erosão até 99% inferior. Paralelamente, Pareja-Sánchez et al. (2026) evidenciaram que o balanço de carbono em olivais alentejanos é mais influenciado pelos inputs anuais de matéria orgânica do que pelo sistema de gestão, com olivais de elevados inputs a apresentarem balanço positivo ($+1,0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e emissões substancialmente mais baixas (~ 140 vs. $\sim 1650 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que os de baixos inputs. Estes achados reforçam a necessidade de uma abordagem integrada, que promova uma gestão do olival orientada para a maximização dos inputs de matéria orgânica, — quer provenientes das próprias práticas de gestão, quer da aplicação de medidas de conservação do solo, como o *mulch* e a combinação *mulch+biochar*.

Tarefa 4 – Avaliação da fertilidade do solo e do habitat edáfico

Com o objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos de campo na fertilidade do solo, foram realizadas análises laboratoriais em amostras recolhidas ao longo de dois anos (2024-2025), com duas

campanhas por ano, em dois olivais com sistemas de gestão distintos: VFO (intensivo de regadio) e MOU (tradicional de sequeiro). Em cada parcela, foram considerados três microambientes: sob a copa da árvore, na zona de rodado do trator e na vegetação da entrelinha. Os parâmetros analisados incluíram o pH, a condutividade elétrica (CE), a matéria orgânica (MO), o azoto total (N), e o fósforo (P) e potássio (K) biodisponíveis.

Após a aplicação dos tratamentos, particularmente no tratamento com *mulch + biochar*, os solos de VFO apresentaram valores superiores para a CE ($0,33 \text{ dS m}^{-1}$ no controlo vs $0,16 \text{ dS m}^{-1}$ para *mulch*), MO (3,0% vs 1,7%), N (0,25% vs 0,14%) e K (517 vs $321 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$).

O microambiente influenciou significativamente as propriedades do solo, com teores mais elevados de MO sob a copa da árvore (P: $180 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$; K: $554 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$), comparativamente à entrelinha (MO: 2,6%) e com valores mais baixos na zona de rodado (MO: 2,1%; P: $100 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$; K: $366 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$). Os resultados evidenciaram que a aplicação dos tratamentos, especialmente o *mulch + biochar*, melhorou as propriedades agronómicas do solo, destacando-se o sistema de gestão como fator determinante na variabilidade dessas propriedades (Custódio et al. 2025). As diferenças observadas entre os microambientes analisados sugerem impactos negativos sobre as propriedades do solo na região de maior compactação (zona de rodado), reforçando a importância de práticas que mitiguem a degradação física do solo (Figura 7).

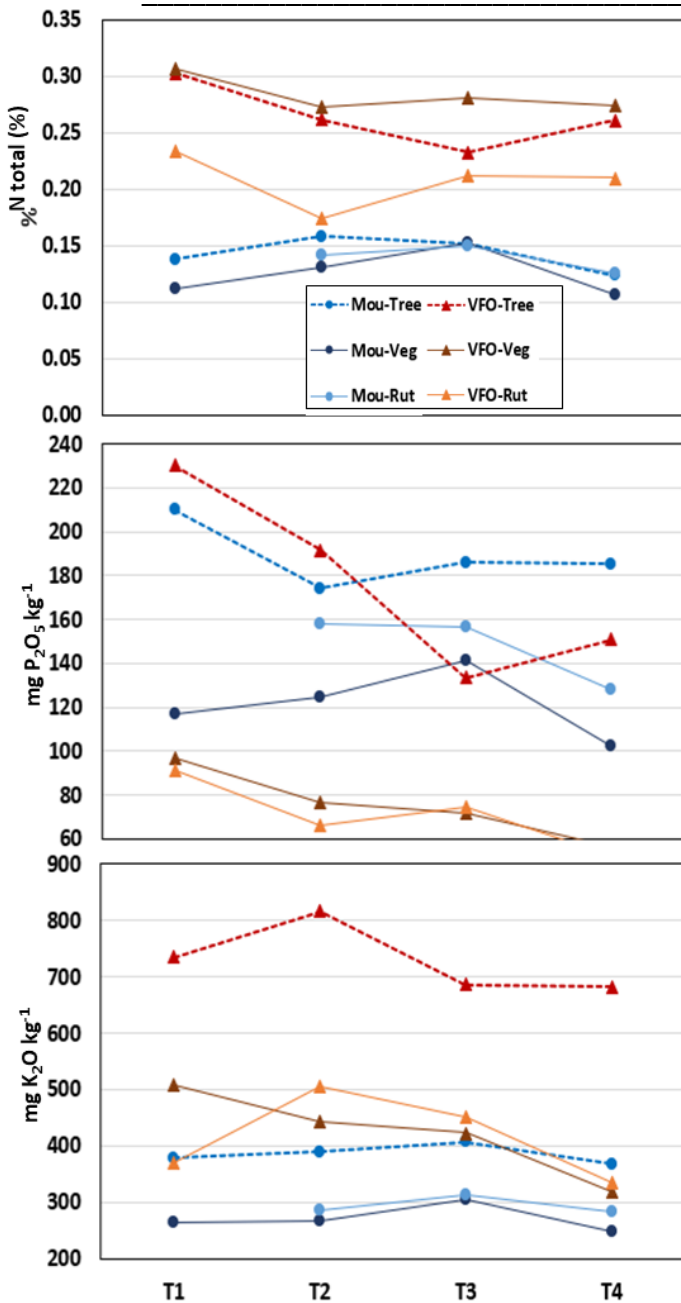


Figura 7. Evolução temporal do teor em alguns nutrientes nas duas herdades MOU e VFO tratadas com mulch e mulch+biochar (Custódio et al., 2025).

Tarefa 5 – Modelação eco-hidrológica

A Tarefa 5 foi concebida para responder à necessidade de avaliar, em escala de bacia hidrográfica, os impactos da intensificação agrícola e o potencial mitigador das técnicas de conservação do solo —a aplicação de *mulch* e a aplicação combinada de *mulch+biochar*. Enquanto estudos à escala parcelar já demonstraram a eficácia desta combinação na redução do escoamento, da erosão e

da perda de nutrientes, permanece por quantificar a sua efetividade em termos hidrológicos e de qualidade da água à escala da paisagem (Hartgers et al., 2025).

Para o efeito, procedeu-se à calibração e validação do modelo hidrológico distribuído SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para a bacia hidrográfica do reservatório do Maranhão, no Alentejo (Figura 8).



Figura 8. Localização da bacia do Sorraia e a sub-bacia do Maranhão. A estrela mostra a área de estudo do olival de Mouchão (Hartgers- 2026).

O modelo foi parametrizado com base num conjunto diversificado de fontes de dados: (i) dados de campo provenientes de parcelas experimentais, que permitiram definir os parâmetros edáficos e hidrológicos para as condições de base e para o cenário de conservação com *mulch+biochar*; (ii) cartografia de uso do solo COS1990 e COS2023, para projetar a expansão contínua do olival intensivo no cenário de intensificação; e (iii) séries temporais de caudal, sedimentos e fósforo, obtidas a partir de estações hidrométricas (SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) e de dados de estações de tratamento de águas residuais (EEA - European Environment Agency), para calibração à escala da bacia.

Simularam-se três cenários contrastantes: (1) um cenário de referência, representando as condições atuais de uso do solo e práticas agrícolas; (2) um cenário de intensificação, refletindo a substituição da

paisagem tradicional por olival intensivo, com base nas tendências observadas entre 1990 e 2023; e (3) um cenário de conservação, em que a combinação *mulch+biochar* é aplicada nas áreas de olival recém-convertidas.

Os resultados esperados incluem métricas de desempenho do modelo (coeficientes de Nash-Sutcliffe, R^2 e PBIAS), comparações temporais das cargas de sedimentos e fósforo entre cenários, e mapas espaciais de identificação de *hotspots* de erosão. Embora o trabalho se encontre em fase de execução, a abordagem adotada permitirá, uma vez concluída, não só quantificar as consequências hidrológicas da mudança de uso do solo, mas também avaliar o potencial da medida de conservação como ferramenta de mitigação, oferecendo assim uma base científica para políticas de gestão sustentável e para a tomada de decisão no âmbito da Política Agrícola Comum e dos planos de ordenamento de bacias hidrográficas. A tarefa alinha-se, assim, com as recomendações sobre a integração de modelação participativa e dados multi-escala para suportar a transição para sistemas agrícolas mais resilientes.

Tarefa 6 – Demonstração, disseminação e formação

Com o propósito de envolver ativamente produtores, gestores, decisores políticos e outros agentes-chave, foi criada uma plataforma de stakeholders, estruturada como um *Living Lab* focado na saúde do solo no Alentejo. Ao longo do projeto, esta plataforma participou em reuniões anuais e workshops de campo, nos quais se co-criaram as medidas a aplicar em campo e se discutiram as perceções iniciais, as medidas a aplicar e a efetividade final dos tratamentos implementados (Figura 9).



Figura 9. Fotografia de um workshop de campo do projeto.

