

CONHECER E MELHORAR O SOLO PARA A **SUSTENTABILIDADE** **DOS SISTEMAS HORTOINDUSTRIAIS**



Projeto MaisSolo – Parte 2: BIOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DO STATUS DO SOLO

1. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Paula Fareira, Pablo Pereira,
Ricardo Soares, Isabel Videira e Castro

Instituto Nacional de Investigação
Agrária e Veterinária, INIAV, I.P.
Laboratório de Microbiologia do Solo

2. NEMÁTODES COMO BIOINDICADORES

Maria João Camacho,
Leidy Rusinque, Filomena Nóbrega,
Maria de Lurdes Inácio

Instituto Nacional de Investigação
Agrária e Veterinária, INIAV, I.P.
Laboratório de Nematologia (NemaINIAV)

3. ARTRÓPODES COMO BIOINDICADORES

Elsa Valério¹, Maria do Céu Godinho¹,
Rosa Santos Coelho¹,
Elisabete Figueiredo²

¹ Instituto Politécnico

de Santarém/Escola Superior Agrária

² LEAF-Linking Landscape, Environment,
Agriculture and Food. Instituto Superior de
Agronomia, Universidade de Lisboa

RESUMO

O projeto MaisSolo tem como objetivos centrais melhorar a proteção das culturas e a eficiência do uso dos recursos na produção agrícola através do desenvolvimento e aplicação de tecnologias alternativas à luta química contra pragas e doenças. Com este foco, pretende-se contribuir para o incremento da biodiversidade, conservação do solo e da água e para a promoção da viabilidade económica das explorações.

A descrição do projeto, objetivos, tecnologias estudadas e opções alternativas à monocultura e à aplicação estrita de pesticidas encontra-se no texto que corresponde à parte I deste artigo. Na parte II, apresentam-se os resultados da monitorização de parâmetros biológicos no solo para avaliação do impacto das culturas de cobertura na cultura principal de primavera-verão. Foram observados grupos relevantes para a construção de indicadores como



a atividade microbiológica, microrganismos benéficos, nemátodes e artrópodes.

1. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Microrganismos benéficos

Os microrganismos do solo desempenham um papel determinante na regulação das propriedades do solo e na disponibilização de nutrientes para as plantas, podendo contribuir para o aumento da produtividade vegetal, fixação do carbono e melhoria da qualidade do solo. Alguns microrganismos rizosféricos são particularmente importantes pelas interações que estabelecem com as plantas e pela influência benéfica que podem exercer no seu desenvolvimento (Bulgarelli *et al.*, 2013). É o caso das bactérias fixadoras de azoto, genericamente designadas por rizóbios, que estabelecem simbioses com plantas leguminosas. Estas bactérias convertem o azoto atmosférico em amónia, que fica disponível para as plantas permitindo-lhes alcançar a independência relativamente ao azoto de que necessitam para o crescimento. As bactérias promotoras de crescimento de plantas, de que são exemplo *Azospirillum* e *Pseudomonas*, constituem outro importante grupo de microrganis-

mos benéficos para as plantas, atuando na disponibilização de nutrientes, estimulação do crescimento e fortalecimento da resposta imunitária ou do desempenho em situações de stress. Um terceiro grupo consiste em fungos endomicorrízicos, que formam associações simbióticas com as raízes das plantas e desempenham múltiplas funções benéficas, tais como a melhoria da assimilação de nutrientes e absorção de água. Ao contribuir para uma melhor condição fisiológica da planta, a colonização da rizosfera por microrganismos benéficos pode aumentar a resistência das plantas aos agentes fitopatogénicos e ajudar a conter a progressão das doenças radiculares.

«Muitas práticas associadas à agricultura intensiva resultam em desequilíbrios de biodiversidade que os desfavorecem relativamente a outras espécies não-benéficas»

Os microrganismos benéficos ocorrem naturalmente e podem ser predominantes em ecossistemas pouco intervencionados, mas muitas práticas associadas à agricultura intensiva resultam em desequilíbrios

de biodiversidade que os desfavorecem relativamente a outras espécies não-benéficas (FAO *et al.*, 2020). Nestes sistemas intensivos, a ocupação do solo no período de outono-inverno com culturas de cobertura à base de leguminosas, gramíneas, ou misturas biodiversas de ambas, vai favorecer o enriquecimento do solo em microrganismos benéficos que ficarão disponíveis para interagir com a cultura principal, com todos os benefícios que daí advêm.

A utilização de sementes inoculadas nas culturas de cobertura pode ainda potenciar este enriquecimento. Em particular, a inoculação de leguminosas com estirpes de rizóbios específicas e eficazes na fixação de azoto vai aumentar as populações de fixadores simbióticos de azoto e

contribuir para o enriquecimento do solo neste nutriente essencial (Castro *et al.*, 2016). Adicionalmente, a adoção de práticas que favoreçam a micorrização pode também ter um papel muito importante. É conhecido que determinadas espécies, como é o caso do azevém anual, micorizam muito facilmente e o seu cultivo enriquece o solo em fungos endomicorrízicos autóctones, que poderão depois associar-se às culturas seguintes. Assim, estas espécies, designadas como micotróficas (ou *developers*), atuam como promotores ou propagadores de endomicorrizas e a sua utilização nas culturas de cobertura irá favorecer a micorrização da cultura principal (Alho *et al.*, 2015). Dado o papel-chave dos microrganismos benéficos, a avaliação da sua abundância e atividade no solo pode funcionar como indicador da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ecossistemas (Schloter *et al.*, 2018).

