



BIOINDICADORES PARA AVALIAR O EFEITO DAS PRÁTICAS CULTURAIS NA MELHORIA DA FERTILIDADE DO SOLO

A saúde do solo pode ser definida como a capacidade do solo para funcionar como um ecossistema vivo, garantindo biodiversidade e uma agricultura sustentável. Os bioindicadores do solo fornecem informações sobre a sua componente viva e podem ser usados para avaliar a qualidade e o estado de saúde do solo. São propriedades dinâmicas, que respondem rapidamente a alterações de origem natural ou antropogénica, como a degradação do solo por erosão, contaminação ou práticas de gestão. Os nemátodes têm grande potencial para ser usados como indicadores do status biológico do solo, assim como a atividade enzimática do solo e os microrganismos benéficos para as plantas.

Leidy Rusinque¹, Maria João Camacho¹, Maria de Lurdes Inácio¹, Filomena Nóbrega¹, Paula Fareleira¹, Ricardo Soares¹, Pablo Pereira¹, Isabel Videira e Castro¹, Ana Paula Nunes²

¹ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



² Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional (COTHN) / Centro de Competências



Os sistemas de produção das culturas hortoindustriais na região do Vale do Tejo caracterizam-se por uma grande intensificação, com vários ciclos culturais por ano. Por norma, implicam mobilizações frequentes do solo e a aplicação repetida de pesticidas contra pragas e agentes causadores de doença, cuja incidência tem vindo a agravar-se ao longo dos últimos anos, num cenário de forte desequilíbrio de todo o sistema.

O projeto MaisSolo (<https://maissolo.webnode.pt/>) tem como objetivo principal a implementação de práticas culturais alternativas (como as culturas de cobertura e a biofumigação) visando diminuir a aplicação de fitofármacos contra o ataque de pragas e doenças (Figura 1). Para avaliar o efeito dessas práticas na biodiversidade e na fertilidade do solo recorre-se à utilização de bioindicadores, nomeadamente indicadores microbiológicos e à comunidade de nemátodes presente no solo.

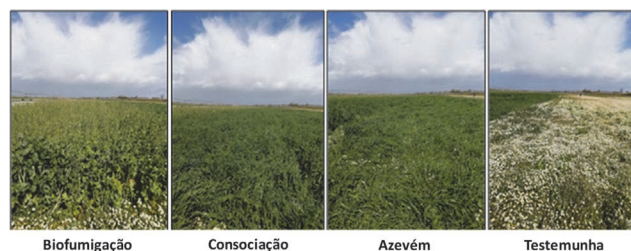


Figura 1 – Tecnologias alternativas testadas no projeto MaisSolo: biofumigação (nabo forrageiro), consociação de leguminosas e gramíneas (mistura biodiversa contendo leguminosas inoculadas com rizóbios), azevém anual, testemunha (parcela sem qualquer cultura de cobertura).

Nemátodes como bioindicadores do status do solo

Os nemátodes são animais de dimensão quase microscópica, encontram-se em todas as partes do globo e podem ser detetados em quase todos os tipos de solo, em ambientes aquáticos ou marinhos. Estes animais habitam no solo sob diferentes grupos funcionais, sendo classificados como nemátodes parasitas das plantas ou fitoparasitas e nemátodes de vida livre (bacteriófagos, predadores, micetófagos e omnívoros) (Figura 2).

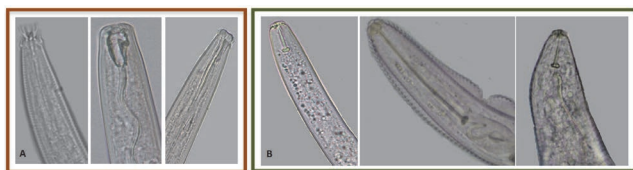


Figura 2 – Região anterior e cavidade oral dos nemátodes de vida livre (A) e parasitas de plantas (B).

Numa pequena porção de solo, os nemátodes podem ser encontrados aos milhares e a sua importância está ligada à contribuição dos diferentes grupos tróficos para a manutenção do ecossistema onde se encontram. O número de nemátodes varia em resposta à dinâmica populacional dos organismos que eles consomem, sendo também influenciados pelo ambiente físico e químico do solo e pelas práticas culturais (Neher, 2001). A proporção relativa dos diferentes grupos tróficos na comunidade de nemátodes pode traduzir-se em informações relevantes quanto ao *status* biológico do solo, podendo deste modo ser utilizados como **bioindicadores**. Quanto maior for a variedade funcional de nemátodes num solo, maior será a resiliência e saúde desse solo, uma vez que fica assegurada a sustentabilidade das suas capacidades ecológicas.