Nesta tarefa avaliou-se de quê forma as perceções sobre a degradação do solo e a sua recuperação evoluem através da participação no projeto experimental multi-ator, focado na gestão sustentável do solo. Para o efeito, recorreu-se à Metodologia de Mapeamento Cognitivo Fuzzy (Fuzzy Cognitive Mapping — FCM; Esgalhado et al. 2024), tendo sido realizadas entrevistas a atores do setor em Portugal, captando e comparando as suas representações cognitivas sobre os fatores de degradação, as práticas de gestão e os serviços de ecossistema mediados pelo solo, antes e após o envolvimento no projeto.

Os resultados revelam uma continuidade conceptual moderada, acompanhada por uma reconfiguração estrutural significativa dos modelos mentais dos participantes. Estes desenvolveram representações mais interconectadas e mecanicistas, nas quais as práticas de gestão passaram a ser percecionadas como pontos de alavancagem centrais, capazes de influenciar as propriedades do solo e as funções dos ecossistemas. Estes achados sugerem que o envolvimento multiator promove processos de aprendizagem que se expressam sobretudo através de alterações no raciocínio causal, mais do que pelo mero acréscimo de conhecimento (Rivera et al., enviado).

Em síntese, o estudo demonstra o valor do mapeamento participativo de sistemas para captar a mudança cognitiva e fornece evidência empírica de como os processos de aprendizagem multi-ator podem fortalecer as vias para uma gestão sustentável do solo. Estes resultados constituem um contributo central da Tarefa 6, evidenciando o papel da plataforma de stakeholders não apenas como fórum de discussão, mas como motor efetivo de transformação das perceções e das práticas de gestão do solo na região do Alentejo.

5. DISCUSSÃO INTEGRADA DOS RESULTADOS DO PROJETO

Seleção e caracterização dos *biochars*

Os *biochars* produzidos a partir de biomassa de acácia (Knat e IMF) destacaram-se claramente dos restantes (Coelho et al. 2025). Apresentaram os teores mais elevados de matéria orgânica (93,8%), uma condutividade elétrica muito baixa (0,5–0,6 dS m⁻¹) e concentrações reduzidas de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs; ≤ 14.9 mg kg⁻¹). Em contraste, os *biochars* obtidos a partir de bagaço de azeitona e de engaços de vinha registaram condutividades elétricas muito superiores, entre 3,5 e 11,4 dS m⁻¹, e teores mais elevados de HAPs (até 109 mg kg⁻¹).

Estas diferenças refletiram-se diretamente na resposta biológica. Nos ensaios de fitotoxicidade com *Lactuca sativa* L., os *biochars* de acácia permitiram índices de germinação elevados, com efeitos positivos no alongamento radicular em concentrações entre 1.5 e 5%. Pelo contrário, vários *biochars* das restantes matérias-primas provocaram reduções acentuadas da germinação, atribuíveis sobretudo à salinidade excessiva e à presença de compostos tóxicos. Nos ensaios de ecotoxicidade com organismos aquáticos, os extratos dos *biochars* de acácia foram igualmente os que induziram os efeitos mais positivos, registando-se, para as doses

mais elevadas, aumentos de 20 a 90% nas taxas de alimentação de *Daphnia magna* (Figura 10).

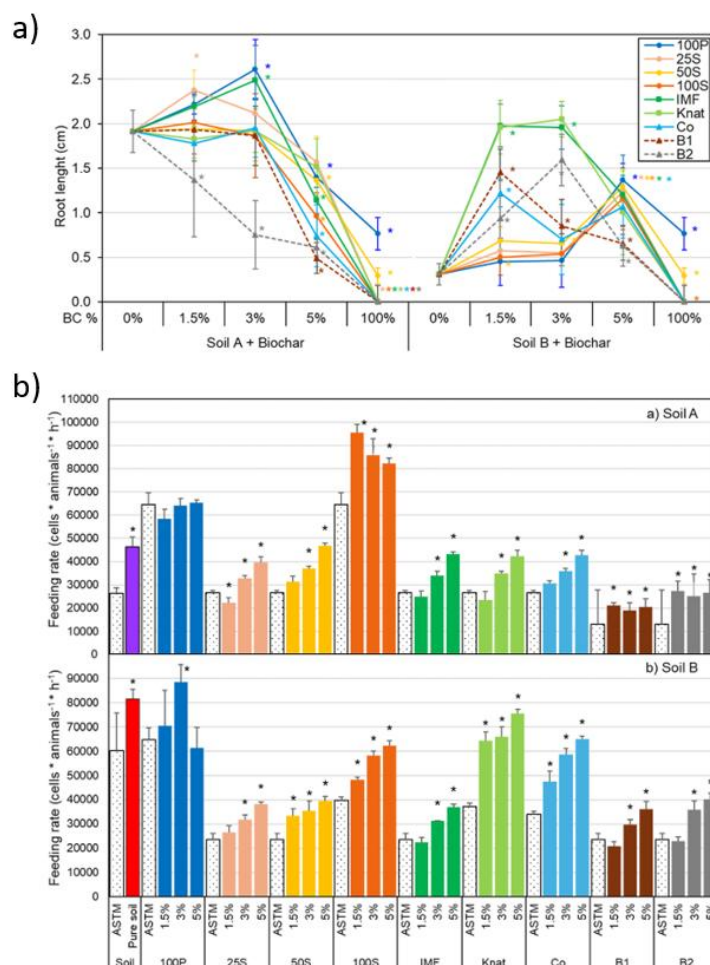


Figura 10. Resultados dos (a) ensaios de fitotoxicidade utilizando sementes de alfaca e (b) resultados de ecotoxicidade com crustáceos (extraído de Coelho et al. 2025).

Estes resultados demonstram que a valorização de resíduos agroflorestais por pirólise não gera, de forma automática, um produto adequado para aplicação agrícola. A matéria-prima de origem revelou-se o fator crítico na qualidade final do biochar, condicionando não só a salinidade e a carga de contaminantes orgânicos (HAPs), mas também a estrutura carbonácea e a capacidade de retenção de água. Os *biochars* derivados de acácia (IMF e Knat) e, em menor grau, os de poda de vinha (100P), apresentaram a menor fitotoxicidade e mortalidade de crustáceos, corroborando o consenso de que *biochars* de origem lenhosa são mais seguros para aplicação em solos (Oleszczuk et al., 2013; De la Rosa et al., 2019; Ippolito et al., 2020). Esta maior segurança é

atribuível à sua baixa condutividade elétrica ($<0,6 \text{ dS m}^{-1}$), reduzidos teores de HAPs e elevado teor de matéria orgânica ($>90\%$), propriedades que, em conjunto, minimizam o stress salino e a biodisponibilidade de contaminantes (Hartemink e Barrow, 2023). Em contraste, os *biochars* de bagaço de azeitona e engaços de vinha apresentaram níveis de salinidade até 20 vezes superiores e concentrações de HAPs até 10 vezes mais elevadas, traduzindo-se em forte inibição da germinação e elevada mortalidade de crustáceos (Carril et al., 2023). Mesmo a ativação hidrotermal, eficaz na remoção de HAPs, não conseguiu eliminar a toxicidade induzida pela salinidade excessiva e pela reduzida capacidade de retenção de água. Assim, a biomassa lenhosa de acácia, ao aliar elevada estabilidade (refletância aleatória $>4\%$), reduzida toxicidade e baixa salinidade, revelou as características mais favoráveis para o restauro de solos, evidenciando que a seleção criteriosa da matéria-prima é indispensável para garantir a segurança biológica e a eficácia agronómica do *biochar*.

Simulações de chuva em laboratório

Todos os tratamentos testados melhoraram o balanço hídrico e reduziram as perdas de solo, mas com diferenças importantes entre si. As reduções do escoamento superficial variaram entre 52% e 91%, sendo sempre mais acentuadas nos tratamentos que incluíam uma camada superficial de *mulch*. Paralelamente, registaram-se aumentos significativos da infiltração e do armazenamento de água no solo, sobretudo nas modalidades com aplicação superficial dos materiais. A aplicação de *biochar* incorporado no solo também produziu efeitos positivos na retenção hídrica, embora de menor magnitude (Figura 11).

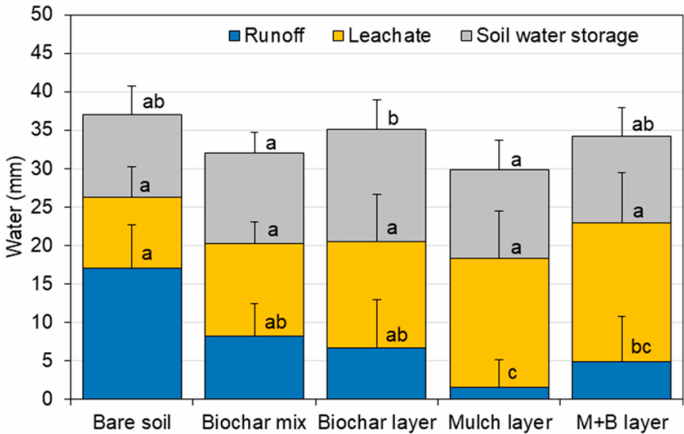


Figura 11. Escoamento superficial (runoff), água de percolação (leachate) e retenção de água no solo (soil water storage) nos diferentes tratamentos testados em laboratório (extraído de Canedo et al. 2025).

