



MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO SOLO EM POMAR DE MIRTILOS SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA

A cobertura do solo é uma prática agrícola amplamente utilizada na horticultura e fruticultura com o objetivo de reduzir a emergência de infestantes, aumentar a eficiência do uso da água e nutrientes pelas culturas, controlar a temperatura do solo, proteger as plantas contra pragas e doenças e, consequentemente, aumentar o rendimento da cultura. A FAO (2021) recomenda a substituição dos materiais plásticos de cobertura do solo, de origem fóssil, por materiais biodegradáveis de origem orgânica (biofilmes), que além de proporcionarem os mesmos benefícios que os materiais plásticos convencionais, oferecem a vantagem adicional de poderem enriquecer o solo com matéria orgânica e nutrientes, promovendo, em simultâneo, a atividade microbiana.



Filipe Pedra, Pedro Brás de Oliveira, Corina Carranca
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



Introdução

A crescente presença de microplásticos (MP) no ambiente tem suscitado preocupações, inicialmente centradas nos meios aquáticos, mas que recentemente têm incidido também sobre os ecossistemas terrestres. As micropartículas de plástico no solo podem alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetando diretamente a sua fertilidade e saúde.

Na agricultura, a cobertura do solo com materiais plásticos de origem fóssil (**plásticos convencionais**) é normalmente efetuada com polímeros como o polietileno (PE) e polipropileno (PP). Estas coberturas são aplicadas à superfície do solo, na linha de sementeira ou plantação, com o objetivo de reduzir a competição com infestantes, aumentar a eficiência do uso da água e dos nutrientes pela cultura, controlar a temperatura do solo, proteger a cultura contra doenças e pragas e, conseqüentemente, aumentar o seu rendimento.

Os materiais plásticos degradam-se lentamente no solo sob a influência de fatores ambientais como a radiação ultravioleta, as variações de temperatura e humidade, a ação mecânica e a atividade microbiana, originando partículas cada vez menores. Estes resíduos plásticos podem-se incorporar no solo, interferindo na operação de máquinas agrícolas, ou serem transportados pelo vento e água, dispersando-se até longas distâncias. Tais resíduos, com dimensões menores que 5 mm, são considerados **microplásticos secundários**, caracterizando-se por um elevado peso molecular e propriedades hidrofóbicas (Pedra et al., 2024).

Apesar da ausência de regulamentação nacional e europeia específica para estes **contaminantes emergentes**, a FAO (2021) recomenda a substituição dos materiais de origem fóssil, não biodegradáveis, por materiais biodegradáveis de origem orgânica (*bio-based polymers*). A FAO (2021) defende a sua introdução competitiva no mercado, em alinhamento com os objetivos do Pacto Ecológico Europeu (2050), que visa a neutralidade carbónica.

Deste modo, torna-se fundamental investigar alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais utilizados na cobertura do solo. Entre essas alternativas

destacam-se os materiais de origem vegetal, como a casca de pinheiro e a palha de arroz, bem como filmes biodegradáveis produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como o amido (um polissacárido extraído do milho ou da mandioca), a celulose e proteínas, como o glúten de trigo. Além disso, materiais derivados de copolímeros como o tereftalato-adipato-polibutileno (PBAT) e ácido polilático (PLA), um poliéster termoplástico obtido por condensação do ácido láctico com libertação de água, também são considerados biodegradáveis e compostáveis, especialmente em condições de compostagem industrial, a temperaturas de cerca de 70 °C (Sintim *et al.*, 2020; Castro-Aguirre *et al.*, 2018; Santini *et al.*, 2024).

