

# **Uso de Bioestimulantes no Cultivo de Alface (*Lactuca sativa*), cv. Maravilha de Verão**

**Gediane Maria Garcia Corrêa**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de  
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em  
Agroecologia.*

Orientado por  
**Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues**

Coorientadora  
**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

**Bragança  
2024**

Será que você não sabe? Nunca ouviu falar? O Senhor é o Deus eterno, o Criador de toda a terra. Ele não se cansa nem fica exausto, sua sabedoria é insondável. Ele fortalece ao cansado e dá grande vigor ao que está sem forças. Até os jovens se cansam e ficam exaustos, e os moços tropeçam e caem. Mas aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam bem alto como águias; correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam.

Isaías 40:28-31, versão NVI

## AGRADECIMENTOS

No percurso da jornada da vida, há escolhas que requerem sacrifícios.

O objetivo de conquistar mais um nível na minha vida acadêmica, com benefícios para a vida profissional, trouxe-me como sacrifício a distância e a saudade da minha família, somando-se ainda as dificuldades de adaptação ao clima frio de Bragança (a temperatura média da minha cidade é de 33°C, o ano todo) e a sensação de solidão, sem pessoas conhecidas e/ou familiares em volta.

Contudo valeu a pena, devo toda glória a Deus que além de dá-me forças pra continuar, colocou em meu caminho pessoas com corações acolhedores.

Agradeço ao todo corpo docente do curso de Mestrado em Agroecologia do IPB, não tenho palavras para definir o quanto são especiais por se dedicarem no ofício do saber e da instrução, e por serem tão amigos.

Ao professor Jaime Pires, pela paciência de parar e escutar minhas histórias vividas em minha cidade; a professora Margarida Arrobas, pela atenção que deu a mim quando me queixava de dor de ouvido no primeiro inverno que passei em Bragança; ao professor Manuel Ângelo Rodrigues que me deu a oportunidade de entrar no projeto de pesquisa, aceitando-me como orientanda, e sem saber me proporcionou a alegria de ter tempo o suficiente pra ir ao Brasil, aliviar a saudade da família e voltar em tempo hábil para finalizar a tese (obrigada, professor!).

Agradeço a equipe do laboratório de solos na pessoa da Rita, por serem tão receptivos em ajudar, repassando seus ricos conhecimentos, e a equipe da biblioteca ESA por serem tão cordiais.

E nada disso seria possível se não fosse o encorajamento e apoio da minha família, agradeço às minhas irmãs (Cristina, Da Luz, Célia e Gêsiane), meus irmãos (Natanael, Oziel e Nelson), sobrinhos (em especial Ruan, Hugo, Lucas e Pedro), sobrinhas (Brenda e Luna), cunhada e cunhados.

E fecho os agradecimentos com chave de ouro, a minha mãe, Maria da Luz, minha referência de fé, força e determinação, e ao meu marido, Domingos Jorge, um verdadeiro companheiro, um tesouro que encontrei em Portugal.

Toda honra e toda glória, seja dada a Deus, o Criador!

## RESUMO

Há uma forte pressão global para uma solução às externalidades negativas causadas pela agricultura convencional. Diante da situação, a agricultura biológica vem se difundindo mundialmente como resposta para a sustentabilidade rural, e os bioestimulantes como uma ferramenta sustentável, na estratégia de eliminar e/ou reduzir o uso de produtos químicos. Existem atualmente inúmeros produtos bioestimulantes comerciais disponíveis no mercado, porém o modo de ação de muitos desses ainda são desconhecidos, dado que estes produtos se divergem nos seus resultados de acordo com a interação entre bioestimulantes, planta e meio ambiente. Com a finalidade de ampliar o conhecimento das substâncias bioestimulantes comerciais, este estudo tem como objetivo avaliar a produção e a exportação de nutrientes pela alface (*Lactuca sativa* L.) sujeita a adubação com bioestimulantes ao solo e por via foliar. Para o experimento foram testados 2 bioestimulantes comerciais, um a base de leonardita (Humitec®) aplicado no solo antes do plantio, e outro de extrato de algas (Fitoalgas Green®) aplicado via foliar durante a estação de crescimento. Como fonte de nutrientes foram utilizados um fertilizante orgânico comercial (Nutrimais®) e um fertilizante mineral (Nutri27, com 27% de nitrogênio, 50% de  $\text{NH}_4^+$  e 50% de  $\text{NO}_3^-$ ). Estes fertilizantes foram utilizados em duas doses diferentes (40 e 80 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ), distinguindo-se como: Nutri40, Nutri80 (Nutrimais®), Min40 e Min80 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) que correspondem às respectivas quantidades utilizadas por hectare. Foi também usado um tratamento controle sem aplicação de bioestimulantes ou fertilizantes orgânicos ou minerais. O delineamento foi organizado de forma completamente casualizada com 15 tratamentos e 3 repetições, totalizando 45 vasos experimentais. Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ). Os resultados foram favoráveis à produção vegetal e à exportação de N nos tratamentos que receberam fertilizante mineral. O fertilizante orgânico liberou pouco nitrogênio e os bioestimulantes tiveram efeito reduzido no crescimento das plantas.

**Palavras-chave:** Agricultura convencional, alterações climáticas, sustentável, agricultura biológica, bioestimulantes, produção.

## ABSTRACT

There is strong global pressure for a solution to the negative externalities caused by conventional agriculture. In view of this situation, organic farming has been spreading worldwide as a response to rural sustainability, and biostimulants as a sustainable tool in the strategy of eliminating and/or reducing the use of chemical products. There are currently numerous commercial biostimulant products available on the market, but the mode of action of many of these is still unknown, given that these products differ in their results according to the interaction between biostimulants, plant and environment. In order to increase knowledge of commercial biostimulant substances, this study aims to evaluate the production and export of nutrients by lettuce (*Lactuca sativa* L.) subjected to fertilization with biostimulants in the soil and via foliar application. For the experiment, two commercial biostimulants were tested, one based on leonardite (Humitec®) applied to the soil before planting, and another based on seaweed extract (Fitoalgas Green®) applied via foliar application during the growing season. A commercial organic fertilizer (Nutrimais®) and a mineral fertilizer (Nutri27, with 27% nitrogen, 50%  $\text{NH}_4^+$  and 50%  $\text{NO}_3^-$ ) were used as nutrient sources. These fertilizers were used in two different doses (40 and 80 kg N ha<sup>-1</sup>), distinguished as: Nutri40, Nutri80 (Nutrimais®), Min40 and Min80 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), which correspond to the respective amounts used per hectare. A control treatment without application of biostimulants or organic or mineral fertilizers was also used. The design was organized in a completely randomized manner with 15 treatments and 3 replicates, totaling 45 experimental pots. The results were submitted to analysis of variance and the Tukey HSD test for comparison of means ( $\alpha < 0.05$ ). The results were favorable to plant production and N export in the treatments that received mineral fertilizer. The organic fertilizer released little nitrogen and the biostimulants had a reduced effect on plant growth.

**Keywords:** Conventional agriculture, climate change, sustainable, organic farming, biostimulants, production.

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	UM BREVE HISTÓRICO DA GÊNESE DA AGRICULTURA, DOS SISTEMAS DE CULTIVO DO SOLO E DA FERTILIZAÇÃO.....	5
3.	A AGRICULTURA CONVENCIONAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	10
3.1	A Influência da Agricultura Convencional na Alteração Climática.....	13
4.	A AGROECOLOGIA COMO PRINCÍPIO DE UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.....	15
4.1	Modelos de Agricultura Sustentável com Bases Agroecológicas.....	19
5.	AGRICULTURA BIOLÓGICA: UM SISTEMA AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL EM SUBSTITUIÇÃO AO SISTEMA CONVENCIONAL.....	23
5.1	A Agricultura Biológica como Instrumento Apto na Efetivação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	30
6.	OS BIOESTIMULANTES: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA UMA PRODUÇÃO ALIMENTAR SAUDÁVEL E DE QUALIDADE..	35
7.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
7.1	Caracterização da Área do Experimento.....	40
7.2	Estudo Experimental.....	42
7.3	Estudo Laboratorial.....	44
7.3.1	Obtenção da matéria seca.....	44
7.3.2	Teor foliar de nitratos.....	46
7.3.3	Teor foliar de macronutrientes.....	47
7.3.4	Teor foliar de micronutrientes.....	48
8.	ANÁLISE DE DADOS.....	48
9.	RESULTADOS.....	49
9.1	Área Foliar e Leitura SPAD.....	49
9.2	Produção da Matéria Seca, N Tecidual e Nitrato Tecidual.....	50
9.3	Exportação de N e N Aparentemente Recuperado.....	52
9.4	Concentração de Outros Macronutrientes e Micronutrientes Exportados pela Planta.....	54

<b>10</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>10.1</b>	<b>Área Foliar e Produção de Matéria Seca.....</b>	<b>57</b>
<b>10.2</b>	<b>Influência dos Bioestimulantes na Produtividade Vegetal.....</b>	<b>58</b>
<b>10.3</b>	<b>Exportação de Outros Macro e Macronutrientes pela Planta.....</b>	<b>61</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Divisão dos espaços agricultáveis no sistema de produção com pousio.....	8
<b>Figura 2.</b>	Imagens relacionadas com a tragédia de Dust Bowl.....	14
<b>Figura 3.</b>	Crescimento das áreas de terras destinadas à agricultura biológica e percentagem de participação na totalidade de área agrícola mundial no período de 2000 a 2020.....	24
<b>Figura 4.</b>	Distribuição dos principais tipos de uso do solo por continente, ano 2020.....	25
<b>Figura 5.</b>	Evolução do mercado varejista a nível mundial em vendas de alimentos e bebidas biológicas – período 2000 a 2020.....	28
<b>Figura 6.</b>	Localização da área de realização do experimento.....	40
<b>Figura 7.</b>	Valores de temperatura e precipitação em Bragança nos meses de Maio e Junho – 2023.....	42
<b>Figura 8.</b>	Plântulas de alface transplantadas em vaso com solo pré-preparado com adubos de fundo.....	43
<b>Figura 9.</b>	Pesagem e secagem da matéria fresca das rodela do tecido vegetal das alfaces.....	45
<b>Figura 10.</b>	Secagem em estufa das amostras foliares	45
<b>Figura 11.</b>	Processo de secagem e obtenção de matéria seca das alfaces.....	46
<b>Figura 12.</b>	Pesagem da massa seca do material vegetal moído para análise de nitratos.....	47
<b>Figura 13.</b>	Processo de agitação e filtragem dasw amostras moídas para análise de nitratos.....	47
<b>Figura 14.</b>	Valores médios da matéria seca vegetal total (g planta <sup>-1</sup> ) dos tratamentos seguidos pela classificação por letra, onde letras iguais não se diferem significativamente, de acordo com o teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ). As barras de erro se referem ao erro padrão.....	51
<b>Figura 15.</b>	Média dos valores de exportação de N na parte aérea da alface. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.....	53

**Figura 16.** Média em percentagem dos valore de NAR (N aparentemente recuperado) pela planta, seguido pela classificação por letras, onde letras iguais não se diferem significativamente, de acordo com o teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ). As barras de erro se referem ao erro padrão.... 54

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Extensão de terras e taxa de crescimento agrícola destinada à agricultura biológica por continente, no período de um ano e de uma década (inclui as áreas de conversão).....	24
<b>Tabela 2.</b>	Principais grupos de cultura e suas respectivas áreas de cultura em modo de produção biológico (incluindo área em conversão) nos continentes – ano 2020.....	27
<b>Tabela 3.</b>	Propriedade do solo, as amostras foram coletadas em profundidade de 0-0,20m antes do início do ensaio (média $\pm$ desvio padrão, n=3).....	41
<b>Tabela 4.</b>	Delineamento das formas de tratamento no experimento em campo.....	43
<b>Tabela 5.</b>	Área foliar das alfices e leitura SPAD. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.....	50
<b>Tabela 6.</b>	Comparação das médias dos valores de N tecidual e Nitrato tecidual. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras diferentes designam diferenças significativas.....	52
<b>Tabela 7.</b>	Valores médios de outros nutrientes teciduais. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.....	56

## 1. INTRODUÇÃO

A descoberta da agricultura pelo homem no período neolítico, trouxe várias transformações na sociedade da época, começando pela autonomia sobre o próprio alimento.

A então, sociedade de agricultores, aprendeu técnicas de domesticação de plantas e animais e desenvolveu ferramentas de cultivo que possibilitaram a modificação de um ambiente natural em um ambiente cultivado e artificializado.

Passados milhares de anos não só as ferramentas agrícolas foram aprimoradas, as técnicas do modo de produção também evoluíram, diante da necessidade de aumentar a produção agrícola, para suprir os grupos familiares cada vez mais numerosos.

Essa necessidade, desencadeou uma série de revoluções agrárias na divisão histórica do mundo, e junto a essas revoluções, surgiram diferentes sistemas de produção, visando o aumento e/ou melhoramento da fertilidade do solo no intuito de elevar a produção de alimentos.

Desta forma, de revolução em revolução, chegou-se a Revolução Verde com seu sistema de produção convencional espalhando-se pelo mundo. Essa revolução consistia no uso de produtos químicos tanto para a fertilização dos solos, quanto para combater adversidades bióticas.

A modernização da agricultura, chamada também de agricultura convencional agora produz em larga escala, faz uso da monocultura e de máquinas pesadas.

O pacote tecnológico (químico, mecânico e biológico) implementado na agricultura convencional, trouxe consigo uma elevada produção alimentar, e colocou a agricultura no centro da economia.

Apesar dos ganhos produtivos, o modo de produção convencional gerou sérios problemas socioambientais como: exclusão dos pequenos agricultores, êxodo rural, problemas de saúde aos trabalhadores do campo, poluição da água, do solo e do ar, erosão genética e risco a biodiversidade do planeta.

Em busca de uma solução para as externalidades negativas ocasionadas pela agricultura convencional, iniciou-se um movimento de oposição ao sistema de produção convencional, reunindo vários pesquisadores que trabalhavam em conjunto para encontrar uma denominação de agricultura não convencional.

Várias terminologias foram sendo desenvolvidas até chegar na denominação atual chamada de agroecologia, um novo paradigma em construção que inquiri uma agricultura sustentável diante de uma forte pressão global.

Essa pressão mundial está sobre a preservação dos recursos naturais, das alterações climáticas e de uma produção de alimentos seguros e de qualidade.

Logo, a agricultura sustentável sob a ótica da agroecologia deve está alinhada à sustentabilidade no campo e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Dentre vários tipos de agricultura com base agroecológica que surgiram, a mais difundida mundialmente e que atende ao modelo almejado para a sustentabilidade, é a agricultura biológica, que utiliza os bioestimulantes, uma ferramenta sustentável, na estratégia de eliminar e/ou reduzir o usos de produtos químicos.

Bioestimulantes é um termo recente, e por não ter uma definição clara, tanto o termo quanto a definição se diferenciam de país para país.

Existem atualmente inúmeros produtos bioestimulantes comerciais disponíveis no mercado, porém o modo de ação de muitos desses ainda são desconhecidos, dado que estes produtos se divergem nos seus resultados de acordo com a interação entre bioestimulantes, planta e meio ambiente.

Com a finalidade de ampliar o conhecimento das substâncias bioestimulantes comerciais, este estudo visa realizar experimentos com três produtos comerciais liberados para o uso na agricultura biológica, são estes: Fitoalgas Green®, Humitec® e Nutrimais®.

Tendo como base o Regulamento de Produtos Fertilizantes da União Europeia (Regulamento (UE) 2019/1009), esta pesquisa irá analisar o efeito dos produtos sobre o parâmetro eficiência no uso de nutrientes.

Esse parâmetro será analisado a partir das exportações de macronutrientes e micronutrientes pela cultivar da espécie *Lactuca sativa*, comumente conhecida como alface (cv. Maravilha de Verão).

Os bioestimulantes Nutrimais® e Humitec® serão aplicados ao solo antes da plantação da alface, o Fitoalgas Green® será aplicado durante a estação de crescimento em calda foliar e o fertilizante mineral (Nitro27) será aplicado 50%

da quantidade em solo, como adubo de fundo e os outros 50% como adubo de cobertura, seguindo a recomendação do fabricante.

O objetivo geral desta dissertação é avaliar a produção e a exportação de nutrientes pela alface sujeita a adubação com bioestimulantes ao solo e por via foliar.

De acordo com a ficha técnica de cada bioestimulante utilizado neste estudo (disponibilizados no site dos seus respectivos fabricantes), temos as seguintes especificações:

- a) Fitoalgas Green® (líquido) - É um produto bioestimulante que contém extrato puro de *Ascophyllum nodosum* obtido através de um processo de extração a frio que preserva todos os ingredientes bioativos das células garantindo uma ação biológica rápida e eficaz.

De acordo com o fabricante, a *Ascophyllum nodosum* é considerada a alga biologicamente mais ativa e tem na sua composição macronutrientes e micronutrientes e um conjunto de compostos (polifenóis, alginatos, manitol, laminarinas, etc.).

Esses compostos atuam na resiliência da planta a eventuais stress provocados por fatores bióticos e abióticos, induzem maior e melhor floração e vingamento, promovendo maior qualidade na produção e auxiliam na absorção de nutrientes.

- b) Humitec® (grãos) - É uma leonardita proveniente de massas florestais fossilizadas e humificadas durante cerca de 40 a 60 milhões de anos.

Contém grande quantidade de matéria orgânica e ácidos húmicos, incluindo microelementos que se encontram sob a forma de sulfatos, carbonatos e silicatos, complexados por ação de ácidos húmicos.

Segundo o fabricante, o produto viabiliza a formação do complexo argilo-húmico, melhorando a estrutura do solo; a capacidade de troca catiónica (CTC); o desbloqueio de nutrientes e sais minerais.

- c) Nutrimais® (pellets): Funciona como um corretivo agrícola, é um produto resultante da compostagem, em sistema túnel de resíduos de exploração florestal, resíduos impróprios para consumo ou processamento, materiais lenhosos, resíduos biodegradáveis de cozinhas, cantinas e mercados, devidamente separados na origem.

Conforme o fabricante, os benefícios propostos ao produto são a melhora na capacidade do solo de reter a água e os adubos, reduz a ocorrência de doenças, promovendo o desenvolvimento de microrganismos benéficos, fornece os nutrientes necessários a planta de forma equilibrada por ser de liberação lenta.

## **2. UM BREVE HISTÓRICO DA GÊNESE DA AGRICULTURA, DOS SISTEMAS DE CULTIVO DO SOLO E DA FERTILIZAÇÃO**

A agricultura é um evento recente que surgiu ao longo da evolução do homem na Terra, pois seu início data no período neolítico, há 10.000 anos da presente Era em algumas regiões pouco numerosas e relativamente pouco extensas do Planeta (Mazoyer & Roudart, 2010).

Foi a época em que uma sociedade de predadores, progressivamente, por si mesma, transforma-se em uma sociedade de cultivadores, introduzindo e desenvolvendo por todo mundo espécies domesticadas de plantas e animais, modificando o ecossistema natural em um ecossistema cultivado e artificializado (Mazoyer & Roudart, 2010, Castanho & Teixeira, 2017).

Essa transformação deu início à primeira revolução na história da agricultura, a Revolução Agrícola Neolítica (Mazoyer & Roudart, 2010, Castanho & Teixeira, 2017) que pela primeira vez, deu ao ser humano o controle sobre o provimento de alimentos (Ghidini & Mormul, 2020).

A Revolução Agrícola Neolítica não só apenas deu ao homem a autonomia sobre a produção do próprio alimento, mas a necessidade de uma mudança social radical (Castanho & Teixeira, 2017; Ghidini & Mormul, 2020).

Os autores Mazoyer & Roudart (2010) relatam que para essa nova sociedade, o difícil não era semear os grãos preferidos em um solo já preparado para esse fim, nem capturar e aprisionar, para finalmente criar, entre as caças preferidas, as mais fáceis de manejar.

Os mesmos autores frisam que essas tarefas os caçadores-coletores já realizavam em seu modo de vida. A difícil tarefa, para a nova sociedade constituída, era de compor e gerenciar uma organização e regras sociais que incluem a divisão da produção e dos direitos com outros grupos.

Como exemplo, em relação a produção, essa gestão e regras deveriam abranger os grupos de produtores-consumidores e a divisão da sua colheita anual em consumo e estoque de sementes, a seleção entre os animais para abate dos reprodutores e jovens e a distribuição da produção do trabalho agrícola (Mazoyer & Roudart, 2010).

Essa nova sociedade de agricultores, também deveriam organizar e constituir regras que assegurassem seus direitos de propriedade dos campos

semeados e dos animais de criação, dos direitos do grupo caçador-coletor, que ainda existiam e eram reconhecidos por essa nova sociedade (Mazoyer & Roudart, 2010).