No que respeita à erosão, as perdas de solo por erosão entressulcos foram reduzidas entre 55% e 81%, de novo com os melhores desempenhos associados aos tratamentos com *mulch*. A erosão splash foi igualmente muito diminuída, confirmando o papel crucial da cobertura superficial na dissipação da energia cinética das gotas de chuva (Figura 12).

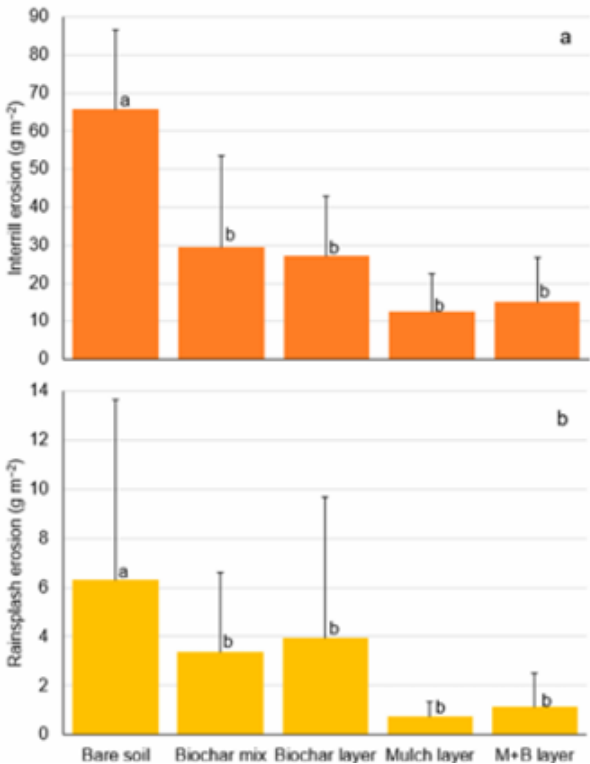


Figura 12. Erosão intersulcos (a) e erosão splash (b) nos diferentes tratamentos testados em laboratório (extraído de Canedo et al. 2025).

Estudos anteriores demonstraram que o *mulch* é particularmente eficaz mesmo em solos compactados, onde a reduzida infiltração e o aumento do escoamento superficial agravam os processos erosivos (Prats et al., 2019). Quanto ao *biochar*, os resultados do presente estudo sugerem que, embora melhore a estrutura do solo e a infiltração quando incorporado, o seu efeito na mitigação da erosão em solos compactados é menos expressivo do que o do *mulch* superficial, especialmente porque a sua eficácia depende da integração no perfil do solo e da ausência de cobertura protetora imediata. Em solos compactados, o *biochar* aplicado em camada superficial pode ser facilmente removido pelo escoamento, ao passo que o *mulch* atua como barreira física contínua.

Um resultado de alto interesse agronómico veio dos testes de fitotoxicidade realizados na água de percolação, ou lixiviada do solo recolhida durante os ensaios. As plântulas de *Lactuca sativa* L. que cresceram na água percolada dos tratamentos que continham *biochar* exibiram o maior crescimento radicular. Outros estudos têm indicado que os *biochars* podem ser fitotóxicos (Oleszczuk et al., 2013), mas no nosso estudo, e nas concentrações utilizadas no laboratório (10 t ha^{-1}), os resultados indicam que a presença deste material pode melhorar a qualidade biológica da solução do solo e disponibilizar compostos benéficos ao desenvolvimento vegetal.

Os resultados laboratoriais confirmam que, em solos mediterrânicos degradados, a cobertura superficial do solo é o mecanismo mais eficaz para o controlo da erosão hídrica, como demonstrado por outros autores (Prosdociami et al., 2016; Smets et al., 2008). O *mulch* atua como uma barreira física, reduzindo o impacto direto da precipitação, retardando o escoamento superficial e promovendo a infiltração (Jordán et al., 2010). O *biochar*, por seu lado, contribui para melhorar as propriedades físicas do solo e a retenção de água (Blanco-Canqui, 2017),

mas é na combinação *mulch* + *biochar* que se maximizam os benefícios: à proteção superficial junta-se a melhoria do armazenamento hídrico e a estabilização do próprio *biochar* à superfície, reduzindo o risco de arrastamento durante eventos de precipitação intensa (Prats et al., 2021). A constatação de que a água de percolação dos tratamentos com *biochar* estimulou o crescimento radicular acrescenta uma vantagem funcional relevante. Em conjunto, estes resultados indicam que a aplicação combinada de *mulch* e *biochar* representa uma estratégia particularmente promissora para aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas mediterrânicos, hoje expostos a precipitações extremas e secas cada vez mais prolongadas.

Ensaio de campo: controlo da erosão

Nos ensaios de campo em oliveais do Alentejo, ambos os tratamentos — *mulch* (folhas de oliveira) isolado e *mulch* combinado com *biochar* (IMF) — reduziram a erosão durante o primeiro ano. No segundo ano, o tratamento apenas com *mulch* perdeu eficácia, enquanto o efeito do tratamento combinado (*mulch* + *biochar*) persistiu. Este comportamento sugere que a adição de *biochar* confere maior durabilidade ao efeito protetor. Adicionalmente, o modo de produção influenciou significativamente a erosão: os sistemas biológicos registaram valores muito inferiores aos observados nos sistemas integrados (Figura 13).

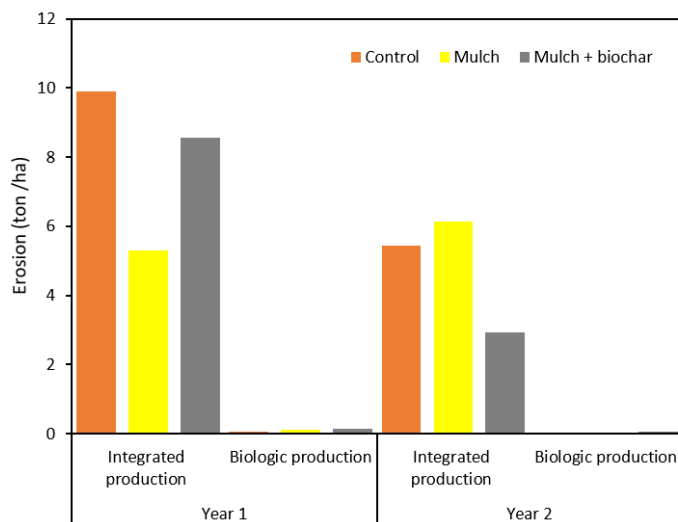


Figura 13. Resultados da erosão medida em campo em oliveis em diferentes sistemas de produção: Integrada (Vale Formoso) e orgânica, ou biológica (Mouchão).

Este efeito pode ser atribuído a presença de vegetação em toda a herdade e ao baixo número de passagens de maquinaria na herdade (Rodriguez Sousa et al. 2023, Daimonakos et al., 2026).

A perda de eficácia do *mulch* isolado ao longo do tempo contrasta com a persistência do efeito protetor observado no tratamento combinado (*mulch + biochar*), sugerindo que a durabilidade da proteção depende não apenas da cobertura superficial, mas também das alterações induzidas nas propriedades do solo. Enquanto o *mulch*, por ser material orgânico lábil, se decompõe progressivamente, o *biochar* — de elevada recalcitrância — mantém-se no solo por longos períodos, continuando a melhorar a estrutura, a infiltração e a resistência à erosão (Verheijen et al., 2010; Lehmann et al., 2011). Este efeito duradouro é particularmente relevante em oliveais mediterrânicos, onde a rápida mineralização da matéria orgânica limita a eficácia de práticas isoladas (Prats et al., 2019). Globalmente, os resultados reforçam que a combinação de *mulch* e *biochar* maximiza e prolonga os benefícios anti-erosivos, constituindo uma estratégia mais robusta do que a aplicação isolada de resíduos orgânicos.

Armazenamento de carbono

Ambos os tratamentos aumentaram de imediato o stock de carbono orgânico no solo, um efeito particularmente expressivo na fração da serrapilheira (Figura 14).

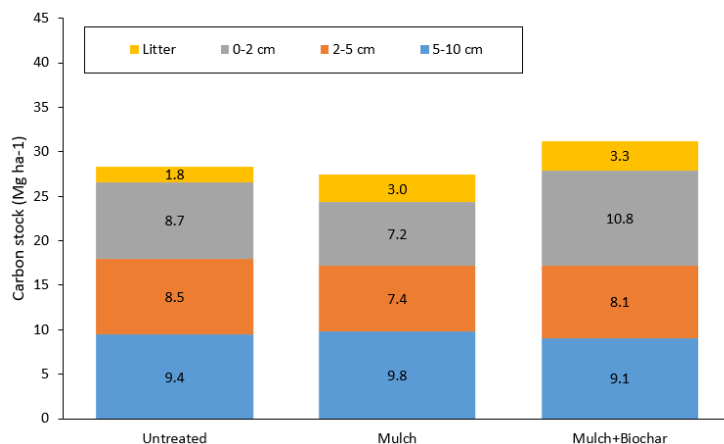


Figura 14. Stocks de carbono orgânico por tratamentos, da serrapilheira (litter) e do solo nas diferentes profundidades (0-2, 2-5 e 5-10 cm).