Em condições reais de campo, segundo a EN 17033 (2018) são considerados filmes biodegradáveis aqueles que sofrem, no solo, desintegração física e degradação microbiana até 90%, num prazo máximo de 24 meses. Durante esse processo de degradação, o biofilme é decomposto por microrganismos, na presença de O₂, produzindo CO₂ ou CH₄, H₂O, biomassa microbiana e/ou compostos inorgânicos, especialmente azotados (EN 17033, 2018). Além de proporcionarem os mesmos benefícios que os plásticos convencionais de cobertura do solo, os materiais biodegradáveis contribuem ainda para o enriquecimento do solo em matéria orgânica e nutrientes, promovendo também a atividade microbiana (Nithisha *et al.*, 2022). Todavia, importa salientar que a simples designação de “biodegradável” não garante, por si só, a adequação de um material como biofilme agrícola. É fundamental verificar se o produto cumpre efetivamente os requisitos da norma, especialmente no caso das coberturas comercializadas fora da União Europeia, que podem não obedecer aos mesmos critérios de certificação. A durabilidade incerta no campo, o custo mais elevado destes materiais face aos materiais de origem fóssil, e a presença, geralmente mais significativa, de aditivos de origem sintética, frequentemente necessários para conferir melhores propriedades mecânicas ou de estabilidade, podem levantar reservas quanto à sua adoção generalizada.

As plantas de mirtilo (*Vaccinium* sp.) desenvolvem-se bem na região mediterrânica, onde por vezes a

temperatura à superfície do solo excede os 40 °C durante o verão. Estas plantas produzem raízes muito finas (<100 µm de diâmetro), concentradas à superfície do solo, em resultado do regime de rega utilizado (Machado *et al.*, 2023). Por este motivo, são muito sensíveis às elevadas temperaturas, respondendo de forma favorável à cobertura do solo especialmente quando se utilizam materiais de origem orgânica (por exemplo, resíduos lenhosos) que contribuem para a redução da temperatura na zona radicular.

Atualmente, a maioria dos campos de produção de mirtilos em Portugal e Espanha usa uma cobertura do solo com um geotêxtil preto, um tecido de fibras sintéticas derivadas do PP, resistente, durável e permeável à passagem da água e ar, mas que também influencia a temperatura do solo, devido a alterações nos mecanismos de condução e convecção do calor (Machado *et al.*, 2023).

No estudo apresentado, foram monitorizadas, durante cerca de um ano, diversas características físico-químicas do solo (0–20 cm) sob cultivo de mirtilos, no sul de Portugal, em condições de campo, utilizando cinco tipos de materiais de cobertura do solo: dois materiais plásticos convencionais e três materiais de base biológica (*bio-based materials*).

Material e métodos

No âmbito do **projeto PRR: Agri-Plast**, a equipa do INIAV avaliou os efeitos de diferentes tipos de cobertura do solo num pomar de mirtilos (*Vaccinium virgatum* Aston cv. Centra Blue), fertirregado e instalado em outubro de 2023, em solo ligeiro, no Polo de Inovação do INIAV, na Fataca (Odemira) (Figura 1). A avaliação centrou-se em algumas características físico-químicas do solo (0–20 cm), designadamente a temperatura e os teores de humidade e salinidade. A avaliação dos materiais variados de cobertura do solo, desde a casca de pinheiro, o papel Kraft® e o biofilme PBAT Kritifil®, todos de origem orgânica, a plásticos fósseis como o PE e materiais sintéticos derivados do PP, permitiu uma análise comparativa entre abordagens convencionais e alternativas sustentáveis.



Figura 1 – Vista parcial do ensaio com diferentes tipos de cobertura do solo cultivado com mirtilos ‘Centra Blue’, no Polo de Inovação do INIAV, na Fataca (Odemira).

Entre setembro de 2024 e setembro de 2025, monitorizaram-se, mensalmente, pelas 10:30 h, os teores de humidade (%) e salinidade (mS m^{-1}), bem como a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do solo, utilizando um sensor do solo Delta-T[®] WET 150, Soil Moisture KIT (Figura 2).

A realização de medições mensais permitiu um acompanhamento sazonal relevante para a avaliação dos efeitos das coberturas do solo no que respeita, em particular, ao desenvolvimento de infestantes e teores de humidade e salinidade (con-

ductividade elétrica, CE) e a temperatura do solo. O sensor permitiu dados consistentes para esses parâmetros críticos do solo.