Enzimas do solo

Os microrganismos são responsáveis pela produção de uma grande parte das enzimas envolvidas na degradação, mineralização e imobilização da matéria orgânica no solo. Entre as enzimas do solo encontram-se, por exemplo, desidrogenases (oxidação da matéria orgânica associada à respiração microbiana), celulasas (degradação de celulose), β -glucosidases (degradação de β -glucósidos presentes em

resíduos vegetais), fosfatases (hidrólise de estéres de fosfato), ureases (hidrólise de ureia), arilsulfatases (hidrólise de estéres de sulfato), proteases (hidrólise de proteínas a péptidos e aminoácidos) ou amidases (hidrólise de amidas). As enzimas do solo são sensíveis às condições do meio envolvente e respondem rapidamente a alterações de natureza vária, incluindo práticas de gestão agrícola tais como mobilização, aplicação de resíduos ou fertilização excessiva, muitas vezes antes de os efeitos serem mensuráveis de outra forma. Por esta razão, as atividades enzimáticas podem também ser usadas como bioindicadores dinâmicos da qualidade relativa e do estado do solo (Tabatabai, 1994).

«As atividades enzimáticas podem também ser usadas como bioindicadores dinâmicos da qualidade relativa e do estado do solo»

Resposta dos indicadores microbiológicos à introdução das culturas de cobertura

O Grupo Operacional MaisSolo tem avaliado estes dois grupos de indicadores (enzimas do solo e microrganismos benéficos), em particular nos campos piloto de S. João de Brito (Golegã) e Manique (Vila Franca de Xira), comparando os talhões intervencionados com as culturas de cobertura e talhões não intervencionados (testemunha). Os resultados têm vindo a mostrar que, de uma forma geral, em ambos os campos, tanto a atividade enzimática do solo como os microrganismos benéficos respondem positivamente à introdução de culturas de cobertura nestes sistemas.

A título de exemplo podem referir-se os dados obtidos em S. João de Brito no primeiro ano de intervenção (2018), em que foram instaladas as diferentes culturas de cobertura a anteceder a cultura da batateira. No final do ciclo cultural da batateira, os talhões intervencionados com as culturas de cobertura apresentaram um aumento muito significativo da atividade enzimática do solo relativamente à testemunha, com particular expressão na atividade desidrogenase, que representa a atividade metabólica dos microrganismos do solo (Figura 1).

Também a abundância de bactérias solubilizadoras de fosfato, que mobilizam o fósforo imobilizado no solo disponibilizando-o para as plantas (Figura 2), e os microrganismos produtores de moléculas que

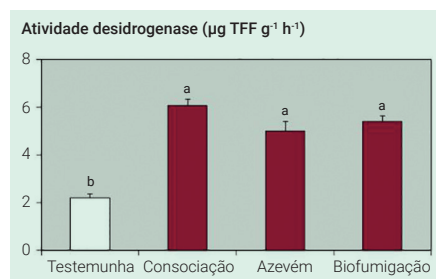


FIGURA 1. Atividade desidrogenase do solo nas diferentes modalidades do campo de S. João de Brito (Golegã), no primeiro ano de intervenção. As determinações foram efetuadas no final do ciclo cultural da batateira. Método: quantificação espectrofotométrica de trifenilformazana (TFF) formada após incubação do solo com cloreto de trifeniltetrazólio. Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

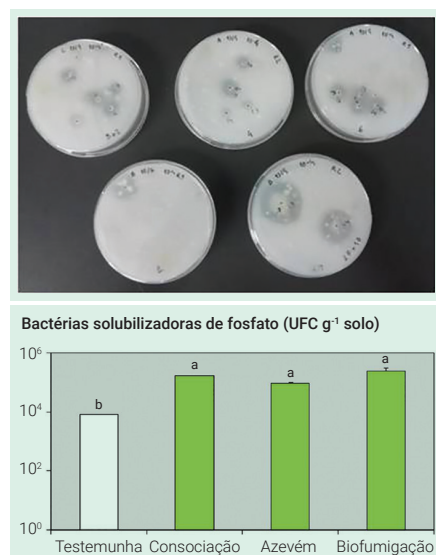


FIGURA 2. Bactérias solubilizadoras de fosfato no solo nas diferentes modalidades do campo de S. João de Brito (Golegã), no primeiro ano de intervenção. As determinações foram efetuadas no final do ciclo cultural da batateira. Método: contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) com halos de solubilização em meio suplementado com fosfato tricálcico insolúvel. Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

