



# TÓPICOS AGROPECUÁRIOS: DIVERSIDADES DE CULTIVO

**Organizadores**  
**Michele Ribeiro Ramos**  
**Daniilo Marcelo Aires dos Santos**





# TÓPICOS AGROPECUÁRIOS: DIVERSIDADES DE CULTIVO

**Organizadores**  
**Michele Ribeiro Ramos**  
**Daniilo Marcelo Aires dos Santos**



Clique aqui e veja mais publicações

## Conselho Editorial

**Alessandra Ruita Santos Czapski**

<http://lattes.cnpq.br/1441323064488073>

**Dennis Gonçalves Novais**

<http://lattes.cnpq.br/7678636834544607>

**Jeferson Morais da Costa**

<http://lattes.cnpq.br/8929854109676237>

**Leandra Cristina Cavina Piovesan Soares**

<http://lattes.cnpq.br/0505525976660596>

**Lilian Natália Ferreira de Lima**

<http://lattes.cnpq.br/6290282911607995>

**Marianny Almeida Montino**

<http://lattes.cnpq.br/3117524559575296>

**Nicolle de Carvalho Ribeiro**

<http://lattes.cnpq.br/2269861871015693>

**Darlene Teixeira Castro**

<http://lattes.cnpq.br/8766578585291045>

**Kyldes Batista Vicente**

<http://lattes.cnpq.br/1249709305972671>

**Jéssica Painkow Rosa Cavalcante**

<http://lattes.cnpq.br/4024280261959707>

**Leda Verônica Benevides Dantas Silva**

<http://lattes.cnpq.br/9189485400834209>

**Lunalva Aurélio Pedroso Sallet**

<http://lattes.cnpq.br/8744928016577459>

**Michele Ribeiro Ramos**

<http://lattes.cnpq.br/1032124853688980>

**Rubens Martins da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/9384336574949691>

**Vinícius Pinheiro Marques**

<http://lattes.cnpq.br/7300803447800440>

---

T674

Tópicos agropecuários: diversidades de cultivo (livro eletrônico)/ Organizado por:

Michele Ribeiro Ramos, Danilo Marcelo Aires dos Santos.

Palmas-TO: Unitins, 2025.

104p.; color.

11,70 Mb; ePUB

ISBN 978-85-5554-138-4

DOI: 10.36725/978-85-5554-138-4

1. Diversidade. 2 Agropecuária. 3 Cultivo. I Ramos, Michele Ribeiro.

CDD 635

**Reitor**

Augusto de Rezende Campos

**Vice-Reitora**

Darlene Teixeira Castro

**Pró-Reitora de Graduação**

Alessandra Ruita Santos Czapski

**Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação**

Ana Flávia Gouveia de Faria

**Pró-Reitora de Extensão, Cultura e Assuntos Comunitários**

Kyldes Batista Vicente

**Pró-Reitor de Administração e Finanças**

Ricardo de Oliveira Carvalho

**Equipe Editorial**

**Editora-chefe**

Liliane Scarpin S. Storniolo

**Capa e Projeto Gráfico**

Leandro Dias de Oliveira

**Diagramação**

Joelma Feitosa Modesto

Leandro Dias de Oliveira

**Apoio Técnico**

Leonardo Lamim Furtado

**Revisão**

Flávia dos Passos Rodrigues Hawat

Lilian Mara Nogueira Dias

Marina Ruskaia Ferreira Bucar

Rubens Martins da Silva

Capa gerada por IA

Freepik.com - versão 25 jun.2025

**Contato**

**Editora Unitins**

(63) 3901-4176

108 Sul, Alameda 11, Lote 03

CEP.: 77.020-122 - Palmas - Tocantins

Os autores são responsáveis por todo o conteúdo publicado, estando sob a responsabilidade da legislação de Direitos Autorais 9.610/1998, Código Penal 2.848/1940 e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), Lei nº 13.709/2018.

## Apresentação

Bem-vindo a um mundo onde a terra é mais que um simples pedaço de solo, é um universo de possibilidades. “Tópicos Agropecuários: explorando as diversidades de cultivo” é uma jornada fascinante pelo vasto e diversificado campo agrícola, onde cada cultivo nos revela novas descobertas. O termo cultivo tem alguns significados: na Agricultura<sup>1</sup>: ato, processo ou efeito de cultivar (terra, campo etc. e/ou aquilo que dela provém ou que dela necessita); cultivação, cultura ou produção, com emprego de técnicas especiais, de qualquer variedade de planta, geralmente não encontrável em estado silvestre; criação, cultura; na Biologia<sup>2</sup>: produção controlada de microrganismos, células ou tecidos orgânicos.

Ao folhear estas páginas, você será conduzido por uma viagem através dos variados ecossistemas agrícolas, como microrganismos, cultivos de espécies forrageiras, cultivo protegido, manejo de plantas daninhas e solos. Neste livro, exploramos não apenas os métodos tradicionais de cultivo, mas também as inovações tecnológicas que estão transformando a face da agricultura. Cada capítulo oferece uma visão detalhada das práticas e a importância da sustentabilidade no meio de produção agropecuário.

Na presente obra, você encontrará não apenas conhecimento, mas também inspiração. Inspirar-se-á na dedicação dos produtores, que trabalham incansavelmente para alimentar o mundo, na criatividade dos pesquisadores que buscam soluções inovadoras para os desafios do campo e da natureza em toda a sua diversidade. Então, embarque nesta jornada conosco. Deixe-se envolver pela riqueza e pela complexidade do mundo agrícola. E que este livro seja mais do que uma fonte de informação, que seja um convite para explorar, aprender e celebrar as maravilhas do campo.

Boa Leitura!

---

1 Oxford Laugauges google – cultivo no dicionário Oxford Laugauges. consult. 2024-04-28 16:16:23]. Disponível em <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>.

2 Porto Editora – *cultivo* no Dicionário infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. [consult. 2024-04-28 16:15:03]. Disponível em <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/cultivo>

## Sumário

RESUMO ..... 07

### CAPÍTULO 1

DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO E SEUS BENEFÍCIOS NA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO ..... 08

### CAPÍTULO 2

USO DE ESTILOSANTES (*Stylosanthes* spp.) NA CONSERVAÇÃO DO SOLO ..... 22

### CAPÍTULO 3

LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO DE PLANTAS DANINHAS SOB DIFERENTES PALHADAS NO CULTIVO DO ALGODÃO ..... 41

### CAPÍTULO 4

BENEFÍCIOS DOS MICRORGANISMOS NA REDUÇÃO DO USO DE INSUMOS NA AGRICULTURA ..... 60

### CAPÍTULO 5

BIOFORTIFICAÇÃO, NUTRIÇÃO E ORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO NA CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS ..... 76

### CAPÍTULO 6

AMBIENTES DE CULTIVO E RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NA FORMAÇÃO DE MUDAS OLEÍCOLA E MEDICINAL ..... 87

## Resumo

O livro “Tópicos agropecuários: explorando as diversidades do cultivo” mergulha nas nuances da agricultura contemporânea, abrangendo diversos aspectos cruciais das práticas agrícolas. O cultivo de plantas forrageiras é um dos pilares discutidos, destacando a importância dessas plantas nos ecossistemas agrícolas. O livro explora técnicas de manejo, trazendo informações-chave para o manejo de plantas daninhas, qualidade do solo e opções de cultivos. Além disso, o livro destaca o papel dos microrganismos promotores de crescimento no aumento da produtividade das plantas, explora-se a interação entre microrganismos e plantas, enfatizando como práticas agrícolas sustentáveis podem aproveitar esse potencial para melhorar a saúde das culturas e reduzir a dependência de insumos químicos. A qualidade do solo é outro tema central, com enfoque na conservação da fertilidade do solo e na promoção da saúde do ecossistema agrícola. Estratégias de manejo do solo, como rotação de culturas, cobertura vegetal e uso de adubos orgânicos, são discutidas em detalhes para garantir a sustentabilidade a longo prazo da produção agrícola. A importância da radiação fotossintética no crescimento das plantas é explorada, destacando como as técnicas de cultivo podem ser otimizadas pelas culturas, desde a seleção de culturas adaptadas até o manejo da luminosidade em ambientes controlados, melhorando o rendimento das culturas.

## CAPÍTULO 1

### DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO E SEUS BENEFÍCIOS NA AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

**Vagner do Nascimento<sup>1</sup>, Samuel Ferrari<sup>2</sup>, Loiane Fernanda Romão de Souza<sup>3</sup>, Fernando Shintate Galindo<sup>4</sup>, Orivaldo Arf<sup>5</sup>, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho<sup>6</sup>, Cezar Francisco Araujo-Junior<sup>7</sup>**

#### IMPORTÂNCIA DA COBERTURA DO SOLO

Devido ao modelo de agricultura atualmente adotado, vem ocorrendo um grande declínio na qualidade ambiental, na biodiversidade e na produção agrícola de diversas culturas comerciais em consequência das práticas agrícolas convencionais, como o cultivo intensivo do solo, o pousio durante o outono-inverno, a prática de monocultura excessiva que promove baixa quantidade, a desuniformidade e a permanência de fitomassa (resíduos culturais) sobre a superfície do solo, bem como, o uso excessivo de fertilizantes inorgânicos e minerais (Dabney *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, novas estratégias de agricultura conservacionista e serviços ecossistêmicos se tornaram muito importantes para melhorar a agricultura de forma sustentável. Dessa maneira, a cobertura vegetal em quantidade, qualidade e persistência no sistema solo-planta, que é uma velha questão prática, está se tornando popular em todo o mundo (Romdhane *et al.*, 2019).