Resultados e discussão

Infestantes

No que respeita às **infestantes**, a modalidade com papel Kraft[®] revelou-se menos eficiente comparativamente às outras modalidades, especialmente devido à menor largura do material (80 cm), o que não permitiu a cobertura integral do camalhão (1,60 m de largura). Para além disso, o papel mostrou-se vulnerável a rasgos provocados pelos ventos fortes da região. Esta fragilidade evidenciou uma reduzida resistência mecânica a condições ambientais adversas, comprometendo a sua função como barreira física. A fixação lateral do papel com grampos mostrou-se ineficaz, contribuindo para a perda de integridade do material. Além disso, a cobertura com papel Kraft[®], ao não garantir um isolamento eficaz do solo, criou um ambiente favorável ao desenvolvimento de infestantes sob coberto, devido à manutenção da humidade e ao efeito de estufa gerado sob o material. Estas condições favoreceram a germinação e o crescimento de infestantes, mesmo sob a cobertura.



Figura 2 – Aspectos do sensor do solo Delta-T[®] WET 150, Soil Moisture KIT.

Todas as outras modalidades revelaram-se eficientes no controlo das infestantes. Para garantir uma cobertura eficiente, é essencial que cubra integralmente a área de plantação, neste caso, o camalhão. Este é um aspeto técnico crucial para inibir a competição das infestantes com a cultura principal pela água e nutrientes. Comprovou-se que, ao contrário dos filmes plásticos, o papel Kraft® não apresenta a mesma durabilidade estrutural em condições ambientais adversas, como a exposição a ventos fortes. O seu desempenho poderá ser otimizado com ajustes práticos, como aumentar a largura do material para assegurar a cobertura total do camalhão e eventual tratamento com agentes naturais, como a parafina, com vista ao reforço da sua resistência mecânica. Ainda assim, importa reconhecer o potencial ambiental e agronómico do papel Kraft® enquanto alternativa biodegradável e de origem renovável aos plásticos convencionais, uma vez que, apesar das limitações mecânicas observadas, não evidenciou desgaste químico devido à radiação ultravioleta nem degradação física provocada pela precipitação/rega. Na sua composição química, o papel Kraft® foi aquele que apresentou as concentrações mais baixas do aditivo ftalato (DEHP), reforçando o seu potencial como alternativa segura de cobertura do solo.

No presente estudo, a cobertura orgânica do solo com casca de pinheiro inibiu, completamente, o desenvolvimento de infestantes atuando como uma

barreira física que impediu a total germinação das sementes devido ao efeito do ensombramento. Este resultado é consistente com o observado por outros autores (Nithisha *et al.*, 2022).

Humidade do solo

A utilização do sensor permitiu a obtenção expedita de dados consistentes relativos a parâmetros físico-químicos críticos da qualidade do solo (humidade, temperatura, salinidade). No que respeita à variação sazonal do teor de **humidade** do solo, a **casca de pinheiro** foi a modalidade de cobertura que mais contribuiu para o aumento do teor de humidade à superfície do solo (25%) (Figura 3A). Para a média dos tratamentos, o teor de humidade aumentou de 11,8% em setembro de 2024 para 30,3% um ano depois, idêntico aos meses de julho e agosto de 2025 (Figura 3B). Considerando o efeito médio das datas de medição, todas as outras modalidades de cobertura do solo conduziram ao menor, e idêntico, teor de humidade no solo (22%) (Figura 3A). A resposta diferenciada dos materiais de cobertura quanto à retenção de água está de acordo com estudos anteriores que demonstraram que a casca de pinheiro tende a melhorar a capacidade de retenção de água do solo (Nithisha *et al.*, 2022).

Temperatura do solo

As diferentes modalidades de cobertura do solo induziram diferenças significativas na **temperatu-**