Para Ghidini & Mormul (2020), a Revolução Agrícola Neolítica contribuiu significativamente na constituição social do ser humano ressaltados em dois aspectos centrais, sendo o primeiro a fixação espacial progressiva dos grupos humanos e o segundo a mudança cultural no controle do homem sobre a natureza.

O movimento dos grupos humanos à procura de alimento deixa de ser crucial e as novas formas de aproveitamento do meio ambiente possibilita o armazenamento da produção, marcando o surgimento do excedente agrícola (Ghidini & Mormul, 2020).

Esse excesso de produção traz uma nova oportunidade e motivação para o homem, que é de estocar a sobra e vendê-la a terceiros, dando início assim, ao comércio e à acumulação capitalista da produção (Feldens, 2018).

Desta forma, a Revolução Agrícola Neolítica mostra-se, sem dúvida, a primeira revolução agrícola que transformou a economia humana (Mazoyer & Roudart, 2010).

Uma vez reunidos os recursos necessários, agora, a sociedade de cultivadores, constituídos de famílias de agricultores, sai de uma agricultura com modo de cultivo em áreas alagadas e férteis e adentram as florestas promovendo o sistema de cultivo derrubada-queimada (Mazoyer & Roudart, 2010).

Mazoyer & Roudart (2010) revelam que na medida em que essas reservas florestais virgens foram sendo ocupadas pelo homem e a densidade populacional continuando a crescer, proporcionalmente, aumentaram a frequência e a intensidade dos desmatamentos.

Essa dinâmica de desmatamento gerou degradação da fertilidade do solo e alterações climáticas, ao ponto de transformar ambientes florestais em desertos (Oliveira Jr., 1989; Mazoyer & Roudart, 2010).

Como consequência do impacto ambiental ocasionado por esse sistema de cultivo, houve escassez de alimento às comunidades, instalando-se assim, a primeira crise ecológica e de subsistência na história da evolução agrícola (Feldens, 2018).

Com intuito de reverter a degradação da terra para manter a produtividade ou até para melhorá-la, desenvolveram-se no decorrer da divisão da história da humanidade, técnicas de cultivo que devolvessem à terra a sua vitalidade e seus nutrientes (Cirne & Souza, 2014).

E sob essa perspectiva surgiram as revoluções agrícolas, sendo que, nesse contexto, o termo revolução tem uma visão mais técnica, voltada para a forma de manejo da terra visando a renovação da fertilidade do solo e aumento de produtividade (Feldens, 2018).

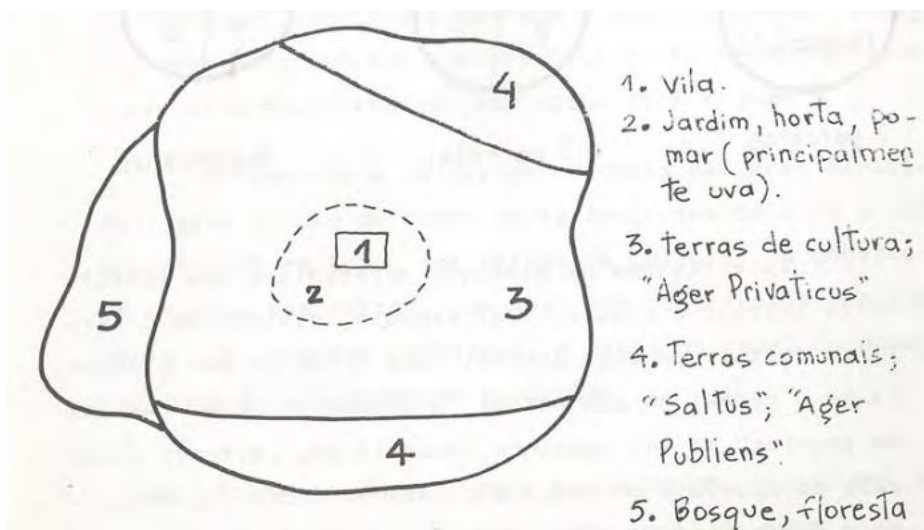
A primeira tentativa de sair da crise estabelecida pelo sistema de cultivo derrubada-queimada que resultou na degradação do ecossistema florestal foi a substituição deste pelo sistema agrário com pousio associado à criação e tração animal (Mazoyer & Roudart, 2010).

Oliveira Jr. (1989) um dos primeiros pesquisadores sobre o surgimento da agricultura no mundo, relata que este sistema surgiu no Sul da Europa, mais precisamente nas regiões Mediterrâneas, tornando-se mais tarde o sistema predominante da Europa, estendendo-se até a Idade Média (séculos XIV e XV).

Mazoyer & Roudart (2010) e Castanho & Teixeira (2017) chamam esse período de transição do sistema agrário, de Revolução Agrária da Idade Antiga, marcada pelo desenvolvimento dos sistemas de cultivo de cereais pluviais com alqueive, com pastagem e criação associadas.

Também faziam uso de ferramentas manuais como a pá e a enxada e nesse mesmo período surgiu o arado escarificador e instrumento de cultivo de tração leve (Mazoyer & Roudart, 2010; Castanho & Teixeira, 2017).

Oliveira Jr. (1989) demonstra em uma figura ilustrativa o modo de produção com pousio e tração leve, o qual se baseava em 4 divisões de espaços agricultáveis (Figura 1), era nas terras de cultura (Ager Privaticus), consideradas as mais férteis que ocorriam o cultivo de cereais em rotação com pousio.



**Figura 1.** Divisão dos espaços agricultáveis no sistema de produção com pousio. Extraído de Oliveira Jr. (1989).

Já Mazoyer & Roudart (2010) explicam o sistema de alqueive e tração leve, fazendo duas divisões dos espaços agricultáveis, a primeira em terras cultiváveis férteis (o ager) destinadas ao cultivo de cereais e a segunda as pastagens periféricas (o saltus).

As pastagens periféricas, apesar de serem terras menos férteis, tinha um papel indispensável na fertilização dos alqueives, pois o gado pastava durante o dia no saltus e a noite eram confinados no ager, garantindo a adubação da área através dos seus dejetos (Mazoyer & Roudart, 2010).

No entanto, a produção no sistema de alqueive (pousio) com tração leve era limitada, devido a insuficiência das ferramentas de trabalho e dos animais que eram o principal meio de manutenção dos espaços cultiváveis (Oliveira Jr., 1989; Mazoyer & Roudart, 2010).

Nesse sistema de produção as terras cultiváveis eram poucas extensas, mal preparadas, insuficientemente adubadas, resultando em um rendimento e uma produção global baixos (Mazoyer & Roudart, 2010).

Diante do pouco desempenho das atividades agrícolas associadas aos instrumentos e técnicas de manuseio do solo, logo se fazia necessário um novo modo de cultivar a terra, bem como instrumentos de trabalho mais eficientes, o que levou a uma nova revolução, a Revolução Agrária da Idade Média (Mazoyer & Roudart, 2010).

Essa nova revolução estabeleceu o sistema agrário de alqueive com tração pesada, as ferramentas de trabalho como a roda e a grade eram feitos de ferro que possibilitaram o cultivo em terras mais pesadas (Oliveira Jr., 1989; Mazoyer & Roudart, 2010).

Nesse sistema agrário, os cavalos foram introduzidos como uma nova força de tração, novas tecnologias surgiram como os moinhos de vento e de água e a estabulação dos animais proporcionaram o melhor uso dos dejetos para fertilização dos solos (Oliveira Jr., 1989; Mazoyer & Roudart, 2010).

Essas novas técnicas empregadas no modo de cultivo da terra viabilizaram a exploração agrícola em terrenos difíceis de serem preparados, sanando dessa forma a insuficiência produtiva do período anterior (Oliveira Jr., 1989; Mazoyer & Roudart, 2010).

Logo após a Idade Média surge a Idade Moderna e junto com este período histórico a passagem do sistema feudal de produção para o sistema capital, o excedente agrícola passa a ser comercializado e a agricultura se torna o centro da economia geral (Castanho & Teixeira, 2017).

Boaretto (2009) enfatiza que na Idade Moderna se iniciam as grandes navegações, desencadeando o intercâmbio de variados produtos entre os diferentes continentes.

Boaretto (2009) ainda frisa que diante dos importantes fatos históricos (político, econômico, social e científico) ocorridos na Idade Moderna, pode-se dizer, sem dúvida, que este foi um período da evolução humana.

O setor agrícola também passa por uma inovação, no período Moderno nasce um novo modo de cultivo do solo, o sistema de produção sem alqueive (pousio) dando início a Revolução Agrária da Idade Moderna, dos séculos XVI ao XIX (Mazoyer & Roudart, 2010).

Esse novo sistema de produção agrícola estendeu-se aos Países Baixos, Inglaterra, França, Alemanha, Suíça, Áustria, Boêmia, ao norte da Itália, da Espanha e de Portugal, consolidando-se por toda a Europa como sistema de cultivo dominante apenas no século XX (Mazoyer & Roudart, 2010).

Esse modo de cultivar a terra, substituiu os espaços de pousio pelo cultivo de rotação de cultura, onde eram introduzidos novas variedades de plantas como as leguminosas e/ou tubérculos, que serviam tanto para alimentação humana como para alimentação animal (Mazoyer & Roudart, 2010).

Assim, o novo sistema agrário baseado nas rotações forrageiras trouxeram valiosas vantagens na fertilização do solo e combate às ervas espontâneas, aumentando a produção agrícola (Mazoyer & Roudart, 2010).

E desta forma de revolução em revolução chegou-se a Revolução Verde, como o período marcado pelo melhoramento genético das sementes, uso dos fertilizantes químicos e agrotóxicos (Castanho & Teixeira, 2017).

Os autores Castanho & Teixeira (2017) também enfatizam o uso de maquinários no manejo do solo, a inserção da indústria na agricultura, formando os Complexos Agroindustriais (CAI's) e uma maior produtividade, surgindo então, o sistema convencional de produção.

### **3. A AGRICULTURA CONVENCIONAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS**

Serra et al. (2016) relatam que a Revolução Verde foi impulsionada por vários fatores que marcaram a sociedade à época do seu surgimento como: a migração da população rural para o ambiente urbano; a evolução da medicina que contribuiu para a redução da mortalidade, melhoria da qualidade de vida e melhor acesso aos serviços de saúde pela população urbana, favorecendo um aumento exorbitante no número de habitantes.

Tais fatores levaram a necessidade de uma modernização na agricultura baseada em modelos tecnológicos que faziam uso intensivo da mecanização, adubos minerais de alta solubilidade e agrotóxicos, denominado de Revolução Verde, pelo qual aumentou consideravelmente a produção de alimentos (Rosset et al., 2014)

Rosset et al. (2014) trazem informações em números e afirmam que 62% da produção agrícola mundial visam à produção de alimentos para alimentação humana, 35% para alimentação animal e 3% para produção de sementes, bioenergia e outros produtos industriais.

Campagnolla & Macêdo (2022) não ignoram os resultados positivos obtidos com a Revolução Verde e seu sistema convencional de produção como: a aplicação do conhecimento tecnológico para transformar áreas tidas como impróprio ao cultivo, fossem integradas à produção agropecuária, possibilitando a geração de novas variedades de plantas e raças de animais, somando-se à prática da correção da acidez do solo.

Os mesmos autores reforçam ainda o papel importante desempenhado pela Revolução Verde na cadeia agroalimentar quanto a geração de empregos com impactos efetivos na economia a montante e a jusante da produção agropecuária, potencializando a industrialização de alimentos, o que facilitou o seu acesso a preços acessíveis.

No entanto, a modernização da agricultura que resultou na agricultura convencional e seu modelo de sistema convencional de produção, integrando o pacote tecnológico (químico, mecânico e biológico), apesar de constituir a agricultura mundial pela promessa de sanar a fome no mundo, esse modelo agrário gerou externalidades negativas tanto no contexto social como no contexto ambiental (Almeida, 2010; Zambenedetti et al., 2021).

Para Andrade & Ganimi (2010) apesar de ser notório o aumento da produtividade, a agricultura convencional não foi concebida para solucionar a carência de alimentos no planeta, uma vez que a nível mundial se produz mais do que se consome, mas sim um meio para reproduzir o capital.

Vieira et al. (2016) também chamam a atenção na intencionalidade dos avanços técnicos da agricultura moderna que vão além do aumento da produtividade, visto que, após a Segunda Guerra Mundial houve uma forte conexão entre a indústria química e o campo rural, na produção de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos com o uso direcionado para o setor agrícola.

Almeida (2010) reforça a teoria dos autores anteriormente mencionados, quando afirma que a modernização agrícola está ligada à transformação da produção em commodities, alterando os mercados agrícolas internacionais e as culturas locais tradicionais.

Em se tratando das externalidades negativas causadas pela agricultura convencional, no contexto social temos o aumento da concentração da renda e da terra, exploração da mão-de-obra no campo, envenenamento dos agricultores e migração para as cidades (Andrades & Ganimi, 2010).

Almeida (2010) e Zambenedetti et al. (2021) contribuem somando às externalidades negativas, o estabelecimento de uma agricultura excludente com a priorização dos latifúndios em detrimento da agricultura familiar e êxodo rural.

Já no contexto ambiental, o uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos assinalam grandes prejuízos em contaminação do solo, dos rios, da água e do ar (Adl et al., 2011).

A alta dependência desses mesmos produtos provocam salinização e eutrofização de corpos d'água através da lixiviação e ainda causam resistência de pragas e contribuem para o aumento de gases do efeito estufa (Rosset et al., 2014).

Martins et al. (2024) também sinalizam para o uso excessivo dos fertilizantes químicos que podem levar a acidificação e à formação de crostas no solo, reduzindo a quantidade de matéria orgânica no solo com consequente diminuição da atividade biológica, afetando o desenvolvimento das plantas, modificando o pH do solo e aumentando a incidência de pragas.

Muitos desses produtos químicos não são imediatamente biodegradáveis e se bioacumulam por meio da cadeia trófica afetando a saúde humana (Adl et al., 2011).

Sandes et al. (2022) alertam que o ser humano por está no topo da cadeia alimentar, está potencialmente mais exposto e sofre mais diretamente às consequências da bioacumulação.

Vários estudos mostram a contaminação do leite materno por pesticidas utilizados na agricultura convencional. A maior ou menor contaminação tem uma forte relação no local onde a mãe se encontra (Sandes et al., 2022).

Em um estudo realizado por Eroğlu et al. (2018) os pesquisadores mostraram que mulheres, trabalhadoras rurais, apresentaram maior contaminação do leite materno por pesticidas e atribuem essa contaminação pela aplicação dos produtos químicos no cultivo realizado por elas.

Corralo et al. (2016) e Sandes et al. (2022) afirmam que certas substâncias tóxicas presentes nos produtos químicos podem agir como desreguladores do sistema endócrino das mães e seus filhos.

Esses mesmos autores também ressaltam que crianças com níveis elevados de agrotóxicos no período neonatal podem apresentar problemas sociais e comportamentais no período pré-escolar.

A monocultura praticada na agricultura convencional é outro fator de grandes impactos ambientais, como: a diminuição da fertilidade do solo como consequência da extração de nutrientes pela monocultura prioritária, a erosão genética, provocada pelo processo de seleção das espécies e pelo desmatamento, a perda de biodiversidade e o uso predatório dos recursos

hídricos em extensas áreas de monocultivo (Andrades & Ganimi, 2010; Zambenedetti et al., 2021; Campagnolla & Macêdo, 2022).

Provoca ainda impactos sociais como: a exclusão dos pequenos agricultores descapitalizados, o desprezo dos saberes tradicionais de cultivar a terra e seus aprimoramentos tecnológicos fundamentados na diversificação produtiva e no uso racional dos recursos naturais, e os impactos diretos nas comunidades tradicionais que possuem sua produção biológica contaminada por agrotóxicos provindos da agricultura convencional vizinhas (Andrades & Ganimi, 2010; Zambenedetti et al., 2021; Campagnolla & Macêdo, 2022).

### **3.1 A Influência da Agricultura Convencional na Alteração Climática**

Kristiansen et al. (2006) afirmam que a aquisição de alimentos, têxteis e outros recursos de plantas e animais tem sido uma grande preocupação para as sociedades humanas, desde os primeiros dias como caçadores-coletores, passando pelas fases evolutivas da humanidade até as atuais sociedades agrárias.

Desde que o homem começou a intervir na natureza e o artificializar, manipulando o meio ambiente na produção de alimentos específicos em maior quantidade, iniciou-se uma cadeia de efeitos ambientais negativos (Kristiansen et al., 2006)

Voltando ao primeiro modo de cultivo, temos o sistema de derrubada-queimada que consistia na derrubada e queima de florestas para abertura de áreas de lavouras, liberando grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contribuindo significativamente para o efeito estufa (Mazoyer & Roudart, 2010; Feldens, 2018).

No entanto essa prática ainda ocorre em regiões como a África e América Latina e neste último, temos como exemplo o Brasil no uso tão atual da derrubada-queimada, que ocorre na floresta Amazônica, que entre várias razões a predominante é a utilização da terra para pastagens (criação de gado), essa prática resulta no aumento da frequência do fenômeno de *El Niño* contribuindo para a mudança climatológica global (Feldens, 2018; Fearnside, 2022).

Um outro exemplo marcante do impacto ambiental causado pela agricultura convencional que adota um sistema padrão de produção indiferente

às particularidades de cada região, foi o caso ocorrido nos Estados Unidos, no ano de 1930, na porção das Grandes Planícies conhecida como Dust Bowl, a maior tempestade de areia que durou cerca de 10 anos (Gill & Lee, 2015).

A transição de pastagens para terras agrícolas não irrigadas fez com que diminuísse a umidade do solo e por conseguinte a diminuição da evaporação e a redução da umidade atmosférica, afetando drasticamente a relação umidade-chuva do solo, promovendo condições mais secas (Gill e Lee, 2015).

Gill & Lee (2015) afirmam que as técnicas de agricultura de sequeiro aumentaram a erodibilidade do solo e a falta de conhecimento de práticas de cultivo apropriadas à região, deixaram os agricultores incapazes de implementar o controle da erosão em suas terras.

Os mesmos autores relatam que o arado de disco unilateral foi amplamente utilizado para quebrar o solo (Figura 2a), bem como a grade de discos e a grade de dentes pontiagudos para mobilização do solo, com o solo descoberto e sem umidade, os ventos forte a nível do solo arrastaram enormes quantidades de areia (Figura 2b).

Gill & Lee (2015) ainda descrevem que a tempestade de areia carregou solo por milhares de quilômetros até a Costa Leste e para o Oceano Atlântico e que essa erosão eólica do solo trouxe grande desastre, não só ambiental, mas social e econômico.



(a)



(b)

**Figura 2.** Imagens relacionadas a tragédia ambiental chamada de Dust Bowl. Arado de disco unilateral, utilizado para quebrar o solo (a). Tempestade de areia em Dodge City, Kansas (b). Extraído de Gill & Lee, 2015.

Martins et al. (2024) afirmam que os solos agrícolas de muitas áreas da região do Mediterrâneo foram submetidos a práticas agronômicas insustentáveis da agricultura convencional, alertam ainda que essa região foi identificada como uma das regiões mais vulneráveis ao clima e *hotspot* de mudanças climáticas.

Os autores também informam que para manter a produtividade nessa região os agricultores dão preferência a fertilização química pela facilidade de aplicação e disponibilidade rápida de nutrientes às culturas, no entanto o uso excessivo desses fertilizantes sintéticos está associado a um alto risco de contaminação ambiental e às emissões de gases de efeito estufa.

Ferreiro-Domínguez et al. (2022) reforçam a afirmação advertindo que os solos mediterrâneos estão a sofrer cada vez mais os efeitos negativos da alteração climática que são exacerbados pela agricultura intensiva e pelo pastoreio excessivo.

Como exemplo citamos Portugal que de acordo com o Inventário de Emissão GEE 2023 a agricultura no país é responsável por 13% das emissões nacionais em 2021, correspondendo a um decréscimo de 1% desde 1990.

Para Braga & Pinto (2009), as medidas implementadas nas culturas agrícolas do país tem grande influência no sequestro e emissão de gases de efeito estufa.

#### **4. A AGROECOLOGIA COMO PRINCÍPIO DE UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**

Após o advento da agricultura química, motorizada, mecanizada e técnico-científico, denominada de agricultura convencional, iniciou-se o movimento em torno de formas não convencionais de agricultura, onde os primeiros movimentos datam do século 20, época em que o paradigma convencional disseminava-se intensivamente nos países desenvolvidos da Europa Ocidental e da América do Norte (Aquino & Assis, 2012).

Mas foi a partir de 1960 que de fato surgiram os questionamentos do modelo de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, principalmente com base nos efeitos colaterais não previstos inicialmente (Feiden, 2012).

E a partir desses questionamento surgiram variadas abordagens de trabalho conjunto entre pesquisadores de diferentes disciplinas que de acordo

com o grau de interação classificavam-se em: multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade (Feiden, 2012).

