

8| Evidências: Combinar técnicas de agricultura de precisão com agroecologia

Autores: Cristina Cruz, Ana Ventura¹, Alessandro Ramos², Juliana Melo¹, Inês Ferreira¹, Margarida Santana¹, Teresa Dias¹

¹ cE3c - Center for Ecology, Evolution and Environmental Changes & CHANGE - Global Change and Sustainability Instituto, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, Piso 5, Sala 2.5.03, Campo Grande, 749-016 Lisboa, Portugal.

² Universidade de VilaVelha, Espírito Santo, Brazil

Desde os primórdios da agricultura, que o bem-estar e a segurança alimentar da humanidade dependem da forma como cultivam as plantas e do seu entendimento sobre a nutrição vegetal. De que se alimentam as plantas? Pode parecer uma pergunta simples, mas a verdade é que a resposta foi mudando ao longo do tempo, e ainda hoje não há consenso sobre o assunto. Na Antiguidade Clássica, dava-se por certo que as plantas se alimentavam de compostos orgânicos. Esse conceito, conhecido como teoria do húmus, era tão intuitivo que, apoiado no fato de os solos ricos em matéria orgânica serem mais férteis, constituiu a corrente de pensamento dominante até meados do século XVIII. Époça em que o progresso da alquimia associado à descoberta de muitos elementos, permitiu demonstrar a possibilidade de cultivar plantas exclusivamente a partir de água e sais minerais. Foram essas descobertas, que associadas à industrialização da produção de fertilizantes pelo processo Haber-Bosch, permitiram a produção de fertilizantes em grandes quantidades e a preços relativamente acessíveis que caracterizaram a revolução verde de meados do século XX (Figura 1).

A fundamentação teórica da agricultura intensiva está na possibilidade de fornecer à planta todos os nutrientes necessários em formulações minerais, tendo o solo a função de suporte. No entanto, a constatação de que o consórcio de leguminosas aumentava a produtividade da safra seguinte, e a demonstração de que esse processo se devia à fixação de azoto por microrganismos, despertou algumas mentes para a relevância da funcionalidade do solo, não apenas como suporte para as culturas, mas como um suporte para a vida na Terra.

O avanço do nosso conhecimento sobre ecologia microbiana tem-nos mostrado que o solo é um centro de biodiversidade, 90% da qual ainda é desconhecida, cuja atividade é fundamental para a funcionalidade dos ecossistemas associados a serviços fundamentais para nossa sobrevivência, como: qualidade produção de água, reciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, produção de ar de boa qualidade, etc. É neste contexto que se torna essencial repensar o papel do solo na produtividade agrícola e, em particular, a relevância da biota do solo para a sustentabilidade dos sistemas alimentares e para a qualidade da produção. Quando muitos solos já estão esgotados devido a práticas de produção intensiva e a sua biodiversidade já é muito



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 952051

baixa, ou desequilibrada, é necessário restaurar a diversidade e funcionalidade da biota do solo. Uma das maneiras de o fazer isso é usar biofertilizantes.

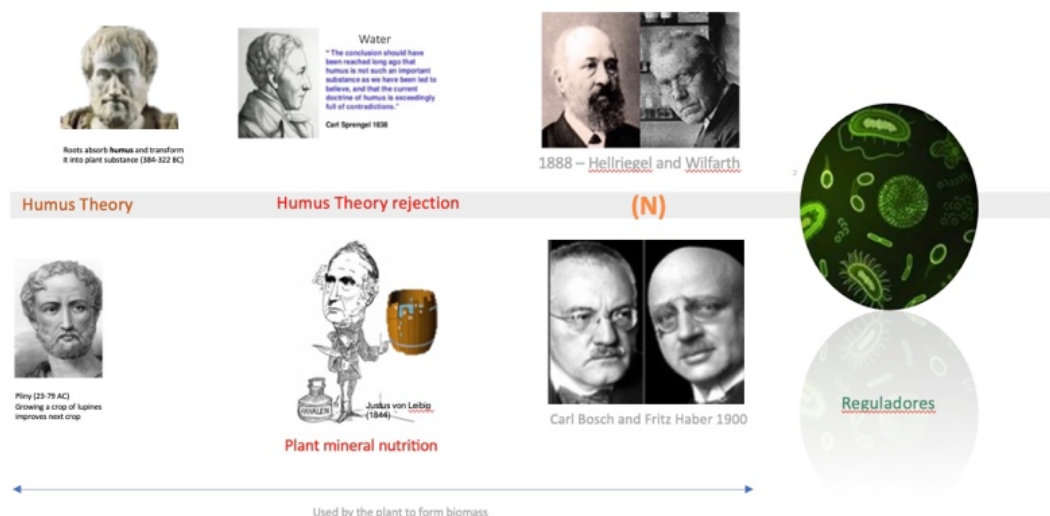


Figura 1: Representação esquemática da evolução do nosso conceito de nutrição vegetal.