Este enriquecimento reflete o contributo direto do *biochar* — material predominantemente constituído por carbono pirogénico estável — e do *mulch*, que adiciona matéria orgânica à superfície do solo. O *biochar*, em particular, é reconhecido pela sua capacidade de aumentar os stocks de carbono no solo e melhorar propriedades como a capacidade de retenção de água e a atividade microbiana (Lehmann et al., 2011). No entanto, foi evidente que a não mobilização do solo confinou o efeito à camada mais superficiais (Serrapilheira e 0-2 cm), sem impacto significativo nas camadas mais profundas (2-5 e 5-10 cm). Embora o *biochar* possa migrar verticalmente no perfil do solo ao longo do tempo, e aplicações de longa duração possam aumentar o carbono orgânico em camadas mais profundas, os efeitos a curto prazo em solos não mobilizados são predominantemente superficiais (Prats et al., 2019).

No que respeita às perdas de carbono por erosão, não se verificaram diferenças assinaláveis entre tratamentos (Figura 15).

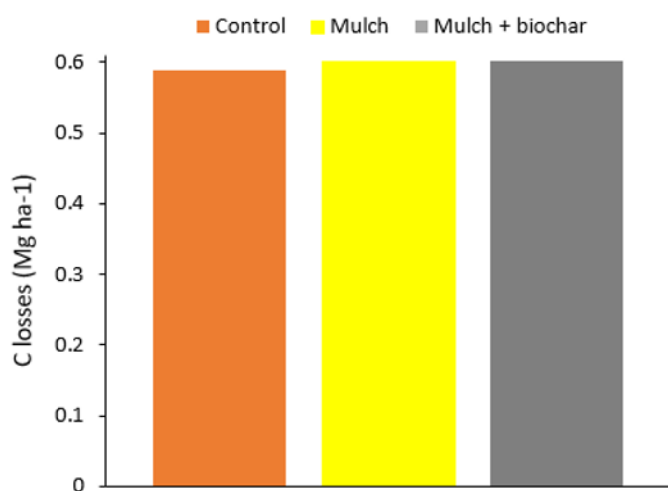


Figura 15. Perdas de carbono por erosão nos diferentes tratamentos, durante os dois anos de estudo, em total para as duas áreas de estudo.

No entanto, estas perdas globais juntam cenários muito diferentes, e estão ainda a ser analisadas. Outros autores têm encontrado que os teores de percentagem de MO nos sedimentos podem variar muito, e as taxas de enriquecimento em nutrientes dos sedimentos variam na mesma ordem de grandeza (Daimonakos et al. 2026).

A combinação de *mulch* e *biochar* revelou-se vantajosa para o armazenamento de carbono ao promover um aumento imediato do stock de carbono orgânico no solo, particularmente na fração superficial, onde a serrapilheira enriquecida atua como um reservatório de matéria orgânica. Contudo, esta vantagem não se traduziu numa redução das perdas de carbono por erosão hídrica face ao controlo. Embora o tratamento combinado tenha reduzido de forma muito significativa o volume total de solo erodido, os sedimentos exportados apresentaram teores mais elevados de matéria orgânica e carbono orgânico, sobretudo no primeiro ano, por incluírem partículas de *mulch* e *biochar* arrastadas durante os primeiros eventos de precipitação. Deste modo, no balanço final, a quantidade absoluta de carbono perdida foi equivalente entre tratamentos. Ainda assim, a proteção física conferida pelo *mulch* e a elevada estabilidade do *biochar*, que permanece

maioritariamente no sistema, contribuem para a construção de um stock de carbono duradouro. Com o tempo, o carbono adicionado através destes tratamentos poderá ser progressivamente translocado para camadas mais profundas do solo. No entanto, permanece a questão de saber se a taxa de aplicação utilizada terá sido insuficiente. O estudo SOLVO foi concebido precisamente para identificar o nível mínimo —e simultaneamente o mais económico— de aplicação de *mulch* e de *mulch+biochar* que pudesse garantir a salvaguarda dos serviços de ecossistema no seu conjunto. Apesar de serem efetivos, a eficácia dos tratamentos foi reduzida quando comparada com outros estudos sobre *mulch* em contextos agrícolas (Gómez et al., 2011; Bombino et al., 2021) ou sobre *mulch+biochar* (Prats et al., 2021), e especialmente se incluirmos diferentes sistemas de gestão do olival. Estes dados suscitam interrogações. Não sabemos se: i) seria necessária uma taxa de aplicação mais elevada para aumentar a eficácia do *mulch* no olival VFO; ii) se a intensa circulação de maquinaria terá pulverizado o *mulch* e, dessa forma, reduzido a sua proteção contra a erosão; iii) se uma elevada taxa de degradação microbiana, em ambientes de fertirrigação seria a principal responsável pela rápida diminuição da cobertura de *mulch*. O que se verifica é que o efeito do *mulch* se revelou temporalmente limitado. As observações de campo de cobertura do solo (ainda em análise) indicam que o tráfego de maquinaria eliminou a camada de serrapilheira, e que, apenas 3 a 4 meses após a aplicação, as áreas de rodado dos tractores se encontravam novamente nuas, o que poderia reativar os processos erosivos, tal como documentado por Daimonakos et al. (2026).

Envolvimento de atores e mudança de perceção

O processo de envolvimento multiactor promovido pelo projeto gerou mudanças cognitivas relevantes nos participantes. A observação experimental em campo, o diálogo estruturado nas sessões de co-desenho e co-criação das medidas, e o exercício reflexivo de mapear o seu próprio raciocínio

criaram um ambiente de aprendizagem que os formatos convencionais de formação não conseguem replicar. Como demonstrado previamente por Luján-Soto et al. (2021), estes mecanismos permitiram integrar as práticas de restauro como agentes causais nos modelos mentais dos agricultores, promovendo a transição de um pensamento linear, baseado em soluções padronizadas, para um raciocínio sistémico e interconectado (Figura 16).

A transição observada entre as rondas de entrevistas 1 e 2 (Figura 16) —desde modelos mentais lineares para representações sistémicas e interconectadas— constitui um indicador robusto de aprendizagem social. Esta manifesta-se menos na acumulação de novos conceitos e mais na reconfiguração das relações causais que estruturam o pensamento: os participantes não aprenderam necessariamente mais práticas, mas reorganizaram o modo como compreendem as interações entre práticas de gestão, processos do solo e serviços de ecossistema. Estes resultados sugerem que o envolvimento multiactor não é um complemento acessório à experimentação agronómica, mas uma componente central para enraizar as inovações no tecido cognitivo e social do território (Esgalhado et al. 2024).

6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O projeto SOLVO demonstrou que a aplicação combinada de *mulch* e biochar, produzidos a partir de resíduos agrícolas e florestais, constitui uma estratégia eficaz e ambientalmente segura para a recuperação de solos degradados em olivais mediterrânicos. Os resultados obtidos, tanto em ensaios laboratoriais como em condições reais de campo, evidenciaram benefícios claros no controlo da erosão, com destaque para a maior durabilidade do efeito protetor quando o *biochar* é incorporado ao *mulch*. A seleção criteriosa das matérias-primas revelou-se determinante, tendo os *biochars* de acácia sobressaído pelas suas características de menor toxicidade e elevado teor de matéria orgânica. O envolvimento ativo dos stakeholders ao longo de todo o processo — desde a seleção das medidas até à discussão dos resultados finais — não só facilitou a transferência de conhecimento, como também promoveu uma mudança relevante nas perceções dos participantes, criando condições para