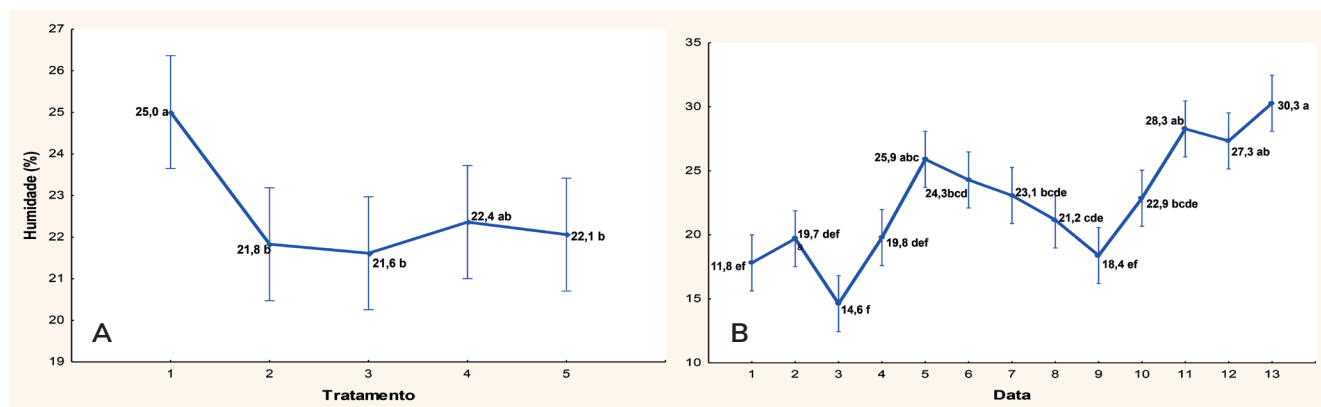


Figura 3 – Variação do teor de humidade (%) do solo (0–20 cm) por efeito dos tipos de cobertura do solo (1 = casca de pinheiro; 2 = papel Kraft®; 3 = geotêxtil preto, PP; 4 = PE preto (40 µm); 5 = PBAT preto, Kritifil®, 14 µm), considerando os efeitos médios das datas de amostragem (A), e ao longo do ciclo cultural (data 1 = set24...data 13 = set25), considerando o efeito médio dos tratamentos (B).

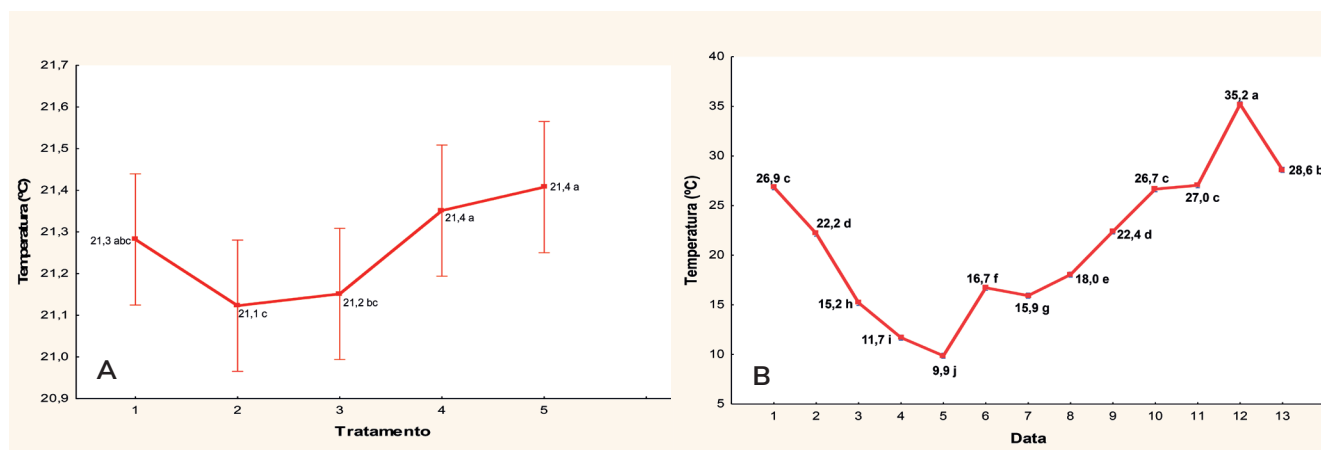


Figura 4 – Variação da temperatura (°C) do solo (0–20 cm) por efeito dos tipos de cobertura do solo (1 = casca de pinheiro; 2 = papel Kraft®; 3 = geotêxtil preto, PP; 4 = PE preto (40 µm); 5 = PBAT preto, Kritifil®, 14 µm), considerando os efeitos médios das datas de amostragem (A), e ao longo do ciclo cultural (data 1 = set24...data 13 = set25), considerando o efeito médio dos tratamentos (B).