Um dos grandes desafios da agricultura tropical e subtropical e dos sistemas integrados de produção é a quantidade cobertura ( $t\ ha^{-1}$  de palhada) na superfície do solo com resíduos culturais, no espaço e no tempo de forma uniforme e permanente nos diversos sistemas de produção agrícola para adoção de um Sistema Plantio Direto (SPD) de qualidade na sua plenitude e com foco na sustentabilidade econômica, social e ambiental, principalmente em regiões tropicais onde o desafio é maior devido à elevada velocidade de decomposição de resíduos culturais em relação a regiões de clima temperado.

---

1 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Campus de Dracena, São Paulo, Brasil

2 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Campus de Dracena, São Paulo, Brasil

3 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sistemas de Produção, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil

4 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Campus de Dracena, São Paulo, Brasil

5 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sistemas de Produção, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil

6 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sistemas de Produção, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil

7 Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), Londrina, Paraná, Brasil

O uso de plantas de cobertura ou adubos verdes (terminologia mais antiga) consiste na utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciadas em cultivos com a finalidade de proteção superficial, assim como na manutenção e/ou melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Calegari, 2006). Este autor sugere que a escolha das espécies de plantas de cobertura deve considerar: i) apresentar ampla adaptabilidade às diferentes regiões edafoclimáticas e resistência ao ataque de pragas e doenças; ii) não aumentar gastos com mão-de-obra; iii) ter um desempenho satisfatório quanto à cobertura do solo, supressão de plantas invasoras e produção de massa verde e seca; iv) plantas de usos múltiplos; v) tecnologia factível de adoção pelo produtor rural.

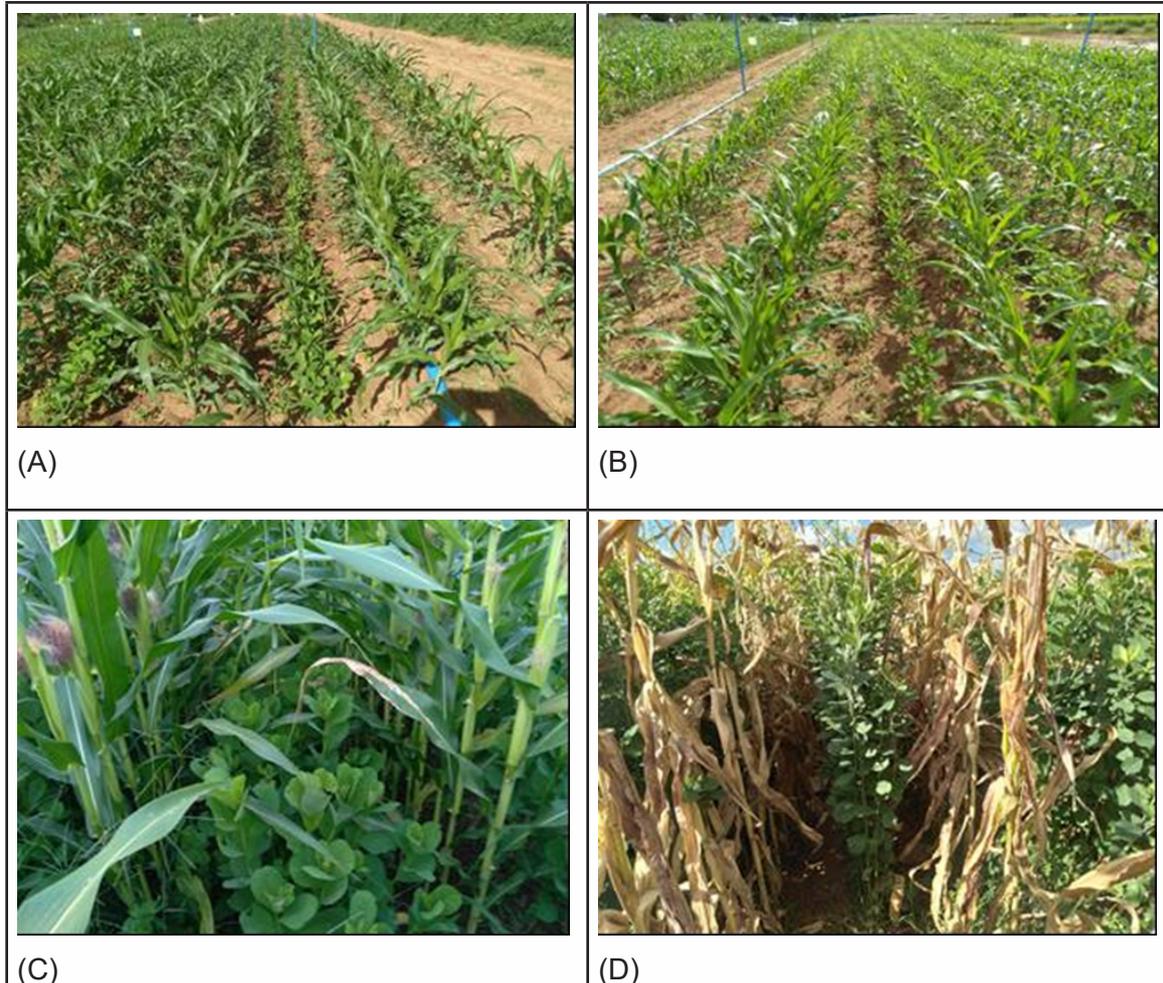
As culturas de cobertura do solo são espécies de plantas cultivadas para cobrir e melhorar o solo (Benedict; Cogger; Andrews, 2014). Elas podem ser usadas como uma cobertura viva ou morta em uma superfície do solo, ou podem ser “aradas” no solo como adubo verde (Idem, 2014). As culturas de cobertura podem ser qualquer tipo de planta, mas geralmente são das famílias de fabáceas (=leguminosas) ou poáceas (=gramíneas).

As culturas de cobertura são utilizadas para melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo e suas interações, além de serem consideradas como prática conservacionista pela qual as espécies de plantas são cultivadas e, a seguir, incorporadas ou mantidas na superfície do solo, em determinado estágio fenológico com a finalidade de assegurar ou aumentar a capacidade produtiva do solo.

As plantas de cobertura do solo possuem um papel fundamental na consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD) no Brasil, por possuírem um alto potencial para produção de grandes quantidades de fitomassa, podem substituir o pousio durante o período de entressafra e fornecer cobertura permanente do solo para a próxima cultura, o que viabiliza o seu uso. Além de melhorar a qualidade química do solo e o aporte de matéria orgânica advindo dos restos vegetais (Lima Filho, 2020).

Outro aspecto importante sobre as plantas de cobertura é a capacidade de se tornar adubo verde como uma opção de manejo sustentável do solo. Os restos vegetais dessas espécies que após atingirem o seu estado vegetativo são incorporados sob a superfície do solo, técnica conhecida como adubação verde, que pode melhorar a fertilidade do solo através da capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), estocagem de carbono e ciclagem de nutrientes de algumas espécies, e conseqüentemente contribuir com maiores produtividade da cultura (Espíndola, 1997). Na Figura 1 são apresentados alguns modelos de sistemas de consórcio entre milho com plantas de cobertura (*Crotalaria spectabilis* + *Urochloa ruziziensis*) do solo em diferentes estágios fenológicos de desenvolvimento do milho.

**Figura 1.** Sistemas de consórcios com Plantas de cobertura (A) Milho + *Crotalaria spectabilis* + *Urochloa ruziziensis*, (B) Milho + *Crotalaria spectabilis*, (C) Milho + *Crotalaria spectabilis* no momento de emissão da inflorescência feminina (espiga) do milho e (D) Milho + *Crotalaria spectabilis* no momento da colheita.



Fonte: Acervo próprio.

## PRINCIPAIS CULTURAS DE COBERTURA DO SOLO

Há uma diversidade de espécies que podem ser utilizadas como plantas de cobertura, diversas espécies adaptadas à distintas condições edafoclimáticas do Brasil. As principais famílias e espécies de cobertura do solo utilizadas: (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria striata*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan*, *Glycine max* L., *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Stylosanthes* spp., *Vicia sativa*, *Pisum sativum* ssp. *arvense*, *Lupinus albus*, etc.), *Arachis hypogea* L. (nome comum: amendoim), *Vicia villosa* Roth (nome comum: ervilhaca peluda), *Lupinus albus* (nome comum: tremçoço branco), *Pisum arvense* L. (nome comum: ervilha forrageira), *Raphanus sativus* L. (nome comum: nabo forrageiro), poaceas (*Pennisetum glaucum*, *Zea mays* L., *Sorghum bicolor* e *S. sudanense*, *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Triticosecale*, *Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Avena strigosa*, *Lolium multiflorum*, forrageiras tropicais anuais e perenes dos gêneros *Urochloa* spp. e *Megathyrsus* spp., *Eleusine coracana* e *Andropogon gayanus*), crucíferas (*Raphanus*

sativus, *Brassica napus* L.); composta (*Helianthus annuus*); poligonácea (*Fagopyrum esculentum*); cariofilácea (*Spergula arvensis*) e Linaceae (*Linum usitatissimum*). Porém, a tendência são os cultivos em consórcio (*Crotalaria* spp. + *Urochloa* spp., *Crotalaria* spp. + *Pennisetum glaucum* e *Sorghum bicolor* L. + *Urochloa* spp.) e misturas de diferentes espécies e famílias.