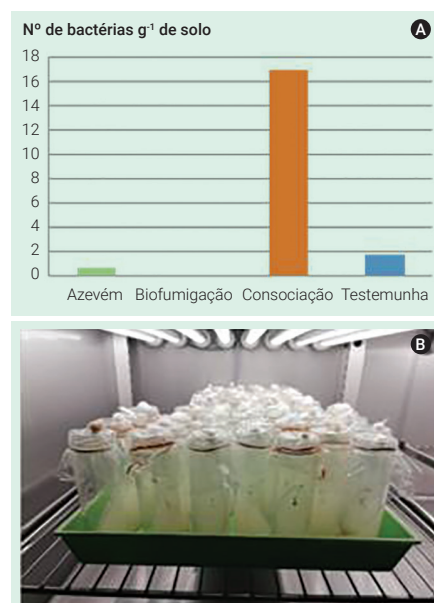


FIGURA 3. (A) Dimensão da população rizobiana do solo nas diferentes modalidades do campo piloto de S. João de Brito (Golegã) no final do ciclo cultural da batateira. (B) Aspeto das plantas (*Trifolium suaveolens*) na câmara fitoclimática durante o ensaio laboratorial para avaliação da população rizobiana. Método: contagem indireta por infeção de plantas.

estimulam o crescimento das plantas, aumentaram nos talhões intervencionados. No mesmo campo e ano cultural, a dimensão da população de bactérias fixadoras de azoto simbióticas (rizóbios) foi mais elevada na modalidade com a mistura biodiversa de leguminosas e gramíneas (consociação) do que nas restantes modalidades, destacando-se a modalidade com nabo forrageiro (biofumigação) onde não se detetou população rizobiana (Figura 3). Também a eficácia simbiótica na modalidade com a mistura biodiversa foi muito superior à da testemunha (Figura 4). As sementes de leguminosas utilizadas nas consociações foram inoculadas com bactérias *Rhizobium*. Estes resultados refletem a importância da inoculação, quando comparados com a testemunha, onde não houve qualquer intervenção/inoculação e por isso onde a eficácia simbiótica é baixa e reveladora de uma população rizobiana nativa ineficaz na fixação de azoto. Parâmetros como a dimensão da população rizobiana e avaliação da respetiva eficácia simbiótica podem ser considerados bons bioindicadores da qualidade do solo destes ecossistemas, fornecendo igualmente informações valiosas sobre o estabelecimento das culturas de cobertura. Como os microrganismos do solo são críticos para a manutenção das funções do solo nestes sistemas, parece de grande importância destacar o efeito de um grupo de microrganismos tão relevante como o das bactérias fixadoras de azoto nos nódulos radiculares das leguminosas.

Adicionalmente, a avaliação das raízes de batateiras quanto à presença de simbioses endomicorrízicas mostrou a existência de estruturas características deste tipo de simbiose: hifas e arbúsculos internos (Figuras 5A e 5C) e micélio extra-radical (Figura 5B). Ao comparar plantas das várias modalidades, verificou-se um aumento da frequência de micorrização induzido pela consociação de leguminosas e gramíneas ou por azevém anual, mas não pela biofumigação (Figura 6). Esta observação é consistente com a estimulação do desenvolvimento de propágulos de fungos endomicorrízicos presentes no solo (autóctones) por ação das espécies micotróficas usadas nas coberturas (consociação ou azevém), que se mantiveram disponíveis no solo para interagir com a cultura principal, aumentando o grau de micorrização.

Em conclusão, os indicadores microbiológicos apontam no sentido de uma evolução favorável do estado do solo por efei-

to das práticas alternativas à monocultura intensiva propostas no projeto MaisSolo, refletindo-se em maior atividade microbiológica do solo e maior abundância de microrganismos benéficos para as plantas.

2. NEMÁTODES COMO BIOINDICADORES

Os nemátodes são animais de dimensão quase microscópica e podem ser encontrados aos milhares numa porção de solo, em quase todos os tipos de solo. Estes animais possuem diferentes hábitos alimentares, sendo classificados como nemátodes de vida livre (bacteriófagos, predadores, micetófagos e omnívoros) e nemátodes parasitas das plantas ou fitoparasitas (Yeates *et al.*, 1993) (Figura 7). A proporção relativa dos diferentes grupos tróficos na nematofauna de um solo pode traduzir-se em informações relevantes quanto ao *status* biológico do solo, podendo deste modo ser utilizados como bioindicadores. O número de nemátodes varia em resposta à dinâmica populacional dos organismos que eles consomem e são também influenciados pelo ambiente físico e químico do solo. Por estes motivos, os nemátodes de vida livre têm grande interesse como bioindicadores de poluição ambiental e de avaliação dos efeitos de certas práticas agrícolas, como a rotação de culturas (Neher, 2001).

Os **nemátodes de vida livre** não afetam diretamente as atividades agrícolas, mas podem influenciar processos relevantes, como a reciclagem de nutrientes minerais, com efeitos positivos sobre a fertilidade dos solos e a produtividade das culturas agrícolas.