Os biofertilizantes são produtos que contêm microrganismos vivos, como bactérias, fungos e algas (ou compostos produzidos por eles), que quando aplicados às plantas ou ao solo, aumentam a disponibilidade de nutrientes, melhoram a fertilidade do solo e promovem o crescimento das plantas. Esses microrganismos, ou produtos de sua atividade, mudam a funcionalidade do solo e estimulam o estabelecimento de relações benéficas entre a biota do solo e as plantas, ao mesmo tempo em que contribuem para uma agricultura sustentável, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos e melhorando a saúde geral do solo.

Existem vários tipos de biofertilizantes, cada um utilizando microrganismos específicos que oferecem diferentes benefícios (Tabela 1).

Tabela 1: tipos mais comuns de biofertilizantes disponíveis no mercado.

Biofertilizante	Exemplo de Microrganismo	Atividade
Fixador de azoto simbiótico	<i>Rhizobium</i> sp. e <i>Bradyrhizobium</i> sp.	As bactérias estabelecem uma relação simbiótica com as leguminosas. Eles usam o azoto atmosférico e convertem-no em amônia, que é uma forma de azoto disponível para as plantas. Isso ajuda a aumentar o teor de azoto da planta e do solo.
Solubilizador de fósforo	<i>Pseudomonas</i> sp. e <i>Bacillus</i> sp.; fungos micorrizicos arbusculares	Estas bactérias e fungos ajudam a solubilizar compostos de fósforo insolúveis no solo, tornando o fósforo mais acessível às plantas e ao solo.
Solubilizador de potássio	<i>Bacillus megaterium</i>	Esses microrganismos liberam potássio de fontes minerais no solo, tornando-o disponível para as plantas.
Fungos micorrizicos	<i>Glomus</i> sp.	Formam relações simbióticas com as raízes das plantas. Esses fungos ampliam o alcance do sistema radicular, aumentando a


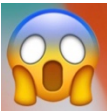


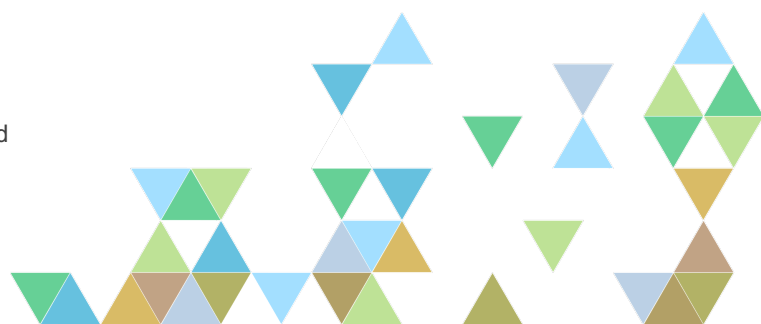
		absorção de nutrientes e água. Em troca, os fungos recebem açúcares e outros compostos orgânicos das plantas. Os biofertilizantes micorrízicos melhoram o crescimento das plantas, especialmente em solos deficientes em nutrientes.
Fixadores de azoto de vida livre	<i>Azotobacter</i> sp. <i>Azospirillum</i> sp.	São bactérias fixadoras de azoto de vida livre que podem aumentar a fertilidade do solo fixando o azoto atmosférico e tornando-o disponível para a biota.
Algas		Os biofertilizantes à base de algas, derivados de vários tipos de algas, fornecem nutrientes essenciais às plantas, melhorando a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água.