ra média do solo (Figura 4A), com um valor mais elevado sob o biofilme PBAT Kritifil®, igual ao PE (21,4 °C). A temperatura média mais baixa foi registrada sob o papel Kraft® (21,1 °C), semelhante ao geotêxtil e casca de pinheiro (21,2 °C). Do mesmo modo, Machado *et al.* (2023) observaram uma temperatura mais baixa no solo coberto com casca de pinheiro. Nithisha *et al.* (2022) verificaram resultado idêntico com palhas de cereais. Ao longo dos primeiros 5 meses de ensaio a temperatura do solo diminuiu progressivamente, decrescendo significativamente de 26,9 °C em setembro de 2024 para 9,9 °C, em janeiro de 2025 (Figura 4B). A partir desse mês, a tendência decrescente inverteu-se, com um aumento continuado ao longo do tempo, refletindo a variação típica associada à dinâmica sazonal, com um valor máximo (35,2 °C) em agosto de 2025 (Figura 4B).

Os materiais de cobertura do solo disponíveis no mercado apresentam diferentes cores, incluindo o preto, preto com o verso branco, branco, preto com o verso prateado, e verde. A cor preta é a mais recomendada para regiões mais frias, pois contribui para um maior aquecimento do solo. Por outro lado, os filmes brancos e os de cor verde permitem temperaturas do solo mais moderadas, especialmente no verão, ao refletirem a radiação solar, sendo, por isso, recomendados para as regiões mais quentes, como as regiões mediterrânicas (por exemplo, sul

de Portugal e Espanha). Este comportamento foi observado no presente ensaio onde o papel Kraft®, de coloração clara, promoveu a temperatura do solo mais baixa. Ao contrário, os filmes pretos (PE e Kritifil®) contribuíram para valores de temperatura mais elevada à superfície do solo. No entanto, a diferença térmica entre as cinco modalidades de cobertura do solo foi de apenas 0,3 °C. Esta variação térmica à superfície do solo, significativa, mas mínima, poderá estar associada à aplicação de **fertirrega**, uma vez que a rega localizada contribuiu para a regulação da temperatura do solo. Assim, a cor do material de cobertura poderá exercer menor influência na temperatura do solo em comparação com situações de exposição direta à radiação solar.

Salinidade do solo

No que respeita à **salinidade** do solo, isto é, o teor de sais solúveis no solo avaliado através da condutividade elétrica (CE), quanto maior for a concentração de iões na solução do solo, maior será a CE. Os resultados do presente estudo indicaram um aumento significativo da CE do solo logo após o início das práticas culturais, passando de um valor inicial de 7 mS m⁻¹ no solo não cultivado (Pedra *et al.*, 2024) para 12,8 mS m⁻¹ em setembro de 2024 (Figura 5B), aquando do início da fertirrega. A CE atingiu um valor máximo de 31,9 mS m⁻¹ em outubro de 2024, diminuindo posteriormente, em todas