«O número de nemátodes varia em resposta à dinâmica populacional dos organismos que eles consomem»

Os **nemátodes bacteriófagos**, que se alimentam à base de bactérias, constituem geralmente o maior contingente de nemátodes num solo e são considerados colonizadores, relativamente insensíveis a perturbações. Estes nemátodes têm ciclos de vida curtos e elevadas taxas de reprodução (Stirling, 2014). A taxa de mineralização de azoto no solo aumenta quando os nemátodes bacteriófagos estão presentes. A decomposição orgânica ocorre quando a relação carbono:azoto (C:N) está abaixo de 20. Quando a razão C:N é maior que 30, a taxa de

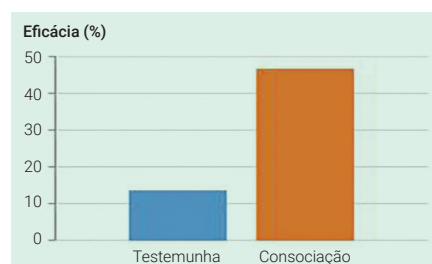


FIGURA 4. Eficácia simbiótica da população rizobiana do solo nas modalidades com consociação (C) e testemunha (T) (como na Figura 3).

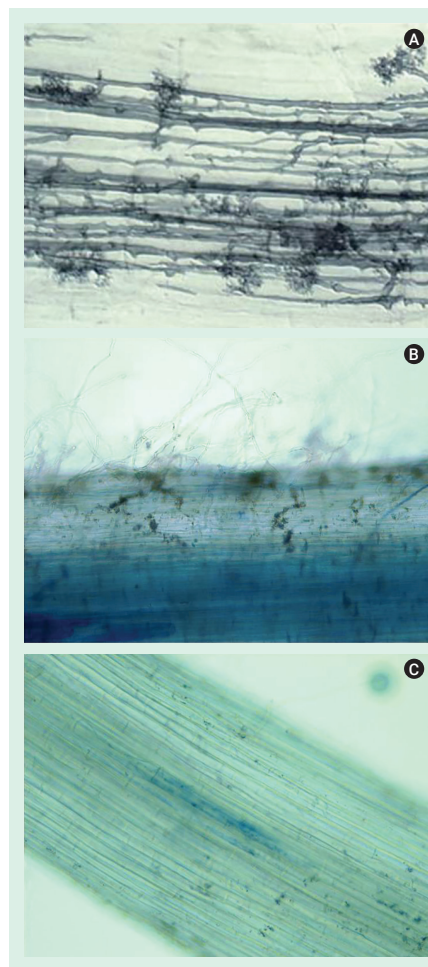


FIGURA 5. (A) Micorrizas em batateira. (B) Micélio extra-radical em batateira. (C) Raiz de batateira do talhão com biofumigação com menos frequência micorrizica.

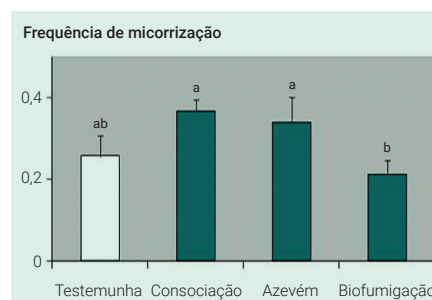


FIGURA 6. Frequência de micorrização de batateiras nos talhões do campo de S. João de Brito (Golegã) em 01/08/2018. Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Método: coloração com *cotton blue* e observação microscópica.

mineralização diminui porque os microrganismos estão em competição pelo azoto para garantir as suas necessidades nutricionais. Nesta situação, o azoto fica imobilizado na biomassa dos microrganismos. A incorporação de estrume e composto com razões intermediárias C:N (variando de 10 a 18) pode estimular o crescimento bacteriano e a abundância de nemátodes bacteriófagos, e aumentar a disponibilidade de azoto no solo para as plantas (Ugarte e Zaborski, 2018).

A predominância de **nemátodes micetófagos**, que se alimentam de fungos, indica que a cadeia alimentar do solo analisado é dominada por fungos e que a reciclagem de nutrientes biológicos será relativamen-

te lenta e os solos estão relativamente intactos (Ugarte e Zaborski, 2018).

Os **nemátodes predadores e omnívoros** são muito sensíveis a perturbações. Geralmente são de maiores dimensões que os anteriores, estão presentes em pequeno número, têm ciclos de vida longos e taxas reduzidas de reprodução (Stirling, 2014). Baixas populações de nemátodes omnívoros indicam que a biologia do solo pode estar a ser afetada por poluentes ou excessiva fertilização, mas também pode ser perturbada devido a práticas culturais, como a preparação do solo. Uma população numerosa de nemátodes predadores e omnívoros indica que o solo é biologicamente complexo e tem alguma capacidade

de 1) eliminar populações de nemátodes fitoparasitas e outros agentes patogénicos transmitidos pelo solo e 2) controlar as populações de nemátodes bacteriófagos e micetófagos (Ugarte e Zaborski, 2018).

Os **nemátodes fitoparasitas** parasitam as plantas, causando danos diretos nas culturas agrícolas. Espécies dos géneros *Globodera* (nemátode dos quistos), *Meloidogyne* (nemátode das galhas radiculares) e *Pratylenchus* (nemátode das lesões), entre outros, contam-se entre as que causam maior impacto nas culturas hortícolas como a batata, o tomate e a cenoura.