Os biofertilizantes são geralmente aplicados por meio de tratamento de sementes, aplicação no solo ou pulverização foliar. Eles oferecem uma alternativa sustentável aos fertilizantes sintéticos, reduzindo o escoamento de nutrientes, minimizando a poluição ambiental e promovendo ecossistemas de solo mais saudáveis. Embora os biofertilizantes ofereçam inúmeros benefícios, a sua eficácia pode variar dependendo de fatores como tipo de solo, clima e tipo de cultura. Portanto, métodos adequados de seleção e aplicação são essenciais para maximizar os seus benefícios potenciais em práticas agrícolas sustentáveis. Embora os biofertilizantes ofereçam muitos benefícios para a agricultura sustentável, existem várias razões pelas quais os agricultores ainda não os usam extensivamente (Tabela 2)

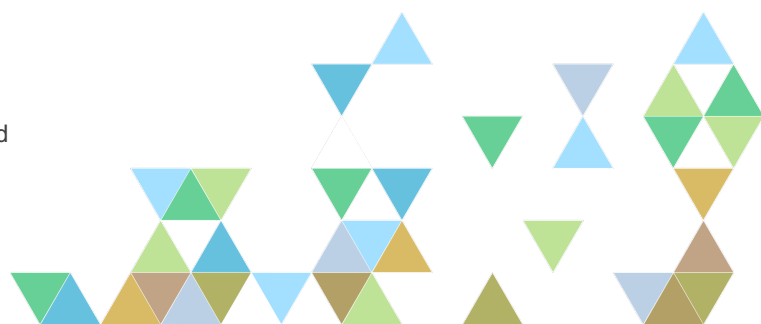
3




Tabela 2: Razões pelas quais os agricultores podem não usar biofertilizantes mais extensivamente e algumas atividades de mitigação.

Tipo de razão	Descrição	Formas de mitigação
Falta de conhecimento 	Muitos agricultores podem não estar cientes dos benefícios e uso adequado de biofertilizantes e como podem integrá-los nas práticas agrícolas.	Desenvolver programas de formação e workshops sobre os benefícios, técnicas adequadas de aplicação e época de uso do biofertilizante. Colaborar com serviços de extensão agrícola para disseminar informações precisas sobre biofertilizantes e fornecer orientação aos agricultores. Estabelecer escolas de campo para agricultores onde cientistas e especialistas possam interagir diretamente com os agricultores, compartilhar conhecimentos e demonstrações na aplicação de biofertilizantes.
Acesso 	Em algumas regiões, o acesso a biofertilizantes de qualidade pode ser limitado. Os desafios de produção, distribuição e disponibilidade podem prejudicar a capacidade dos agricultores de obter esses produtos facilmente.	Colaborar com agronegócios e empresas privadas para facilitar a produção, distribuição e comercialização de biofertilizantes de alta qualidade.
Desempenho	A eficácia dos biofertilizantes pode ser influenciada por fatores como tipo de solo, clima e variedade de culturas. Algu	Organizar demonstrações na fazenda para mostrar os benefícios do uso de biofertilizantes. A demonstração de resultados



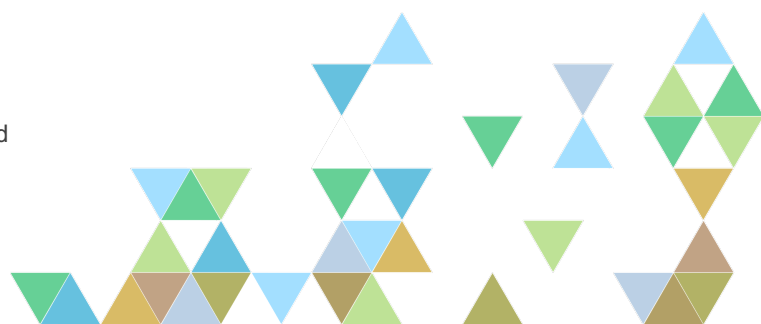
	agricultores podem ter experimentado resultados inconsistentes, levando ao ceticismo sobre sua eficácia.	positivos pode aumentar a confiança do agricultor na adoção desses produtos.
Custo 	A transição para biofertilizantes pode exigir um investimento inicial em termos de compra de produtos, equipamentos e formação. Os agricultores podem perceber os custos iniciais como uma barreira à adoção, especialmente se estiverem acostumados com práticas agrícolas convencionais.	Realizar análises económicas para demonstrar a relação custo-benefício do uso de biofertilizantes a longo prazo, considerando fatores como custos reduzidos de insumos e rendimentos melhorados.
Apoio técnico 	A aplicação adequada de biofertilizantes requer conhecimento técnico. Se os agricultores não tiverem acesso a orientação e apoio sobre como usar biofertilizantes de forma eficaz, eles podem hesitar em adotá-los.	Estabelecer linhas de ajuda, recursos on-line e fóruns onde os agricultores possam obter conselhos e soluções relacionadas ao uso eficaz de biofertilizantes.
Práticas tradicionais 	Os agricultores geralmente seguem práticas tradicionais com as quais estão familiarizados e que vêm usando há gerações. Mudar para novas práticas, como o uso de biofertilizantes, pode exigir uma mudança de mentalidade e disposição para se adaptar.	Criar plataformas para cientistas, investigadores e especialistas em agricultura compartilharem resultados de pesquisas, melhores práticas e histórias de sucesso relacionadas com o uso de biofertilizantes
Risco 	Os agricultores podem perceber um nível mais alto de risco associado ao uso de biofertilizantes em comparação com as práticas convencionais. O medo de uma possível quebra de rendimento ou pode impedi-los de tentar algo novo.	Monitorizar os resultados do uso de biofertilizantes no campo durante várias safras para avaliar seus benefícios sustentados e possíveis desafios.
Certificação 	Em alguns casos, os agricultores podem hesitar em adotar biofertilizantes se não houver procura de mercado clara ou prémio de preço para culturas produzidas usando esses métodos. A necessidade de certificação orgânica ou outros padrões para o acesso ao mercado pode complicar a adoção	Fornecer recomendações personalizadas aos agricultores com base nos tipos específicos de cultivo, condições do solo e práticas agrícolas. O aconselhamento personalizado pode aumentar a probabilidade de adoção bem-sucedida
Tempo	A aplicação de biofertilizantes pode exigir tempo e mão de obra adicionais em comparação com os métodos convencionais de aplicação de fertilizantes. Se a	Desenvolver ferramentas e tecnologias fáceis de usar que simplifiquem a aplicação de biofertilizantes e os tornem mais acessíveis a uma ampla gama de agricultores.