Almeida (2010) relata os fundamentos desses questionamentos acerca da agricultura e do desenvolvimento com base em fatos e movimentos gerais como: a crise generalizada nos países de capitalismo periférico na década de 50, mostrando que o progresso não é uma virtude natural que todos os sistemas econômicos e todas as sociedades humanas possuem.

As crises sociais relativas às concentrações de renda, de riquezas e da terra e o expressivo êxodo rural, a crise ambiental de diferentes formas e grau de impactos e por fim a crise econômica a partir da diminuição dos níveis médios de renda (Almeida, 2010).

Como resposta a esse movimento foi adotada a primeira denominação de agricultura não convencional, a chamada agricultura alternativa, que de acordo com Jesus (2012), essa denominação foi primeiramente adotada pela Holanda em 1977, no Relatório Holandês, o qual foi escrito pelo Ministério da Agricultura e Pesca.

O Brasil também aderiu ao movimento realizando quatro Encontros Brasileiros de Agricultura Alternativa nas cidades de Curitiba, 1981; Rio de Janeiro, 1984; Cuiabá, 1987 e Porto Alegre, 1989 (Jesus, 2012).

Já os Estados Unidos em 1989 publicou o documento *Alternative Agriculture*, no qual discutia sobre os métodos alternativos na agricultura convencional do país (Jesus, 2012).

Jesus (2012) ainda assinala que a adoção da nomenclatura agricultura alternativa teve como referência a obra de Schumacher (1973), que tratava de tecnologias adaptadas às condições econômicas, sociais e culturais, chamada de tecnologias apropriadas ou alternativas.

No entanto Aquino & Assis (2012) afirmam que a nomenclatura adotada não significa um modelo ou conjunto de técnicas, mas sim, um conjunto de movimentos alternativos, tornando-se impreciso já que qualquer técnica ou processo alternativo ao modelo convencional, mesmo que demandadores de insumos ou causadores de impactos sociais e econômicos negativos, eram considerados como parte do contexto alternativo.

As discussões em torno dos impactos socioambientais causados pela agricultura convencional se intensificaram ainda mais a ponto que em meados

do século 80 juntaram-se às questões ambientais globais a destruição de florestas, chuvas ácidas, acidentes ambientais e efeito estufa (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014; Velten et al., 2015).

Essas questões saíram do ambiente agrônômico e das instituições, atingindo os consumidores que passaram a interferir, questionando sobre o sistema de produção de alimentos, exigindo produtos saudáveis que fossem produzidos respeitando o meio ambiente e a saúde dos trabalhadores (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014; Velten et al., 2015).

Diante do contexto, surge então, o termo agricultura sustentável juntamente com o conceito abrangente de desenvolvimento sustentável, ganhando destaque no Relatório de Brundtland, intitulado de Nosso Futuro Comum, elaborado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) (Velten et al., 2015).

No Relatório de Brundtland o conceito de sustentabilidade foi estendido à agricultura apontando para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014; Velten et al., 2015).

No entanto, devido a ambiguidade do conceito de agricultura sustentável, tornou a discussão e a implementação da ideia extremamente difícil, permitindo a exploração do conceito para atender diferentes interesses (Velten et al., 2015).

Diante da busca de designações que atendam aos interesses daqueles que buscam a construção de um novo e verdadeiro caminho, adota-se o termo agroecologia como sendo o marco conceitual do novo, o paradigma emergente, substituto da agricultura convencional que deveria reunir dentro do seu conceito os princípios sociais, culturais, ambientais, econômicos, científico e tecnológicos (Jesus, 2012).

Feiden (2012) diz que o instrumento fundamental para o estudo dos fenômenos agrícolas de uma forma mais integrada é o desenvolvido pela ecologia, pois é uma ciência que integra e permite uma compreensão global dos fenômenos isolados, por meio dos conceitos de comunidades, ecossistemas e propriedades emergentes, entre outros.

Esse mesmo conceito, aplicado a ecologia, foi adaptado pelos pesquisadores Miguel Altieri e Stephen Gliessman, criando então, o conceito de

agroecossistema que para eles, essa é a unidade de desenvolvimento das práticas agroecológicas (Feiden, 2012; Candiotto, 2020).

De acordo com Altieri (2009) a agroecologia fornece uma estrutura metodológica de trabalho para a compreensão mais profunda tanto da natureza dos agroecossistemas como dos princípios segundo os quais eles funcionam.

O mesmo autor anteriormente citado, enfatiza que a agroecologia utiliza os agroecossistemas como uma unidade de estudo, ultrapassando a visão unidimensional (genética, agronomia, edafologia) incluindo dimensões ecológicas, sociais e culturais.

No entanto, Caporal (2009) faz um alerta para as diferentes interpretações do termo agroecologia, que se distancia do verdadeiro sentido do qual trata de um novo paradigma em construção.

Caporal (2009) ainda afirma que muitas das vezes esse termo é confundido como sendo um tipo de agricultura ou até mesmo com a simples adoção de determinadas práticas ou tecnologias agrícolas ambientalmente mais adequadas ou com uma agricultura que não usa agrotóxicos ou, simplesmente, com a substituição de insumos.

Rosa & Campos (2020) corroboram com essa afirmação quando dizem que a agroecologia busca a criação de um novo paradigma produtivo, que harmonize a produção agrícola, biodiversidade (animal e vegetal) e justiça social, para obtenção de uma produção ecologicamente sustentável.

Como exemplo prático do entendimento sobre agroecologia Altieri (2009) descreve que diante da situação que um agricultor que emprega métodos alternativos necessitar controlar pragas específicas ou deficiência do solo recorrendo a aplicação de inseticidas botânicos ou fertilizantes químicos, a agroecologia atua orientando de como fazer isso, cuidadosamente, sem provocar danos desnecessários ou irreparáveis.

Altieri (2009) reforça que além da luta contra as pragas, doenças ou problemas do solo, o agroecologista procura restaurar a resiliência e a força do agroecossistema. Se a causa da doença, das pragas, da degradação do solo, por exemplo, for entendida como desequilíbrio, então o objetivo do tratamento agroecológico é restabelecê-lo.

De acordo com a IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Moviments, 2019) não há uma definição clara sobre agroecologia, é um termo

que significa diferentes coisas para diferentes pessoas e também a compreensão se diverge de país para país.

Contudo vejamos alguns conceitos sobre agroecologia citados pela IFOAM entre pesquisadores e instituições voltadas a essa ciência:

- Altieri (1983), como a aplicação de princípios ecológicos à agricultura, com papel central para os agricultores e o conhecimento dos agricultores;

- Wezel et al. (2009); Gliessmann (2011) afirmaram que a agroecologia não é apenas um meio de produção de alimentos ou uma disciplina científica, mas também um movimento social que liga os produtores aos consumidores e critica os efeitos da industrialização e o quadro econômico do mercado alimentar globalizado;

- Em 2009 a IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development) documentou a necessidade da transformação agroecológica da agricultura, da produção e do consumo de alimentos e posicionou o conceito de agroecologia no debate global sobre política alimentar;

- Hilbeck et al. (2015) escrevem que a agroecologia não é um sistema definido de produção, nem uma técnica de produção. É um conjunto de princípios e práticas destinadas a aumentar a sustentabilidade de um sistema agrícola, e é um movimento que busca um novo caminho da produção alimentar.

A IFOAM (2019) aborda ainda que a agroecologia como ciência procura formas de transformar o sistema alimentar atual, em uma agricultura sustentável, adaptado ao meio ambiente em mudança e que essa abordagem é vital para a segurança alimentar.

#### **4.1. Modelos de Agricultura Sustentável com Bases Agroecológicas**

Os movimentos que se opunham às externalidades negativas provocadas pela agricultura convencional foram diversas, cada uma com suas especificidades, voltadas para práticas agrícolas que respeitassem os recursos naturais e os saberes tradicionais, tendo como base para a construção de suas linhas filosóficas, a agroecologia (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014).

Assim temos:

**a) Agricultura orgânica** – Com base nos ensinamentos de Sir Albert Howard que trabalhou com pesquisas agrícolas durante 40 anos na Índia, esta escola ideológica afirma que a verdadeira fertilidade do solo deve estar assentada em um amplo suprimento de matéria orgânica e, principalmente, na manutenção de elevados níveis de húmus no solo (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014).

Desta forma tem como fundamento técnico a diversificação e rotação de culturas, adubação orgânica, manejo ecológico de pragas e a preservação ambiental (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2014).

O professor Howard também foi o pioneiro em descobrir a existência das micorrizas que só foram estudadas 50 anos mais tarde (Blume & Reiniger, 2007);

**b) Agricultura biodinâmica** – Ligada à figura de Rudolf Steiner fundador da Antroposofia o qual a define como “uma Ciência Espiritual”, os biodinâmicos detêm uma abordagem mais integrada buscando vê e manejar a propriedade agrícola como um organismo vivo (Jesus, 2012).

Os biodinâmicos fazem uso de determinados preparados incorporando-os nas pilhas de compostagem ou pulverizando sobre as plantas na perspectiva de uma ação mais energética e sutil do que no efeito físico-químico (Jesus, 2012).

Esta linha filosófica também está ligada às influências cósmicas sobre as culturas, ou seja, fazem uso da influência do sol e da lua para promover a harmonia e o equilíbrio dos sistemas de produção (Costa et al., 2016);

**c) Agricultura biológica** – Tem como base os estudos do francês Claude Aubert, agrônomo francês que trabalhou na África observando os problemas e inadequações da agricultura convencional.

Ao retornar à França iniciou estudos sobre métodos mais equilibrados de produção e em 1977 lançou o seu livro intitulado *L'Agriculture Biologique*, onde apresenta a irracionalidade dos métodos agrícolas convencionais, bem como os fundamentos e as bases práticas da agricultura biológica (Blume & Reiniger, 2007; Jesus, 2012);

**d) Agricultura ecológica** – Esta corrente iniciou-se na Alemanha por volta de 1980 através do professor Hartmut Vogtmann que inseriu uma disciplina chamada de agricultura ecológica na Universidade de Kassel-Witzenhauzen,

publicando mais tarde um livro onde reunia diversos aspectos teórico-filosóficos e práticos desta agricultura (Blume & Reiniger, 2007; Jesus, 2012).

No Brasil a nomenclatura agricultura ecológica está ligada ao trabalho de José Lutzenberger e de Ana Primavesi, pioneiros na denúncia do manejo irracional do solo tropical ao se praticar nele a mesma agricultura de clima temperado grande (Blume & Reiniger, 2007; Jesus, 2012).

De modo geral a agricultura ecológica busca desenhos agrícolas mais integrados, uma gestão de solo mais racional e é menos restritiva em relação ao uso de insumos do que as agriculturas orgânica e biológica e também é direcionada às propriedades rurais de porte pequeno, médio e grande (Blume & Reiniger, 2007; Jesus, 2012);

**e) Agricultura natural** – De acordo com Jesus (2012) o termo utilizado é incorreto, uma vez que a palavra natural define algo que é produzido pela natureza e a agricultura é um processo que acontece pela intervenção humana com maior ou menor artificialização.

No entanto a denominação está ligada a trabalhos realizados no Japão e essa corrente é dividida em dois grupos: o primeiro grupo é o de Mokiti Okada (MOA) que iniciou seus trabalhos na área no ano de 1935 com a criação de uma religião que tinha como base em métodos “naturais” de agricultura, onde defendia a purificação da alma através da purificação do corpo, alcançada pelo não consumo de produtos tóxicos (Jesus, 2012).

Segundo Jesus (2012) o método prático utilizado pela AN-MOA é a adoção de produtos especiais para a preparação de composto orgânico chamados de microrganismos eficientes, BYM ou Eokomit, que se trata de um conjunto de microrganismos especializados na decomposição da matéria orgânica (fungos, bactérias e actinomicetos) misturados com farelo de arroz ou de trigo.

Outro produto utilizado é o Bayodo que é uma mistura de terra virgem (solo subsuperficial, sem pedras e raízes, rico em argila e nutrientes) e farelo de arroz colocado para fermentar (Jesus, 2012).

O segundo grupo dessa linha de pensamento da agricultura natural é o de Fukuoka que estabeleceu os princípios de seus métodos no lançamento do seu livro, escrito em japonês no ano de 1978, intitulado *The One Straw Revolution*, que aconselha não utilizar nenhum tipo de adubo, seja orgânico ou

industrializado, nem composto orgânico e nem mesmo arar o solo (Jesus, 2012);

**f) Permacultura** – Desenvolvido por Bill Mollison na Austrália, caracteriza-se por ser um sistema de manejo permanente, apresentando uma visão holística da agricultura, com forte carga ética, que busca a integração entre a propriedade agrícola e o ecossistema através de uma sucessão de cultivos a fim de maximizar a produção (Jesus, 2012);

**g) Agricultura regenerativa** – Criado por Robert Rodale, o termo está ligado à possibilidade de se produzir recuperando o solo, com uma abordagem agroflorestal regenerativa, consegue realizar uma rápida recuperação de áreas degradadas e produção agrícola (Jesus 2012).

Utiliza-se de métodos como a poda intensiva das árvores, o que faz acelerar a incorporação de biomassa no solo e induz ao rejuvenescimento, crescimento e vigor das plantas e do intensivo controle da sucessão vegetal (Jesus 2012).

Como exemplo desse tipo de sistema temos o sistema agrossilvicultural desenvolvido por Ernst Götsch, na Bahia, conhecido como método Ernst (Jesus 2012) e sob a nomenclatura de agricultura sintrópica.

Dentre todos esses modelos de agricultura alternativa, a agricultura biológica é a mais difundida mundialmente.

Ressaltamos que segundo os autores Jesus (2012) e Costa et al. (2016) a agricultura biológica e a agricultura orgânica não tem distinção entre suas correntes e técnicas práticas, seria apenas uma diferenciação quanto a nomenclatura utilizada em diferentes países.

Como por exemplo, esses autores relatam que o termo agricultura orgânica é usada nos países europeus de língua anglo-saxônica e na América, já o termo agricultura biológica é predominante nos países europeus de língua latina (França, Itália, Portugal e Espanha).

Sendo assim, neste trabalho iremos utilizar apenas o termo agricultura biológica para referenciar tanto esta agricultura quanto a orgânica nos diferentes países, independente do termo utilizado.

## **5. AGRICULTURA BIOLÓGICA: UM SISTEMA AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL EM SUBSTITUIÇÃO AO SISTEMA CONVENCIONAL**

A agricultura biológica como modelo de produção sustentável, a cada ano vem crescendo e se fortalecendo no setor agrícola, com produções em ritmo de expansão no mundo, onde o mercado e os consumidores aspiram por esses tipos de produtos, indicando o crescimento de áreas produtivas e a inclusão de novos agricultores (Moura et al., 2021).

Segundo o relatório estatístico do mundo da agricultura biológica e tendências emergentes para 2022 (The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022) elaborado pela FiBL (Research Institute of Organic Agriculture FiBL) e IFOAM (Organics International), no ano de 2020 foram registrados mais de 74,9 milhões de hectares de terras agrícolas biológicas, incluindo as áreas em conversão, representando 1,6% do total de terras agrícolas do planeta (Figura 3).

A Oceania é o continente que apresenta maior área (35,9 milhões/ha), quase a metade das terras agrícolas biológicas do mundo, seguida pela Europa com 17,1 milhões/ha, América Latina (9,9 milhões/ha), Ásia (6,1 milhões/ha), América do Norte (3,7 milhões/ha) e África um total de 2,1 milhões/ha (Tabela 1).

Ainda com base na tabela 1, a maior taxa de crescimento dentro de um ano, entre o período 2019/2020, foi na América Latina com 19%, seguido dos continentes África (7,7%) e Ásia (7,6%) com taxas de crescimento semelhantes.

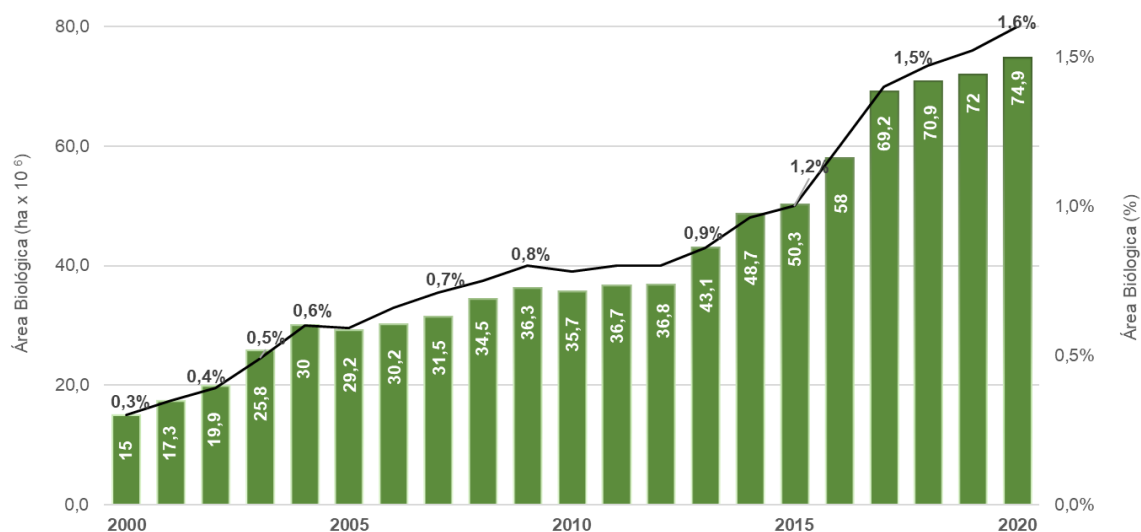
Alargando a análise da taxa de crescimento no decorrer de uma década, a Oceania expandiu de forma exorbitante, atingindo uma taxa de crescimento de 215,4%, o continente africano também apresentou um valor expressivo (95,1%), os continentes asiático e europeu tiveram suas taxas de crescimento aproximados, 66,7% e 62,1% respectivamente.

A nível mundial, considerando o mesmo período de 10 (dez) anos, a taxa de crescimento chega a 104,3% (Tabela 1), pelo qual se pode aferir um grande avanço nesse modo de produção no mundo (Figura 3).

**Tabela 1.** Extensão de terras e taxa de crescimento agrícola destinada à agricultura biológica por continente, no período de um ano e de uma década (inclui as áreas em conversão).

Região	Agricultura Biológica - área - 2019 (ha)	Agricultura Biológica - área - 2020 (ha)	Crescimento em 1 ano (ha)	Taxa de crescimento em 1 ano (%)	Crescimento em 10 anos (ha)	Taxa de crescimento em 10 anos (%)
África	1.937.873	2.086.859	148.986	7,7	1.017.163	95,1
Ásia	5.713.875	6.146.235	432.360	7,6	2.460.086	66,7
Europa	16.494.912	17.098.134	603.222	3,7	6.549.611	62,1
América Latina	8.296.331	9.949.461	1.653.129	19,9	2.983.312	42,8
América do Norte	3.647.623	3.744.163	96.539	2,6	724.476	24,0
Oceania	35.873.526	35.908.876	35.350	0,1	24.525.183	215,4
Mundo	71.957.852	74.926.006	2.968.154	4,1	38.257.102	104,3

Adaptado de Willer et al., 2022.



**Figura 3.** Crescimento das áreas de terras destinadas à agricultura biológica e percentagem de participação na totalidade de área agrícola mundial no período de 2000 a 2020. Adaptado de Schlatter et al., 2022.

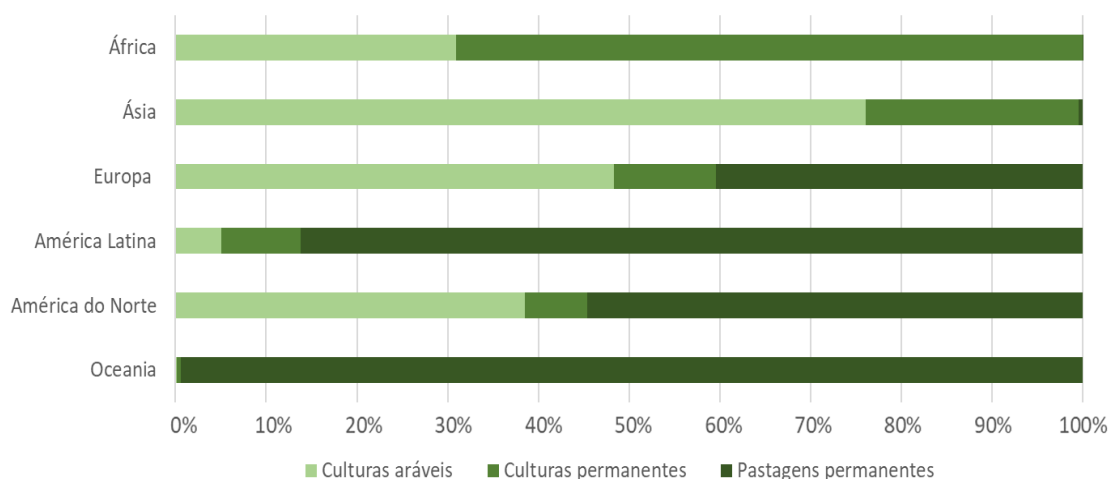
Quanto ao uso dessas terras destinadas à agricultura biológica, Schlatter et al. (2022) relatam que mais de dois terços dos 74,9 milhões de hectares de terras, eram destinadas para pastagens (mais de 50,8 milhões/ha).