Os **nemátodes de vida livre** não afetam diretamente as atividades agrícolas, mas podem influenciar processos relevantes, como a decomposição da matéria orgânica, a reciclagem de nutrientes minerais e a regulação da população de microrganismos presentes no solo, com efeitos positivos sobre a fertilidade dos solos e a produtividade das culturas agrícolas.

Os **nemátodes bacteriófagos**, que se alimentam de bactérias, constituem geralmente o maior contingente de nemátodes num solo e são considerados colonizadores, relativamente menos sensíveis 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 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 compostos com razões médias 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, 2020).

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 relativamente lenta e os solos estão relativamente intactos (Ugarte e Zaborski, 2020).

Os **nemátodes predadores e omnívoros** são muito sensíveis a perturbações, no entanto, são responsáveis pela regulação das comunidades de nemátodes presentes num solo. 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 mobilização 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, 2020).

Os **nemátodes fitoparasitas** parasitam as plantas, causando danos diretos nas culturas agrícolas. Espécies dos géneros *Globodera* (nemátode-de-quistoda-batateira), *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.

Nos campos experimentais instalados no âmbito do projeto MaisSolo foi avaliada a nematofauna em amostras de solo provenientes de cada um

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

Durante os anos 2018–2020, nos campos avaliados, foram observados nemátodes dos diferentes grupos tróficos (bacteriófagos, micetófagos, predadores, omnívoros e parasitas das plantas), havendo uma maior proporção de nemátodes parasitas de plantas, bacteriófagos e micetófagos. Assim, do total de nemátodes quantificados, 49% foram nemátodes parasitas de plantas pertencentes a géneros que em princípio não causam prejuízos nas culturas estabelecidas; 32% nemátodes que se alimentam de bactérias e 9% nemátodes micetófagos. Em menor proporção, foram encontrados nemátodes omnívoros e predadores, correspondendo a 8% e 2% do total, respetivamente (Figura 3).

O número reduzido de nemátodes omnívoros e predadores confirma o tipo de exploração agrícola com grande intensificação cultural (cultura anual), em que o “período de descanso” das parcelas é curto, não sendo suficiente para que as populações destes nemátodes se restabeleçam após o fator ou fatores de desequilíbrio (mobilizações, aplicação de pesticidas, etc.).

Nos diferentes tratamentos observou-se a presença de todos os grupos tróficos, com uma maior prevalência de nemátodes fitoparasitas. Provavelmente, qualquer uma das coberturas vegetais favoreceu a sua multiplicação já que houve uma maior produção de biomassa radicular. O número de nemátodes predadores e omnívoros foi extremadamente baixo em todos os tratamentos, o que indica que estes solos têm uma grande intervenção humana (Figura 4).

À semelhança dos resultados obtidos em estudos semelhantes, concluiu-se que a presença de nemátodes bacteriófagos e parasitas de plantas em número elevado é muito comum pois os sistemas agrícolas são sobretudo dominados por estes dois grupos tróficos. Igualmente, devido à grande sensibilidade dos nemátodes predadores à aplicação

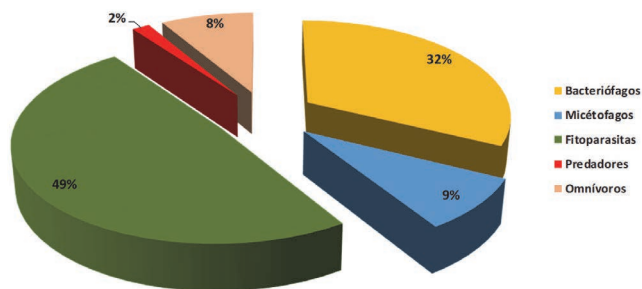


Figura 3 – Quantificação de nemátodes por grupos tróficos no total de amostras analisadas.