	<p>mão de obra já é um fator limitante, os agricultores podem achar difícil incorporar biofertilizantes em sua rotina.</p>	
<p>Quadro legal</p> 	<p>Políticas governamentais, subsídios e incentivos podem influenciar significativamente as escolhas dos agricultores. Se houver incentivos ou apoio limitados para a adoção de biofertilizantes, os agricultores podem ficar mais motivados a usá-los.</p>	<p>Colaborar com formuladores de políticas para integrar biofertilizantes em políticas e programas agrícolas, oferecendo incentivos, subsídios ou outros mecanismos de apoio para incentivar a adoção.</p>
<p>Produção em escala</p> 	<p>A produção em larga escala de biofertilizantes pode nem sempre estar prontamente disponível, dificultando o acesso dos agricultores a esses produtos em quantidades suficientes.</p>	<p>Estudar formas de aumentar a produção de biofertilizantes sem comprometer a qualidade, garantindo que haja disponibilidade suficiente para atender à demanda dos agricultores.</p>

Para promover a adoção de biofertilizantes, os esforços devem ser direcionados para a consciencialização, fornecendo formação e suporte técnico, abordando questões de custo e demonstrando sua eficácia por meio de estudos de caso bem-sucedidos. Políticas governamentais, pesquisa e serviços de extensão também podem desempenhar um papel fundamental no incentivo aos agricultores para incorporar biofertilizantes em suas práticas agrícolas.

- ▶ Os cientistas podem preencher a lacuna entre a pesquisa e a aplicação prática, ajudando os agricultores a adotar os biofertilizantes como uma abordagem sustentável e eficaz para aumentar a fertilidade do solo, a produtividade das culturas e a gestão ambiental. Os biofertilizantes são adequados para serem usados em qualquer tipo de gestão agrícola, no entanto, existem alguns agricultores que são mais propensos a adotar esses produtos devido às suas práticas agrícolas, objetivos e valores específicos, por exemplo: **Agricultores orgânicos** que priorizam práticas agrícolas sustentáveis e naturais adotam mais facilmente os biofertilizantes por estes estarem alinhados com o menor uso de produtos químicos sintéticos e promoção da saúde do solo;
- ▶ **Praticantes de agricultura sustentável** com foco na minimização do impacto ambiental, mas pretendendo manter a rentabilidade económica, estão interessados em abordagens que melhorem a fertilidade do solo, reduzam o escoamento de nutrientes e melhorem a saúde geral do ecossistema, o que se encaixa com o uso de biofertilizantes;
- ▶ **Agricultores agroecológicos** que integram princípios ecológicos em sistemas agrícolas são atraídos para o uso de biofertilizantes pelo foco nos microrganismos benéficos e reciclagem natural de nutrientes que ressoam com os princípios agroecológicos;