**Figura 2.** Aveia branca granífera cultivar IPR Afrodite (A), ervilha peluda (B), ervilha forrageira cultivar IAPAR 83 (C) e tremoço-branco (D).



Fonte: Arquivos do autor.

Nesse sentido, as principais características no momento da escolha das espécies em cultivo solteiro e consorciado são: elevada produtividade de fitomassa seca; produção de sementes de fácil obtenção e colheita; ciclo fisiológico compatível com a cultura comercial; baixa suscetibilidade a doenças e pragas; enraizamento profundo e ramificado; tolerância ao alumínio e à acidez do solo; eficiência na extração e ciclagem de nutrientes; elevada fixação de nitrogênio atmosférico; resistência/tolerância ao estresse hídrico; eficiência no manejo de plantas daninhas e de nematoides parasitas de plantas, bem como promoção de incrementos na produtividade das culturas em sucessão, rotação e consórcios, conforme relatado em estudos realizados por Wutke *et al.* (2014).

## BENEFÍCIOS DO USO DAS CULTURAS DE COBERTURA NA QUALIDADE DO SOLO

São múltiplos os benefícios do uso das culturas de cobertura do solo nos seus atributos físicos, como o controle de erosão hídrica acelerada e eólica. Além disso, essas culturas minimizam a compactação nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, aumentam a estabilidade de agregados, com maiores taxas de infiltração e percolação de água ao longo do perfil do solo, na redução da temperatura e sua amplitude térmica na superfície do solo. Para os atributos químicos do solo, os benefícios são o aumento no aporte de matéria orgânica, carbono e nitrogênio e outros macro e micronutrientes do solo, além disso, é proporcional à reciclagem de nutrientes no solo. Quanto aos atributos biológicos, as plantas de cobertura do solo aumentam a população e a diversidade da macro, meso e microfauna do solo, conforme relatado por Adetunji *et al.* (2020).

Segundo revisão realizada por Blanco-Canqui *et al.* (2015), as culturas de cobertura do solo podem fornecer inúmeros serviços ecossistêmicos, como controle de erosão hídrica e eólica, melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sequestro de carbono orgânico do solo, ciclagem de nutrientes, supressão de plantas daninhas, melhoria no habitat e diversidade da vida selvagem, potencial fornecimento de forragem para alimentação de bovinos de corte e leite e matéria-prima para a produção de celulose e biocombustíveis, e aumento da produtividade de grãos nas colheitas em regiões com precipitação abundante e desuniforme ao longo do ano.

As misturas de espécies de culturas de cobertura do solo podem ser mais multifuncionais do que uma única espécie, pois cada espécie de planta desempenha funções diferentes e funções específicas no solo. Por exemplo, misturar *Raphanus sativus* + *Secale cereale* pode aliviar e minimizar os efeitos da compactação do solo e os riscos de erosão devido ao potencial de penetração e formação de bioporos do sistema radicular do *Raphanus sativus* e abundante cobertura de biomassa produzida por *Secale cereale* (Chen; Weil, 2010).

Os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas culturas de cobertura do solo não são independentes, entretanto estão todos fortemente inter-relacionados. Um determinado benefício contribui para o próximo benefício. Por exemplo, com o tempo, o acúmulo de carbono orgânico do solo sob culturas de cobertura contribui para melhorar as propriedades do solo, como a estabilidade dos agregados do solo e a macroporosidade do solo, o que concomitantemente pode resultar no aumento da infiltração e percolação de água no perfil do solo e redução dos riscos de erosão hídrica acelerada.

Além disso, a maior formação de agregados e estabilidade não só reduz a erosão hídrica e eólica, mas também promove proteção, armazenamento e ciclagem de carbono e nutrientes no solo. Da mesma forma, com um aumento na concentração de carbono orgânico no solo, que proporciona melhorias na agregação e na redução da densidade do solo com cobertura e cultura de cobertura do solo, que podem, também, reduzir a suscetibilidade de um solo à compactação em longo prazo (Blanco-Canqui *et al.*, 2013). Interações entre o solo e seus atributos físicos, químicos e biológicos afetam diretamente o solo, a conservação da água, a fertilidade, a produção agrícola e a qualidade ambiental.

Sistemas alternativos de cultivo para a região do Cerrado estão sendo estudados para maximizar a produtividade das culturas comerciais, melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Portes *et al.*, 2000; Carvalho, 2005), e compreender as suas intercorrelações (Dufranc *et al.*, 2004; Villar *et al.*, 2004). A consorciação melhora as condições físicas do solo, proporcionando maior produção de resíduos culturais, o que estimula a infiltração de água, permite maior exploração do perfil do solo pelas raízes, reduz erosão e, conseqüentemente, mantém, ou até melhora, a estabilidade do sistema (Chioderoli *et al.*, 2012). O sucesso desses sistemas no Cerrado está relacionado aos incrementos de produtividade das culturas comerciais e nos resíduos acumulados de culturas de cobertura ou forrageiras tropicais (pastagens), que proporcionam um ambiente favorável de recuperação ou manutenção dos atributos do solo (Santos *et al.*, 2008). A consorciação tem outros benefícios como, por exemplo, a possibilidade de pastoreio tardio e a rotação de culturas e matéria orgânica produzida pelo sistema.

Existe uma grande variedade de práticas de agricultura conservacionista que são usadas nos trópicos e subtropicais. A agricultura conservacionista conta com premissas de conservação, como cultivo mínimo, rotação/consórcio e cobertura permanente do solo com cultura comercial ou cobertura de resíduos derivados de culturas não comerciais (Hobbs; Sayre; Gupta, 2008). Essa modalidade de agricultura pode ser aplicada em sistemas de cultivos anuais e/ou perenes e sua adoção depende das diferenças climáticas regionais, do manejo da cultura, das espécies utilizadas comercialmente e da disposição espacial/temporal das espécies vegetais nas áreas cultivadas (Gil; Siebold; Berger, 2015; Bieluczyk *et al.*, 2020). Em geral, as práticas de agricultura conservacionista têm semelhanças com as de outros sistemas convencionais, por isso a transição dos sistemas agrícolas convencionais é relativamente simples e pode ser aplicada e/ou adaptada a grandes e pequenas áreas cultivadas em diversos sistemas de produção (Gil; Siebold; Berger, 2015).

## **ASPECTOS FUNDAMENTAIS E OS OBJETIVOS NA RECOMENDAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO EM DIVERSOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Os principais aspectos a serem considerados na recomendação e seleção das espécies de cobertura do solo antes da implantação são: histórico de área (cultivos e adubações anteriores), adaptação das plantas ao clima e solo da região, sistema de produção adotado na propriedade, não interferência nas atividades agropecuárias da propriedade, mínimo custo financeiro, disponibilidade de sementes no mercado e preço acessível, elevada produtividade de fitomassa seca, facilidade de manejo (mecânico e químico) dos resíduos culturais e, por fim, a preferência do agricultor (Wutke *et al.*, 2014).

A definição do objetivo ou finalidade da cultura de cobertura do solo é fundamental para a sua adoção e recomendação. O objetivo do uso será essencial para a escolha das espécies de culturas de cobertura, como a data de semeadura/plantio, a quantidade de sementes na semeadura, a data de manejo da fitomassa e as alternativas de uso. A seleção e a finalidade de aplicação das culturas de cobertura do solo podem influenciar no sucesso do uso em cada local e manejo específico operacional da espécie.

Conforme relatado por Blanco-Canquiel *et al.* (2015), as finalidades podem incluir: controle de erosão hídrica e eólica, melhoria na fertilidade e produtividade do solo, manejo para minimizar a compactação superficial do solo, produção de forragem para pastejo ou fenação, dentre outros.

Os sistemas de agricultura conservacionistas mais estudados e comuns, que são adotados nos trópicos, incluem: sistema plantio direto (SPD) com produção de grãos, plantas de cobertura e rotação de culturas; integração lavoura-floresta (ILF), com produção simultânea de grãos e árvores; integração lavoura-pecuária (ILP), com produção de grãos, forragem e animais; integração pecuária-floresta (IPF), com produção de forragem, animais e árvores; e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com produção de grãos, forragem, animais e árvores (Carvalho *et al.*, 2014; Gil; Siebold; Berger, 2015; Bieluczyk *et al.*, 2020).

Esses sistemas podem ser classificados em diferentes níveis de complexidade e intensificação. O SPD é considerado como o menos intensificado e complexo e o ILPF, o mais complexo e intensivo; e os ILP, IPF e ILF como intermediários. Em geral, significa que quanto mais espécies (vegetais e/ou animais) forem introduzidas, quanto mais o agroecossistema se assemelha a um ecossistema natural e as interações entre as espécies se tornam mais complexas, mais biomassa é produzida (Bieluczyk *et al.*, 2020).