Os autores Schlatter et al. (2022) também descrevem que as culturas aráveis eram de 13,1 milhões/ha e as culturas permanentes de 5,2 milhões/ha, juntas constituíam 18,3 milhões de hectares de área de cultivo, representando um quarto das terras destinadas à agricultura biológica.

Porém, os mesmos autores estimam que a área agrícola é muito maior do que foi contabilizado, visto que alguns países de extensas áreas em modo de produção biológico, como Brasil e Índia, não disponibilizaram a informação do uso das terras em detalhes.

O relatório da FiBL & IFOAM (2022) traz uma estatística quanto ao uso das terras agrícolas em modo biológico nos continentes, onde a Oceania ocupa mais de 95% de suas terras com pastagens (Figura 4).

Sahota (2022) ressalta sobre o interesse dos consumidores a produtos de origem animal biológico, seja pela segurança alimentar e/ou pelo bem-estar animal, em segundo lugar em relação ao uso da terra destinada ao cultivo de pastagens, vem a América Latina com 75%, seguida pela América do Norte com 55% de área com pastagens.



**Figura 4.** Distribuição dos principais tipos de uso do solo por continente, ano 2020. Adaptado de Schlatter et al., 2022.

Costa et al. (2016) fazem uma análise dos três primeiros continentes com maior área de agricultura biológica, a Oceania, que está no topo da lista, segundo a autora, o motivo é devido a facilidade de implantação dos métodos do sistema

biológico que está relacionada com a importância das pastagens e das florestas locais.

Willer et al. (2022) trazem como exemplo a Austrália com 35,7 milhões/ha de área agrícola biológica, representando mais de 99% do valor da área do continente asiático, e que são atribuídas, principalmente, a extensas pastagens.

Já a Europa, o segundo continente com maior área de agricultura biológica, Costa et al. (2016) fazem uma ligação ao perfil dos consumidores que são cada vez mais críticos sobre a segurança e qualidade do alimento.

E a América Latina, o terceiro continente com maior área de terras agrícolas biológicas, a autora Costa et al. (2016) reportam à agricultura biológica como solução aos agricultores da região devido à escassez de recursos, à dimensão das explorações e às dificuldades econômicas que comprometem o acesso a inputs e tecnologia agrícola externa.

Dos principais grupos de culturas cultivados no mundo, os cereais é o grupo que está em primeiro lugar, ocupando uma área de 5.088.503 ha, em segundo lugar vem o grupo das sementes oleaginosas com 1.795.143 ha de área plantada no mundo, seguido pelo grupo das azeitonas (621.470 ha) (Tabela 2)

O grupo dos vegetais fica em sexto lugar (421.563 ha) perdendo apenas para os grupos das leguminosas secas e do café, com 748.345 ha e 744.942 ha, sucessivamente (Tabela 2), com exceção dos dois últimos grupos de culturas, os anteriormente citados tem como principal cultivador a Europa.

**Tabela 2.** Principais grupos de culturas e suas respectivas áreas de culturas em modo de produção biológico (incluindo área em conversão) nos continentes - ano 2020.

Grupo de Cultura	África (ha)	Ásia (ha)	Europa (ha)	América Latina (ha)	América do Norte (ha)	Oceania (ha)	Total (ha)
Cereais	17.359	1.299.939	3.027.517	159.516	542.879	41.293	5.088.503
Frutas cítricas	6.898	15.960	60.864	51.713	5.403		140.838
Cacau	215.652	357		166.564		1.935	384.508
Café	254.221	70.998		351.371	115	68.238	744.943
Leguminosas secas	3.931	79.628	572.233	11.120	81.432		748.344
Frutas de clima temperado	4.403	71.272	154.046	8.466	18.130		256.317
Frutas tropicais/subtropicais	69.038	62.067	43.468	112.765	5.122	76	292.536
Uvas	4.291	15.020	431.225	14.682	27.444	5.783	498.445
Sementes oleaginosas	184.769	577.955	821.708	76.007	134.704		1.795.143
Azeitonas	260.207	6.584	621.470	6.100	628		894.989
Vegetais	37.980	52.199	212.563	33.245	81.542	4.035	421.564

Adaptado de Schlatter et al., 2022.

Em relação ao movimento econômico global de produtos biológicos no mercado de alimentos e bebidas, o setor seguiu em alta, atingindo a um nível mundial de mais de 120 bilhões de euros no ano de 2020, os países que possuem os maiores mercados biológicos são os Estados Unidos (49,5 bilhões de euros) a Alemanha (15,0 bilhões de euros) e a França (12,7 bilhões de euros) (Willer et al., 2022).

E em se tratando de consumo, a Suíça teve o maior consumo per capita, no mesmo ano, com 418 euros, depois a Dinamarca com 384 euros e Luxemburgo com 285 euros (Willer et al., 2022).

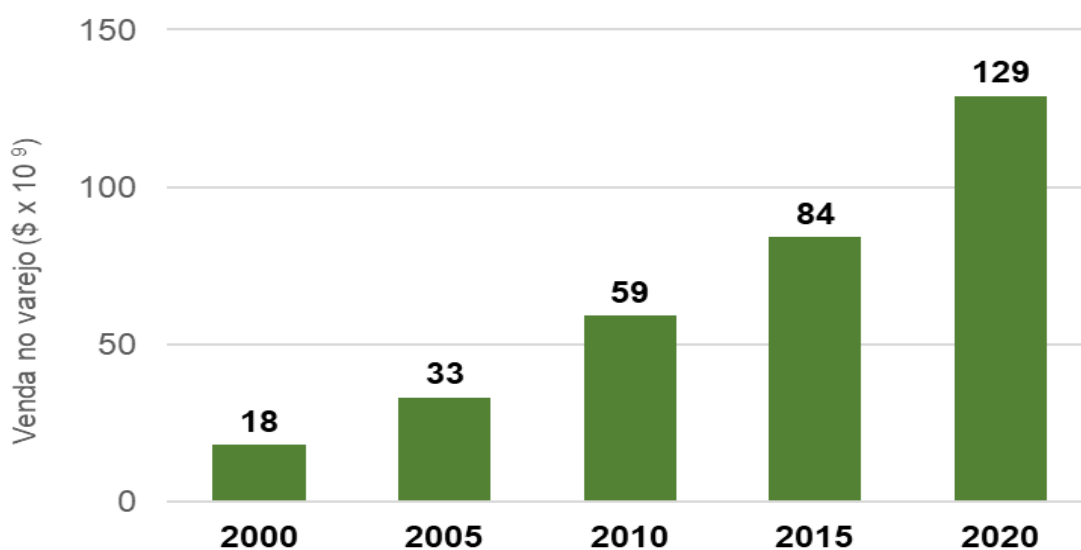
Sahota (2022) em sua pesquisa sobre o mercado global de alimentos e bebidas biológicos, realizou um levantamento da evolução das vendas desses produtos nos anos de 2000 a 2020, constatando o maior registro de vendas, no ano de 2020, atingindo o valor de 129 bilhões de dólares (Figura 5).

O autor afirma que o aumento de 17 bilhões de dólares, em relação ao ano anterior, foi provocado pela pandemia, elevando o interesse dos consumidores pelos alimentos biológicos. Rubiolo (2022) ressalta que o maior responsável pelo aumento da agricultura biológica no período da pandemia foi o mercado varejista.

Sahota (2022) assinala que devido o confinamento imposto em várias partes do mundo, e a preocupação com a saúde, os consumidores mudaram a forma de comprar e de se alimentar.

O autor menciona a exemplo as lojas da Amazon e da Whole Foods Market, lojas online que faturaram alto no período da crise pandêmica, favorecidas pela opção do consumidor por compras com entregas em casa e dando preferência a alimentos biológicos, associando este a boa saúde, nutrição e bem-estar.

Flores (2022) relata a resiliência nos sistemas alimentares dos latino-americanos que mesmo com pontos críticos expressos em aumento de preços por diversas razões, graças às iniciativas dos produtores biológicos da agricultura familiar, em campanhas de reconhecimento ao pequeno produtor tanto a nível local quanto a nível nacional, as vendas direta dos produtos frescos, atendendo as preocupações sanitárias do consumidor e ao uso das plataformas digitais, resistiram às crises impostas pela pandemia da Covid-19.



**Figura 5.** Evolução do mercado varejista a nível mundial em vendas de alimentos e bebidas biológicos - período 2000 a 2020. Adaptado de Sahota, 2022.

Rubiolo (2022) e Sahota (2022) destacam ainda que a Covid-19 revelou particularmente importante o setor biológico, ao mostrar a vulnerabilidade das cadeias de abastecimentos internacionais quando as exportações agrícolas

foram suspensas diante das medidas de emergência do confinamento adotadas por vários países no mundo.

Os mesmos autores afirmam que os vencedores da crise foram aqueles que mantiveram as suas cadeias de abastecimento perto de casa e os que dependiam de produtos biológicos de outras regiões geográficas foram afetados negativamente.

Sahota (2022) assinala uma outra importante mudança do consumidor, que está na maior procura por alimentos à base de plantas, onde esse mercado vem crescendo de forma exponencial, fortalecida por está ligada, principalmente, às questões de saúde, reforçado por uma progressiva popularidade de um estilo de vida vegano e vegetariano.

Diante dessa mudança, em alguns países, como é o caso dos Estados Unidos, o mercado de bebida láctea orgânica está obtendo um decréscimo das vendas em virtude da crescente procura por bebidas de origem vegetal (Sahota, 2022).

Aleixo (2021) afirma que os estudos científicos produzidos nas últimas décadas, caracterizam que as dietas baseadas em vegetais e cereais integrais são mais indicadas para a redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, constituindo uma alternativa segura, oportuna e preferencial para garantir qualidade de vida e longevidade.

Na Europa onde possui a maior área de cultivo de vegetais biológicos, em 2020 a cultura ocupou uma área superior a 210.000 ha, e na União Européia, a área de cultivo foi acima de 190.000 ha, encontrando as maiores áreas na Itália, França e Espanha, as maiores porcentagem em variedade de vegetais estão na Dinamarca e Luxemburgo (Busacca et al., 2022).

No entanto, Bussaca et al. (2022) afirmam que apesar da tendência crescente das terras agrícolas biológicas, não acompanha o ritmo da procura, a ponto que a demanda por alimentos biológicos ultrapassa a oferta, isso porque, praticamente a metade dessas terras em modo de produção biológico, são de extensas pastagens utilizadas por criadores de gado.

Portugal também destina a maior parte de suas terras em modo de produção biológico para prados e pastagens, conforme informações do REA (Relatório do Estado do Ambiente, 2023), no ano de 2020 o país possuía 319.540 ha de terras destinadas à agricultura biológica, contudo mais da metade dessa

área (61%) são prados e pastagens permanentes, 21% para culturas permanentes e 18% são terras aráveis.

Busacca et al. (2022) relatam que no mesmo período a região teve sua terras agrícolas biológicas acrescida em 9% e contabilizaram 21 milhões de euros no mercado varejista.

Cabo et al. (2016) reiteram que a agricultura em modo de produção biológico mostra-se como uma oportunidade para o setor agrícola português por ser uma atividade com alto potencial, pois possui uma tecnologia que mais valoriza a produção agrícola, produzindo produtos diferenciados de elevado valor acrescentado, os quais são alvo de procura crescente e insuficientemente satisfeita.

Cabo et al. (2016) sintetizam ainda que Portugal tem renovado seu interesse pela agricultura biológica fruto da conjugação entre crise econômica, a existência de novas gerações com fortes preocupações ambientais e dificuldade em encontrar emprego nas atividades tradicionais, e uma nova Política Agrícola Comum que aposta na promoção da agricultura em modo de produção biológico.

A agricultura biológica vem ser um meio de produção que assegura a sustentabilidade tanto no campo, na sociedade e no meio ambiente, não associada a externalidades negativas, constituindo assim, um dos principais instrumentos para um desenvolvimento rural sustentável (Cabo et al., 2016).

Visto que uma agricultura sustentável seria aquela capaz de produzir alimentos para a atual população mundial sem, no entanto, comprometer a produção e a alimentação das futuras gerações (Jesus, 2012).

Logo, a agricultura biológica surge então, como um sistema de agricultura adequado, em substituição à agricultura convencional (Costa et al., 2016).

### **5.1. A Agricultura Biológica como Instrumento Apto na Efetivação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**

Rosa & Campos (2020) dentro de sua pesquisa, mostraram que a agroecologia é um instrumento promotor dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e elencam essa afirmação na compreensão de que a agroecologia é um conhecimento científico, em busca de práticas agrícolas

sustentáveis que propiciem desenvolvimento sustentável para o agricultor e para o país.

A agroecologia também busca criar agroecossistemas que sejam sensíveis aos conhecimentos tradicionais e/ou culturais, socialmente justas, economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis, contribuindo para a implantação de um modelo agrícola socioambiental sustentável nos moldes dos ODS (Rosa & Campos, 2020).

Esta linha de pensamento é reiterada por Farrelly (2016) ao realizar uma meta-análise de 50 estudos de caso em 22 países na África, onde os resultados evidenciaram o potencial da agroecologia em elevar os níveis de soberania alimentar de maneira sustentável, conservando a biodiversidade e respeitando os conhecimentos e as inovações dos agricultores tradicionais.

Farrelly (2016) também constatou que uma agricultura com base agroecológica contribui para atingir 10 dos 17 ODS, são estes: 1 (Erradicação da pobreza), 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 3 (Saúde e bem-estar), 4 (Educação de qualidade), 5 (Igualdade de gênero), 6 (Água potável e saneamento), 8 (Emprego decente e crescimento econômico), 12 (Consumo e produção responsáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima), 15 (Vida terrestre).

A agricultura biológica tem como base os princípios agroecológicos, constituindo-se em um sistema de produção holísticos, promotora de agroecossistemas saudáveis ao incentivar, a biodiversidade, os ciclos biológicos e a atividade microbiana do solo (Costa et al., 2016).

A produção biológica está centrada no uso de boas práticas agrícolas como: utilização de insumos orgânicos para a produção e garantia de sistemas de produção adaptados à região (Costa et al., 2016), além de ser um modelo de produção que está em pleno crescimento a nível mundial e possuir viabilidade econômica.

Loiola et al. (2021) afirmam que a produção rural sustentável é imprescindível para que os ODS, desenvolvidos e estipulados pela Organização das Nações Unidas (ONU), sejam alcançados e passem a obter alimentos em qualidade e quantidade suficiente para garantir os padrões nutricionais e a sustentabilidade das diferentes sociedades.

Farrelly (2016) mostrou em sua meta-análise, que todos os casos estudados, a produção em modo biológico mostrou impactos positivos sobre as metas: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.

Tendo como referência o estudo de Farrelly (2016), neste trabalho iremos abordar apenas os ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 3 (Saúde e bem-estar), e 13 (Ação contra a mudança global do clima), enfatizando a agricultura biológica como propulsora dos ODS.

No que tange o ODS 2 que aborda sobre fome zero e agricultura sustentável, tem como objetivo erradicar a fome em todo o mundo, garantir o acesso de todas as pessoas a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano (Comissão Nacional da Unesco, 2024).

Até 2030 tem como meta acabar com todas as formas de desnutrição, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produtividade e a produção e que ajudem a manter os ecossistemas (Comissão Nacional da Unesco, 2024).

A prática da agricultura biológica tem mostrado a resposta para chegar a esse Objetivo. Nas experiências de Michael Farrelly os pequenos agricultores da África não utilizam de insumos externos, mas dos recursos localmente disponíveis e adaptados (Farrelly, 2016).

Por serem biológicos não usam defensivos químicos, mas plantas locais para o controle de pragas, o manejo sustentável das culturas trouxe benefícios como acesso a alimentos seguros, nutritivos e em quantidade suficiente a esses agricultores de pequena escala (Farrelly, 2016).

Em uma análise da situação da agroecologia em Portugal, Queiroga et al. (2020) destacam que algumas regiões do país ainda possuem suas bases agrícolas na agricultura familiar, sendo esta determinante para assegurar a segurança alimentar e nutricional tanto das populações urbanas quanto das periurbanas, bem como preservar as paisagens e patrimônio genético.

Queiroga et al. (2020) trazem como exemplo de sustentabilidade e rentabilidade ao agricultor, a estratégia promovida pela Associação de Desenvolvimento Local de Setúbal (ADREPES), que encurtou a distância entre agricultores e consumidores possibilitando a estes o acesso a alimentos seguros e mais nutritivos a preços finais justos para ambas as partes.

Fonseca (2016) relata que em um estudo realizado em uma plantação de soja nos Estados Unidos, a aplicação de técnicas da agricultura biológica reduziu em 16% os impactos no capital natural, devido a redução da poluição da água e do ar e no consumo de água, melhoramento na estrutura do solo possibilitando maior infiltração da água e redução do risco de erosão, permitindo maior rentabilidade ao produtor e garantia de boas produções a longo prazo.

O terceiro ODS trata da saúde e bem-estar, definidos em uma de suas metas até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças devido a químicos perigosos, contaminação e poluição do ar, água e solo (Comissão Nacional da Unesco, 2024).

No âmbito de promover o terceiro ODS a Comissão Europeia lançou a estratégia do Prado ao Prato onde adotou medidas de reduzir em 50% a utilização de pesticidas de alto risco, reforçando as disposições relativas da proteção integrada que faz uso de métodos alternativos de controle contra pragas e doenças (Comissão Europeia, 2020).

O excesso de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) no ambiente, são potenciais poluidores da água, do solo e do ar, nesse sentido a Comissão se propôs a agir para a redução do uso de fertilizantes em 20% até 2030, sem afetar a fertilização do solo (Comissão Europeia, 2020).

Esta mesma Comissão reconhece o papel primordial da agricultura biológica para a sustentabilidade no campo e a geração da saúde tanto para o agricultor quanto para o consumidor, com isso vem incentivando os produtores em modo de produção biológico através de subsídios agrícolas e tem como meta alcançar até 2030, 25% das suas terras agrícolas sob agricultura biológica (Comissão Europeia, 2020).

Altieri (2010) traz o exemplo da África onde aproximadamente 80% das explorações agrícolas da região são minifundiários que praticam a agricultura de baixo insumo que se baseiam sobretudo no uso de recursos locais, mas podendo ser utilizados insumos externos de forma moderada, o pesquisador afirma que essa agricultura produz a maioria dos alimentos básicos com praticamente nenhum ou pouco uso de fertilizantes e nem de sementes melhoradas.

A equipe do projeto Valorizar a Agricultura Familiar, realizou uma pesquisa em Portugal com agricultores familiares (representam 93% das

explorações agrícolas) em cinco territórios do país: Braga, Castelo Branco, Setúbal, Évora e Viseu (Pereira et al., 2023).

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar um conjunto de serviços ambientais que servem a exploração agrícola, em particular ao nível da conservação da biodiversidade e da manutenção da paisagem, utilizando o método TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) para medir o desempenho dessas explorações (Pereira et al., 2023).

Essa mesma pesquisa avaliou oito propriedades com dimensões entre 1 ha a 180 ha, destes, seis estão em modo de produção convencional, um em produção integrada e um em agricultura regenerativa, o resultado mostrou que a exploração que tem implementado a agricultura regenerativa, obteve o valor mais alto no desempenho agroecológico (Pereira et al., 2023).

Quanto ao desempenho agroecológico destacamos aqui dois elementos: a eficiência, onde a gestão da fertilidade do solo e da prevenção das pragas e doenças, são realizadas através de práticas biológicas, e a resiliência, onde foi evidenciado maior rendimento e produção com crescimento anual, além de alta capacidade de recuperação após perturbações externas (Pereira et al., 2023).

A pesquisa realizada pela equipe do projeto Valorizar a Agricultura Familiar constatou que a exploração agrícola que utilizava técnicas biológicas para a fertilização do solo, mostrou alta capacidade de recuperação total após choques/perturbações (Pereira et al., 2023).

O décimo terceiro ODS refere-se a ação contra a mudança global do clima que tem como objetivo combater as mudanças climáticas e seus impactos com metas propostas a reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação aos perigos e desastres naturais relacionados ao clima (Comissão Nacional da Unesco, 2024).

Também propõe integrar soluções e medidas de mudança climática nas políticas, estratégias e planejamento nacionais, melhorar a educação sobre mitigação das mudanças climáticas, redução de impacto e alerta precoce (Comissão Nacional da Unesco, 2024).