- ▶ **Pequenos agricultores** geralmente com recursos limitados podem estar mais inclinados a adotar o uso de biofertilizantes (que podem ser produzidos localmente) como alternativas económicas aos fertilizantes sintéticos;
- ▶ **Agricultores de subsistência** que cultivam principalmente para o consumo das suas famílias adotam biofertilizantes para aumentar a disponibilidade de nutrientes e melhorar o valor nutricional das culturas;
- ▶ **Agricultores em Áreas Ecologicamente Sensíveis**, como perto de corpos de água ou em regiões propensas à erosão do solo, podem ser motivados a adotar biofertilizantes para reduzir o impacto ambiental das suas práticas;
- ▶ **Os agricultores com foco na saúde do solo**, priorizando a saúde do solo e a sustentabilidade de longo prazo de suas terras, provavelmente explorarão os biofertilizantes como uma forma de aumentar a fertilidade do solo e reduzir a degradação do solo;
- ▶ **Agricultores inovadores** abertos a experimentar novas abordagens e incorporar técnicas inovadoras nas suas práticas são mais propensos a experimentar biofertilizantes;
- ▶ **Produtores de valor agregado** que cultivam especialidades ou culturas de alto valor, como frutas e vegetais orgânicos, muitas vezes priorizam a qualidade da cultura e os biofertilizantes podem contribuir para melhorar o conteúdo de nutrientes e a qualidade da cultura;
- ▶ **Agricultores com acesso ao conhecimento** por meio de serviços de extensão agrícola, workshops e formações têm maior probabilidade de conhecer os benefícios dos biofertilizantes e fazer a sua aplicação adequada, aumentando a probabilidade de adoção;
- ▶ **Agricultores que participam de programas de certificação** que procuram certificações orgânicas ou sustentáveis têm maior probabilidade de adotar biofertilizantes como parte de seu compromisso de atender aos padrões de certificação;
- ▶ **Praticantes de rotação de culturas** que usam diversos sistemas de cultivo, podem adotar biofertilizantes para melhorar a reciclagem de nutrientes e manter a fertilidade do solo.

Pode parecer que os biofertilizantes estão mais alinhados com práticas agroecológicas do que com agricultura de precisão ou agricultura inteligente. No entanto, os biofertilizantes e a agricultura de precisão são dois conceitos distintos, mas complementares, que podem trabalhar juntos para aumentar a sustentabilidade agrícola, a produtividade e a eficiência dos recursos. As vantagens da fusão de biofertilizantes e agricultura de precisão na chamada agroecologia de precisão foi um dos temas das atividades demonstrativas desenvolvidas no projeto Soildarity (<http://www.soildarity.eu>). A agricultura de precisão envolve o uso de tecnologia e dados para aplicar insumos, incluindo fertilizantes, exatamente onde e quando são necessários. Os



biofertilizantes podem ser integrados nas práticas de agricultura de precisão, aplicando-os estrategicamente com base nos níveis de nutrientes do solo, necessidades das culturas e outros fatores ambientais. Essa abordagem direcionada reduz o desperdício, minimiza o uso excessivo de biofertilizantes e otimiza sua eficácia. A agricultura de precisão depende do mapeamento detalhado do solo e da análise de nutrientes, e os biofertilizantes podem ser usados para tratar de deficiências específicas de nutrientes identificadas por meio de testes de solo. Por exemplo, se uma determinada área de um campo tem baixo teor de azoto, os biofertilizantes fixadores de azoto podem ser aplicados apenas nessa área. A aplicação de uma taxa variável de insumos com base nas variações espaciais das características do solo e necessidades das culturas pode ser implementada com biofertilizantes de acordo com as demandas de nutrientes de diferentes zonas dentro de um campo, otimizando seu impacto e reduzindo custos. O uso de sensores, drones e outras tecnologias para monitorizar culturas e solo em tempo real e, por isso, também pode ser adaptado para produzir recomendações e sistemas de apoio à decisão para aplicação de biofertilizantes, garantindo que as plantas recebam os nutrientes certos quando mais precisam. A integração de biofertilizantes em práticas de agricultura de precisão pode levar a economia de custos, reduzindo a quantidade de fertilizantes convencionais necessários e otimizando a eficiência da aplicação de nutrientes, o que contribuirá para a saúde e fertilidade do solo a longo prazo, promovendo comunidades microbianas benéficas e melhorando a ciclagem de nutrientes.

7

Referências

- Martins-Loução MA, Dias T, Cruz C. Integrating Ecological Principles for Addressing Plant Production Security and Move beyond the Dichotomy ‘Good or Bad’ for Nitrogen Inputs Choice. *Agronomy*. 2022;12:1632. [DOI:10.3390/agronomy12071632](https://doi.org/10.3390/agronomy12071632) (IF3.949).



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 952051