Em todos os sistemas de agricultura conservacionistas descritos acima, existe a oportunidade de inclusão de forrageiras tropicais para servir como culturas de cobertura ou pastagens ou forragem (feno e silagem) aos animais. A introdução de espécies forrageiras tropicais é justificada quando fornece serviços ao agroecossistema (Foley *et al.*, 2005; Cherr; Scholberg; Mcsorley, 2006). Esses serviços podem estar relacionados à nutrição, ao fornecimento de maior eficiência de uso de nutrientes, à proteção e da “saúde” do solo, à supressão de plantas daninhas e/ou à melhoria da produção e dos rendimentos da cultura sucessora ou da cultura associada; eles também devem ser adequados ao contexto socioeconômico local (Cherr; Scholberg; Mcsorley, 2006; Horrocks *et al.*, 2019; Paul *et al.*, 2020). Algumas características das plantas estão ligadas à prestação desses serviços ecossistêmicos, como a adaptação às condições ambientais tropicais, a baixa fertilidade natural do solo, a alta capacidade de produção de biomassa, recalcitrância da biomassa, morfologia radicular eficiente e atividade de exsudação, para citar alguns (Cherr; Scholberg; Mcsorley, 2006; Horrocks *et al.*, 2019).

## **ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO E SUAS RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

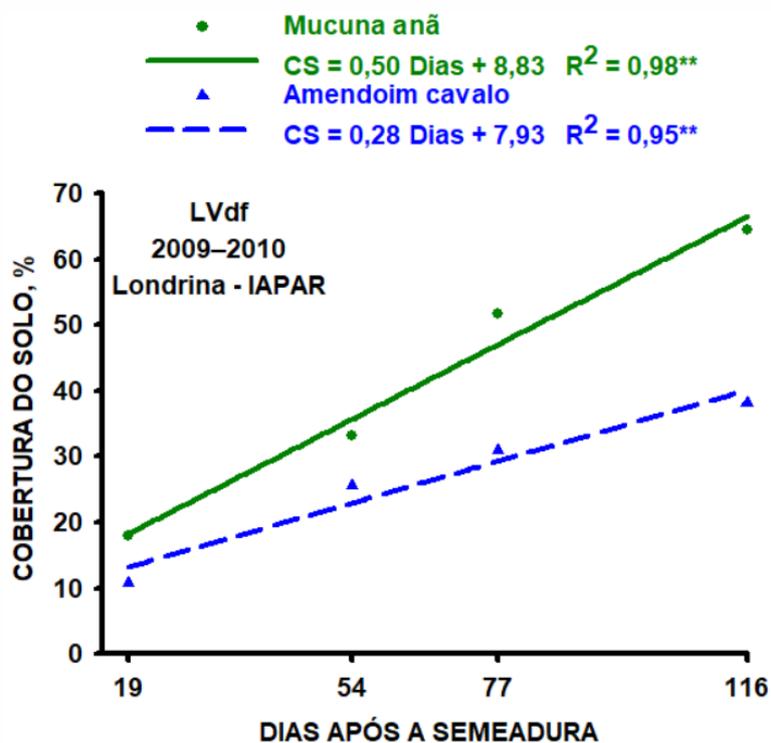
As culturas de cobertura desempenham um papel fundamental na manutenção ou melhoria dos atributos físicos do solo. O primeiro aspecto a se considerar é o efeito da cobertura verde e dos resíduos culturais para regulação térmica que reduzem a evaporação de água e a transpiração pelas culturas. Além disso, a cobertura da superfície do solo protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e da radiação solar diretamente sobre a superfície do solo.

Pelos dados apresentados pela Figura 2, observa-se a cobertura do solo proporcionada pelas plantas de cobertura de verão como exemplo a *Mucuna-anã* e *Amendoim Cavalo* ao longo do ciclo das plantas. A *Mucuna-anã* possui um crescimento mais rápido ao longo do tempo quando comparada ao *Amen-*

doim Cavalo (Figura 2), porém como pode ser observado no campo com menor proteção da superfície do solo em virtude da arquitetura da planta mais ereta quando comparada ao Amendoim Cavalo.

O uso das plantas de cobertura de verão mucuna-anã e amendoim cavalo proporcionou até 90 % de supressão das plantas invasoras ao final do ciclo das plantas de cobertura (124 dias após a semeadura), nas entrelinhas de uma lavoura cafeeira adulta comparada com as parcelas sem capina, espaçamento 3,5 m entre as ruas por 2,0 m entre as covas, cultivada em um Latossolo Vermelho distroférico típico, **textura muito argilosa do município de Londrina, mesorregião norte do estado do Paraná (Martins et al., 2015). Além disso, estes autores observaram que o amendoim cavalo produziu 45,6 g (± 5 g) e a mucuna-anã 32,6 g (± 0,1 g) de massa seca raízes em 0,05 m<sup>3</sup> de solo (0,5 m x 0,5 m x 0,2 m de profundidade). O sistema radicular das plantas de cobertura contribui ainda para a ativação biológica, além de deposição de ácidos orgânicos.**

**Figura 3.** Cobertura do solo proporcionada pelas culturas de cobertura mucuna-anã e amendoim cavalo nas entrelinhas de uma lavoura cafeeira adulta sobre um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) típico de Londrina (PR).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O amendoim (*Arachis hypogea* L.) cultivado após o preparo do solo com grade seguida de subsolagem de um Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd) do município de Ibitinga (SP) utilizado para diversificação de culturas em uma lavoura de cana-de-açúcar proporcionou benefícios contra a degradação estrutural do solo até o momento da colheita (Guimarães Junnyor *et al.*, 2019). No entanto, os autores observaram que no momento da colheita mecanizada do amendoim, a colhedora proporcionou elevado potencial em causar degradação estrutural do solo que está associada a elevada carga por eixo (4,3 Mg), contribuindo para a distribuição das tensões exercidas na interface rodado-solo ao longo do perfil do solo.

## ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO E SUAS RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As espécies de plantas de cobertura são excelentes produtoras de fitomassa que possuem a capacidade de mobilizar os nutrientes na camada agricultável, propiciando uma maior retenção de nutrientes em sua palhada e tornando disponível durante o processo de decomposição e liberação de resíduos vegetais deixados sob o solo, desta forma estabelece forte relação e influência com os atributos químicos do solo. Os efeitos da cobertura vegetal sobre os atributos químicos do solo estão relacionados aos tipos de plantas usadas como cobertura, a classe de solo, condições climáticas e por fim o tipo de manejo adotado no sistema.

É evidenciado que os benefícios sobre a fertilidade do solo são atribuídos ao aumento da porosidade do solo, redução do impacto da gota da chuva sob a superfície do solo e ao aumento da matéria orgânica (M.O.) do solo e sua capacidade de troca catiônica (CTC). Entre outros efeitos, estão a maior CTC e redução da acidez do solo, o aumento do fósforo disponível (P) na solução do solo, complexação orgânica do alumínio (Al) e manganês (Mn) que se tornam tóxicos no solo e adição de nitrogênio (N) através do processo de fixação biológica que algumas espécies de plantas cobertura, principalmente as da família fabaceae **são capazes de realizar.**

O processo de liberação dos nutrientes advindo dos restos vegetais das plantas de cobertura, dependem da localização e da forma que esses nutrientes são encontrados no tecido vegetal (Giacomini *et al.*, 2003). Durante o processo de decomposição de resíduos culturais remanescentes da fitomassa de espécies de cobertura sob o solo, os microrganismos utilizam uma parte do Carbono (C) disponível para ser convertido em biomassa microbiana, e a outra parte para ser mineralizada até gás carbônico (CO<sub>2</sub>) durante o metabolismo energético, processo pelo qual é denominado como mineralização do carbono no solo (Lima Filho, 2020). Em relação ao nitrogênio (N) ele pode ser incrementado em suas formas minerais, como amônio (N- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e o nitrato (N-NO<sub>3</sub>) no solo (Martins *et al.*, 2014).

O nitrogênio (N) é o nutriente que merece maior atenção em sistemas agrícolas envolvendo adubos verdes, independente da espécie utilizada. No caso da utilização de espécies gramíneas a disponibilidade do N pode diminuir, devido a imobilização nutriente causada pela biomassa microbiana. A gramínea extrai do solo maiores quantidades de N mineral do que é capaz de fornecer via mineralização do N dos resíduos culturais. (Lima Filho, 2020).

O potássio (K) é liberado mais rapidamente dos resíduos vegetais das plantas de cobertura, pois se encontra em componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células, o que faz com que as taxas de lixiviação também sejam mais expressivas após o manejo das plantas de cobertura. Em sistemas consorciados com fabáceas (leguminosas) e poáceas (gramíneas) podem ser adotados como uma estratégia de liberação mais prolongada de K, obtendo uma disponibilidade por um período maior ao decorrer do crescimento das plantas em sucessão as plantas de cobertura (Giacomini *et al.*, 2003; Lima Filho, 2020).