Na Lei Europeia do Clima, o Conselho Europeu aprovou o objetivo de alcançar uma União com impacto neutro no clima até 2050 reduzindo, pelo menos, 55% dos gases de efeito estufa (GEE) em relação aos níveis de 1990, até 2030, o contributo das remoções líquidas para a meta climática da União

para esse mesmo ano, é limitado a 225 milhões de toneladas de equivalente CO<sub>2</sub> (Regulamento (UE) 2021/1119, alínea 19 e artigo 4º, parágrafo 1) .

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões (2023), no ano de 2021 a agricultura foi responsável por 13% das emissões de GEE em Portugal, correspondendo a um decréscimo de 1% desde o ano de 1990, isso deve-se entre outros fatores, a diminuição do consumo de fertilizantes provenientes da conversão de culturas arvenses em pastagens.

Moura et al. (2021) enfatiza que a agricultura biológica é uma grande ferramenta no controle da quantidade de CO<sub>2</sub> livre na atmosfera, por possuir uma elevada capacidade de armazenar carbono no solo, contribuindo significativamente para a redução desse gás de efeito estufa.

## **6. OS BIOESTIMULANTES: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA UMA PRODUÇÃO ALIMENTAR SAUDÁVEL E DE QUALIDADE**

A agricultura biológica é uma forma de agricultura intensiva em conhecimento, mas não intensiva em fatores de produção, por isso a investigação e inovação são cruciais para impulsionar o modo de produção biológico (European Commission, 2023).

A União Europeia apoia e incentiva a agricultura biológica através de investimentos financeiros em pesquisas nacionais relacionadas à sistemas alimentares biológicos, os quais estão ligados aos objetivos da estratégia do Prado ao Prato que por sua vez busca alcançar as metas do ODS que visam, dentro do setor agrícola, criar sistemas alimentares seguros, com qualidade e sustentáveis ambientalmente (European Commission, 2023).

No entanto essa preocupação não diz respeito somente a União Europeia, mas sim, ao mundo, pois há uma pressão crescente sobre os sistemas alimentares globais e a agricultura está sendo desafiada a fornecer segurança alimentar a uma população crescente sem afectar a segurança ambiental (Beltrán-Pineda & Bernal-Figueroa, 2022).

Todavia a proporção que a densidade demográfica mundial aumenta, a produção de alimentos também aumenta e esse equilíbrio entre aumento populacional e produção alimentar sustentável, só é possível, segundo Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022), mediante a solos saudáveis.

Que de acordo com o MAPA (2022) solos saudáveis são solos biologicamente ativos, produtivos e resilientes, capazes de responder positivamente aos problemas advindos de estresse biótico e abióticos, além de possuírem maior capacidade de sequestro de carbono e maior eficiência no uso de nutrientes.

No sentido de se obter solos saudáveis, e haja visto, que a utilização excessiva de fertilização química provoca a degradação da terra agrícola, nesse sentido a biotecnologia apresenta uma ferramenta sustentável, os biofertilizantes (Beltrán-Pineda & Bernal-Figueroa, 2022), conhecidos também como bioestimulantes dependendo da região do planeta.

Du Jardin (2015) presume que a nomenclatura bioestimulantes foi criada por especialistas em horticultura para diferenciar as substâncias promotoras do crescimento vegetativo, dos nutrientes, corretivos de solo ou pesticidas, utilizados no modo convencional de produção.

Du Jardin (2015) buscou rastrear a primeira definição do termo bioestimulante e encontrou uma publicação de 1997 em um webjornal dedicado à profissionais de manutenção de gramado, onde definia a palavra bioestimulantes como materiais que, em quantidades mínimas, promovem o crescimento das plantas.

Du Jardin (2015) explica que o emprego do termo quantidades mínimas, utilizado na definição dos bioestimulantes, foi para diferenciar das substâncias utilizadas na agricultura convencional que obtém os mesmos resultados, porém usados em maior quantidade.

As substâncias bioestimulantes descritas na publicação de 1997, mencionada por Du Jardin (2015) se tratavam dos ácidos húmicos e dos extratos de algas marinhas.

Yakhin et al. (2017) relatam que no ano de 2000, a palavra bioestimulantes era substituído pelos termos, produtos contendo hormonas e melhoradores metabólicos, e que também se tratavam dos ácidos húmicos e dos extratos de algas marinhas, eram aplicados em gramados para aumentar a tolerância à seca.

Yakhin et al. (2017) informam que os pesquisadores dessa época, de modo geral, discutiam os bioestimulantes como condicionadores pré-stress cujos efeitos se manifestam na melhoria da eficiência fotossintética, na redução da propagação e intensidade de algumas doenças e em melhores rendimentos.

Na literatura científica o conceito de bioestimulantes foi adotado pela primeira vez por Kauffman e seus colaboradores no ano de 2007 (Du Jardin, 2015; Wang & Carvalho, 2018), estes pesquisadores buscaram resumir a definição da palavra classificando-a em três grupos com base em sua fonte e conteúdo: os das substâncias húmicas (SH), dos produtos contendo hormônios (HCP) e dos produtos contendo aminoácidos (AACP) (Du Jardin, 2015).

Atualmente o número de categorias vem se alargando, bem como a sua diversidade composicional, gerando uma não consensualidade na definição da palavra bioestimulantes entre os dois consórcios mundiais a EBIC (European Biostimulants Industry Council) na Europa e a Biostimulant Coalition, nos EUA (Wang & Carvalho, 2018).

A falta de consenso de uma definição do termo bioestimulantes entre os órgãos reguladores, gera uma instabilidade na classificação e no registro desses produtos que conseqüentemente se torna uma barreira ao comércio e ao desenvolvimento, sendo que o registro dos produtos utilizados na agricultura é crucial para garantir a sua aplicação prática, segura e legítima (Du Jardin, 2015; Yakhin et al., 2017; Wang & Carvalho, 2018).

Com isso, Yakhin et al. (2017) afirmam que muitos biofertilizantes foram classificados em grupos e categorias divergentes de função, uso e tipo de atividade, e cita alguns exemplos como: as rizobactérias promotoras do crescimento das plantas que podem ser categorizadas como biofertilizantes, fitoestimulantes e biopesticidas.

Outras divergências afirmadas por Yakhin et al. (2017) são os extratos de algas marinhas e microrganismos que têm sido considerados biofertilizantes e alguns elementos inorgânicos ou pequenas moléculas que não são considerados essenciais, também podem ser classificados como bioestimulantes, se houver evidências disponíveis de promoção do crescimento das plantas.

Atualmente o mercado dos bioestimulantes está em crescimento, pois representam o novo, o moderno e instrumentalizam a bioeconomia, é um tema

atual que se alinha com a sustentabilidade e os ODS em seu mais alto grau, nas políticas públicas e nos programas nacionais e internacionais (Vidal & Dias, 2023).

Os produtos comerciais disponíveis são inúmeros e apesar de ser um grande avanço tecnológico, o conhecimento técnico, os manejos e as práticas utilizadas em diferentes culturas e em fatores edafoclimáticos específicos de cada região do planeta, ainda são um desafio a comunidade científica (Du jardin, 2015; Yakhin et al., 2017; Wang & Carvalho, 2018).

Esses desafios são devido a complexidade dos efeitos fisiológicos dos bioestimulantes, pois em termos gerais os efeitos primários são de induzir respostas fisiológicas das plantas e muitas dessas respostas afetam o metabolismo primário, o crescimento e o desenvolvimento (Du jardin, 2015; Yakhin et al., 2017; Wang & Carvalho, 2018).

E esses processos fisiológicos estão sujeitos a regulação homeostática do vegetal que se originam de milhões de anos de evolução biológica, o que lhe atribui a capacidade de manter-se em um equilíbrio dinâmico e assegurar a manutenção da sua integridade física e fisiológica (Du jardin, 2015; Yakhin et al., 2017; Wang & Carvalho, 2018).

Logo atuar em tais processos biológico é desafiador e além disso, o uso de biofertilizantes só pode ser bem sucedida mediante ao adequado tratamento das interações: bioestimulantes, planta e o meio ambiente (Du jardin, 2015; Yakhin et al., 2017; Wang & Carvalho, 2018).

No entanto esses desafios aos poucos estão sendo superados pela comunidade científica, e embora não haja uma lista detalhada e uma categorização das substâncias e microrganismo abrangidos pelo conceito de bioestimulantes, existem algumas categorias importantes sendo amplamente estudadas (Du Jardin, 2015; Wang & Carvalho, 2018).

E essas categorias já são reconhecidas por investigadores, reguladores e partes interessadas, são estas: ácidos húmicos e fúlvicos, hidrolisados de proteínas e outros compostos contendo N (nitrogênio), extratos de algas marinhas e vegetais, quitosana e outros biopolímeros, compostos inorgânicos, bactérias e fungos benéficos (Du Jardin, 2015; Wang & Carvalho, 2018).

Dentre essas categorias os extratos de algas marinhas são os componentes mais comuns dos bioestimulantes vegetais, atualmente são

obtidos a partir das algas castanhas (*Ascophyllum nodosum*, *Laminaria spp.*, *Macrocystis spp.*, etc.), das algas vermelhas (*Kappaphycus alvarezii*, *Palmaria spp.*, *Gracilaria spp.*, etc.) e algas verdes (*Ulva spp.* e *Enteromorpha spp.*) (Goñi et al., 2020; EBIC, 2023).

De acordo com a EBIC (2023) no ano de 2021 movimentaram um mercado de 758 milhões de dólares e representam aproximadamente 29,8% a 33,5% do mercado global de bioestimulantes vegetais (EBIC, 2023).

As algas marinhas têm sido utilizadas desde a antiguidade, aplicadas diretamente ou em forma de compostagem como corretivo de solo para melhorar a produtividade das culturas nas regiões costeiras (EBIC, 2023).

Os primeiros extratos líquidos de algas marinhas foram produzidos a partir de 1950 e eram conhecidos como fortalecedores de plantas, promovendo o crescimento e o rendimento das culturas, independente do conteúdo de fertilizante do extrato (EBIC, 2023).

A leonardita é uma matéria orgânica proveniente de plantas que estiveram submetidas a condições pedológicas de coalificação, favoráveis à mineralização e humificação e muito usada nos Estados Unidos e países europeus (Silva, 2019).

É uma das principais fontes de substâncias húmicas, sendo que, os produtos fabricados tendo como base essa matéria-prima são muito ricos em ácidos húmicos e fúlvicos e são amplamente utilizados na agricultura com a finalidade de melhorar as propriedades do solo e ajudar as plantas a suportar situações de stress provocados por fatores abióticos e bióticos (Arrobas et al, 2023).

Quanto ao período de aplicação dos bioestimulantes vegetais comumente são usados nas fases do ciclo cultural que incluem o tratamento de sementes, durante o crescimento e em pós colheita, já quanto ao modo de aplicação podem ser utilizados diretamente ao solo, em soluções via fertirrigação ou pulverização foliar (Wang & Carvalho, 2018).

## 7. MATERIAIS E MÉTODOS

### 7.1 Caracterização da Área do Experimento.

O experimento foi realizado na área das estufas do IPB (Instituto Politécnico de Bragança) localizado no município de Bragança/PT, sob as coordenadas geográficas de latitude 41° 47' 50"N, longitude 6° 45' 43"W e altitude de 677m (Figura 6).

A cidade de Bragança apresenta um clima temperado com características mediterrânicas, pela classificação climática de Köppen-Geiger, está incluída no tipo Csb que corresponde a um clima temperado com verão seco e suave, apresenta uma temperatura média anual com mínima de 6,8 °C e máxima de 18,4 °C, a precipitação média é de 772,7 mm ao ano (IPMA, 2024).

Em relação ao solo ocorre a predominância do tipo Leptosolos que se caracterizam por apresentarem texturas entre franco, franco-arenosa e franco-limosa. Os solos possuem um nível médio de fertilidade, caracterizados por uma capacidade de troca catiónica média e por valores médios de fósforo e potássio (Tabela 3) (Arrobas & Afonso, 2009).



Figura 6. Localização da área de realização do experimento. Google Earth.

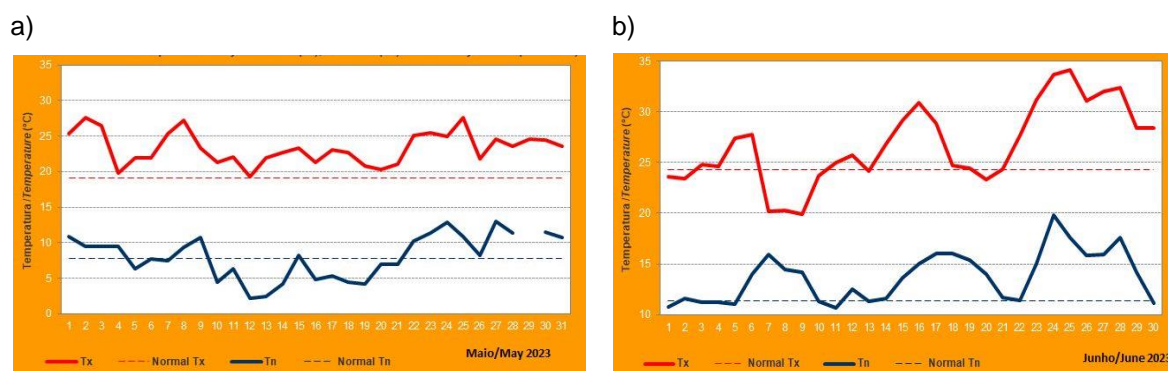
**Tabela 3.** Propriedades do solo, as amostras foram coletadas em profundidade de 0 – 0,20m antes do início do ensaio (média  $\pm$  desvio padrão, n = 3).

Propriedades do Solo		Propriedades do Solo (cont.)	
Carbono orgânico	12 $\pm$ 2,26	Troca cálcio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	9,3 $\pm$ 0,48
pH (H <sub>2</sub> O)	6,5 $\pm$ 0,07	Troca magnésio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,5 $\pm$ 0,62
pH (KCL)	5,2 $\pm$ 0,05	Troca potássio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5 $\pm$ 0,23
Extra. fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (mg/kg <sup>-1</sup> )	150,1 $\pm$ 27,27	Troca sódio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,1 $\pm$ 0,01
Extra. potássio (K <sub>2</sub> O) (mg/kg <sup>-1</sup> )	175,3 $\pm$ 52,05	Troca acidez (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,3 $\pm$ 0
Boro (mg/kg <sup>-1</sup> )	0,5 $\pm$ 0,09	Troca de cátions, capacidade (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	14,8 $\pm$ 1,25

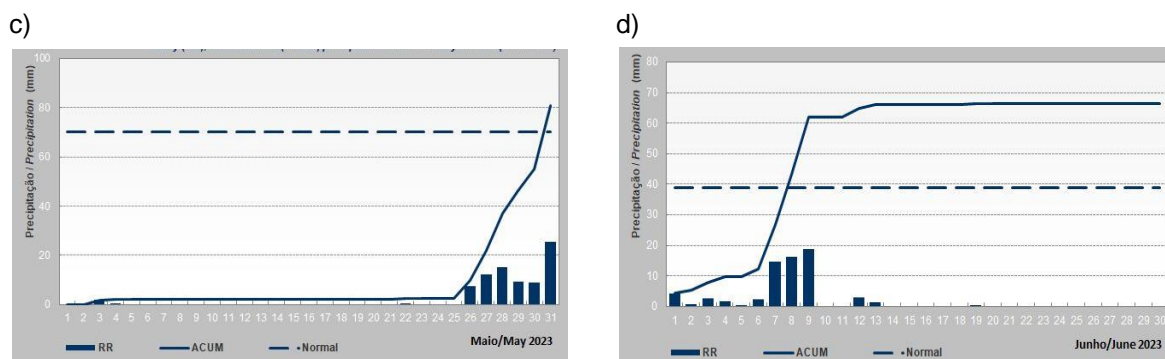
O estudo foi dividido em duas partes, sendo a primeira parte o estudo experimental, realizado em vasos para avaliar a resposta da cultura à aplicação dos produtos fertilizantes e a segunda parte o estudo laboratorial, realizado no laboratório de solos do IPB, onde foram efetuadas as análises de concentração dos nutrientes nos tecidos.

A planta usada com teste foi alface (*Lactuca sativa* L., cv. Maravilha de Verão), por ser reconhecidamente uma planta que responde rapidamente a estímulos ambientais.

O experimento ocorreu no período de 5 de maio de 2023 a 26 de junho de 2023. Durante o ensaio em vasos, os valores diários da temperatura (Figuras 7a e 7b) estiveram, de um modo geral, acima da média normal, e as precipitações pluviais (Figuras 7c e 7d) bem abaixo da linha normal (IPMA, 2024).



Tx=valores diários de temperatura máxima; Tn=mínima e normal mensal



RR=valores diários de precipitação; ACUM=acumulada e normal mensal

**Figura 7.** Valores de temperatura e precipitação em Bragança nos meses de Maio e Junho – 2023.

## 7.2 Estudo Experimental

As plântulas de alface foram adquiridas no mercado municipal de Bragança com aproximadamente 5 cm de altura e transplantadas em vasos com capacidade para 3 kg de terra (Figura 8), dois dias após a preparação do solo com os adubos de fundo: Humitec® (corretivo de solo), Nutrimais® (fertilizante orgânico) e Nitro27 (fertilizante mineral com 27% de nitrogênio, 50% de  $\text{NH}_4^+$  e 50% de  $\text{NO}_3^-$ ), distribuídos conforme a tabela 4.

O fertilizante orgânico Nutrimais® (Nutri) e o fertilizante mineral  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Min) foram utilizados em duas doses diferentes, distinguindo-se como: Nutri40, Nutri80, Min40 e Min80 que correspondem às suas respectivas quantidades a serem utilizadas por hectare, de acordo com a recomendação habitual para a cultura e a sua metade, a saber: 40 kg/ha e 80 kg/ha de N.

O fertilizante mineral utilizado no delineamento foi dividido em duas partes. A primeira parte aplicada como adubação de fundo e a segunda parte como adubação de cobertura. O bioestimulante à base de extrato de algas (Fitoalgas Green®) também foi aplicado, via foliar, como adubo de cobertura seguindo a recomendação do fabricante (Tabela 4).

O delineamento foi organizado de forma completamente casualizada, com 15 tratamentos e 3 repetições correspondendo ao total de 45 vasos ( $15 \times 3 = 45$ ). Os tratamentos e as formas de aplicação dos fertilizantes encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4.** Delineamento das formas de tratamentos no experimento em campo.

ADUBO DE FUNDO									ADUBO DE COBERTURA			
Ordem	Sigla Resultados	Tratamento	Fertilizante Mineral	Qtd	Fertilizante Orgânico	Qtd	Bioestimulante	Qtd	Bioestimulante	Qtd	Fertilizante Mineral	Qtd
1	TLOrg	T1			Nutri40	15,16 g	Humitec	3,37 g				
2		T2			Nutri80	30,32 g	Humitec	3,37 g				
3	TLMin	T3	Min40	0,42 g			Humitec	3,37 g			Nitro27 (1)	0,53 g
4		T4	Min80	0,84 g			Humitec	3,37 g			Nitro27 (2)	1,06 g
5	TL	TC1					Humitec	3,37 g				
6	TEAOrg	T5			Nutri40	15,16 g			Extrato de algas	0,5 ml		
7		T6			Nutri80	30,32 g			Extrato de algas	0,5 ml		
8	TEAMin	T7	Min40	0,42 g					Extrato de algas	0,5 ml	Nitro27 (1)	0,53 g
9		T8	Min80	0,84 g					Extrato de algas	0,5 ml	Nitro27 (2)	1,06 g
10	TEA	TC2							Extrato de algas	0,5 ml		
11	TFOrg	T9			Nutri40	15,16 g						
12		T10			Nutri80	30,32 g						
13	TFMin	T11	Min40	0,42 g							Nitro27 (1)	0,53 g
14		T12	Min80	0,84 g							Nitro27 (2)	1,06 g
15	TC	TC3										

Legenda: T=Tratamento; TC=Tratamento Controle; Nutri=Nutrimais; Min=(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>); os valores correspondem à razão entre a quantidade por hectare recomendado e a quantidade de cultivar por área, neste estudo considerou-se 140.000 alfaces/ha.

Os vasos experimentais das laterais foram protegidos da incidência direta e constante dos raios solares, a fim de manter um microclima dos vasos das amostras de forma semelhante (Figura 9). O adubo de cobertura Nitro27 foi adicionado 29 dias após o transplante das plântulas de alface, que condiz com a fase de expansão das folhas externas do cultivar.