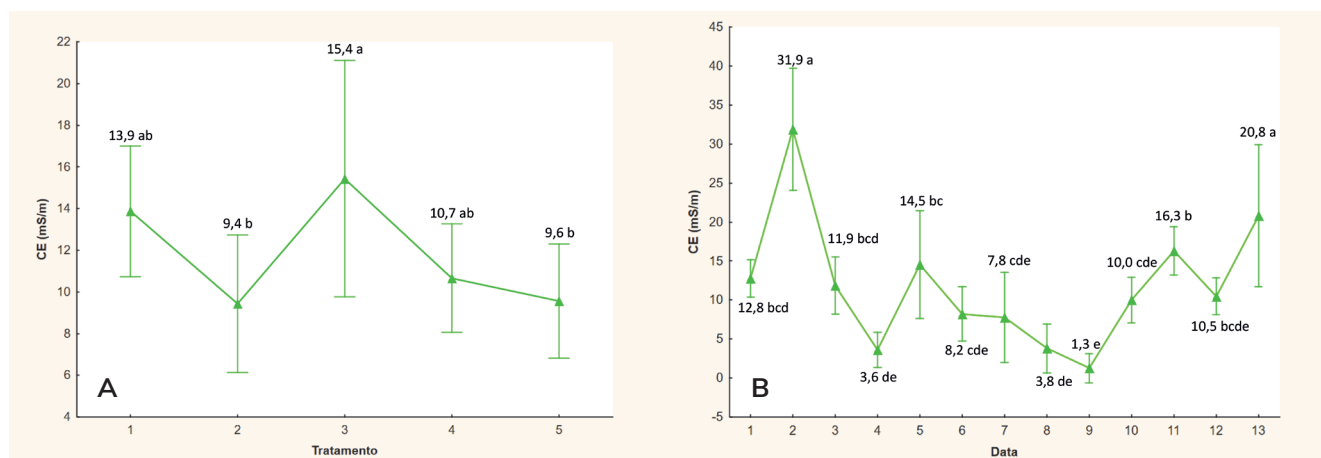


Figura 5 – Variação do teor de salinidade (CE, mS m^{-1}) no solo (0–20 cm) por efeito dos tipos de cobertura do solo (1 = casca de pinheiro; 2 = papel Kraft®; 3 = geotêxtil preto, PP; 4 = PE preto (40 μm); 5 = PBAT preto, Kritifil®, 14 μm), considerando os efeitos médios das datas de amostragem (A), e ao longo do ciclo cultural (data 1 = set24...data 13 = set25), considerando o efeito médio dos tratamentos (B).

as modalidades, até atingir um valor muito baixo em dezembro de 2024 ($3,6 \text{ mS m}^{-1}$), na sequência da interrupção da fertilização, continuação da rega e chuva.

Entre as várias modalidades (Figura 5A), destaca-se o geotêxtil (PP), com uma CE média de $15,4 \text{ mS m}^{-1}$, com uma concentração salina muito elevada em outubro de 2024 (50 mS m^{-1} ; dado não apresentado), possivelmente devido a uma maior acumulação de sais na camada superficial do solo, resultante do menor teor médio de humidade no solo registado nesta modalidade, em comparação com as restantes coberturas, sobretudo a casca de pinheiro. Em novembro de 2024, após cessação da fertilização, mas mantendo a rega, a CE sob o geotêxtil diminuiu para um valor semelhante ao das restantes modalidades ($17,7 \text{ mS m}^{-1}$, dado não apresentado). Todavia, em agosto de 2025, a CE na referida modalidade voltou a ser significativamente superior ($37,7 \text{ mS m}^{-1}$, dado não apresentado) às restantes, em consequência do aumento da frequência da fertirrega no mês de agosto, em todas as modalidades, e que terá conduzido novamente a uma maior acumulação de sais no solo coberto com o geotêxtil.

São vários os fatores que afetam a CE, designadamente a temperatura, o tipo de solo (textura) e a profundidade, o teor de água do solo, e em especial a fertilização. O aumento da CE no solo do

presente ensaio é consistente com a introdução dos fertilizantes solúveis na água de rega, que contribuíram diretamente para o aumento do teor de sais no solo. Apesar de alguns valores elevados de CE, não foram observados efeitos negativos visíveis no desenvolvimento das plantas de mirtilo. Valores médios de CE entre 15 e 40 mS m^{-1} são considerados aceitáveis para a generalidade das culturas, dependendo do tipo de solo (Veloso *et al.*, 2022). Isto sugere que, no intervalo de tempo estudado, as plantas toleraram bem os níveis de salinidade registados, devido a uma combinação de fatores como sejam a capacidade de adaptação da cultura e uma gestão eficiente da fertirrega, com um curto período de exposição à salinidade. Após a cessação da fertirrega, a continuação da rega contribuiu para mitigar os potenciais efeitos negativos da salinidade no solo. Importa, no entanto, salientar que níveis elevados e persistentes de salinidade no solo podem comprometer, a médio e longo prazo, a absorção de água e nutrientes afetando o crescimento das plantas de mirtilo, a produção e a qualidade dos frutos.

O sensor do solo revelou-se uma metodologia expedita e eficaz para a monitorização contínua da salinidade do solo e para o ajustamento da fertirrega, sendo fundamental para se evitarem efeitos cumulativos no solo.