O fósforo (P) encontra-se na planta associado a componentes orgânicos do tecido vegetal e sua liberação está ligada ao processo de decomposição da fitomassa pelos microrganismos do solo. Conforme estudos realizados por Giacomini *et al.*, (2003), a cinética de liberação de P diferiu entre a ervilhaca, onde menos de 60% do P permaneceu nos resíduos culturais nos primeiros 15 dias, enquanto o nabo forrageiro e aveia este valor foi superior 90%. Tais resultados podem ser explicado devido a maior concentração P solúvel em água da ervilhaca, que superou a aveia em 30%, a rápida liberação de P no início da decomposição dos resíduos vegetais está ligada à perda de P solúvel em água.

A matéria orgânica do solo é outro indicador dos benefícios do uso de sistemas agrícolas com plantas de cobertura do solo, por estar intimamente relacionado ao aporte de material orgânico remanescentes dessas espécies sob o solo. Estudos realizados como o de Rosa *et al.*, (2017) trazem evidências que o cultivo de plantas de cobertura, podem estabelecer incrementos no teor de carbono (C) e alterações nos ácidos fúlvicos. Desta forma, as plantas de cobertura proporcionam mais carbono na fração de ácidos fúlvicos que contribuem com os aspectos da fertilidade do solo como a capacidade de troca catiônica (CTC).

## ESPÉCIES DE COBERTURA DO SOLO E SUAS RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

A presença de material orgânico advindo dos resíduos vegetais favorece a atividade biológica do solo, através dos microrganismos presentes em sua microbiota, cria-se condições favoráveis para o desenvolvimento de organismos, aumenta a ciclagem de nutrientes e melhora a eficiência dos fertilizantes aplicados ao solo.

Um processo biológico importante que ocorre na adubação verde com espécies leguminosas é a fixação biológica de nitrogênio, envolve a redução do  $N_2$  atmosférico através da enzima nitrogenase encontrada em alguns microrganismos de vida livre. A associação entre leguminosas e bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* são as formas mais comuns e eficientes encontradas de incrementar N ao solo. A quantidade de fixação de N, irá depender das espécies utilizadas e condições de clima e solo (Espíndola, 1997).

Além dessa associação, as plantas de cobertura também formam interações simbióticas mutualísticas com fungos micorrízicos, o que proporciona aumento na área explorada pelas raízes contribuindo para o desenvolvimento de plantas mais tolerantes à seca e com maior capacidade de assimilação dos nutrientes (Lima Filho, 2020).

Algumas espécies de plantas de cobertura promovem o controle de nematóides, que são responsáveis por atacarem e prejudicarem o sistema radicular das plantas, um exemplo desta ação sobre os nematóides **são o uso de espécies de amendoim** cv Tatu e amendoim cv Caiapó, conforme estudos realizados por AMBROSANO *et al.*, (2010) que obteve resultados mais efetivos sobre o nematóide do gênero *Pratylenchus*.

Além desses benefícios da biota do solo, diversas espécies de plantas de cobertura apresentam efeito alelopático, o que favorece o controle de algumas plantas espontâneas, tais como: feijão-de-porco

em tiririca (*Cyperus rotundus* L.); aveia (*Avena strigosa*) em gramíneas; azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) em guaxuma (*Malvastrum* sp.); e do nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*) em amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), capim-marmelada [*Urochloa* (*Syn. Brachiaria*) *plantaginea*] e capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) (Lima Filho, 2020).

## **Considerações finais**

A adoção de diferentes espécies de culturas de cobertura do solo e suas misturas (mix, blends e coquetéis) de espécies em rotação, sucessão e consórcio de culturas comerciais possuem um papel fundamental na proteção e preservação dos recursos naturais do solo e da água contra processos de degradação do solo devido as ações antrópicas e naturais. Além disso, propicia um ambiente de produção favorável para uma adequada sucessão e rotação de culturas em diversos sistemas de produção, com possibilidade de incrementos ou manutenção da produtividade de grãos, hortaliças, fibras e energia.

Para a sustentabilidade da agricultura tropical e subtropical, são necessárias mais pesquisas sobre culturas de cobertura do solo e suas combinações e arranjos de espécies nos seus mais diversos sistemas de produção, visando resultados mais conclusivos e consistentes no médio e longo prazo.

## **Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro de projeto de auxílio regular a pesquisa (processo nº 2020/00357-0) e à instituição UNESP/FCAT, pela disponibilidade de mão de obra e infraestrutura para elaboração da pesquisa sobre a temática do assunto e o manuscrito.

## Referências

- ADETUNJI, A.T.; NCUBEB, B.; MULIDZIC, R.; LEWU, F.B. Management impact and benefit of cover crop on soil quality: a review. **Soil & Tillage Research**, [s. l.], v. 224, p. 1-11, 2020.
- AMBROSANO, E.J.; AZCÓN R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G.M.B.; SCHAMMASS, E.A.; TRIVELIN, P. C.O.; MURAOKA, T.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M.R.G.; TERAMOTO J.R.S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, v.67, p.692-701, 2010.
- BENEDICT, C., COGGER, C.G.; ANDREWS, N. Methods for successful cover crop management in your home garden. **Washington State University Extension**, Washington, n. FS119E, p. 1-9, 2014.
- BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B.; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, [s. l.], v.371, p. 114368, 2020.
- BLANCO-CANQUI, H.; SHAPIRO, C.A.; WORTMANN, C.S.; DRIJBER, R. A.; MAMO, M.; SHAVER, T. M.; FERGUSON, R. B. Soil organic carbon: the value to soil properties. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 68, n. 5, p. 129A-134A, 2013.
- BLANCO-CANQUI, H.; SHAVER, T.M.; LINDQUIST, J.L.; SHAPIRO, C.A.; ELMORE, R.W.; FRANCIS, C.A.; HERGERT, G.W. Cover crops and ecosystem services: insights from studies in temperate soils. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 2449-2274, 2015.
- CALEGARI, A. **Plantas de cobertura**. In: Casão Junior, R.; Siqueira, R.; Mehta, Y. R.; Passini J.J., editores. Sistema plantio direto com qualidade. Londrina: Iapar / Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional; 2006. p. 55–73.
- CARVALHO, A.M. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais: disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. 2005. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 183, p. 167-175, 2014.
- CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant Soil**, Switzerland, v. 331, p. 31-43, 2010.
- CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J. M. S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 98, n. 2, p. 302-319, 2006.
- CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p.37-43, 2012.

DABNEY, S.M.; DELGADO, J. A.; MEISINGER, J. J.; SCHOMBERG, H. H.; LIEBIG, M. A.; KASPAR, T.; MITCHELL, J.; REEVES, W. Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. In: DELGADO, J.A.; FOLLETT, R.F. (ed.). **Advances in nitrogen management for water quality**. [S. l.]: Soil and Water Conservation Society, 2010. p. 231-282.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997. 20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.T.; DAILY, G.C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, [s. l.], v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; *et al.* Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/3FdpLJMjpH9HR7J5g-zwWCmt/?lang=pt>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 199, p. 394-406, 2015.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. da S.; DISERENS, E.; De MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 681, n. 1, p. 261 – 268, September. 2019.

HOBBS, P. R.; SAYRE, K.; GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 363, n. 1491, p. 543-555, 2008.

HORROCKS, C. A.; ARANGO, J.; AREVALO, A.; NUÑEZ, J.; CARDOSO, J. A.; DUNGAIT, J. A. J. Smart forage selection could significantly improve soil health in the tropics. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 688, p. 609-621, 2019.

LIMA FILHO, O. F. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. [s.l.]: Embrapa, v. 2, 2020.

MARTINS, B. H.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; MIYAZAWA, M.; VIEIRA, K. M.; MILORI, D. M. B. P. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 153, n. 2, p. 169 – 174, Nov. 2015.

MARTINS, Roberta Pereira; COMIN, Jucinei José; GATIBONI, Luciano Colpo; et al. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. *Revista Ceres*, v. 61, p. 587–596, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/V5rKw3VBFnX8RwNDzNvmxbh/>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

PAUL, B. K.; GROOT, J. C. J.; MAASS, B. L.; NOTENBAERT, A. M. O.; HERRERO, M.; TITTONELL, P. A. Improved feeding and forages at a crossroads: Farming systems approaches for sustainable livestock development in East Africa. *Outlook on Agriculture*, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 13-20, 2020.

PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C.; OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000.

ROMDHANE, S.; SPOR, A.; BUSSET, H.; FALCHETTO, L.; MARTIN, J.; BIZOUARD, F.; BRU, D.; BREUIL, M.C.; PHILIPPOT, L.; CORDEAU, S. Cover crop management practices rather than composition of cover crop mixtures affect bacterial communities in No-Till agroecosystems. *Frontiers in Microbiology*, [s. l.], v. 10, p. 1-11, 2019.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, p. 221–230, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/kZdPtx3nNKHfQcG5rhsbCzs/>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.43, n. 1, p.115-122, 2008.

VILLAR, M.C.; PETRIKOVA, V.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; CARBALLAS, T. Changes in soil microbial biomass and aggregate stability following burning and soil rehabilitation. *Geoderma*, [s. l.], v.122, n. 1, p.73-82, 2004.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para o uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p.265-306.