**Figura 8.** Plântulas de alface transplantadas em vasos com solo pré-preparado com adubos de fundo.

O bioestimulante foliar de extrato de algas foi pulverizado duas vezes sobre as folhas do cultivar, a primeira vez, 40 dias após o transplante da alface e a segunda vez, 4 dias após a primeira pulverização, para o preparo do adubo

de cobertura foliar, utilizou-se 0,5 mL do bioestimulante de extratos de algas dissolvidos em 250 mL de água em cada pulverização. Durante o período de desenvolvimento da alface os vasos experimentais foram irrigados com água, sempre que necessários.

A colheita das alfaces foi realizada aos 53 dias de desenvolvimento com cortes no caule rente ao solo, e lavadas com água de torneira para retirada de resíduos de solo e armazenadas em sacos plásticos identificados.

Antes do corte das alfaces, realizou-se a leitura do teor de clorofila através do equipamento portátil SPAD-502 Plus, que mede a transmitância luminosa da folha em 650nm (luz vermelha absorvida pela clorofila) e 940nm (luz infravermelha não absorvida pela clorofila), o resultado obtido foi a média de 6 leituras, em cada planta, retiradas de folhas jovens totalmente expandidas.

Após o corte, foram retiradas amostras foliares de cada cultivar (rodela foliar com 3 cm de diâmetro) e armazenadas em tubos plásticos (Figura 9a).

### **7.3 Estudo Laboratorial**

#### **7.3.1 Obtenção da matéria seca.**

As rodela das folhas de alface foram levadas para o laboratório e pesada a matéria fresca em balança de precisão (Figura 9b), em seguida foram levadas para a estufa de ventilação forçada Memmert à 70 °C (Figura 10), após 4 dias de secagem foram novamente pesadas para obtenção da matéria seca e posteriormente descartada as amostras foliares.



a)



b)

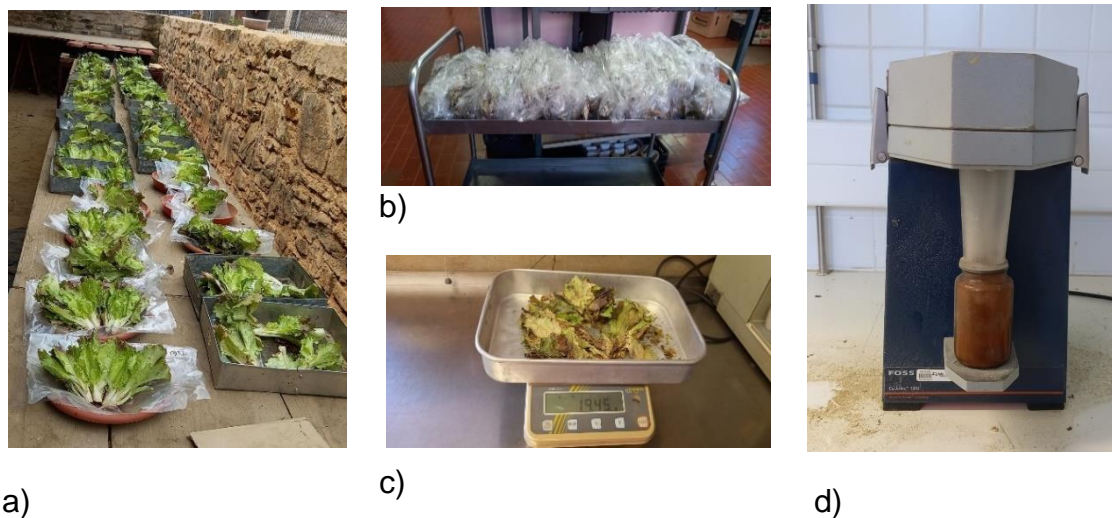
**Figura 9.** Pesagem e secagem da matéria fresca das rodelas do tecido vegetal das alfaces.



**Figura 10.** Secagem em estufa das amostras foliares.

As alfaces passaram por duas etapas de secagem, primeiro foram secadas a temperatura ambiente por 4 dias (Figura 11a), a segunda etapa foi a secagem em estufa de ventilação forçada Memmert a 70 °C por mais 4 dias (Figura 11b), posteriormente foram pesadas e obtidas a matéria seca do cultivar

(Figura 11c), após a pesagem foram moídas na máquina moedora FOSS Cyclotec 1093 (Figura 11d) e armazenadas em sacos plásticos identificados.

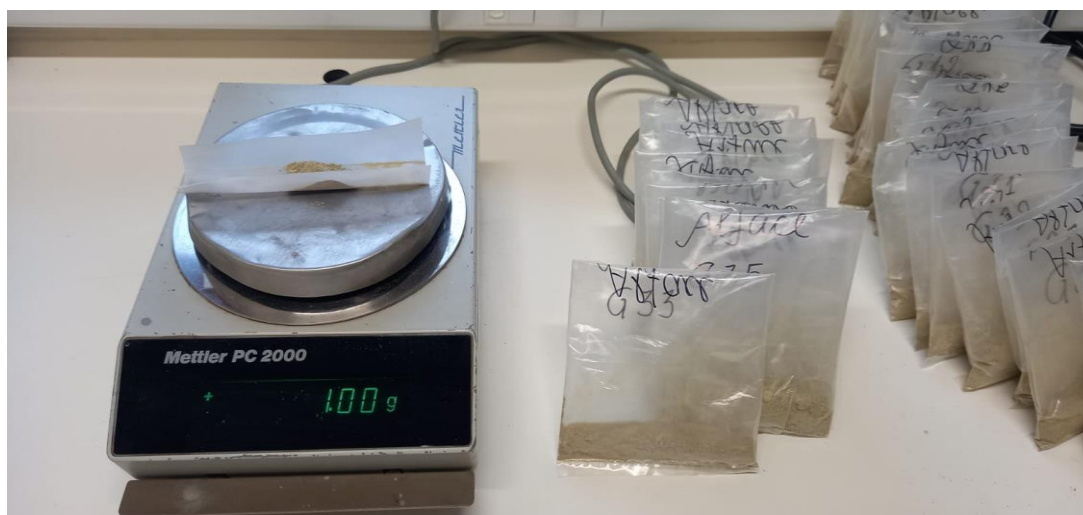


**Figura 11.** Processo de secagem e obtenção de matéria seca das alfaces.

### 7.3.2 Teor foliar de nitratos.

Para a análise do teor de nitratos exportado pelo cultivar foi pesado 1g da massa seca do material vegetal moído em balança de precisão (Figura 12), colocados em frascos plásticos devidamente identificados (Figura 13a) e adicionado 50ml de água destilada e levados para o agitador Multifuncional Orbital Shaker de 180 rpm, por uma hora (Figura 13b), após a agitação, o extrato foi filtrado em papel Whatman 42 de 125mm de diâmetro (Figura 13c).

Para a obtenção do resultado do teor de nitratos exportado, a solução obtida foi submetida a leitura em um espectrofotômetro, na gama ultravioleta a 220 nm e uma segunda leitura a 275 nm.



**Figura 12.** Pesagem da massa seca do material vegetal moído para análise de nitratos.



a)



b)



c)

**Figura 13.** Processo de agitação e filtragem das amostras moídas para análise de nitratos.

### 7.3.3 Teor foliar de macronutrientes.

- a) **N:** Realizado através do método químico descrito por Bremner (1996), onde em um tubo de digestão contendo 1 g de matéria seca vegetal moída adiciona-se 15 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e duas pastilhas de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) que atuam como catalisadores. A reação química para a transformação de íons de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) em amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) é induzida pelo aquecimento da amostra a  $420\text{ }^\circ\text{C}$  por uma hora e vinte minutos, o

equipamento digestor utilizado é o Kjelttec TM 8400 Autoanalyser FOSS de funcionamento automático.

- b) P:** O material utilizado para a quantificação deste macronutriente foi 0,25 g de matéria seca vegetal moída misturada com 10 mL de ácido nítrico e 50ml de água deionizada, a amostra foi digerida em um digestor por microondas MARS. Para a quantificação do fósforo na amostra foi utilizado um espectrofotômetro Genesys e o comprimento de onda de 882 nm.
- c) K, Ca, Mg:** Utilizado 0,25 g da matéria seca vegetal moída misturada com 10ml de ácido nítrico e 50 mL de água deionizada, a amostra foi digerida em um digestor por microondas MARS e quantificada por um equipamento de espectrofotometria de absorção atômica, Perkin Elmer Pinaacle 900 T.

#### 7.3.4 Teor foliar de micronutrientes

- a) Fe, Mn, Zn, Cu:** A quantificação destes micronutrientes seguiu o mesmo método e os mesmos materiais e equipamento utilizados para a quantificação do K.
- b) B:** Para a determinação deste elemento foi necessário a incineração do material com óxido de cálcio e a diluição das cinzas com ácido sulfúrico, utilizando do método de azometina conforme descrito por Jones (2001) para o desenvolvimento de cor. A concentração de boro foi determinada em espectrofotômetro com comprimento de onda 420 nm.

## 8. ANÁLISE DE DADOS

O delineamento experimental utilizado completamente casualizado com 15 tratamentos e 3 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as variáveis que resultaram diferenças significativas foram submetidas ao teste de médias Tukey 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico RStudio versão 2024.

Atendendo à ausência de diferenças significativas entre os tratamentos relativos às duas doses de fertilização mineral e entre os tratamentos relativos

às duas doses de fertilização orgânica, as análises estatísticas foram novamente efetuadas, considerando as correspondentes médias, equivalendo a nove tratamentos (Siglas Resultados) como indicado na Tabela 4.

## **9. RESULTADOS**

### **9.1 Área Foliar e Leitura SPAD**

Os tratamentos que receberam apenas os bioestimulantes leonardita e extrato de algas, resultaram em médias com diferença não significativas em relação ao TC (tratamento controle, tratamento destituído de aplicação de produto, obtém apenas o solo como substrato) tanto para a área foliar quanto para a leitura SPAD (Tabela 5).

Comparando os tratamentos que receberam apenas os fertilizantes mineral ou orgânico, o tratamento que continha apenas o fertilizante mineral, obteve resultado significativamente diferente do tratamento controle para a área foliar e leitura SPAD.

Já o tratamento que levou na adubação de fundo somente o fertilizante orgânico, resultou em diferença não significativa ao tratamento controle, tanto para área foliar quanto para a leitura SPAD.

Quando se comparam os resultados dos tratamentos que receberam os bioestimulantes mais os fertilizantes mineral ou orgânico, os tratamentos TLMin e TEAMin, apresentaram resultados significativamente diferentes dos tratamentos TLOrg e TEAOrg para os mesmos fatores respostas.

No entanto esses mesmos tratamentos onde obtinham na adubação de fundo bioestimulantes mais fertilizantes mineral ou orgânico (TLMin, TEAMin, TLOrg e TEAOrg), apesar de não se diferenciarem significativamente dos respectivos tratamentos dos fertilizantes agregados, os seus valores médios, ainda que o acréscimo tenha sido pequeno, foram superiores para a área foliar.

Diferentemente para o fator resposta, leitura SPAD, esses mesmos tratamentos, acima citados, que receberam bioestimulantes mais fertilizantes mineral ou orgânico, comparando aos tratamentos que receberam apenas os fertilizantes a estes agregados, apresentaram valor numérico inferior (Tabela 5).

**Tabela 5.** Área foliar das alfaces e leitura SPAD. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.

	Área Foliar (m <sup>2</sup> )	Leitura SPAD
TC	0,17 c	23,53 b
TL	0,23 bc	23,70 b
TEA	0,23 bc	24,23 b
TLMin	0,52 a	33,27 a
TEAMin	0,47 a	30,97 a
TLOrg	0,22 c	22,93 b
TEAOrg	0,23 c	23,57 b
TFMin	0,38 ab	33,75 a
TFOrg	0,20 c	24,87 b

**Legenda:** TC=tratamento controle (sem aplicação de produto), TL=tratamento leonardita, TEA=tratamento extrato de algas, TLMin=tratamento leonardita + fertilizante mineral, TEAMin=tratamento extrato de algas + fertilizante mineral, TLOrg=tratamento leonardita + fertilizante orgânico, TEAOrg=tratamento extrato de algas + fertilizante orgânico, TFMin=tratamento com fertilizante mineral, TFOrg=tratamento com fertilizante orgânico.

## 9.2 Produção da Matéria Seca, N Tecidual e Nitrato Tecidual

O resultado para matéria seca vegetal (Figura 14) e N tecidual (Tabela 6) foram semelhantes, onde os tratamentos que receberam apenas os bioestimulantes leonardita ou extrato de algas, resultaram em valores médios sem diferença significativa do tratamento controle.

Os tratamentos que receberam apenas os fertilizantes mineral ou orgânico, comparando-os ao tratamento controle, somente o tratamento que continha fertilizante mineral obteve resultado significativamente diferente, tanto para matéria seca quanto para N tecidual.

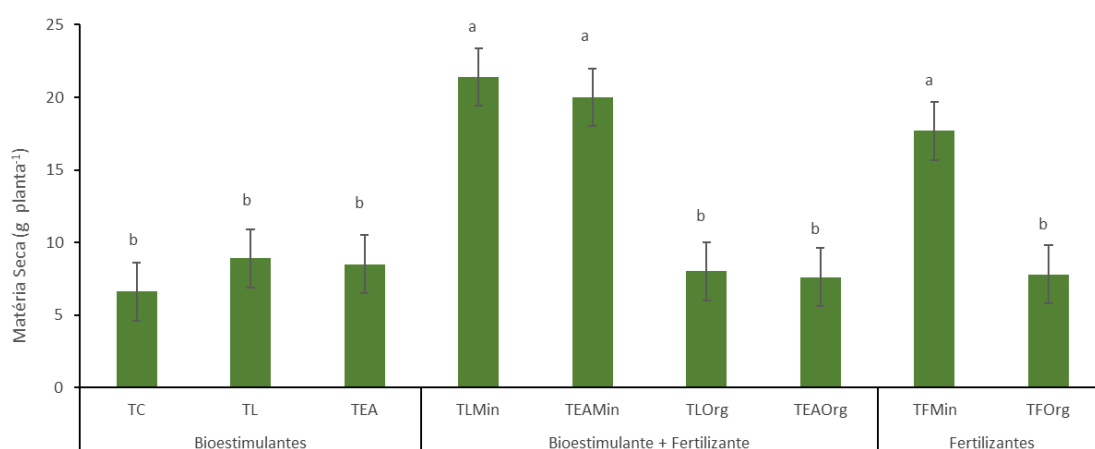
Em análise aos tratamentos que foram aplicados bioestimulantes mais os fertilizantes mineral ou orgânico, os tratamentos TLMin e TEAMin, apresentaram médias com diferença significativa dos tratamentos TLOrg e TEAOrg.

No entanto quando esses mesmos tratamentos que possuem na adubação bioestimulantes mais fertilizantes mineral ou orgânico, quando

comparados aos tratamentos que receberam apenas os fertilizantes, a estes agregados, não há diferença significativa.

Contudo, nos tratamentos fertilizados seja mineral ou orgânico quando na presença dos bioestimulantes, seus valores são acrescidos, ou melhor, os tratamentos TLMin e TEAMin, seus valores resultantes são maiores que o TFMin.

O mesmo é para os tratamentos TLOrg e TEAOrg, os valores médios são acima dos valores do tratamento TFOrg para a análise de matéria seca e N tecidual.



**Figura 14.** Valores médios da matéria seca vegetal total ( $\text{g planta}^{-1}$ ) dos tratamentos seguidos pela classificação por letra, onde letras iguais não se diferem significativamente, de acordo com o teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ). As barras de erro se referem ao erro padrão.

Analisando o fator resposta nitrato tecidual, os tratamentos TL e TEA que receberam como adubação de fundo apenas os bioestimulantes leonardita e extrato de algas, sucessivamente, apresentaram diferença de valores médios não significativa em relação ao tratamento controle (Tabela 7).

Para o nitrato tecidual, apenas o tratamento que foi aplicado o bioestimulante extrato de algas mais o fertilizante mineral, apresentou resultado da média com diferença significativa em comparação ao tratamento controle.

O tratamento com extrato de algas mais o fertilizante mineral, não demonstrou diferença significativa em relação ao tratamento que recebeu somente o fertilizante mineral, mas os resultados, ainda assim, foram acima deste (Tabela 6).

**Tabela 6.** Comparação da média dos valores de N tecidual e Nitrato tecidual. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras diferentes designam diferenças significativas.

	N tecidual g kg <sup>-1</sup>	Nitrato tecidual mg kg <sup>-1</sup>
TC	11,13 b	9.766,67 b
TL	10,97 b	10.226,33 b
TEA	11,9 b	11.070,67 ab
TLMIn	16,87 a	12.948,83 ab
TEAMin	16,52 a	15.242 a
TLOrg	12,33 b	9.627 b
TEAOrg	13,35 b	10.471,5 b
TFMin	16,83 a	12.967,5 ab
TFOrg	11,95 b	10.639 b

### 9.3 Exportação de N e N Aparentemente Recuperado

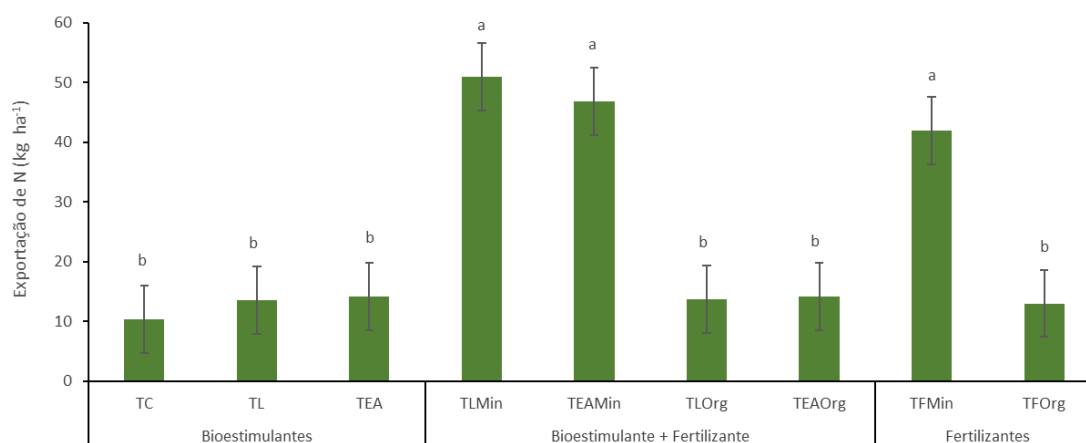
A exportação de N traz a mesma configuração estatística da matéria seca, onde os tratamentos que possuem bioestimulantes em conjunto com o fertilizante mineral, obtiveram resultados médios significativamente diferentes do tratamento controle e semelhante ao tratamento com apenas o fertilizante mineral (Figura 15).

Embora os tratamentos que possuem na adubação de fundo o fertilizante mineral não se diferenciarem significativamente, ainda assim, quando em conjunto com os bioestimulantes obtiveram melhores resultados, e entre estes o tratamento que recebeu a leonardita mais o nitrato de amônio apresentou maior resultado.

Observando os tratamentos que receberam apenas os bioestimulantes e comparando-os ao tratamento controle, não houve diferenças significativas entre

suas médias, mas conferindo os valores numéricos, os bioestimulantes apresentaram números modestos acima da testemunha.

Quando a estes mesmos bioestimulantes, usados na adubação de fundo em conjunto com o fertilizante orgânico, não demonstraram médias significativamente diferentes entre si, nem com os tratamentos que receberam apenas os bioestimulante e com o que recebeu apenas o fertilizante orgânico (Figura 12), suas médias variaram entre 13,0 e 14,1 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 15.** Média dos valores de exportação de N na parte aérea da alface. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.

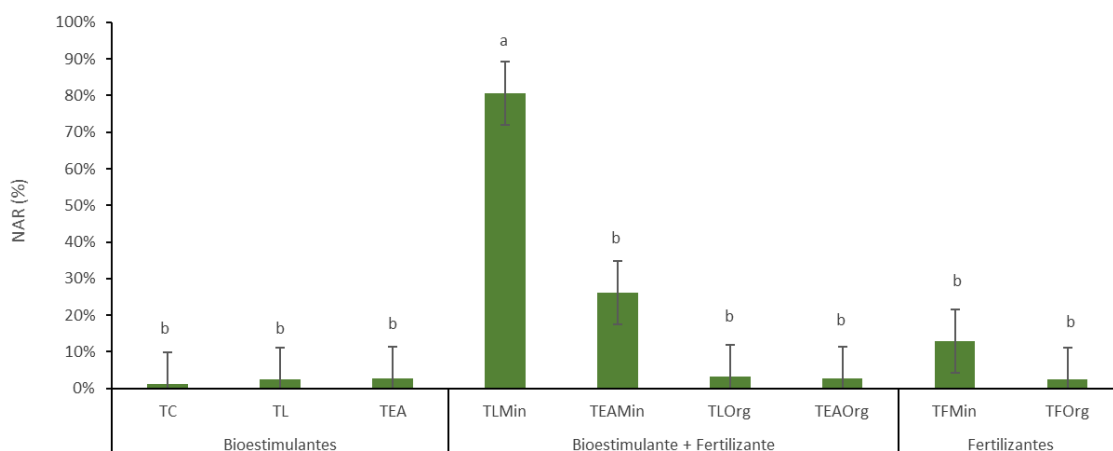
Ao traçarmos a análise estatística para NAR, a taxa de eficiência do uso do N, o tratamento com o corretivo de solo mais o fertilizante mineral apresentou uma diferença significativa da média em relação a todos os demais tratamentos, com 81%, valor bem expressivo em relação aos outros (Figura 16).