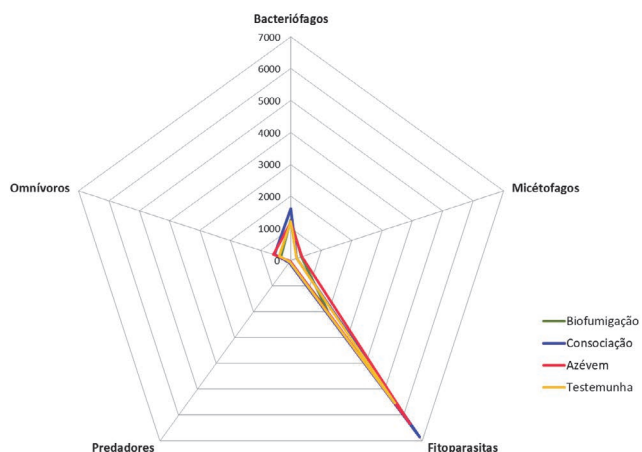


Figura 4 – Distribuição dos grupos tróficos de nemátodes presentes no solo em cada tratamento (biofumigação, consociação, azevém e testemunha) (2018–2020).

de pesticidas e fertilização excessiva e às mobilizações frequentes, era expectável encontrá-los em efetivos reduzidos. Em qualquer dos casos, a caracterização da nematofauna em cada um dos tratamentos deverá ser repetida ao longo de vários ciclos culturais após a introdução das tecnologias alternativas, com recurso a culturas de cobertura, uma vez que dificilmente as populações de nemátodes se restabelecerão num horizonte temporal reduzido.

Efeitos das culturas de cobertura na microbiologia do solo

O solo é um importante reservatório de biodiversidade, albergando centenas de milhares de espécies de microrganismos, plantas e animais (FAO *et al.*,

2020). Esta biodiversidade é essencial para manter as funções do solo e os serviços dos ecossistemas relacionados com o solo, estando inversamente relacionada com a frequência de parasitismo e a incidência de doenças nas plantas (van Elsas *et al.*, 2002). Os microrganismos do solo desempenham um papel fundamental em processos-chave relacionados com a fertilidade e estrutura do solo, incluindo a produção de enzimas que atuam na decomposição, mineralização e imobilização da matéria orgânica. Alguns microrganismos são particularmente benéficos para as plantas, na medida em que aumentam a disponibilidade de nutrientes essenciais como o azoto ou o fósforo, produzem moléculas que estimulam o crescimento das plantas, fortalecem a resposta imunitária das plantas, ou sintetizam moléculas com ação antimicrobiana e atuam no controlo de doenças das plantas. Nos sistemas de monocultura intensiva em que assenta a produção hortícola industrial, a baixa diversificação vegetal associada a forte intervenção fitossanitária reflete-se nos equilíbrios microbiológicos do solo, levando por exemplo à redução das populações de microrganismos benéficos, facilitando por isso o aparecimento e progressão de agentes fitopatogénicos. Nestes sistemas, é expectável que o aumento de biodiversidade associado à introdução de culturas de cobertura tenha impactos positivos ao nível das funcionalidades do solo, promovendo a atividade microbiana e a prevalência de microrganismos benéficos (Vukicevich *et al.*, 2016). No sentido de demonstrar estes efeitos, foram avaliados vários indicadores microbiológicos nos campos-piloto do projeto MaisSolo, em particular em S. João de Brito (Golegã) e Manique (Vila Franca de Xira), comparando-se os talhões intervencionados com culturas de cobertura e talhões não intervencionados (testemunha). Estes indicadores incluíram vários grupos de microrganismos benéficos e enzimas do solo:

- As **bactérias fixadoras de azoto simbióticas**, genericamente designadas por **rizóbios**, têm a capacidade de fixar azoto atmosférico em simbiose com plantas leguminosas, desempenhando um papel-chave na nutrição azotada do hospedeiro e