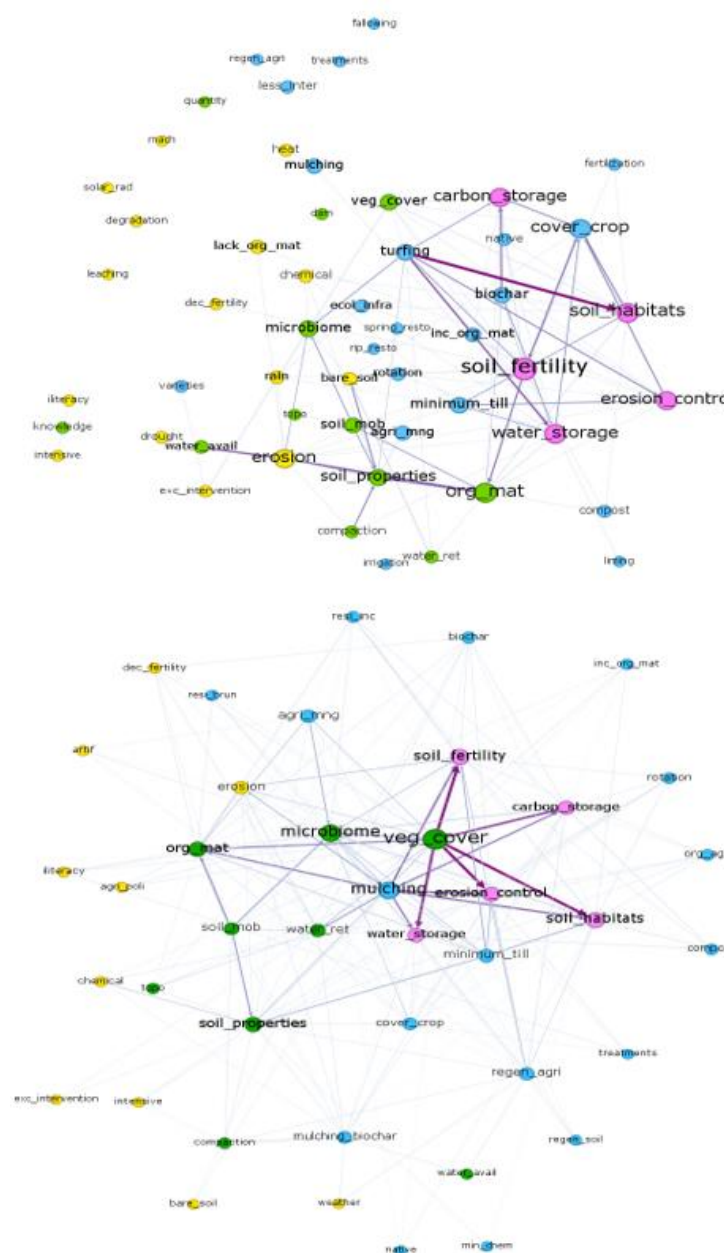


Figura 16. Mapas cognitivos difusos agregados das perceções dos participantes sobre os processos de restauro do solo na Ronda 1 (antes do início do projeto; mapa de cima) e na Ronda 2 (fase final do projeto; mapa de baixo).

uma adoção mais informada e duradoura das práticas de restauro.

Em termos de perspetivas futuras, o trabalho desenvolvido pelo SOLVO deixa várias linhas em aberto. A extensão dos ensaios a outras culturas mediterrânicas e a diferentes contextos edafoclimáticos permitirá validar a robustez das soluções propostas, sobretudo enquanto à extensão dos efeitos das técnicas na mitigação da produção de escoamento e erosão. A integração continuada de ferramentas de modelação poderá apoiar a tomada

de decisão à escala da exploração e da paisagem. A valorização de novas biomassas residuais, atualmente subaproveitadas, representa uma oportunidade para alargar o leque de matérias-primas disponíveis.

O SOLVO deixa, assim, um contributo prático e fundamentado para a gestão sustentável dos solos agrícolas mediterrânicos, abrindo caminho à continuidade e disseminação das soluções noutras linhas de investigação e fornecendo dados úteis para o apoio à decisão.

7. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA

7.1. Artigos científicos

#	Autores	Ano	Título	Revista	Data	Link
.	Canedo JNGV, Prats SA	Enviado	Effects of <i>Mulch</i> and Biochar on Soil Hydrologic Response in Mediterranean agricultural lands	Journal of Hydrology (enviado)	30/06/2026	
.	Rivera M, Esgalhado C, Hernandez P, Novado R, Coelho L, Prats SA.	Enviado	Learning to manage soil: cognitive change among wine and olive farmers through a multi-actor project	Land Use Policy (enviado)	30/06/2026	
1	Pareja-Sánchez E, Prats SA, García-Ruíz R, de Luca AI, Muñoz-Rojas J.	2026	Can Sustainable Farming Make Olive Groves Carbon Neutral? Empirical Evidence from Mediterranean Portugal	Environmental Research Communications 8, 055015	10/01/2026	https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae675e
2	Daimonakos V, Van Zinderen A, Muñoz-Rojas J, Costa D, Nunes JP, Prats SA.	2026	How strongly do management practices and scales influence soil erosion rates in olive orchards? empirical evidence from Alentejo (Portugal)	Geoderma 466, 117673	05/01/2026	https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2026.117673
3	de Pagter T, Pijl A, Canedo JNGV, Coelho L, Nunes J, Prats SA.	2026	UAV-Based Soil Erosion Assessment in Mediterranean Agricultural Orchards	Agronomy 16, 645	15/12/2025	https://doi.org/10.3390/agronomy16060645
4	Coelho L, Canedo JNGV, Custódio M, Flores D, Mourão P, Palma P, Prats SA	2025	Feedstock and pyrolysis conditions of biochars: influence on soil phytotoxicity and water ecotoxicity	Soil Biology and Biochemistry 109935 (in press)	01/03/2025	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109935
5	Canedo JNGV, Coelho L, Castro L, Verheijen F, Prats SA.	2025	Biochar and Mulch: Hydrologic, Erosive, and Phytotoxic Responses Across Different Application Strategies and Agricultural Soils	Agronomy 15, 926	01/04/2025	https://doi.org/10.3390/agronomy15040926

7.2. Teses

#	Nível	Alunos	Início-fim	Centro	Título	Orientadores
PhD						
.	PhD	Mariana Custódio	01/09/2025 - 31/08/2030 (em curso)	Univ. de Évora / Instituto Politécnico de Beja	Risks and Benefits of Biochar: A Biocircular Strategy for Sustainable Farmland Health	Patrícia Palma e Sergio Prats
.	PhD	João Canedo	01/07/2026 - 01/07/2030 (em curso)	Univ. de Évora	Fire Regime effects on Soil Habitat and Carbon Balance in Mediterranean Landscapes	Sergio Prats, Ana Isabel Mendes, Cristina Fernández, Maria Almagro
.	PhD	Ana Rita Cabrita Trindade	23/09/2025 - 23/01/2029 (em curso)	Univ. de Évora e Univ. do Algarve	Estratégias inovadoras para melhoria da eficiência da rega e do armazenamento de carbono no solo em pomares de abacateiro (Persea americana Mill.) no sul de Portugal.	Amílcar Duarte, Luisa Coelho e Sergio Prats
.	PhD	Joana Ferreira da Fonseca Ventura Araújo	25/07/2024 - 27/10/2028 (em curso)	Univ. de Évora	Inovação na Remediação Ambiental de Minas de Sulfuretos da Faixa Piritosa Ibérica: Aplicação de Subprodutos Industriais e Materiais Naturais na Descontaminação Mineira	José Mirão, Sergio Prats e Teresa Valente
MSc						
1	MSc	Rui Novado	01/10/2025 - 30/06/2026	Univ. de Évora	Avaliação dos stocks de carbono em dois olivais do Alentejo (produção integrada vs. biológica) sob aplicação de <i>mulching</i> e <i>mulching</i> + biochar.	Sergio Prats e Luisa Coelho
2	MSc	Bart-Jan Hartgers	01/10/2025 - 16/06/2026	Wageningen University, The Netherlands	Assessing the impact of biochar as soil conservation strategy in agroforestry, olive grove and vineyards - A SWAT modelling approach.	João P. Nunes e Sergio Prats
3	MSc	Tijs de Pagter	01/10/2024 - 08/07/2025	Wageningen University, The Netherlands	UAV-based soil erosion assessment in Mediterranean agricultural orchards.	João P. Nunes e Sergio Prats
4	MSc	João Canedo	01/09/2023 - 02/12/2024	Univ. de Évora	Effects of the application of <i>mulch</i> /biochar on soil ecosystem services of a vineyard in the Alentejo region	Sergio Prats e José Muñoz-Rojas
BSc						
1	BSc	Lieke van der Horst	01/10/2025 - 16/06/2026	Wageningen University, The Netherlands	Phytotoxicity and fungitoxicity of biochar-amended substrates: implications for seedling development and disease suppression	Vera Silva, João Canedo, Sergio Prats
2	BSc	Regiane Castillo Corrêa	24/03/2025 - 24/07/2025	Univ. de Évora (Brasil)	Influência da aplicação de biochar e <i>mulch</i> na recuperação de solos e no desenvolvimento de culturas.	Luisa Coelho, Sergio Prats
3	BSc	Alessandro Silva Trindade	03/03/2025 - 03/07/2025	Univ. de Évora (Brasil)	Conservação e recuperação de solos agrícolas: efeitos da aplicação de biochar	Luisa Coelho, Sergio Prats
4	BSc	Ruben Heutink	01/09/2024 - 04/07/2025	Wageningen University,	Impact of soil cover management on soil hydraulic properties in	Loes van Schaik, Sergio Prats e José Muñoz-Rojas



5	BSc	Maaïke Bles	11/03/2024 - 31/05/2024	The Netherlands Wageningen University, The Netherlands	olive orchards of Southern Portugal Management Practices and Their Effects on Vegetation Cover-Soil Health Dynamics in Alentejo's Olive Groves	João Pedro Nunes, Sergio Prats
6	BSc	Lukas Keizer	05/02/2024 - 13/05/2024	The Netherlands Wageningen University, The Netherlands	Mulching and Biochar application to combat surface runoff in Vineyards.	Karrar Mahdi, Sergio Prats, José Muñoz-Rojas
7	BSc	Liviane Castro	23/10/2023 - 23/11/2024	Univ. de Évora (Brasil)	Influência da aplicação de biochar e <i>mulch</i> na recuperação de solos e no desenvolvimento de culturas.	Luisa Coelho, Sergio Prats