Outro fator de observação da análise dos tratamentos, é que a amostra com adubação de fundo que levou o extrato de algas juntamente com o fertilizante mineral, demonstrou um valor médio acima do tratamento que levou apenas o fertilizante mineral, sendo 26% e 13% respectivamente.

Infere-se uma certa influência dos bioestimulantes nos resultados com médias superiores ao tratamento controle e aos tratamentos que receberam apenas os fertilizantes mineral ou orgânico.

Para os tratamentos onde se faz presente o fertilizante orgânico os valores obtidos não se diferenciaram significativamente em relação ao tratamento

controle e aos tratamentos apenas com os bioestimulantes, os resultados variaram entre 1% e 3%.



**Figura 16.** Média em percentagem dos valores de NAR (N aparentemente recuperado) pela planta, seguido pela classificação por letra, onde letras iguais não se diferem significativamente, de acordo com o teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ). As barras de erro se referem ao erro padrão.

#### 9.4 Concentração de Outros Macronutrientes e Micronutrientes Exportados pela Planta.

Os resultados obtidos para os macronutrientes catiónicos (P, K, Ca, Mg) mostraram diferenças não significativas para as médias dos tratamentos com bioestimulantes, independente de estarem adicionados a fertilizantes orgânico ou mineral, em relação a testemunha e em relação aos tratamentos que receberam apenas fertilizantes (Tabela 7).

No entanto, quando se compartimenta a análise, observa-se que os tratamentos que receberam apenas os bioestimulantes obtiveram um valor, ainda que modesto, acima do tratamento controle para os macronutrientes P, K e Ca (Tabela 7).

E os mesmos tratamentos, TL e TEA, comparados com os que receberam somente os fertilizantes mineral ou orgânico, aqueles também resultaram em números com frações acima destes para os macronutrientes citados no parágrafo anterior.

Agora, ao analisar tão só, os tratamentos que receberam bioestimulantes (leonardita e extrato de algas) mais fertilizantes mineral ou orgânico, apesar de não obterem valores significativamente diferentes entre si, o tratamento que

recebeu o bioestimulante extrato de algas mais o fertilizante orgânico apresentou maior resultado em número para os elementos P, K e Ca.

Vale ressaltar que para esses mesmos elementos citados o tratamento TEAOrg, embora de forma reduzido, mostrou valor médio superior a todos os demais fertilizantes.

O fertilizante orgânico também apresentou bons resultados, apesar de moderados, em relação ao tratamento controle e ao tratamento que recebeu apenas o fertilizante mineral.

Acerca do macronutriente Mg, os experimentos testados com bioestimulantes, bioestimulantes mais fertilizantes mineral ou orgânico e apenas os fertilizantes mineral ou orgânico, não se diferem significativamente entre si e em comparação com o tratamento controle.

Em relação aos micronutrientes vão ser mencionados apenas os tratamentos que obtiveram resultados significativamente diferentes.

Iniciando com o B, o tratamento TEAOrg, que recebeu o bioestimulante extrato de algas mais o fertilizante orgânico, apresentou média com diferença significativa do tratamento controle, do tratamento que recebeu apenas o fertilizante mineral e dos tratamentos que continham bioestimulantes mais fertilizante mineral.

O tratamento TEAOrg, apesar de não apresentar diferença significativa em sua média em comparação com o tratamento que recebeu apenas o fertilizante orgânico e com os que levaram somente bioestimulantes, ainda assim apresentou uma média com valor superior a estes (Tabela 7).

Para os elementos resposta Fe e Cu, o tratamento que continha o bioestimulante leonardita e fertilizante orgânico, apresentou resultado com média significativamente diferente em comparação ao tratamento controle e aos demais tratamentos.

No caso do micronutriente Mn, os tratamentos que continham fertilizante mineral, a saber TLMin, TEAMin e TFMin, obtiveram resultados significativamente diferentes do tratamento controle.

E embora que os tratamentos TLMin, TEAMin e TFMin, entre si sejam semelhantes, os tratamentos em que o fertilizante mineral foi agregado aos bioestimulantes resultaram em valores acima do que recebeu apenas o fertilizante mineral (Tabela 7).

Quanto a resposta para o micronutriente Zn, os tratamentos TFOrg e TLOrg, ou seja, os que receberam apenas fertilizante orgânico e o que obteve leonardita mais o fertilizante, resultaram em valores médios inferiores, com diferença significativa, em comparação com os tratamentos que continham na adubação, agregados ou não com bioestimulantes, fertilizante mineral.

Porém comparando o tratamento TLOrg com o TFOrg, o tratamento em que o fertilizante orgânico foi integrado ao bioestimulante leonardita, o resultado foi acima do valor do tratamento que recebeu apenas o fertilizante orgânico.

**Tabela 7.** Valores médios de outros nutrientes teciduais. As médias seguem uma classificação por letras geradas pelo teste Tukey HSD ( $\alpha < 0,05$ ), onde letras iguais significam que os valores não se diferem significativamente.

	P	K	Ca	Mg	B	Fe	Mn	Zn	Cu
	g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>				
TC	2,2 abc	30,17 bc	6,82 abc	2,5 a	27,9 bcd	390,7 b	46,62 b	30,09 abc	6,26 b
TL	2,5 ab	40,27 ab	6,97 ab	2,37 a	30,7 abc	567,8 b	49,41 b	32,27 abc	7,63 b
TEA	2,55 a	42,47 a	7,47 a	2,31 a	33,1 ab	560,6 b	46,84 b	30,68 abc	7,74 b
TLMin	2,02 bc	21,5 bc	5,51 d	2,32 a	25,36 cd	462 b	66,85 a	42,3 a	7,92 b
TEAMin	1,93 cd	25,83 c	5,81 cd	2,4 a	25,12 cd	330,8 b	68,32 a	38,76 a	8,06 b
TLOrg	2,42 ab	37,88 ab	5,94 bcd	2,1 a	31,28 ab	1000,01 a	46,64 b	23,56 c	11,51 a
TEAOrg	2,43 ab	41,07 a	7,2 a	2,24 a	35,4 a	498 b	33,43 b	25,45 bc	7,26 b
TFMin	1,57 d	25,56 c	5,49 d	2,44 a	24,47 d	319,74 b	66,03 a	37,41 ab	7,27 b
TFOrg	2,46 ab	34,2 ab	6,9 ab	2,21 a	30,86 ab	534,24 b	37,13 b	21,96 c	6,85 b

## 10 DISCUSSÃO

### 10.1 Área Foliar e Produção de Matéria Seca

A área foliar representa a matéria-prima para a fotossíntese e, como tal, é de grande importância para a produção de carboidratos, óleos, proteínas e fibras. Pois a captação de energia luminosa e a produção de fitomassa, dependem de área foliar adequada no tempo e espaço, além da eficiência desta produzir fotoassimilados (Peixoto, 2020).

Quando analisados os tratamentos para as variáveis área foliar e leitura SPAD, todos os tratamentos que receberam fertilizante mineral, independente de ter sido aplicado junto com bioestimulantes, mostraram maiores resultados médios. Os valores foram significativamente diferentes em relação ao tratamento controle, e a configuração estatística obtida para a área foliar, refletiram na leitura SPAD.

Estudos realizados com o mesmo fertilizante nitrogenado concluíram que a maior produtividade vegetal se deve pelo fato do sal mineral composto pelo cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e pelo ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na sua forma mista  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ser um forte oxidante, reage facilmente com outras substâncias, é altamente solúvel em água, possui baixo risco de perda por volatilização e, por já se encontrar nas formas químicas nítrica e amoniacal, de assimilação direta pela planta (Kerbaui, 2004; Sylvestre et al., 2019).

Nesta pesquisa as plantas dos vasos que receberam em seu tratamento fertilizante mineral registaram maior crescimento vegetal, confirmado através da análise de produção de matéria seca que foi proporcional aos valores da área foliar. Peixoto (2020) ressalva que os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar e matéria seca acumulada pela planta e representam, respectivamente, a fábrica e o produto final.

A percentagem de aumento de área foliar dos tratamentos onde foi aplicado apenas o fertilizante mineral e os que receberam bioestimulantes mais fertilizante mineral variaram em 55% a 67% e para matéria seca o acréscimo foi entre 62% a 69%, comparado ao tratamento controle.

Pesquisas recentes confirmaram aumento da área foliar em função de diferentes dosagens de N mineral, constatando efeitos positivos no rendimento

da cultura (Arrobas et al., 2024; Consentino et al., 2022; Ferreira et al., 2020; Massri & Labban, 2014).

Almeida et al. (2024) em uma pesquisa utilizando *Clitoria ternatea* (espécie forrageira) encontrou o melhor resultados de incremento para a área foliar de 83,83% e para fitomassa seca valores de 81,71% e 48,59%. Resultados semelhantes para a matéria seca também foram encontrados em estudos utilizando a forma mista de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , comprovando o benefício na produção vegetal (Nicoloso et al., 2005; Cruz et al., 2006; Holzschuh et al., 2011).

Já os tratamentos que receberam fertilizante orgânico, com e sem bioestimulantes, em comparação com o tratamento controle, variaram em ganhos na área foliar entre 15% a 26% e para matéria seca entre 13% a 18%.

O que reforça a hipótese de o fertilizante mineral possuir formas químicas de assimilação rápida de N para o crescimento e desenvolvimento vegetal, já que o fertilizante orgânico possui formas que necessitam passar pelo solo para sofrer transformações na produção de N assimilável pelas plantas, retardando o processo metabólico do vegetal na sintetização de proteínas.

A decomposição da matéria orgânica é lenta e gradativa, o processo de mineralização ocorre através de fungos e bactérias, chamados de processos de amonificação e nitrificação onde o N orgânico transforma-se na forma mineral para então ser absorvido pela planta (Paulilo et al., 2015; Cid & Teixeira, 2017). Esses fatores geram desencontros cronológicos entre o ciclo da cultura e a liberação de nutrientes.

Outras pesquisas utilizando adubo orgânico com alface mostraram efeitos residuais do fertilizante. Os pesquisadores Ziech et al. (2014) e Aguiar et al. (2024) quando estudaram o cultivo sucessivo de alface, encontraram melhores resultados para a fertilização orgânica em comparação com o fertilizante mineral no segundo ciclo de cultivo.

## **10.2 Influência dos Bioestimulantes na Produtividade Vegetal**

Quando analisado o teor de N nos tecidos, os tratamentos que levaram em um dos seus componentes o fertilizante mineral, a saber: TFMin, TEAMin e TLMin apresentaram valores médios semelhantes, 16,83; 16,52 e 16,87 g kg<sup>-1</sup>,

respectivamente, com diferenças significativas em relação ao tratamento controle (11,13 g kg<sup>-1</sup>).

No entanto, quando cruzamos a informação com os resultados para o teor de nitratos nos tecidos vegetais, o tratamento com o bioestimulante extrato de algas mais o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> apresentou média significativamente diferente ao tratamento controle, 15.242 e 9.766,67 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo também o maior valor numérico comparado com os demais tratamentos, o que se presume que o bioestimulante extrato de algas exerceu influência no metabolismo vegetal.

A constatação de diferença significativa para a variável nitrato tecidual neste estudo, contraria com os resultados de Vernieri et al. (2005) e Baltazar et al. (2021) que demonstraram em suas pesquisas aumento significativo do teor de clorofila e redução do teor de nitrato em folhas de rúcula. A hipótese era que o bioestimulante provavelmente afetasse o metabolismo do N na planta, acelerando a incorporação do nitrato por meio da ativação de enzimas relacionadas. O alto teor de clorofila poderia aumentar os processos fotossintéticos e estimular indiretamente a redução de nitrato, porque as duas vias fisiológicas estão fortemente acopladas (EBIC, 2023).

Resultados diferentes foram encontrados nesta pesquisa para o tratamento extrato de algas mais fertilizante mineral, o teor de clorofila pela leitura SPAD (30,97) apesar de demonstrar diferença significativa ao tratamento controle, o valor foi abaixo dos tratamentos com a leonardita mais o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (33,27) e do tratamento com apenas o fertilizante mineral (33,75), levantando a hipótese do efeito ao não estímulo da redução de nitrato pela enzima relacionada.

Porém, estudos realizados por Carvalho & Castro (2014) concluíram que a resposta do vegetal pode variar, mesmo na presença de compostos bioativos, pois o resultado depende também do método, dosagens e frequência de aplicação, variando também com a espécie da planta e cultivar selecionada, estação do ano e localização geográfica do cultivar, entre outros fatores.

Os pesquisadores Carvalho (2013) e Viana et al. (2020) realizaram, respectivamente, experimentos com cultivares de milho e alface, aplicando via foliar o extrato de algas de *Ascophyllum nodosum* em diferentes doses e obtiveram resultados negativos para doses altas e respostas positivas para

doses menores, concluindo que a quantidade de produto influencia na resposta do vegetal.

Contudo, vários estudos vêm demonstrando tratamentos foliar com extrato de algas, específico de *Ascophyllum nodosum*, que reprimiu a expressão do gene regulador de crescimento negativo responsivo ao estresse, que é crucial para manter o meristema apical do caule e o crescimento sob seca severa, concluindo que este extrato de algas marinhas tem resposta positiva quando a cultura está sob situações de estresse (Rasul et al., 2021; Fleming et al., 2019; Shukla & Prithviraj, 2021).

Ressaltamos que um elevado teor de nitrato nos tecidos da alface, torna-se prejudicial a saúde humana, uma vez que as folhas do vegetal são consumidas *in natura*, logo é de suma importância que o produto utilizado na agricultura forneça qualidade alimentar, todavia o objetivo deste trabalho está relacionado ao efeito dos bioestimulantes sobre as variáveis respostas.

Diferente do extrato de algas, o tratamento que recebeu o bioestimulante leonardita mais o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , apresentou resultado para o nitrato tecidual sem diferença significativa comparado ao tratamento controle e ao tratamento que foi aplicado somente o fertilizante mineral.

Quando comparamos aos resultados da variável resposta, exportação de N, a tendência estatística de valores médios com diferença significativa segue aos tratamentos onde foram aplicados o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  em um dos seus componentes e o tratamento onde a leonardita se faz presente junto com o fertilizante mineral apresenta maiores valores numéricos.

Para a variável, eficiência do uso de N, o tratamento que recebeu a leonardita mais o fertilizante mineral apresentou diferença significativa em relação ao tratamento controle e aos demais tratamentos, refletindo na produção de matéria seca com maior percentagem de aumento.

Provavelmente pelo fato de as substâncias húmicas possuir a capacidade de produzir grupos orgânicos com cargas negativas com alta afinidade pelo  $\text{NH}_4^+$ , reduzindo seu movimento no solo e diminuindo a perda por lixiviação e aumentando a disponibilidade de  $\text{NH}_4^+$  para o cultivo (Caron et al., 2015).

Quando associado o bioestimulante leonardita com o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ocorreu uma boa interação, mediante as características individuais dos produtos, o que pode justificar a tendência dos maiores valores para as variáveis em análise.

### 10.3 Exportação de Outros Macro e Micronutrientes pela Planta

O tratamento que recebeu o extrato de algas mais o fertilizante mineral apresentou diferença significativa abaixo dos valores médios do tratamento controle para os macronutrientes P, K e Ca. No entanto, ao cruzarmos as respostas dos tratamentos que recebeu apenas o extrato de algas com o que levou apenas o fertilizante mineral, os valores entre ambos se diferem significativamente com resultado superior para o extrato de algas.

Os resultados encontrados compactuam com as observações dos pesquisadores Carvalho & Castro (2014) onde revelam que devidos muitos trabalhos com extrato de algas serem utilizados em conjunto com outros compostos, surgem dúvidas se o efeito observado é do extrato, do outro composto ou gerado pelas combinações de ambos. Além disso, os resultados de várias pesquisas são relativamente limitados, já que são desenvolvidas em menor escala com menor número de plantas, sob condições ambientais controladas, com plantas envasadas e com espécies modelos.

Pesquisadores como Carvalho & Castro (2014) e Caron et al. (2015) afirmam que os bioestimulantes podem apresentar respostas diferentes na produtividade e produção vegetal, pois os efeitos são dependentes do tipo de solo, modo de uso e o tipo de nutriente agregado.

Para os mesmos macronutrientes P, K e Ca os diferentes bioestimulantes quando combinados com o fertilizante orgânico não apresentam diferença significativa entre si e nem com o tratamento controle. Todavia essas mesmas combinações (bioestimulantes leonardita ou extrato de algas mais fertilizante orgânico) apresentaram melhores resultados em comparação quando combinados com o fertilizante mineral.

Vários estudos sugerem que os aumentos nas concentrações dos referidos macronutrientes estão ligados a interação benéfica promovida por compostos orgânicos, mediante as suas propriedades e capacidade em disponibilizar nutrientes (Nehela et al., 2021; Wang et al., 2022; Arrobas et al., 2023).

Pesquisas realizadas pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2021) concluem que adubos orgânicos provenientes de

compostagem reduz as perdas de nutrientes e intensifica o fluxo de nutrientes entre os diversos compartimentos do sistema de produção.

Diante das análises infere-se que o aumento desses elementos minerais, está relacionado com o fertilizante orgânico. Esta hipótese pode ser realçada ao cruzarmos os resultados obtidos nos tratamentos que receberam somente os bioestimulantes com os tratamentos que foram aplicados apenas os fertilizantes, aqueles não se diferem significativamente do fertilizante orgânico, enquanto o fertilizante mineral apresenta resultado inferior com significativa diferença aos tratamentos que levaram apenas os bioestimulantes para P, K e Ca.

Entre os micronutrientes, o tratamento que obteve, misturado ao substrato, bioestimulante leonardita mais o fertilizante orgânico apresentou diferença significativa para os elementos Fe e Cu em comparação com todos os outros tratamentos.

Podemos deduzir que o aumento desses nutrientes metálicos se deu pelos efeitos positivos, exercido pela leonardita, na disponibilidade e absorção, devido o aumento nas reações redox do solo (Canellas et al., 2015; Colla et al., 2017; Rouphael & Colla, 2020). Os ácidos húmicos e fulvicos possuem a capacidade de complexar certos metais, interferem no metabolismo da planta, disponibilizando cátions para o vegetal, principalmente micronutrientes (Caron et al., 2015).

## 11 CONCLUSÃO

Os bioestimulantes Humitec®, à base de leonardita e o Fitoalgas Green® que contém extrato puro de algas *Ascophyllum nodosum*, não mostraram diferença significativa em relação ao tratamento controle para a produtividade e produção vegetal, mas apresentaram valores médios com diferença significativa combinados com o fertilizante mineral na forma mista  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , porém, quando combinados com o fertilizante orgânico (Nutrimais®) não obtiveram diferença significativa ao tratamento controle.

As diferenças significativas entre os tratamentos com os bioestimulantes combinados com os diferentes fertilizantes indicam a influência no fornecimento de N. O  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  mostrou mais similaridade cronológica ao ciclo da alface por possuir na sua formulação o N mineral de rápida assimilação pelo vegetal.

Entretanto o fertilizante orgânico (Nutrimais®) não atendeu a necessidade do N pela planta no tempo e espaço do seu ciclo vegetativo, evidenciando o processo lento de mineralização do N, o que se pode traduzir em um possível efeito residual.

O tratamento com o bioestimulante Humitec® combinado com o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , apresentou diferença significativa na eficiência do uso de N e o tratamento com o bioestimulante Fitoalgas Green® mais o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  obteve maior acúmulo de nitrato no tecido vegetal com diferença significativa, ambos os tratamentos mostraram valores médios superiores ao tratamento controle.

Essas respostas apontam que além da capacidade da leonardita em melhorar a estrutura físico-química do solo proporcionando maior disponibilidade de nutrientes, também pode interferir no metabolismo vegetal assim como o extrato de algas, ambos os bioestimulantes mostram indícios de influências sobre as enzimas sintetizantes relacionadas.

Em relação a exportação de outros macro e micronutrientes, os resultados apresentaram variações em seus respectivos teores, sendo que para os elementos Fe e Cu o tratamento com a combinação do bioestimulante leonardita com o fertilizante orgânico mostraram altos valores com diferença significativa aos demais tratamentos.