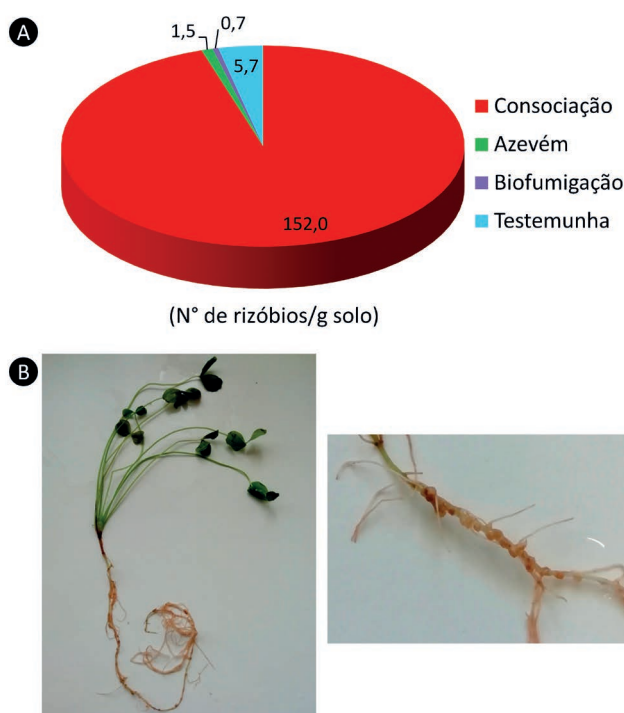


Figura 5 – (A) Dimensão da população de rizóbios no solo das diferentes modalidades do campo de S. João de Brito. Os valores (número de rizóbios/g solo) correspondem à média das determinações efetuadas na fase final do ciclo das culturas de cobertura e da cultura principal (milho) em 2019 e 2020. (B) Aspetto de plantas de trevo com nódulos radiculares de rizóbio.

no enriquecimento sustentável do solo em azoto. A avaliação da abundância de rizóbios nos solos dos campos-piloto mostrou populações nativas muito baixas, mas com aumentos importantes na modalidade com consociação de leguminosas e gramíneas, onde as leguminosas foram previamente inoculadas com rizóbios (Figura 5). Este resultado mostra a importância da introdução de leguminosas inoculadas para o enriquecimento do solo nestas bactérias tão relevantes para a fertilidade do solo.

- Vários microrganismos do solo têm a capacidade de produzir moléculas que estimulam o crescimento das plantas (fitormonas). A avaliação dos **microrganismos com atividade fitoestimulante** no campo de S. João de Brito mostrou aumentos nos talhões com culturas de cobertura, em especial azevém (Figura 6).

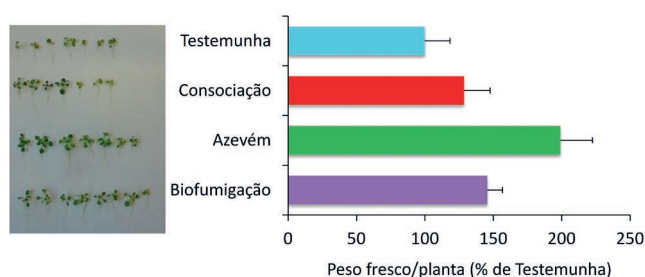


Figura 6 – Estimulação do crescimento da planta-modelo *Arabidopsis thaliana* pelo microbioma do solo das diferentes modalidades do campo de S. João de Brito, na fase final do ciclo da cultura principal (batateira) em 2018. As barras do gráfico representam o peso fresco médio por planta em percentagem da modalidade testemunha \pm erro padrão.

- As **bactérias solubilizadoras de fósforo** têm a capacidade de remover o fósforo imobilizado no solo e disponibilizá-lo para as plantas. A abundância destas bactérias aumentou nos talhões com culturas de cobertura, indicando uma maior capacidade de mobilização do fósforo adsorvido às partículas de solo (Figura 7).
- As **bactérias fixadoras de azoto de vida livre**, embora menos eficientes que os rizóbios, podem também contribuir para o enriquecimento do solo em azoto. Encontraram-se populações relativamente abundantes nos solos dos campos-piloto, não se observando diferenças significativas entre os talhões intervencionados e as testemunhas (Figura 7).
- Os **fungos endomicorrízicos** formam associações simbióticas com as raízes das plantas e desempenham múltiplas funções benéficas, como a melhoria da assimilação de água e nutrientes. A avaliação da frequência de micorrização da cultura principal em ambos os campos-piloto mostrou aumentos expressivos nas modalidades com cobertura de azevém ou consociação de leguminosas e gramíneas (Figura 7), fruto do enriquecimento do solo em fungos micorrízicos autóctones por ação das espécies micotróficas (que estabelecem facilmente estas simbioses, como é o caso do azevém) incluídas nestas modalidades.
- As **enzimas do solo** são maioritariamente produzidas por microrganismos e podem funcio-



SUBSCREVA

A NEWSLETTER SEMANAL



TENHA ACESSO A:

- Notícias, artigos e entrevistas sobre agronegócios
- Casos práticos, opiniões de especialistas e informação técnica
- Convites para eventos exclusivos da VIDA RURAL

Fique connosco!