Conclusão

A monitorização das condições do solo num pomar jovem de mirtilo, sob diferentes tipos de cobertura do solo, evidenciou diferenças significativas nos parâmetros avaliados, com implicações práticas relevantes na escolha do material de cobertura a utilizar. A cobertura do solo influenciou significativamente a temperatura e os teores de humidade e salinidade do solo.

A casca de pinheiro demonstrou o melhor desempenho no controlo de infestantes e na retenção de água no solo, sendo recomendada como alternativa eficaz e sustentável às coberturas de plástico, particularmente em regiões mais quentes. O papel Kraft® (celulose), embora biodegradável e de origem renovável, apresentou fragilidade mecânica o que comprometeu a sua eficácia, especialmente em condições de vento moderado a forte, mas também no controlo das infestantes. Todavia, este material apresentou-se eficaz no controlo da temperatura do solo, possivelmente devido à sua cor clara, mas idêntico à casca de pinheiro. O biofilme Kritifill® (PBAT) apresentou um desempenho idêntico ao do plástico convencional (PE) para todas as características medidas, apresentando-se como uma potencial alternativa ao PE, desde que estejam em conformidade com os requisitos definidos na norma que regula a biodegradabilidade deste tipo de materiais. A limitação do biofilme PBAT foi a sua fraca resistência ao vento, devido à pequena espessura do material utilizado, sendo recomendável a aplicação de um filme com espessura idêntica à do polietileno usado no presente estudo (40 µm), caso se pretenda a sua aplicação em culturas de maior duração. Também a largura do material deve cobrir plenamente o camalhão. O geotêxtil (PP) foi eficiente no controlo das infestantes, mas exigiu especial atenção na gestão da fertirrega devido à maior acumulação de sais no solo.

A monitorização contínua do solo com o sensor revelou-se uma prática valiosa permitindo o ajuste imediato da rega e fertilização. Assim, a adoção de coberturas do solo mais sustentáveis e práticas agrícolas igualmente sustentáveis, aliadas ao uso

de tecnologia de monitorização, contribui para o aumento da produtividade. 🌱

Agradecimentos

O presente estudo insere-se no âmbito do projeto PRR-C05-i03-I-000167: “Agri-Plast-Organização da Produção e Inovação para a Redução de Plásticos Agrícolas”. Os autores expressam o seu agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia através do Centro de Investigação “Green-it: Bioresources for Sustainability”, do ITQB NOVA (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04551/2020>; <https://doi.org/10.54499/UIDP/04551/2020>) e “LEAF: Linking, Landscape, Environment, Agriculture and Food”, do ISA/UL. Os autores também expressam a sua gratidão à técnica Anabela Silva, do Polo de Inovação da Fataca em Odemira, pela manutenção do campo experimental.

Bibliografia

- Castro-Aguirre, E.; Auras, R.; Selke, S. et al. (2018). *Polymer Degradation and Stability*, **154**:46–54. DOI:10.1016/j.polyimdegradstab.2018.05.017.
- EN 17033 (2018). *Plastics: Biodegradable mulch films for use in agriculture and horticulture. Requirements and test methods*.
- FAO (2021). *Assessment of Agricultural Plastics and their Sustainability. A Call for Action*. DOI:10.4060/cb7856en.
- Machado, R.; Bryla, D.R.; Correia, M. (2023). *Acta Hort.*, **1357**. DOI:10.17660/ActaHortic.2023.1357.55.
- Nithisha, A.; Bokado, K.; Charitha, K.S. (2022). *The Pharma Innovation Journal*, **11**(7S):3597–3603.
- Pedra, F.; Inácio, M.L.; Oliveira, P. ... Carranca, C. (2024). *Pollutants*, **4**(1):16–25. DOI:10.3390/pollutants4010002.
- Santini, G.; Zizolfi, M.; Santorufo, L. et al. (2024). *Soil Syst.*, **8**:92. DOI:10.3390/soilsystems8030092.
- Sintim, H.Y.; Bary, A.I.; Hayes, D.G. et al. (2020). *Sci Total Environ.*, **727**:138668. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.138668.
- Veloso, A.; Sempiterno, C. ... Pedra, F. et al. (2022). *Manual de Fertilização das Culturas*, 3.ª ed., INIAV, ISBN:978-972-579-063.