Esta pesquisa limitou-se nas observações de rendimento de matéria seca e teor de macro e micronutrientes no tecido vegetal. Sugere-se estudos mais

aprofundados dos efeitos metabólicos entre combinações de bioestimulantes e fertilizantes com diferentes fontes de N, dosagem, frequência e tempo de aplicação, medindo os efeitos sobre a eficiência agronômica e qualidade nutricional com cultivares de interesse econômico, afim de criar um protocolo de suporte no uso de diferentes produtos comerciais ao agricultor em produção biológica para o correto uso dos bioestimulantes e otimização de custos com fertilização nitrogenada.

## REFERÊNCIAS

- Adl. S., Iron, D., & Kolokolnikov, T. (2011). A threshold area ratio of organic to conventional agriculture causes recurrent pathogen outbreaks in organic agriculture. *Science of the Total Environment*, 409, 2192–2197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.026>.
- Afonso, N., & Arrobas, M. (2009). Contribuição para a Elaboração da Carta de Solos da Cidade de Bragança. In M. Feliciano, A. Gonçalves, A. Ribeiro, & F. Maia (Eds.). *Qualidade do Ambiente Urbano: novos desafios*, 136-142. Livros de actas. Instituto Politécnico de Bragança.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2023). Inventário Nacional de Emissões 2023 (Emissões de GEE de 1990 a 2021). [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf).
- Aguiar, P., Corrêa, G. M. G., Rodrigues, M. Â. & Arrobas, M. (2024). Reduced effect of commercial leonardite and seaweed extract on lettuce growth under mineral, organic, and no fertilization regime. *Agronomy*, 14, 1-18.
- Aleixo, M.G.B., Leal, R.M., Durço, B.B, Azeredo, R.P., Gomes, A.S.G. & Esmerino, E.A. (2021). Controle e redução de doenças crônicas não transmissíveis através da dieta à base de plantas: uma revisão abrangente. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, 1, 65-81.
- Almeida, J. (2010). *A modernização da agricultura*, 1 (ed.). UFRGS.
- Almeida, V. G. S., Souza, G. S., Pereira, E. G., Machado, A. L., Brito, G. S., Silva, S. B. & Jesus, R. R. (2024). Crescimento e desenvolvimento de plantas de Cunchã cultivadas em diferentes proporções de amônio e nitrato. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7, 1-16. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-026>.
- Altieri, M. (2009). *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 5 (ed.). UFRGS.
- Altieri, M. (2010). Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. *Revista Nera*, 16, 22–32. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i16.1362>.
- Andrade, T. O., & Ganimi, R. N. (2010). Revolução Verde e a apropriação capitalista. In A. V. W. Fagundes, B. L. Krevoruczka, D. K. Schwiderke, D. R. Araujo, F. R. G. Jasinski, J. M. Porto, M. S. L. Júnior, N. G. Netto, T. Parrili, & V. Blenski (Eds.). *Revolução Verde, Agricultura e Capitalismo – O Livro Cinza do Pacote Tecnológico do Agronegócio*, 21-31. FEAB.
- Aquino, A. M., & Assis, R. L. (2012). *Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*, 2 (ed.). <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1079843>.

- Arrobas, M., Meneses, R., Gusmão, A. G., Silva, J. M., Correia, C. M., & Rodrigues, M. Â. (2024). Nitrogen-rich Sewage sludge mineralized quickly, improving lettuce nutrition and yield, with reduced risk of heavy metal contamination of soil and plant tissues. *Agronomy*, 14 (5). <https://doi.org/10.3390/agronomy14050924>.
- Arrobas, M., Raimundo, S., & Rodrigues M. A. (2023). Leonardites ricas em ácidos húmicos e fúlvicos tiveram um efeito reduzido na composição dos tecidos e na produção de matéria seca de jovens plantas de oliveira cultivadas em vasos. Livro de resumos: V Colóquio Nacional de Horticultura Biológica, 49. [https://aphorticultura.pt/eventos/VCNHB/assets/files/livro-deresumos\\_VCNHB\\_digital.pdf](https://aphorticultura.pt/eventos/VCNHB/assets/files/livro-deresumos_VCNHB_digital.pdf).
- Baltazar, M., Correia, S., Guinan, KJ, Sujeeth, N., Bragança, R. & Gonçalves, B. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: an overview. *Biomolecules*, 11. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>.
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>.
- Blume, E. & Reiniger, L. (2007). *Fundamentos da agroecologia*. 1 (ed.). Santa Maria, RS.
- Boaretto, A.E. (2009). A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. *Revista Ceres*, 56, 513-526. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226808019>.
- Braga, R., & Pinto, P. A., (2009). Alterações Climáticas e Agricultura. *AJAP*. [https://agrinov.ajap.pt/images/manuais/Manual\\_Alteracoes\\_Climaticas\\_e\\_Agricultura.pdf](https://agrinov.ajap.pt/images/manuais/Manual_Alteracoes_Climaticas_e_Agricultura.pdf).
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. In Sparks, D. L. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 3-chemical methods. Book series n<sup>o</sup>5.
- Busacca, E., Gernert, M., Ladinig, M., Moeskops, B., Steu, A., Schmidt, S., & Willer, H. (2022). Organic in Europe: recent developments. In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 271-274. FiBL & IFOAM – Organics International.
- Cabo, P., Fernandes, A. & Ribeiro, M.I. (2016). Portugal biológico: retrato da agricultura em modo de produção biológico em Portugal. In VI Congresso International de Agroecologia. Vigo. 88-101.
- Campagnolla, C., & Macêdo, M. M. C. (2022). Revolução verde: passado e desafios atuais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 39, 01-18. <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26952>.

- Candiotto, L. Z. P. (2020). Agroecologia: Conceitos, princípios e sua multidimensionalidade. *Ambientes*, 2, 25-75. <https://doi.org/10.48075/amb.v2i2.26583>.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>.
- Caporal, F. R. (2009). Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis. Brasília.
- Caron, V. C., Graças, J. P. & Castro, P. R. C. (2015). Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos. Série Produtor Rural nº58. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Carvalho, M. E. A. & Castro, P. R. C. (2014). Extratos de algas e suas aplicações na agricultura. Série Produtor Rural nº56. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Carvalho, M. E. A. (2013). Efeitos do extrato de *Ascophyllum nodosum* sobre o desenvolvimento e produção de cultivos [Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz]. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-13032013-133345/pt-br.php>. Acesso 14 de Out. de 2024.
- Castanho, R.B., & Teixeira, M.E.S. (2017). A evolução da agricultura no mundo. *Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium*, Ituiutaba, 8, 136-146. <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/50874>.
- Cid, L. P. B. & Teixeira, J. B. (2017). Fisiologia vegetal: definições e conceitos. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
- Cirne, M.B., & Souza, A.G. (2014). Pousio: O que é e quais são os seus possíveis reflexos nas questões ambientais. *Direito ambiental e desenvolvimento sustentável*, 11, 75-106. <https://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/pousio.pdf>.
- Colla, G., Cardarelli, M., Bonini, P., & Roupael, Y. (2017). Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate Fruit quality of greenhouse tomato. *HortScience*, 52 (9), 1214-1220. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12200-17>.
- Comissão Europeia (2020). Estratégia do Prado ao Prato para um sistema alimentar justo, saudável e respeitador do ambiente. COM (2020) 381 final, Bruxelas.

- Comissão Nacional da Unesco (2024). Os 17 ODS. Disponível em: <https://unescoportugal.mne.gov.pt/pt/temas/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/os-17-ods>. Acesso 2 de Jun. de 2024.
- Consentino, B. B., Aprile, S., Roupshael, Y., Ntatsi, G., Pasquale, C., Iapichino, G., Alibrandi, P., & Sabatino, L. (2022). Application of PGPB combined with variable N doses affects growth, yield-related traits, N-fertilizer efficiency and nutritional status of lettuce grown under controlled Condition. *Agronomy*, 12 (2). <https://doi.org/10.3390/agronomy12020236>.
- Corralo, V.S., Morais, M.M., Benedett, A. & Ferra, L. (2016). Presença de pesticidas organoclorados no leite materno: fatores de contaminação e efeitos à saúde humana. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 12, 101-108.
- Costa C.A., Correia H.E., Correia P., Costa D., Gaião D., Guiné R., Coelho C., Costa, J.M., Monteiro A., Oliveira J., Pinto A., Rodrigues P., Castro M., Guerra L.T., Seeds C., Coll C., Macdonald J., Radics L., Soyly S., Arslan M., Tóthová M., Tóth P., & Basile, S. (2016). Introdução a agricultura biológica. EOSA. Repositório Científico do Instituto Politécnico de Viseu.
- Cruz, J. L.; Pelacani, C. R.; Araújo, W. L. (2006). Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca. *Bragantia*, 65, 467-475. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000300013>.
- Du Jardin (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and Regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 03-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- EBIC - European Biostimulants Industry Council (2023). Recent insights into the mode of action of seaweed-based plant biostimulants. <https://biostimulants.eu/wp-content/uploads/2023/01/20230116-EN-Seaweed-WhitePaper-v11.pdf>.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2021). Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá, 2 (ed.). Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Eroğlu, K., Daş, Y.K., Gölbaşı, Z., Şimşek, Z., Koruk, F. & Atmaca, E. (2018). Persistent organic chlorinated compound residues in the breast milk of female seasonal agricultural workers. *J Occup Environ Med*, 60, 860-866.
- European Commission (2023). Organic farming in the EU. DG Agriculture and Rural Development, Brussels. [https://agriculture.ec.europa.eu/index\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/index_en).
- Farrelly, M. (2016). Contribuições da agroecologia para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Agriculturas*, 13, 80-83.

- Fearnside, P. M. (2022). *Destruição e conservação da floresta amazônica*, 1 (ed.). INPA.
- Feiden, A. (2012). Agroecologia: Introdução e conceitos. In A. M. de Aquino, & R. L. de Assis (Eds.). *Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*, 2 (ed.), 45-67. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1079843>.
- Feldens, L. (2018). *O homem, a agricultura e a história*, 1 (ed.). Univates.
- Ferreira, I. Q., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J. M., Correia, C. M., & Rodrigues, M. Â. (2020). The effect of nitrogen applications on the growth of young olive trees and nitrogen use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44 (3), 278–289. <https://doi.org/10.3906/tar-1905-26>.
- Ferreiro-Domínguez, N., Palma, J. H. N., Paulo, J. A., Rigueiro-Rodríguez, A., & Mosquera-Losada, M. R. (2022). Assessment of soil carbon storage in three land use types of a semi-arid ecosystem in South Portugal. *Catena*, 213, 106-196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106196>.
- FiBL & IFOAM – Organics International (2022). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*. Disponível em: <https://www.fibl.org/en/shop-en/1344-organic-world-2022>. Acesso 1 de Jun. 2024.
- Fleming, TR, Fleming, CC, Levy, CCB, Repiso, C., Hennequart, F., Nolasco, JB, et al. (2019). Biostimulants enhance growth and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* and exhibit chemical priming action. *Annals of Applied Biology*, 174, 153-165. <https://doi.org/10.1111/aab.12482>.
- Flores, P. (2022). Latin America and Caribbean. In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 271-274. FiBL & IFOAM – Organics International.
- Fonseca, S. (2016). Agricultura biológica e sustentabilidade. In C.A. Gomes & R. Saraiva (Eds.). *Será a agricultura biológica sustentável?* 118-145. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas e Centro de Investigação de Direito Público.
- Ghidini, R. & Mormul, N. M., (2020). Revolução agrícola neolítica e o surgimento do Estado classista: breve reconstituição histórica. *Revista de Ciências do Estado*, 5, 01-20. <https://doi.org/10.35699/2525-8036.2020.19725>.
- Gill, E. T., & Lee, J. A. (2015). Multiple causes of wind erosion in the Dust Bowl. *Aeolian Research* 19, 15–36. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.09.002>.
- Goñi, O., Quille, P. & O’Connell, S. (2020). Seaweed carbohydrates. In Geelen, D. and Xu, L. (Eds.). *The chemical biology of plants biostimulants*, 57-95. John Wiley & Sons Ltd.

- Holzschuh, M. J., Bohnen, H., Anghinoni, I., Pizzolato, T. M., Carmona, F. C. & Carlos, F. S. (2011). Absorção de nutrientes e crescimento do arroz com suprimento combinado de amônio e nitrato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 1357-1366. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400030>. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32021R1119>. Acesso 2 de Jun. de 2024
- IFOAM – International Federation of Organic Agriculture Moviments (2019). Position paper on agroecology, organic and agroecology: working to transform our food system. IFOAM EU Group.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2023). Acompanhamento do clima: mapas e gráficos.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2024). Atlas climático ibérico.
- Jesus, E. L. (2012). Diferentes Abordagens de agricultura não convencional: História e Filosofia. In A. M. de Aquino, & R. L. de Assis (Eds.). *Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*, 2 (ed.), 15-44. Embrapa. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1079843>.
- Jones Jr, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis*. CRC Press.
- Kerbauy, G. B. (2004). *Fisiologia vegetal*. Guanabara Koogan.
- Kristiansen, P., Taji, A., & Reganold, J. (2006). *Organic agriculture: a global Perspective*. CSIRO Publishing.
- Loiola, M.V.C., Pacheco, J., Cerqueira, T. & Reis, V. (2021). Aplicação dos ODS: nas agriculturas de base ecológica, agroecossistemas e sustentabilidade. 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente – Poços de Caldas/BR, 13.
- Maas, L., Malvestiti, R., Vergara, L. G. L., & Gontijo, L. A. (2018). Agricultura orgânica: uma tendência saudável para o produtor. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 35, 75-92. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184821/1/Agricultura-organica-uma-tendecnia.pdf>.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022). *Saúde do solo, Tecnologia BioAS e sustentabilidade agrícola*.
- Martins, S., Brito, C., Gonçalves, A., Moutinho-Pereira, J., Pereira, E., Arrobas, M., Rodrigues, M.A., Nunes, F., & Correia, C. M. (2024). Differential responses of photosynthesis, yield and soil properties 4 years after a single application of zeolites and biochar in a rainfed olive orchard. *Soil Use and Management*, 40, 01-19. <https://doi.org/10.1111/sum.13045>.

- Massri, M., & Labban, L. (2014). Comparison of different types of fertilizers on growth, yield and quality properties of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Agricultural Sciences*, 5(6), Artigo 6. <https://doi.org/10.4236/as.2014.56048>.
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2010). *História das agriculturas no mundo: Do neolítico à crise contemporânea*, 2 (ed.). Unesp.
- Moura, D. A., Soares, J. P. G., Reis, S. A., & Farias, L. F. (2021 et ). *Agricultura orgânica: impactos ambientais, sociais, econômicos e na saúde humana*. Colóquio, 19, 215-235. <https://doi.org/10.26767/2354>.
- Nehela, Y., Mazrou, Y. S. A., Alshaal, T., Rady, A. M. S., El-Sherif, A. M. A., Omara, A. E.-D., Abd El-Monem, A. M., & Hafez, E. M. (2021). The integrated amendment of sodic-saline soils using biochar and plant growth-promoting rhizobacteria enhances maize (*Zea mays* L.) resilience to water salinity. *Plants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/plants10091960>.
- Nicoloso, F. T., Sartori, L., Jucoski, G. O. L., Abreu, S. & Cervi, F. G (2005). Fontes de nitrogênio mineral ( $N^- NO_3^-$  e  $N^- NH_4^+$ ) no crescimento de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride). *Ciência Florestal*, 15, 221-231. <https://doi.org/10.5902/198050981839>.
- Oliveira Jr., P. H. B. (1989). *A história da agricultura através dos tempos*. PTA Rede E.S.
- Paulilo, M. T. S., Viana, A. M. & Randi, A. M. (2015). *Fisiologia vegetal*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Peixoto, C. P. (2020). *Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática*. Pod Editora.
- Pereira, I.C., Costa, C.A., Gomes, D., Santos, P., Filipe, C., Costa, S., Moutinho, A.D., Paulo, N. & Melen, F. (2023). Valorizar a agricultura familiar: as funções ambientais da agricultura familiar. Projeto Valorizar a Agricultura Familiar.
- Queiroga, R., Encarnação, M. & Horstink, L. (2020). Análise da situação da agroecologia em Portugal 2020. Projeto trAEce – Formação Vocacional em Agroecologia para Agricultores.
- Regulamento (EU) 2021/1119 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de Junho de 2021. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 243. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=OJ:L:2019:170:TOC>. Acesso 2 de Jun. de 2024.

- Regulamento (UE) 2019/1009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Junho de 2019. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 170, 62º ano. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=OJ:L:2019:170:TOC>. Acesso 2 de Jun. de 2024.
- Rosa, V.C. & Campos, G.S. (2020). A agroecologia como mecanismo de efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil. *Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Franca*, 15, 321-340. Disponível em: <https://revista.direitofranca.br/index.php/refdf/article/view/1005/pdf>. Acesso 29 de Jun. de 2024.
- Rosset, J. S., Coelho, G. F., Greco, M., Strey, L., & Junior, A. C. G. (2014). Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. *Scientia Agraria Paranaensis*, 80-94. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n2p80-94>.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through Plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), Artigo 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>.
- Rubiolo, M. (2022). Foreword from SECO. In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 11. FiBL & IFOAM – Organics International.
- Sahota, A. (2022). The global market for organic food & drink. In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 140-157. FiBL & IFOAM – Organics International.
- Sandes, A.S., Amorim, T.C., Queiroz, V.P. & Matos, L.C.P. (2022). Contaminação do leite materno por agrotóxicos e implicações na saúde infantil: uma revisão sistematizada. *Saúde & Meio Ambiente*, 11, 43-58.
- Schlatter, B., Trávníček, J., Meier, C. & Willer, H. (2022). In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 271-274. FiBL & IFOAM – Organics International.
- Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (2014). *Agricultura sustentável*. 2 (ed.). Governo do Estado de São Paulo.
- Serra, L.S., Mendes, M.R.F., Soares, M.V.A. & Monteiro, I.P. (2016). Revolução verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. *Revista do CEDS*, 1, 2-25.
- Shukla, PS & Prithviraj, B. (2021). *Ascophyllum nodosum* biostimulant protects model and crop plants from oxidative stress. *Metabolites*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843>.

- Silva, J. G. (2019). Bioestimulantes no desempenho agrônômico da cultura do milho [Dissertação de doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso]. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=8053765](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=8053765). Acesso 2 de Jun. de 2024.
- Sylvestre, T. B., Braos, L. B., Batistella Filho, F., Cruz, M. C. P. & Ferreira, M. E. (2019). Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Scientia Horticulturae*, 255, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.032>.
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N. & Newig, J. (2015). What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7, 7833-7865.
- Vernieri, P., Borghesi, E., Ferrante, A. & Magnani, G. (2005). Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 3, 86-88.
- Viana, J. S., Souza, A. F. C., Lopes, K. C. M., Nascimento, W. S., Alves, T. L. & Palaretti, L. F. (2020). Comportamento da alface roxa em resposta à aplicação foliar de bioestimulante no momento do transplântio. In J. O. F. Melo (Ed.). *Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil*, 1, 406-417. Científica.
- Vidal, M.C., & Dias, R.P. (2023). Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 18, 171-192. <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23735>.
- Vieira, S.C., Bernardes, J.C., Bernardo, C.H.C. & Flozi, C.N.B. (2016). O papel da comunicação rural como agente impulsor do desenvolvimento rural sustentável: da revolução verde à agroecologia. 54<sup>o</sup> Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural.
- Vilão, R., Venâncio, C., Lopes, M.A. & Ferreira, M. J. (2023). Relatório do Estado do Ambiente 2022/2023. APA – Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.
- Wang, J., Wu, J., Lu, J., & Yuan, G. (2020). Effects of leonardite on the coastal saline soil improvement. *Chemistry and Ecology*, 36(8), 750-765. <https://doi.org/10.1080/02757540.2020.1787997>.
- Wang, M., & Carvalho, S. M. P. (2018). Bioestimulantes na agricultura: categorias, legislação, oportunidades e desafios. *Revista Agrotec*. 26, 30-33. <https://www.booki.pt/userfiles/files/loja/preview/agro26digital.pdf>.
- Willer, H., Meier, C., Schlatter, B., Dietemann, L., Kemper, L. & Trávníček, L. (2022). The world of organic agriculture 2022: summary. In H. Willer, J. Trávníček, C. Meier, & B. Schlatter (Eds.). *The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2022*, 271-274. FiBL & IFOAM – Organics International.

Yakhin, O. I., Aleksandr A. L., Ildus A. Y., & Patrick H. B. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 01-32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.

Zambenedetti, L., Oliveira, L. R., Santos, M. S., Lazarotto, E. C., & Marzall, L. F. (2021). Revolução Verde: história e impactos no desenvolvimento agrícola. In F. S. Lima, B. A. M. Neto, G. J. A. Melo, D. K. Cavalcante, & T. R. Santos (Eds.). *Agricultura e agroindústria no contexto do desenvolvimento rural sustentável*, 370-377. Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/210705219>.