A nematofauna foi avaliada em amostras de solo dos campos piloto, nomeadamente de S. João de Brito e Manique,

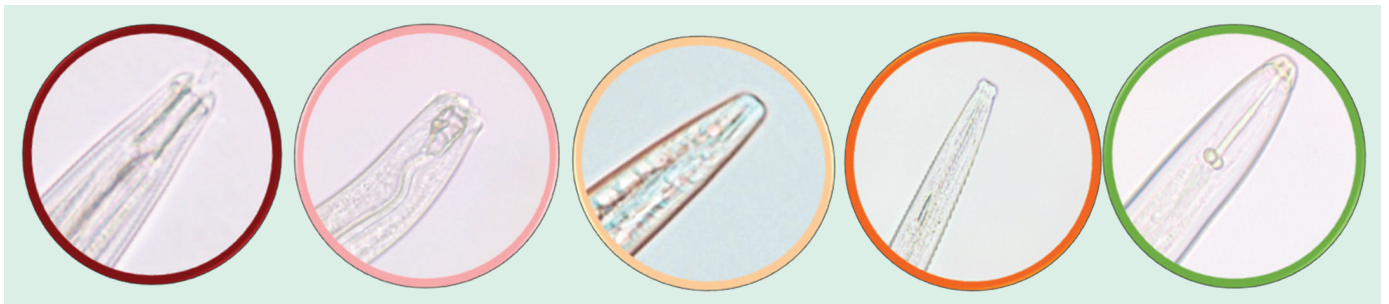


FIGURA 7. Região da cabeça e cavidade oral de um nemátode bacteriófago, predador, micetóforo, omnívoro e fitoparásita (da esquerda para a direita).

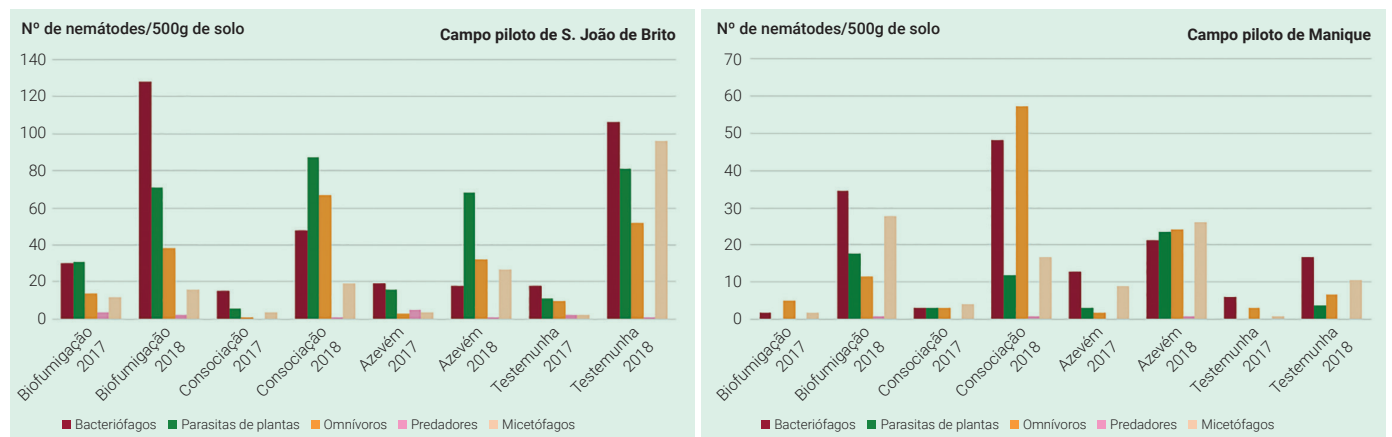


FIGURA 8. Avaliação da nematofauna nos dois primeiros anos do projeto MaisSolo nos campos piloto de S. João de Brito e de Manique nas diferentes modalidades testadas.