## CAPÍTULO 2

### USO DE ESTILOSANTES (*Stylosanthes spp.*) NA CONSERVAÇÃO DO SOLO

Brunna Francielle Pereira Da Silva<sup>1</sup>; Michele Ribeiro Ramos<sup>2</sup>; Danilo Marcelo Aires dos Santos<sup>3</sup>

#### Introdução

Com a intensificação da agricultura, duas práticas inadequadas passaram a ser utilizadas em grande parte dos agroecossistemas: o uso intensivo do solo e a má gestão dos recursos naturais. Uma e outra têm contribuído para o agravamento dos processos de degradação dos recursos naturais, principalmente solo e água, colocando em risco o equilíbrio ambiental, impondo dificuldades nas relações de sobrevivência harmônica entre os seres vivos (tanto do reino vegetal quanto do animal) e pondo em risco a qualidade de vida das populações humanas (Lima-Filho *et al.*, 2023).

A manutenção e decomposição de resíduos das culturas agrícolas na superfície do solo contribuem para que parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas retorne ao solo, podendo ser aproveitados por culturas subsequentes. Embora as pesquisas com ciclagem de nutrientes em agroecossistemas estejam em pleno progresso, envolvendo diversos tipos de resíduos vegetais em diferentes condições edafoclimáticas, pouco se sabe sobre o fluxo e a dinâmica no solo, sendo escassos os estudos com mineralização de nutrientes provenientes de resíduos culturais que dariam continuidade aos trabalhos visando verificar a disponibilidade desses nutrientes para as plantas (Maluf *et al.*, 2015).

O solo pode ser considerado a base de nosso planeta, e pouco se pensa sobre sua biodiversidade, apesar de ele ser o ambiente mais biodiverso na atualidade. A microbiota influencia ainda na manutenção da biodiversidade, na participação da ciclagem de nutrientes e na produção vegetal de forma direta e indireta, por meio do estabelecimento de associação com as plantas (Trindade, 2023).

---

1 Engenheira Agrônoma Palmas, TO

2 Docente do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Tocantins – Campus Palmas e Docentes do Curso de Agronomia da ULBRA-Palmas.

3 Docente do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Tocantins – Campus Palmas e Docentes do Curso de Agronomia da ULBRA-Palmas; E-mail: michele.rr@unitins.br ou michele.ramos@ulbra.br

No Brasil, o gênero *Stylosanthes* destaca-se como uma leguminosa forrageira de ampla adaptação e resistência de pressões bióticas e abióticas. Além disso, é uma leguminosa que estabelece simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que é uma vantagem para a melhoria da fertilidade das pastagens brasileiras (Chaves, 2013). Essas características fazem do estilosantes uma espécie promissora na promoção da sustentabilidade do solo e da saúde ambiental.

Neste capítulo, o objetivo será apresentar o uso de estilosantes do gênero *Stylosanthes* na agricultura como uma alternativa para o manejo conservacionista do solo da sustentabilidade do solo e da saúde ambiental.

## **METODOLOGIA**

### **A pesquisa**

A presente pesquisa é caracterizada como descritiva, exploratória e qualitativa, realizada a partir de uma pesquisa bibliográfica por uma revisão integrativa de literatura.

A pesquisa científica está presente em todo campo da ciência, no campo da educação, por exemplo, encontramos diversas em andamento ou já publicadas. Ela é um processo de investigação para solucionar, responder ou aprofundar sobre uma indagação no estudo de um determinado fenômeno (Sousa; Oliveira; Alves, 2021).

A pesquisa descritiva inclui um estudo observacional, onde se compara dois grupos similares, sendo assim, o processo descritivo visa à identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou processo. A grande contribuição da pesquisa descritiva é proporcionar novas visões sobre uma realidade já conhecida (Nunes; Nascimento; Luz, 2016).

No que se refere à abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa, sendo realizada por meio de uma observância e técnicas descritivas, sem que haja a necessidade da apresentação de técnicas numéricas e estatísticas tanto para o levantamento dos dados, quando para a mensuração e compreensão dos mesmos (Gil, 2017).

A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos. Praticamente toda pesquisa acadêmica requer em algum momento a realização de trabalho que pode ser caracterizado como pesquisa bibliográfica. Essa prática ocorre de tal maneira que na maioria das teses e dissertações desenvolvidas atualmente, um capítulo ou seção é dedicado à revisão bibliográfica, sendo elaborada com o propósito de fornecer fundamentação teórica ao trabalho, bem como a identificação do estágio atual do conhecimento referente ao tema (Gil, 2017).

## REVISÃO DE LITERATURA

### Benefícios do Uso de Estilosantes (*Stylosanthes* spp.) nos atributos do Solo

O solo e a água são elementos naturais, primordiais à manutenção e à sustentação do ecossistema. Atualmente, diante a intensificação do quadro de degradação de extensas áreas, o manejo e a conservação de solo e água para o uso de diversos ambientes constitui um dos maiores desafios, onde o intuito refere-se a otimizar o uso de tais elementos com potencial para maximizar a produção agrícola; de modo a corroborar com a mitigação de impactos ambientais e deste modo, desenvolver novos meios de sistemas de produção, os quais, possam ser capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica (Ferreira *et al.*, 2019).

Os benefícios ambientais das leguminosas, incluídos em “serviços ecossistêmicos”, compreendem efeitos positivos sobre a conservação do solo e propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, balanço hídrico, mitigação da contaminação das águas subterrâneas, economia de energia fóssil, biodiversidade funcional (solo, entomofauna) e reabilitação de terras degradadas. Este papel ambiental pode ser considerado como uma “nova” dimensão da utilização de leguminosas forrageiras tropicais (Silva-Neto, 2020).

Com a crescente demanda internacional por produtos agropecuários, associada à maior preocupação com os impactos ambientais causados pelos sistemas de produção, são cada vez mais requeridas tecnologias que permitam uma melhor eficiência de uso da terra com menores impactos negativos. O reflexo desta demanda sobre o Brasil, um dos únicos atores mundiais com capacidade para atendê-la, é a tendência de avanço de lavouras e de florestas plantadas sobre áreas com pastagens, principalmente, aquelas em algum estágio de degradação (Almeida *et al.*, 2012).

Sistemas com rotação ou sucessão de culturas podem ter variações na agregação do solo, de acordo com as diferenças nas espécies de plantas. A diferença entre espécies pode estar na qualidade do material orgânico sintetizado pelas raízes das diversas culturas ou na configuração das raízes, especialmente na proporção das raízes laterais, uma vez que a liberação da matéria orgânica ocorre segundo o tipo de raiz. A estabilidade de agregados sob leguminosas pode ser maior em relação às não leguminosas, pois há maior massa microbiana para o mesmo comprimento e massa de raízes, além de maior comprimento de hifas de fungos nas leguminosas, em relação às não-leguminosas (Andrade; Stone; Silveira, 2009).

A presença de outras espécies nas entrelinhas do cafeeiro e a manutenção dos restos culturais pode trazer diversos benefícios para a cultura, aumentando a diversidade biótica e a proteção da superfície do solo contra o processo de erosão e imobilização de grandes quantidades de nutrientes. Além da proteção do solo, algumas espécies têm a capacidade de elevar o nível de matéria orgânica e ainda promover a ciclagem de nutrientes no sistema, contribuindo para melhoria da qualidade do solo e nos atributos físicos, químicos e biológicos (Bravin *et al.*, 2020).

O gênero *Stylosanthes* destaca-se entre as leguminosas forrageiras bem adaptadas às condições edafoclimáticas da região tropical. *Stylosanthes* spp. cv. *Campo Grande* estabelece uma relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, que podem ser utilizadas para melhorar a qualidade das pastagens (Silva-Neto, 2020).

## Gênero *Stylosanthes*

O estilosantes é uma leguminosa de porte herbáceo-arbustivo, com 48 espécies, que podem apresentar ciclo perene ou anual. No Brasil, essa leguminosa apresenta 29 espécies, mas apenas 13 espécies estão presentes em todo o território nacional. Duas das espécies que tem apresentado um bom potencial agrônômico de acordo com estudos realizados nos últimos 30 anos, principalmente na região do Cerrado, são as espécies *S. capitata*, *S. macrocephala* e *S. guianensis* (Santos, 2022).

Uma nova forma de cultivar a *Stylosanthes spp. cv. Campo grande*, conhecida vulgarmente como estilosantes Campo Grande, é um cultivar registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), formado pela mistura física de sementes de duas espécies distintas, ambas pertencentes ao gênero *Stylosanthes*: *S. macrocephala* e *S. capitata* (20% de *S. macrocephala* e 80% de *S. capitata*) (Sousa-Neto, 2022).

### *Stylosanthes capitata*

Espécie do gênero *Stylosanthes capitata*, e da família *fabaceae*, com características botânicas subarbustivo perene de crescimento ereto ou prostrado, que pode atingir 120 cm de altura e 100cm de diâmetro; as folhas são trifolioladas cujos folíolos podem ter 40 mm de comprimento e 15mm de largura (Figura 1); a inflorescência é composta por 2 a 4 espigas que medem até 70 mm de comprimento por 200mm de largura; a flor mede até 14,5mm de comprimento e tem a corola amarela (Figura 2); a semente tem coloração que varia de pretas e amarelas, medindo de 2 a 3mm de comprimento e 1 a 2mm de largura (Cruz; Dias-Filho, 2022).