7.3. Artigos em revistas

#	Autores	Ano	Título	Revista	Data	Link
1	Canedo J, Coelho L, Castro L, Lameira B, Basch G, Muñoz-Rojas J, Mourão P, Mira P, Prats S.	2025	<i>Mulch</i> e biochar: soluções para reverter a degradação do solo em olivais da região do Alentejo	Voz do Campo 2, 106-107. ISSN: 2182-2786	14/02/2025	Voz do Campo

7.4. Apresentações em conferências

#	Autores	Título	Link evento	Evento	ISBN; DOI
2026					
1	Custódio, M.; Catarino, A.; Semedo N., Coelho, L.; Canedo, J.; Prats, S.A.; Palma, P.	Impacto da aplicação de <i>mulch</i> e biochar nas propriedades do solo e na dinâmica de nutrientes em olivais do Alentejo	9SPTAAS	In: Livro de Resumos do 9º Simpósio "Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável". Instituto Politécnico de Leiria. (Leiria, Portugal, 16/06/2024). Oral	xxx-xxx-xxx
2025					
2	Custódio, M.; Catarino, A.; Semedo N., Coelho, L.; Canedo, J.; Prats, S.A.; Palma, P.	<i>Mulch</i> and Biochar as Soil Amendments in Alentejo Olive Groves: preliminary study	X EEDAA	In: Livro de Resumos do X EEDAA PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp43. (Univ. Évora, Portugal, 10-11/12/2025). Poster	xxx-xxx-xxx
3	Hartgers, BJ; Nunes, JP; Canedo, JNGV; Coelho, L., Kok, S; Ning, Y; Prats, SA.	Can a <i>mulch</i> -biochar combination mitigate catchment-scale erosion and nutrient export in Mediterranean agriculture?	X EEDAA	In: Livro de Resumos do X EEDAA PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp96. (Univ. Évora, Portugal, 10-11/12/2025). Poster	xxx-xxx-xxx
4	Horst, L; Canedo, JNGV; Coelho, L; Silva, C; Prats, S.	Phytotoxicity and fungitoxicity of biochar-amended substrates: implications for seedling development and disease suppression	X EEDAA	In: Livro de Resumos do X EEDAA PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp40. (Univ. Évora, Portugal, 10-11/12/2025). Poster	xxx-xxx-xxx

5	Novado, R., Canedo, J.N.G.V., Trindade, A., Castelo, R., Coelho, L., Prats, S.	Effects of the application of <i>mulch</i> and biochar on soil organic matter and carbon in Mediterranean agricultural soils stocks	X EEDAA	In: Livro de Resumos do X EEDAA PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp46. (Univ. Évora, Portugal, 10-11/12/2025). Poster	xxx-xxx-xxx
6	Rivera, M; Esgalhado, C; Hernandez, P; Novado, R; Coelho, L; Prats SA.	Perception Dynamics in Sustainable Land Management: A Multi-Actor Project Study among Wine and Olive Oil Farmers in Portugal	X EEDAA	In: Livro de Resumos do X EEDAA PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp103-104. (Univ. Évora, Portugal, 10-11/12/2025). Poster	xxx-xxx-xxx
7	Canedo, J.N.G.V.; Coelho, L.; Keizer, L.; Heutink, R.; de Pagter, T.; Prats, S.	Effects of <i>Mulch</i> and Biochar on Soil Hydrologic Response in Mediterranean Agroecosystems	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp393. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Poster	978-84-09-7547-7
8	Coelho, L.; Canedo, J.; Castillo, R.; Trindade, A.; Castro, L.; Pinto-Cruz, C.; Marques, J.T.; Prats, S.	<i>Mulch</i> and Biochar as Tools for Soil Conservation: Effects on Erosion Control and Carbon Retention in Agroecosystems.	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp40. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Poster	978-84-09-7547-7
9	de Pagter, T.; Pijl, A.; Canedo, J.; Coelho, L.; Nunes, J.; Prats, S.	Uav-based monitoring of soil erosion in mediterranean agricultural orchards under low erosion rates.	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp410. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Poster	978-84-09-7547-7
10	Rivera. M.; Hernandez, P.; Coelho, L.; Canedo, J.; Prats, S.	Changes in the Perceptions and Practices of Olive Oil and Wine Producers Through Participation in Multi-Actor Projects on Sustainable Soil Management	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp1234. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Poster	978-84-09-7547-7
11	Trindade, A.R.; Matias, P.; Lisboa, S.; Mendonça, A.; Trindade, D.; Prats, S.; Coelho, L.; Duarte, A.	Soil organic carbon storage in citrus and avocado orchards	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp883. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Oral	978-84-09-7547-7
12	Trindade, A.R.; Calado, B.; Matias, P.; Faleiro, M.L.; Prats, S.; Duarte, A.; Coelho, L.	Soil microbial communities in citrus and avocado agroecosystems.	EUROSOIL	In: Livro de Resumos da conferência EUROSOIL 2025. Advancing Soil Knowledge for a Sustainable Future, pp373. (Sevilla, Espanha, 8-12/09/2025). Poster	978-84-09-7547-7
13	Muñoz-Rojas, J.; Prats, SA.	Effects of <i>mulch</i> and <i>mulch</i> -biochar on soil ecosystem services of olive orchards, vineyards and montados of Alentejo.....and beyond	BONEX	In: Webinar BONEX: "Trabalhar com a natureza na agricultura do Alentejo", CENCES-NOVA School of Science and Technology, Univ. de Lisboa, 11/07/2025. Oral	
14	Araújo, JF.; Cravotta III, CA.; Fonseca, R.; da Silva, RP.; Prats SA.; Valente, T.	Acid Mine Drainage Remediation with Waste Products: Laboratory Findings and Field Model Applications.	IMWA	In: Anais da IMWA - International Mine Water Association Conference, pp70-76. (6–11/07/2025; Braga, Portugal; Oviedo, Espanha). Oral	978-3-9825293-3-2



15	de Pagter, T.; Pijl, A.; Canedo, J.; Coelho, L.; Keizer, L.; Heutink, R.; Nunes, J.; Prats, S.	Uav-based monitoring of soil erosion in mediterranean agricultural orchards under low erosion rates.	3rdMED	In: Livro de Resumos do 3rd MED Research Meeting, pp41. (Évora, Portugal, 16-17/06/2025). Oral	978-972-778-503-2
16	Canedo, J.; Coelho, L.; Castro, L.; Lameira, B.; Muñoz-Rojas, J.; Prats, S.	Combining <i>mulch</i> and biochar to increase the carbon sink capacity in Mediterranean vineyards and olive orchards.	3rdMED	In: Livro de Resumos do 3rd MED Research Meeting, pp21. (Évora, Portugal, 16-17/06/2025). Oral	978-972-778-503-2
17	Coelho, L.; Canedo, J.; Castillo, R.; Trindade, A.; Munõz-Rojas, J.; Prats, S.	Biochar application: impact on the germination index of lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) in agricultural soil.	3rdMED	In: Livro de Resumos do 3rd MED Research Meeting, pp60. (Évora, Portugal, 16-17/06/2025). Oral	978-972-778-503-2
18	Daimonakos, V.; Van Zinderen, A.; Muñoz-Rojas, J.; Costa, D.; Nunes, J.P.; Prats, S.A.	How strongly do management practices and scales influence soil erosion rates in olive orchards? Empirical evidence from Alentejo (Portugal)	MED às 4as	In: MED às 4as Internal Meeting, (Évora, Portugal, 04/06/2025). Oral online	
19	Custódio, M.; Catarino, A.; Semedo N.; Tomaz A.; Coelho, L.; Canedo, J.; Prats, S.; Palma, P.	Efeitos da aplicação de <i>mulch</i> e biochar na qualidade do solo de olivais do Alentejo: um estudo preliminar.	8SPTAAS	In: Livro de Resumos do 8º Simpósio "Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável", pp113. (Univ. NOVA de Lisboa, Portugal, 05/06/2025). ISBN: 978-989-33766. Poster	978-989-337626
20	Canedo, J.; Coelho, L.; Lameira, B.; Muñoz-Rojas, J.; Basch, G.; Pinto-Cruz, C.; Marques, T.; Prats, S.	Soil Conservation for Climate Change Mitigation: Effects of <i>Mulch</i> and Biochar on Erosion Control and Carbon Losses	SIBECOL	In: Livro de Resumos do III SIBECOL & XVII AEET Meeting. "Another science is possible: diversity, degrowth, and sustainability in ecological research" pp.117. (Pontevedra, Espanha; 06-07/06/2025). Poster	DOI:10.7818/IIISIBECOL-XVIIAEET-Meeting.2025
21	Prats, S.; Pareja-Sánchez, E.; García-Ruiz, R.; de Luca, A.; Canedo J.N.G.V.; Muñoz-Rojas, J.	Some sustainable agronomic practices enhance C sequestration and net CO ₂ emissions mitigation: empirical evidence from 6 olive groves in Alentejo (Portugal)	REMEDI A	In: Livro de Resumos do XII REMEDIA Workshop "Nuevos Horizontes en el Sistema Agroalimentario: Hacia la Sostenibilidad y neutralidad Climática", pp54. (Universidad de Murcia, Espanha, 11/05/2025). Oral	XXX-XXX-XXX
22	Canedo J.N.G.V.; Coelho L.; Castro L.; Lameira, B.; Prats, S.A.	Combining <i>mulch</i> and biochar to increase the carbon sink capacity in Mediterranean agricultural systems	REMEDI A	In: Livro de Resumos do XII REMEDIA Workshop "Nuevos Horizontes en el Sistema Agroalimentario: Hacia la Sostenibilidad y neutralidad Climática", pp64. (Universidad de Murcia, Espanha, 21-22/05/2025). Oral	XXX-XXX-XXX
23	Muñoz-Rojas, J.; Prats, S.A.	La intensificación no es el único motor de la sostenibilidad en los paisajes de olivar del Alentejo (Portugal)	CIGPA	In: XIII Congreso Ibérico de Gestão e Planificação da Água, pp10. (Univ. de Salamanca, Espanha, 24-30/04/2025). Dia 24	
24	Coelho, L.; Canedo, Prats, S.	Um Tesouro que Permanece in situ: O Solo e o Resgate de Carbono	FTSSom bra	In: Festival Terras Sem Sombra (Ferreira do Alentejo, Portugal, 06/04/2025). Oral/Atividade	