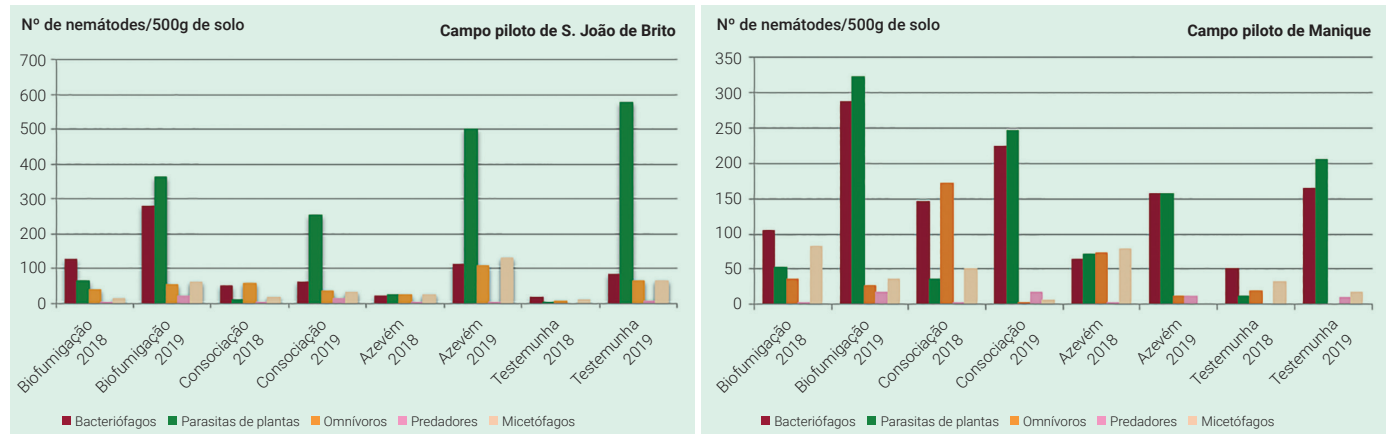


FIGURA 9. Avaliação da nematofauna nos dois primeiros anos do projeto MaisSolo nos campos piloto de S. João de Brito e de Manique nas diferentes modalidades testadas.

nos talhões intervencionados com as tecnologias alternativas (cultura de cobertura constituída por consociação de leguminosas e gramíneas, cultura intercalar de azevém anual e biofumigação), bem como em talhões não intervencionados (testemunha).

Os resultados nos dois primeiros anos do projeto (2017 e 2018) indicam que as tecnologias alternativas propostas no projeto e testadas nos campos piloto podem conduzir a uma melhoria do *status* biológico do solo, o que pode ser aferido através da alteração da composição da nematofauna do solo (Figura 8). Pode observar-se um aumento de nemátodes benéficos (nemátodes omnívoros na modalidade com consociação de leguminosas e gramíneas nos dois campos apresentados e de nemátodes predadores na modalidade de biofumigação em S. João de Brito).

Decorrente deste incremento na composição em nemátodes de vida livre, deverá acontecer um aumento da decomposição da matéria orgânica e da mineralização de nutrientes (aumento de nemátodes bacteriófagos na modalidade biofumigação em S. João de Brito, aumento de nemátodes bacteriófagos e micetóforos na modalidade biofumigação em Manique e aumento de bacteriófagos na modalidade com consociação de leguminosas e gramíneas em Manique).

«A ausência de nemátodes predadores era expectável pois este grupo trófico é muito mais sensível a contaminação e a outras perturbações infligidas ao solo»

Em relação aos nemátodes fitoparasitas, em ambos os campos piloto não houve variações significativas com as diferentes modalidades em 2018 (a testemunha em Manique com menor número de nemátodes), tendência a ser confirmada com a realização de mais análises.

Comparando o ano 2018 e 2019 nos campos piloto avaliados, observaram-se nemátodes dos diferentes grupos tróficos (bacteriófagos, micetóforos, predadores, omnívoros e parasitas das plantas), havendo uma maior proporção de nemátodes bacteriófagos e parasitas de plantas, pertencentes a géneros que em princípio não causarão prejuízos nas culturas estabelecidas (Figura 9). Este aumento será provavelmente devido ao facto de as coberturas

vegetais favorecerem a multiplicação de fitoparasitas, já que há uma maior produção de biomassa radicular. De igual forma, observou-se um decréscimo no número de nemátodes predadores, bacteriófagos e omnívoros, o que indica uma alta intervenção e confirma o tipo de exploração agrícola (cultura anual), uma vez que o “período de descanso” das parcelas é curto, não permitindo que se restabeleça o equilíbrio entre cada ciclo cultural.

De acordo com a literatura, a presença de grandes efetivos de nemátodes bacteriófagos e parasitas de plantas é muito comum, pois os sistemas agrícolas estão dominados por estes dois grupos tróficos. Adicionalmente, ausência de nemátodes predadores era expectável pois este grupo trófico é muito mais sensível a contaminação e a outras perturbações infligidas ao solo.

3. ARTRÓPODES COMO BIOINDICADORES

O solo é um dos principais recursos dos agroecossistemas e as espécies que constituem a sua biota são importantes devido ao seu papel na melhoria e manutenção da qualidade do solo (Marasas *et al.*, 2001). Estima-se que os artrópodes representem cerca de 97% do total de espécies da fauna do solo (Decaëns, 2006) e todos, independentemente das funções que desempenham, fornecem importantes serviços ao ecossistema, como a mineralização da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, construção da estrutura do solo e regulação do ciclo da água, tendo ainda um papel relevante na proteção das culturas, como é o caso de predadores e parasitoides de pragas do solo.