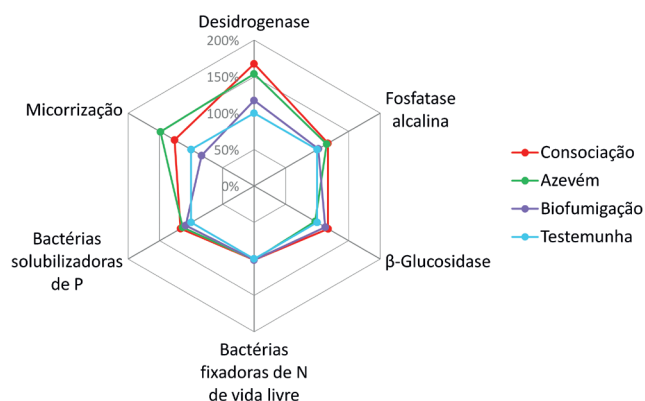


Figura 7 – Efeitos da introdução de culturas de cobertura na abundância de bactérias solubilizadoras de fosfato no solo, abundância de bactérias fixadoras de azoto de vida livre no solo, frequência de micorrização da cultura principal e atividades enzimáticas do solo (desidrogenase, fosfatase alcalina e β -glucosidase). Os valores correspondem à média do conjunto de determinações efetuadas nos campos de S. João de Brito e Manique entre 2018 e 2020, na fase final do ciclo da cultura principal (S. João de Brito: batateira/milho/milho); Manique: tomateiro). Os resultados de cada modalidade são apresentados em percentagem da testemunha.

nar como indicadores dinâmicos da qualidade e do estado do solo. As avaliações incidiram sobre três atividades: **desidrogenase**, que representa a atividade dos microrganismos do solo; **fosfatase alcalina**, que intervém na degradação de moléculas com fósforo; e **β -glucosidase**, que atua na hidrólise de hidratos de carbono complexos como a celulose. Todas estas enzimas mostraram uma evolução positiva com as culturas de cobertura, com especial destaque para a atividade desidrogenase que apresentou um aumento médio muito acentuado nas modalidades com coberturas relativamente aos talhões-testemunha (Figura 7).

Em conclusão, os resultados das avaliações microbiológicas confirmam que as tecnologias alternativas baseadas na introdução de culturas de cobertura e testadas nos campos-piloto conduzem efetivamente a aumentos da atividade microbiológica do solo e das populações de microrganismos benéficos. Estes indicadores estão correlacionados positivamente com a robustez do microbioma do

solo, a resistência das plantas a doenças ou stresse e a resiliência dos ecossistemas (Kim et al., 2020).

Bibliografia

- FAO, ITPS, GSBI, CBD e EC (2020). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>.
- Kim, N.; Zabaloy, M.C.; Guan, K.; Villamil, M.B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biol. Biochem.*, **142**:107701.
- 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.
- van Elsas, J.D.; Garbeva, P.; Salles, J. (2002). Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens. *Biodegradation*, **13**:29–40.
- Vukicevich, E.; Lowery, T.; Bowen, P.; Úrbez-Torres, J.R.; Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, **36**:48.

Cofinanciamento



Agradecimentos

O Grupo Operacional MaisSolo é uma parceria coordenada pelo Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional e que integra: Agromais, C.R.L., Sociedade Agrícola S. João de Brito, S.A.; Torriba, S.A. e Sociedade Agrícola Herdade das Malhadinhas, Lda.; Federação Nacional das Organizações de Produtores de Frutas e Hortícolas; Fertiprado – Sementes e Nutrientes, Lda.; Instituto Politécnico de Santarém – Escola Superior Agrária; e Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. Os autores agradecem especialmente a Susete Matos (Agromais) e Lurdes Almeida (Torriba) pelo apoio nos campos-piloto.