**Figura 1** - *Stylosanthes capitata*



**Fonte:** Mauricio Mercadante, extraído Cruz; Dias-Filho, (2022, p. 949).

**Figura 2** - Inflorescências e flores de *Stylosanthes capitata*



**Fonte:** Mauricio Mercadante, extraído Cruz; Dias-Filho, (2022, p. 950).

No Brasil tem ocorrência confirmada nas regiões Norte (Pará, Roraima, Tocantins), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo) e Sul (Paraná). Ocorre naturalmente em solos com pH inferior a 5, baixa fertilidade. É tolerante a solos com baixos teores de fósforo e altos de alumínio e manganês e apresenta boa capacidade de nodulação em solos com pH inferior a 5,5. É uma espécie utilizada na alimentação animal em associação com gramíneas forrageiras. É considerada promissora para a formação e recuperação de pastagens na Amazônia brasileira. Seu potencial provavelmente é maior em ecossistema de savana devido a sua adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade e por ser tolerante a pragas e doenças.

Outras características importantes para a espécie é a boa produção de forragem, resistência ao pastejo e ao pisoteio, boa capacidade de consorciação e de ressemeadura natural, rápido rebrote no segundo ano de cultivo (Coradin; Camillo; Vieira, 2022).

### ***Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw**

Espécie do gênero *Stylosanthes guianensis*, e da família fabaceae, com características botânicas, o subarbusto perene é um subarbusto perene que na Amazônia pode atingir de 50 a 150 cm de altura, (Figura 3), sua flor 8–13 mm de comprimento; corola amarela ou branca (Figura 4). No Brasil a espécie está amplamente distribuída nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Cruz; Dias-Filho, 2022).

O uso de gramíneas consorciadas com leguminosas forrageiras, melhora a qualidade da pastagem, além das gramíneas serem favorecidas pela fixação de nitrogênio pela leguminosa. Entre as forrageiras potenciais para uso em pastagens encontra-se o *S. guianensis*, considerada promissora para condições de savana. Ocorre nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.

Na região Norte é encontrado naturalmente nos tipos de vegetação Campo Rupestre, Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, com altura de planta de 50 a 150 cm. *Stylosanthes guianensis* é também uma espécie promissora para formação e/ou recuperação de pastagens. Outra característica também importante é o potencial de produção de sementes e a capacidade de fornecer forragem de boa qualidade no período seco (Cruz; Dias-Filho, 2022).

**Figura 3** - *Stylosanthes guianensis*



**Fonte:** Allan Kardec Braga Ramos, extraído Cruz; Dias-Filho, (2022, p. 954).

**Figura 4** - *Stylosanthes guianensis*



**Fonte:** Allan Kardec Braga Ramos, extraído Cruz; Dias-Filho, (2022, p. 956).

**Figura 5** - Sementes de *Stylosanthes guianensis*



**Fonte:** Allan Kardec Braga Ramos, extraído Cruz; Dias-Filho, (2022, p. 957).

A espécie é utilizada como forrageira e considerada promissora para condições de savana, devido sua adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade, resistência à seca, tolerância a pragas e doenças. Com relação à conservação *in situ*, pode-se afirmar que *S. guianensis* está relativamente bem conservada na natureza, visto que tem ampla distribuição geográfica com ocorrência em 25 estados brasileiros e no Distrito Federal. Também a ampla distribuição em áreas protegidas, tanto federais quanto estaduais, contribui para assegurar a conservação permanente da grande variabilidade desta espécie na condição *in situ* (Cruz; Dias-Filho, 2022).

### ***Stylosanthes macrocephala***

*Stylosanthes macrocephala* foi descrita como uma nova espécie em 1977 e tornou-se uma leguminosa de pastagem economicamente importante. As características são flor de *S. macrocephala* com estriado e guias de néctar avermelhadas, hábito de crescimento, geralmente prostrado a ascendente (até 60 cm), caules múltiplos caules e ramos mais finos, folhagem em plantas adultas, aberta (maior comprimento dos entrenós, folíolos estreito-elíptico-oblongo, 5 a 8 mm de largura, Forma de inflorescência Globosa 2, apiculada, 14–18 × 10–14 mm, (Figura 6). (Schultze-Kraft; Cook.; Ciprián, 2020).

**Figura 6** - Detalhes da flor do *Stylosanthes macrocephala*



**Fonte:** A, Ciprián, CIAT, extraído de Schultze-Kraft; Cook.; Ciprián, (2020, p. 253).

## ***Stylosanthes campo grande***

O *Stylosanthes spp. cv. Campo Grande*, conhecida vulgarmente como estilosantes Campo Grande, tem o cultivo registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), formado pela mistura física de sementes de duas espécies distintas, ambas pertencentes ao gênero *Stylosanthes*: *S. macrocephala* e *S. capitata* (20% de *S. macrocephala* e 80% de *S. capitata*). O *Stylosanthes spp. cv Campo Grande* foi recomendado pela Embrapa Gado de Corte para regiões de clima tropical, com pluviosidade anual mínima de 700 mm e máxima de 1.800 mm (Silva-Neto, 2020).

**Figura 7** - Detalhes do florescimento do *Stylosanthes campo-grande*



**Fonte:** Embrapa: Campo Grande Cultivar de estilosantes (2007, p.1).

O estilosantes Campo Grande, em condições naturais, pode atingir mais de um metro de altura (Figura 8), e a sua emissão de flores acontece nos meses de abril a maio. A relação folha-caule é um índice muito utilizado para descrever a qualidade das forrageiras em geral.

O estágio de crescimento ideal da planta para corte ou pastejo é aquele em que se obtém a mais adequada composição bromatológica. Esse parâmetro está relacionado com a qualidade da forragem, em que a maior proporção de lâminas foliares em relação a caules e colmos, deve ser atingida.

Nas leguminosas, a relação folha-caule tem efeito no consumo de forragem pelos animais, pois com forragem disponível em quantidades suficientes, os animais pastejando seletivamente ingerem preferencialmente o material mais tenro (folhas) e de melhor valor nutritivo (Rocha, 2019).

**Figura 8 - *Stylosanthes campo-grande***



**Fonte:** Embrapa, banco de Imagens, (2007).

A matéria seca tem sido utilizada como importante parâmetro para expressar a produção de forrageiras, podendo apresentar variações conforme a espécie, maturidade da planta, manejo da cultura, condições ambientais e estação do ano. O estilossante Campo Grande produz até 13 t/ha/ano de matéria seca, com alto teor proteico (Rocha, 2019).

No Brasil, o estilossantes Campo Grande é recomendado para as regiões Centro-Oeste, Nordeste (dentre dos limites de pluviosidade) e Sudeste. Na região Norte, seu uso fica restrito a regiões menos chuvosas, com características climáticas mais próximas à região Centro-Oeste (Rocha, 2019).

### **Retorno Econômico do Uso de Estilosantes (*Stylosanthes* spp.) na Agricultura**

A planta apresenta grande potencial forrageiro por ser boa fonte de proteína, por causa da boa fixação biológica de nitrogênio e, com isso, adapta-se bem aos solos pobres dos Cerrados brasileiros. Além disso, tem boa resistência à antracnose, doença causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, que limita a persistência de *Stylosanthes* spp. na pastagem, em função da desfolha e morte de plantas.

A principal limitação ao uso dessa leguminosa está relacionada aos solos de baixa permeabilidade. De fato, as espécies de *Stylosanthes* que compõem a cultivar Campo Grande são nativas de regiões de Cerrado, com predominância de solos arenosos e bem drenados, sendo a espécie *Stylosanthes capitata* considerada tolerante ao alagamento do solo. Além disso, a Embrapa Gado de Corte recomenda o seu uso especialmente para solos com textura arenosa e média, como os Latossolos textura média e Areias Quartzosas (atualmente Neossolos Quartzarênicos), ambos bem drenados. Os estilossantes podem ser considerados uma planta antagonista, ou seja, afetam negativamente a população de nematoides, por meio de diversos mecanismos (Maito, 2020).

As plantas leguminosas também apresentam potencial para o cultivo intercalar com o cafeeiro, pois além de reduzirem a infestação de plantas daninhas, devido sua capacidade de estabelecimento, estimulam processos biológicos importantes, tais como a ciclagem de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio (Bravin, 2020).

Espécies de *Stylosanthes* apresentam capacidade de se desenvolver e produzir elevadas quantidades de forragem em solos de baixa fertilidade e com baixos teores de fósforo, característica comum de ambientes tropicais. As folhas de plantas destas espécies possuem maiores concentrações de nutrientes do que os caules, enquanto suas inflorescências apresentam valores nutricionais semelhantes ao de folhas jovens (Diniz, 2020).