Os microartrópodes, como alguns ácaros e colêmbolos (Figura 10), são muito importantes na cadeia alimentar, regulando em grande parte o processo de decomposição da matéria orgânica, seja diretamente, através da sua ingestão e digestão, seja indiretamente, convertendo-a física e quimicamente em substratos passíveis de serem usados por outros organismos. Por outro lado, artrópodes de maiores dimensões como formigas e térmitas promovem o revolvimento do solo, contribuindo para modificar as características físicas, ao alterar a estrutura, composição mineral e orgânica e processos hidrológicos (Culliney 2013). Outros macroartrópodes, como os aracnídeos (i.e. escorpiões, aranhas e opiliões) e insetos (i.e. carabídeos)

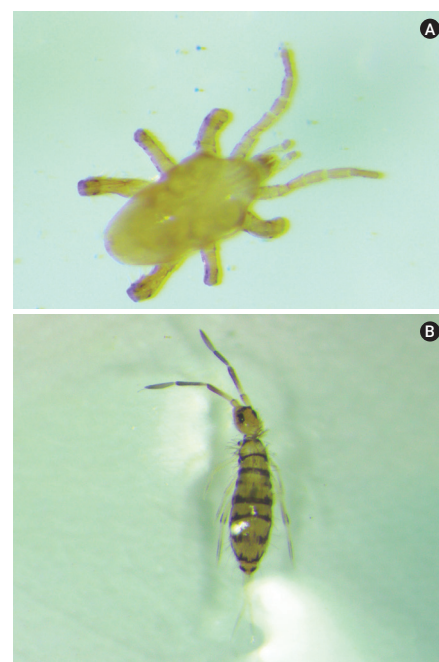


FIGURA 10. Microartrópodes de solo: A) ácaro; B) colêmbolo.



FIGURA 11. Macroartrópodes de solo: A) aranha; B) carabídeo; C) estafilínídeo.



FIGURA 12. Armadilha tipo "pitfall".



FIGURA 13. Filtragem das amostras; Separação dos artrópodes; Separação em morfotipos e identificação taxonômica (de cima para baixo).

e estafilínídeos (Figura 11) são importantes predadores, contribuindo para a regulação das populações de pragas (Gonçalves *et al.*, 2018).

A biodiversidade do solo e a manutenção das cadeias alimentares suportadas por estes organismos permitem assegurar os fluxos de energia e a resiliência dos sistemas. Estes serviços do ecossistema podem ser "medidos" através da construção de bioindicadores para melhor comunicação dos resultados da monitorização das comunidades presentes, bem como dos impactos que resultam da atividade humana (Menta & Remelli, 2020). É neste contexto que no projeto MaisSolo se propôs monitorizar os artrópodes do solo.

«A intensificação agrícola é conhecida por alterar a diversidade de grupos individuais da biota do solo»

Os artrópodes do solo foram monitorizados em dois campos piloto com diferentes sistemas culturais: (i) campo A com rotação de batata e milho (S. João de Brito, Golegã) e (ii) campo B, com monocultura de tomate para indústria (Manique, lezíria de Vila Franca de Xira). Nestes dois campos utilizaram-se 16 armadilhas *pit-fall* (Figura 12), com etilenoglicol como atrativo alimentar, durante um período de 7 dias. Efetuaram-se duas amostragens (campo A) e uma (campo B), em 2018, e três amostragens nos anos seguintes, 2019 e 2020. Em cada um dos momentos monitorizados, as amostras foram filtradas e os artrópodes capturados foram observados em laboratório, separados em morfotipos e identificados (Figura 13) primeiro à família, e depois ao género e espécie, sempre que a conservação dos indivíduos o permitiu, de acordo com protocolo elaborado para o efeito.

As capturas, em número total de indivíduos, variaram de ano para ano e entre campos. Foram obtidas capturas de algu-

mas centenas de indivíduos, sendo que o foco na observação foi, sobretudo, a quantificação da diversidade dos organismos observados. Foram encontrados organismos pertencentes aos quatro subfilos de artrópodes, Chelicerata, Hexapoda, Crustacea e Myriapoda, sendo que é na classe Insecta que se encontra o domínio dos organismos capturados.

No que se refere à diversidade, na cultura principal o número total de morfotipos foi de 62, 157 e 132 em 2018, 2019 e 2020, respetivamente. Na Figura 14 apresenta-se o número de morfotipos nos dois campos com diferentes sistemas culturais.

O campo com a monocultura de tomate (Manique) manifestou, nos três anos de amostragem, uma biodiversidade de artrópodes inferior ao campo de S. João de Brito, com um sistema cultural que inclui rotações/sucessões de culturas. A intensificação agrícola é conhecida por alterar a diversidade de grupos individuais da biota do solo tornando as cadeias alimentares menos diversificadas e compostas de organismos de menores dimensões e consequentemente com menos grupos funcionais (Tsiafouli *et al.*, 2015).

A família *Carabidae* constitui um dos grupos mais interessantes para o estudo dos impactos sobre as comunidades de seres vivos no solo, uma vez que são fortemente sensíveis às alterações induzidas pelo homem (Menta & Remelli, 2020), razão pela qual foram analisados com maior detalhe.

No campo com um sistema de rotação (S. João de Brito), observaram-se 9 e 13 morfotipos pertencentes a esta família, em 2019 e 2020, respetivamente. No campo com monocultura (Manique), em 2019 foram observados apenas três morfotipos, sendo de destacar a colheita de zero carabídeos em 2020. Através de índices de biodiversidade, podemos verificar que em 2020, em S. João de Brito foi obtido um maior número de morfotipos, menor índice de Simpson e maior equibilidade do que em 2019, apesar de terem sido capturados menos carabídeos (103 em 2019, 83 em 2020). Este aspeto indica uma tendência para uma maior biodiversidade e com populações mais equilibradas com a continuação da prática de rotação.