25	Coelho, L.; Canedo, J.; Castro, L.; Custódio, M.; Lameira, L.; Palma, P.; Prats, S.	Cobertura do solo, com <i>mulch</i> e biochar, para reverter a desertificação nos olivais do Mediterrâneo	2SOA UTAD	In: Livro de Resumos do II Simpósio de Olivicultura e Azeites. Associação Internacional de Estudantes de Agricultura IAAS-UTAD (08/01/2025). Oral	
26	Bles, M.; Nunes, J.; Canedo, J.; Lamera, B.; Coelho, L.; Prats, S.	Assessing Soil Macrofauna in Alentejo's agriculture: The Impact of Farming Practices and Soil Treatments.	IX EEDAA	In: Livro de Resumos do IX PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp69. (Univ. Évora, Portugal, 11-12/12/2024). Poster	978-972-778-434-9
27	Heutink, R.; Schaik, L.; Canedo, J.; Lameira, B.; Coelho, L.; Prats, S.	The impact of soil management on soil hydraulic properties in Olive orchards of Southern Portugal.	IX EEDAA	In: Livro de Resumos do IX PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp39. (Univ. Évora, Portugal, 11-12/12/2024). Poster	978-972-778-434-9
28	Canedo, J.; Coelho, L.; Castro, L.; Lameira, B.; Stoutjesdijk, E.; Keizer, L.; Verheijen, F.; Prats, S.	"Hydrologic, erosive and phytotoxic responses of biochar and <i>mulch</i> : comparing soil-mixed and surface-applied effects in agricultural soils"	IX EEDAA	In: Livro de Resumos do IX PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, pp30. (Univ. Évora, Portugal, 11-12/12/2024). Poster	978-972-778-434-9
29	Prats, S.	Conservar e aumentar as reservas de Carbono orgânico no solo.	Parc.Solo	In: Reunião da Parceria Portuguesa para o Solo (Univ. Évora, Portugal, 28/10/2024). Oral	
30	Castro, L.; Coelho, L.; Canedo, J.; Prats, S.	Universidade Estadual do Amapá	3ª SEA	In: 3ª Semana do Engenheiro Agrônomo - Desafios e Oportunidades da Agricultura Sustentável na Amazônia. Universidade Estadual do Amapá, Brasil, 22/10/2024. Poster	
31	Coelho, L.; Canedo, J.; Castro, L.; Custódio, M.; Lameira, L.; Bles, M.; Palma, P.; Prats, S.	Efeito da aplicação de biochar nos solos agrícolas	21ª SCT	In: 21ª Semana Nacional da Ciência e Tecnologia, UEAP, Amapá, Brasil, 22/10/2024. Oral	
32	Muñoz-Rojas, J.; Prats, S.A.	Intensification is not the only driver of sustainability in the olive landscapes of Alentejo (Portugal); the SOLVO Perspective	FONCIM ED	In: XIVth International Seminar of the FONCIMED network pp91-93. (Baeza, Espanha, 9-11/10/2024). Oral	978-84-7993-432-3; https://doi.org/10.56451/10334/9870
33	Flores, D.; Garcia, C.; Moreira, A.; Tavares, S.; Mendonça-Filho, J.G.; Araújo, J.; Prats, S.	Petrographic Data of Biochar Produced by Pyrolysis of Different Biomass: Assessing Carbon Stability in a Geological Context.	75 ICCP	In: Livro de Resumos da 75th ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology). Organic Petrology Research and Applications for the 21st Century, pp79-80. (Porto, Portugal; Oviedo, Espanha, 22-28/09/2024). Poster	978-84-09-64258-8
34	Neto C.; , Moreira A.; Tavares S.; Filho J.; Araújo J.; Alegre S.; Flores D.	Novos dados para a caracterização geoquímica e petrográfica de biochar obtidos através de biomassa de diferentes origens: um contributo para a avaliação da estabilidade	XVI PALOP	In: Livro de Resumos do XVI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa - Contributos da Geoquímica para um Futuro Sustentável, pp80. Silva, Patinha, Candeias (Eds). (Univ. Aveiro, Portugal, 29/07-02/08/2024). Poster	978-972-789-934-0; https://doi.org/10.48528/kdq a-r788

		do carbono em contexto geológico.			
35	Custódio, M.; Coelho, L.; Canedo, J.; Gonzalez-Pelayo, O.; Prats, S.A.; Palma, P.	Ecotoxicological bioassays essential tools to improve knowledge about the quality of biochars	Terraenvision	In: Terraenvision conference. Nature-based solutions to facilitate the transitions for living within the planetary boundaries, pp41-42. (Heraklion, Grécia, 11/07/2024). Poster	978-5-9807-7215-4
36	Coelho, L.; Canedo J.; Castro, L.; Custódio, M, Cachapa, F.; Basch, G.; Verheijen, F.; Bastos, A.C.; Gonzalez-Pelayo, O.; Palma P.; Prats S.A.	Assessing biochar ecotoxicity upon soil application: Implications for lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) germination and <i>Daphnia magna</i> behavior.	Terraenvision	In: Terraenvision conference. Nature-based solutions to facilitate the transitions for living within the planetary boundaries, pp59-60. (Heraklion, Grécia, 11/07/2024). Poster	978-5-9807-7215-4
37	Muñoz-Rojas, J.; Prats, S.A.	Complex trajectories of change in the olive landscapes of Alentejo are resulting in equally complex, and non-linear, sustainability standards...what then about the future?	VI CIEP	In: Livro de Resumos do VI Congresso Ibérico de Ecologia da Paisagem, pp4-5. (Bragança, Portugal; 19-21/06/2024). Oral	
38	Custódio M.; Catarino A.; Tomaz A.; Coelho L.; Prats S.A.; Palma P.	Ensaio ecotoxicológicos para avaliar a capacidade de biochar melhorarem as propriedades de solos agrícolas.	7SPTAAS	In: Livro de Resumos do 7º Simpósio "Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável", pp101. (INIAV, Oeiras, Portugal, 29/05/2024). Poster	978-972-579-080-9
39	Canedo, J. , Coelho, L. , Basch, G. , Cabrita, M.J. , Cachapa, F.; Caldeira, F.; Gonzalez-Pelayo, O.; Marques, T.; Muñoz-Rojas, J.; Palma, P.; Pinto-Correia, T.; Pinto-Cruz, C.; Tomaz, A.; Prats, S.A.	Monitoring <i>mulch</i> -based solutions to reduce runoff and erosion in a variety of land uses in the Alentejo agro-silvo-pastoral systems.	EGU	In: Geophysical Research Abstracts, EGU24-5589, EGU General Assembly 2024. (Viena, Áustria; 14-19/04/2024). Oral	https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-5589
2023					
40	Coelho, L.; Canedo, J.; Cachapa, F.; Basch, G.; Cabrita, M J.; Castro, I.; Daimonakos, V.; Guiomar, N.; Muñoz-Rojas, J.; Stoutjesdijk, E.; Prats, S.	Effect of biochar application to soil habitat on lettuce germination (<i>Lactuca sativa</i> L.).	VIII EEDAA	In: Livro de Resumos do VIII PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, 63. (Univ. Évora, Portugal, 11-12/12/2023). Poster	978-972-778-365-6