Os géneros de carabídeos identificados com maior abundância foram *Bembidion* e *Harpalus*, em 2019, e *Calathus*, *Harpalus*, *Acupalpus* e *Brachinus* em 2020. A literatura indica que a presença de espécies dos géneros como *Bembidion* e *Harpalus*

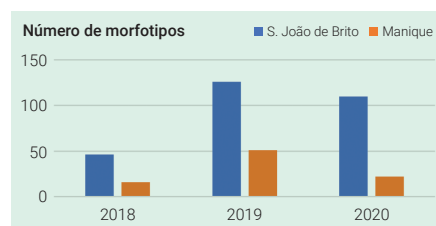


FIGURA 14. Número de morfotipos em cada um dos campos monitorizados nos três anos de ensaio (S. João de Brito; Manique).

tem tendência a aumentar em ecossistemas com maior perturbação (Niemelä *et al.* 1993). Os resultados de 2020 revelam maior número de indivíduos dos géneros presentes numa parcela com maior diversidade em plantas, o que aumenta a expectativa de melhores resultados futuros em parcelas onde a rotação e as culturas de cobertura constituem uma prática agronómica de forma regular.

AGRADECIMENTOS

Aos diversos técnicos anónimos envolvidos em trabalhos de campo e de laboratório. Ao Projeto PDR2020-101-030820 – MaisSolo financiado através do programa PDR2020, no âmbito da Ação 1.1 – Grupos Operacionais. 🌱

BIBLIOGRAFIA

1. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

- Alho, L., Carvalho, M., Brito, I., Goss, M.J. (2015) The effect of arbuscular mycorrhiza fungal propagules on the growth of subterranean clover under Mn toxicity in *ex situ* experiments. *Soil Use and Management* 31: 337-344.
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., van Themaat, E.V.L., Schulze-Lefert, P. (2013) Structure

and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology* 64: 807-838.

Castro, I.V., Fareleira, P., Ferreira, E. (2016) Nitrogen fixing symbioses in a sustainable agriculture. In: Hakeem KR, Akhtar MS, Abdullah SNA (Eds). *Plant, Soil and Microbes - Interactions and Implications in Crop Science*. Springer International Publishing Switzerland, p. 55-91.

FAO, ITPS, GSBI, CBD, EC (2020) State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>.

Schlöter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S.J., van Elsas, J.D. (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils* 54:1-10. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>.

Tabatabai, M.A. (1994). Enzymes. In: Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdicek D (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series No. 5, Soil Science Society of America, Madison, pp. 775-833.

2. NEMÁTODES COMO BIOINDICADORES

Neher, D. 2001, Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33:161-168.

Stirling, G. 2014, Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture, CABI Publishing, UK.

Ugarte, C. e Zaborski, E. 2020, Soil Nematodes in Organic Farming Systems, <https://eorganic.org/node/4495> Consultado a 07.07.2021.

Yeates, G., Bongers, T., de Goede, R., Freckman, D. e Georgieva, S. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera - an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331.

3. ARTRÓPODES COMO BIOINDICADORES

Culliney, T.W. 2013. Role of arthropods in maintaining soil fertility. *Agriculture*, 3: 629-659.

Decaens, T., Jiménez, J.J., Gioia, C., Measey, G.J., Lavelle, P. 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: S23-S38.

Gonçalves F, Carlos C., Pinto, R., Torres, L. 2018. O solo das vinhas da Região Demarcada do Douro está vivo! UTAD, Vila Real, 55 pp.

Marasas, M.E., Sarandón, S.J., Cicchino, A.C. 2001. Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Applied Soil Ecology*, 18: 61-68.

Menta, C., Remelli, S. 2020. Soil health and arthropods: from complex system to worthwhile investigation. *Insects*: 11(54) doi:10.3390/insects11010054.

Niemelä, J., Langor, D., Spence, J.R. 1993. Effects of clear-cut harvesting on boreal ground-beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in Western Canada. *Conservation Biology*, 7: 551-561.

Tsiafouli, M.A., Thébault, E., Sgardelis, S.P., de Ruiter, P.C., van der Putten, W.H., Birkhofer, K., et. al. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21: 973-985. doi: 10.1111/gcb.12752.

PUB

aquagri



myrrigation • gestão de rega • levantamento electrocondutividade do solo • recolha imagens térmicas e ndvi por drone • auditoria técnica a sistemas de rega • projectos de rega e drenagem • logística de água • estudo de solos • formações práticas • estações meteorológicas • modelos de doença • previsão meteorológica local • sistema de monitorização de condições de geadas • sondas humidade e salinidade do solo • sistemas de monitorização para hidroponia • armadilhas automáticas para pragas • equipamentos para amostragem de solo e água

#vinteanosaregarbem #sustentabilidade #pesslinstruments #sentek #eijkkamp #myrrigation #gestaoderega #amelhorequipa

tel. 214 660 773 • www.aquagri.com • info@aquagri.com • [f /aquagri](https://www.facebook.com/aquagri) • [@ /aquagri](https://www.instagram.com/aquagri) • [in /company/aquagri](https://www.linkedin.com/company/aquagri)