41	Canedo J.; Coelho L.; Basch G.; Cabrita M.J.; Cachapa F.; Daimonakos V.; Guiomar N.G.; Mendes, A.I.; Muñoz-Rojas J.; Stoutjesdijk E.; Prats S.A.	Effects of combined <i>mulch</i> and biochar application on soil carbon cycle in vineyards of the Alentejo region.	VIII EEDAA	In: Livro de Resumos do VIII PhD Students Meeting in Environment and Agriculture, 62. (Univ. Évora, Portugal, 11-12/12/2023). Poster	978-972-778-365-6
42	Prats, S.A.; Basch G.; Bastos C.; Brígido C.; Cabrita M.J.; Cachapa F.; Caetano A.; Coelho L.; de la Rosa J.M.; Dias A.; Campos I.; N. Guiomar, O. Gonzalez Pelayo, A. Miller, J. Muñoz-Rojas, J.P. Nunes, P. Palma, T. Pinto-Correia, M. Rivera, A.R. Sousa, Silva F.; L.; Tarelho, A. Tomaz, F. Verheijen.	Rainfall simulations to compare the effect of <i>mulch</i> and biochar on different soil ecosystem services.	RSW	In: Livro de Resumos do 2nd Rainfall Simulator Workshop: Towards harmonisation in the use of rainfall simulators, pp23. (Coimbra, Portugal, 22-24/05/2023). Poster	978-989-33-4703-4

7.5. Workshops

Autores	Título	Instituição	Data	Link
Prats S.A., Coelho L., Canedo J., Novado R., Custódio M., Rivera M., Hernández P.	Workshop: Combate à Erosão na Viticultura e Olivicultura: Aplicação de Biochar e <i>Mulch</i> (SOLVIT)	ADVID Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense	06/03/2026	Link
Prats S.A., Cachapa, F., Coelho, L., Canedo J.	Workshop+Field activity: Práticas agrícolas para conservação e recuperação do solo	Univ. Évora (UE/MED&CHANGE)	21/06/2024	Link
Cachapa, F., Coelho, L., Canedo J., Prats, S.A.	Workshop: Selection of SOLVO Measures for the recovery and valorization of waste with the application of <i>mulch</i> and biochar	Univ. Évora (UE/MED&CHANGE)	23/10/2023	Link

8. Bibliografia

- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687–711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Bombino, G., Denisi, P., Gómez, J.A., & Zema, D.A. (2021). Mulching as best management practice to reduce surface runoff and erosion in steep clayey olive groves. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(1), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.002>
- Canedo, J.N.G.V., Coelho, L., Castro, L., Verheijen, F.G.A., & Prats, S. (2025). Biochar and Mulch: Hydrologic, Erosive, and Phytotoxic Responses Across Different Application Strategies and Agricultural Soils. *Agronomy*, 15(4), 926. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040926>
- Carril, P., Ghorbani, M., Loppi, S., & Celletti, S. (2023). Effect of Biochar Type, Concentration and Washing Conditions on the Germination Parameters of Three Model Crops. *Plants*, 12(12), 2235. <https://doi.org/10.3390/plants12122235>
- Coelho, L., Canedo, J.N.G.V., Custódio, M., Flores, D., Mourão, P., Palma, P., & Prats, S.A. (2025). Feedstock and pyrolysis conditions of biochars: influence on soil phytotoxicity and water ecotoxicity. *Soil Biology and Biochemistry*, 109935. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109935>
- Daimonakos, V., Zinderen, A.V., Muñoz-Rojas, J., Costa, D., Nunes, J.P., & Prats, S.A. (2026). How strongly do management practices and scales influence soil erosion rates in olive orchards? Empirical evidence from Alentejo (Portugal). *Geoderma*, 466, 117673. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2026.117673>
- De la Rosa, J.M., Jiménez-Morillo, N.T., González-Pérez, J.A., Almendros, G., Vieira, D., Knicker, H., & Keizer, J.J. (2019). Mulching-induced preservation of soil organic matter quality in a burnt eucalypt plantation in central Portugal. *Journal of Environmental Management*, 231, 1135–1144. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.114>
- de Pagter, T., Canedo, J.N.G.V., Pijl, A., Coelho, L., Nunes, J.P., & Prats, S. (2026). UAV-Based Soil Erosion Assessment in Mediterranean Agricultural Orchards. *Agronomy*, 16(6), 645. <https://doi.org/10.3390/agronomy16060645>
- El Yamani, M., & Cordovilla, M.D.P. (2024). Tolerance Mechanisms of Olive Tree (*Olea europaea*) under Saline Conditions. *Plants*, 13(15), 2094. <https://doi.org/10.3390/plants13152094>
- Esgalhado, C., Pinto-Correia, T., Targetti, S., Napoléone, C., & Rivera, M. (2024). Sustaining altitude pastures in mountain landscapes: A fuzzy cognitive model approach. *Science of the Total Environment*, 931, 172930. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172930>

European Court of Auditors. (2018). Combating desertification in the EU: a growing threat in need of more action. Special report n°33/2018. https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_33/SR_DESERTIFICATION_EN.pdf

Fan, C., Cui, Y., Zhang, Q., Yin, N., Cai, X., Yuan, X., Senadheera, S., Cho, Y., & Ok, Y.S. (2023). A critical review of the interactions between rhizosphere and biochar during the remediation of metal(loid) contaminated soils. *Biochar*, 5, 87. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00278-y>

Gómez, J.A., Llewellyn, C., Basch, G., Sutton, P.B., Dyson, J.S., & Jones, C.A. (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4), 502-514. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00367.x>

Hartemink, A. E., & Barrow, N. J. (2023). Soil pH-nutrient relationships: the diagram. *Plant and Soil*, 486(1-2), 209-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05861-z>

Ippolito, J.A., et al. (2020). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731-1764. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>

Jordán, A., Zavala, L. M., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81(1), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007>

Jordán, A., Zavala, L.M., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *CATENA*, 81(1), 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007>

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>

Luján Soto, R., Cuéllar-Padilla, M., Rivera, M., Pinto-Correia, T., & Guzmán, G. I. (2021). Participatory monitoring and evaluation to enable social learning, adoption and out-scaling of regenerative agriculture. *Ecology and Society*, 26(4), 29. <https://doi.org/10.5751/ES-12796-260429>

Luján Soto, R., Cuéllar-Padilla, M., Rivera, M., Pinto-Correia, T., & Guzmán, G.I. (2021). Participatory monitoring and evaluation to enable social learning, adoption, and out-scaling of regenerative agriculture. *Ecology and Society*, 26(4), 29. <https://doi.org/10.5751/ES-12796-260429>

Marra, R., Vinale, F., Cesarano, G., Lombardi, N., d'Errico, G., Crasto, A., Mazzei, P., Piccolo, A., Incerti, G., Woo, S.L., Scala, F., & Bonanomi, G. (2018). Biochars from olive

mill waste have contrasting effects on plants, fungi and phytoparasitic nematodes. *PLoS ONE*, 13(6), e0198728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198728>

Montagnoli, A., Baronti, S., Danieli, A., Chiatante, D., Scippa, G.S., & Terzaghi, M. (2021). Pioneer and fibrous root seasonal dynamics of *Vitis vinifera* L. are affected by biochar application to a low fertility soil: A rhizobox approach. *Science of the Total Environment*, 751, 141455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141455>

Oleszczuk, P., Joško, I., & Kuśmierz, M. (2013). Biochar properties regarding to the content of potentially toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.044>

Pareja-Sánchez, E., Prats, S.A., García-Ruiz, R., de Luca, A.I., & Muñoz-Rojas, J. (2026). Can Sustainable Farming Make Olive Groves Carbon Neutral? Empirical Evidence from Mediterranean Portugal. *Environmental Research Communications*, 8, 055015. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae675e>

Prats, S. A., González-Pelayo, Ó., Silva, F. C., Bokhorst, K. J., Baartman, J. E., & Keizer, J. J. (2019). Post-fire soil erosion mitigation at the scale of swales using forest logging residues at a reduced application rate. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(14), 2837-2848. <https://doi.org/10.1002/esp.4711>

Prats, S.A., Merino, A., Gonzalez-Perez, J.A., Verheijen, F.G.A., & De La Rosa, J.M. (2021). Can straw-biochar mulching mitigate erosion of wildfire-degraded soils under extreme rainfall? *Science of the Total Environment*, 761, 143219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143219>

Prosdocimi, M., Tarolli, P., & Cerdà, A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.006>

Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Wagenbrenner, J. W., Ashmun, L. E., & Brown, R. E. (2013). Post-fire mulching for runoff and erosion mitigation Part I: Effectiveness at reducing hillslope erosion rates. *Catena*, 105, 75–92. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.015>

Rodríguez Sousa, A.A., Muñoz-Rojas, J., Brígido, C., & Prats, S.A. (2023). Impacts of agricultural intensification on soil erosion and sustainability of olive groves in Alentejo (Portugal). *Landscape Ecology*, 38, 3479–3498. <https://doi.org/10.1007/s10980-023-01682-2>

Smets, T., Poesen, J., & Knapen, A. (2008). Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. *Earth-Science Reviews*, 89(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.001>

Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and



functions. *EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.* <https://doi.org/10.2788/472>