### **Diretrizes Práticas para Integração do Estilosantes em Sistemas Agrícolas**

Os consórcios forrageiros entre gramíneas e leguminosas podem aumentar a produtividade animal, pois as leguminosas apresentam, em geral, maior valor nutritivo em relação às gramíneas durante o período da seca, onde estas se tornam menos digestíveis. Os legumes deixam resíduos para os próximos plantios, enquanto as gramíneas podem proporcionar uma melhor cobertura do solo por conta da sua longevidade e desenvolvimento de raiz. Nesse sentido, o uso de leguminosas forrageiras em consórcio com gramíneas é uma das alternativas para substituir os produtos químicos nitrogenados. O consórcio promove maiores taxas de mineralização de matéria orgânica no solo, aumento de nutrientes nas pastagens e disponibilidade de nitrogênio, fósforo e enxofre (Sousa-Neto, 2022).

O consórcio forrageiro entre gramíneas e leguminosas, vem beneficiando cada vez mais a produtividade animal, visto que as leguminosas apresentam maior valor nutritivo em relação às gramíneas forrageiras durante o período da seca, onde estas se tornam mais escassas. Cultivos consorciados para viabilidade de sistemas ILPF são reconhecidos como uma tecnologia de baixa emissão de carbono, e constam no Plano ABC. Porém, deve se atentar para a distribuição das plantas no consórcio. A implantação de leguminosas em sistema de consórcio com gramíneas forrageiras, gera sustentabilidade. Ademais, pesquisas comprovam que o uso de leguminosas em consórcio com gramíneas em sistema pastoris, pode reduzir os gastos diretos com fertilizantes químicos; aumentar a qualidade e heterogeneizar a dieta animal; melhorar a disponibilidade de forragem pelo aporte de nitrogênio no sistema de cultivo por meio de sua ciclagem e transferência de nutrientes para a gramínea consorciada e aumentar também o período de utilização das pastagens (Pereira, 2022).

O estilosantes Campo Grande destaca-se como alternativa para banco de proteínas, consorciação com gramíneas e, principalmente, por fixar nitrogênio no solo, reduzindo gastos com adubação nitrogenada. A utilização do estilosantes Campo Grande tem elevado potencial para elevar os baixos índices zootécnicos provenientes da baixa produção de forragem e da baixa qualidade das pastagens nativas, constituindo uma ótima alternativa na melhoria da dieta dos animais e elevação da produção animal (Rocha, 2019).

## Fixação Biológica de Nitrogênio

O nitrogênio ( $N_2$ ) é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a principal via de inclusão do N atmosférico no sistema solo-planta, sendo considerada o segundo processo biológico mais importante do planeta, depois da fotossíntese. A FBN é realizada por meio de um complexo enzimático denominado nitrogenase, presente em alguns microrganismos conhecidos como diazotróficos.

Na interação simbiótica com leguminosas, a bactéria é denominada de rizóbio, forma nódulos radiculares na planta hospedeira. As bactérias diazotróficas associativas contribuem para o crescimento vegetal não só pelo fornecimento de nitrogênio, mas também por mecanismos como produção de fito-hormonas, solubilização de fosfatos, antagonismo a fitopatógeno, entre outros. O processo de FBN pode ser afetado por fatores ambientais como: acidez do solo, salinidade, deficiência/excesso de minerais e quantidade de N inorgânico no solo. As leguminosas se destacam por formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de  $N_2$ , resultando no aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (Terra et al., 2019).

O uso de Estilosantes nas pastagens puras ou consorciadas apresentam boas características de produção, através da fixação biológica de nitrogênio. Esse aspecto oriundo das leguminosas que realizam a fixação biológica de nitrogênio atmosférico em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* através das raízes, está descrito na literatura e seus autores relatam que essa fixação pode ser em torno de 60 a 80 kg de nitrogênio/ha/ano. Quando consorciado, o nitrogênio fixado pelas leguminosas favorecem a gramínea associada, elevando sua produção e minimizando custos com o uso de fertilizantes, melhorando a qualidade da forragem, como também, são evidenciados resultados positivos para o sistema solo planta (Figueirêdo, 2019).

As plantas de estilosantes são ricas em proteína e possuem excelente capacidade de fixação biológica de nitrogênio no solo, além de apresentar boa capacidade de produção de massa. Desta forma, os cultivares desta leguminosa vem contribuindo na redução de custos com insumos agrícolas, bem como para a redução dos impactos ambientais, além de possibilitar melhoria no desempenho animal (Guimarães, 2020).

## Resultados

A agricultura sustentável é um desafio e uma oportunidade para o desenvolvimento rural. Nesse contexto, o uso de *estilosantes*, uma leguminosa forrageira, pode trazer vários benefícios para o solo, a água, a produção e o ambiente. Neste texto, abordaremos alguns desses benefícios e as tecnologias e estratégias que podem potencializá-los.

Os atributos biológicos do solo se comportaram de modo diferenciado nos diferentes tratamentos de plantas de cobertura, épocas de amostragem e sistemas de manejo do solo.

Observaram-se interações significativas entre culturas de cobertura e épocas de amostragem para os atributos biológicos nitrogênio da biomassa microbiana ( $p < 0,01$ ) e razão nitrogênio da biomassa mi-

crobiana/nitrogênio total ( $p < 0,05$ ). Solos cultivados com braquiária consorciada com milho, capim-mombaça, sorgo e estilosantes tiveram valores de Nmic (Nitrogênio da biomassa microbiana) semelhantes nas três épocas de amostragem, enquanto solos com braquiária, guandu e milho tiveram valores de Nmic que variaram entre as épocas (Tabela 1). Quanto à razão Nmic/Ntotal (Tabela 1), verificou-se comportamento semelhante ao Nmic nos tratamentos com as culturas de cobertura, com exceção do milho, cujos valores não diferiram nas três épocas de amostragem (Silva et al., 2007).

**Tabela 1.** Nitrogênio da biomassa microbiana e razão nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio total (Nmic/Ntotal) do solo de acordo com as culturas de cobertura (CC), épocas de amostragem e sistemas de manejo do solo: plantio direto (PD) e preparo convencional (PC).

Culturas de cobertura	Pré-plantio das CC			Pré-plantio do feijoeiro			Floração do feijoeiro		
	PD	PC	Média	PD	PC	Média	PD	PC	Média
	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N kg de solo)								
Braquiária solteira	38,57	40,01	39,29AB	41,28	44,34	42,81A	16,27	34,10	15,23B
Braquiária consorciada	43,19	47,3	45,24A	34,41	43,45	38,93A	23,17	34,47	28,82A
Guandu	42,6	41,35	41,98A	42,48	35,72	39,10AB	18,94	14,76	16,85B
Milheto	41,33	37,85	39,59AB	47,18	43,76	45,42A	13,16	24,93	19,04B
Capim Mombaça	27,60	20,1	23,85A	40,73	34,41	37,57A	34,1	25,85	29,97A
Sorgo	23,68	12,54	18,11A	40,75	33,06	36,90A	17,89	14,66	16,27A
Estilosantes	23,13	17,54	20,34A	47,76	25,56	36,66A	16,28	22,85	19,57A
Média	34	31,00	32,50	42,00	37,00	39,5	2000	21,00	20,5
Mata nativa		95,68			70,95			69,5	
CV (%)		8,10			9,80			11,20	
	Nmic/Ntotal(%)								
Braquiária solteira	3,18	3,5	3,34AB	3,64	3,63	3,60A	1,48	1,21	1,34B
Braquiária consorciada	3,67	4,27	3,97A	2,61	3,63	3,12A	2,29	3,18	2,73A
Guandu	3,92	3,9	3,91 A	3,83	2,96	3,40AB	1,86	1,44	1,65B
Milheto	3,44	3,39	3,41A	4,02	3,82	3,92A	1,28	2,4	1,84A
Capim Mombaça	2,42	1,77	2,10A	3,71	2,97	3,34A	3,21	2,22	2,71A
Sorgo	2,31	1,18	1,74A	3,89	3,04	3,46A	1,68	1,36	1,52A
Estilosantes	2,16	1,57	1,86A	4,35	2,18	3,27A	1,51	2,03	1,77A
Média	3	2,8	2,9	3,7	3,1	3,4	1,9	1,98	1,9
Mata nativa		5,84			4,41			4,97	
CV (%)		8,6			9,7			12,2	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade; pré-plantio das plantas de coberturas: novembro de 2004; pré-plantio da cultura do feijoeiro: junho de 2005; floração do feijoeiro: agosto de 2005.

**Fonte:** extraído do trabalho de Silva et al., (2007).

O uso do estilosantes Campo Grande em consórcio com *Brachiaria decumbens*, propiciou benefícios econômicos advindos tanto do incremento da produtividade quanto da redução de custos com adubação nitrogenada, devido à fixação de nitrogênio. Um pasto consorciado com essas forrageiras permite

a produção de 235 kg de peso vivo ha<sup>-1</sup>, enquanto, o uso de *B. decumbens* em monocultivo produz 185 kg de peso vivo ha<sup>-1</sup> (Xavier, 2015).

Maito, (2020), em seu experimento com um consórcio de milho com estilozantes campo grande obteve resultado positivo, apresentando incremento de produção além de proporcionar aumento de matéria orgânica, controle de nematoides e ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, possibilitando incrementos para cultura da soja. Sendo que na primeira parcela teve incremento de 0,79 sacos, na segunda parcela por ser área próxima à cidade houve algumas perdas de espigas por furto e a área citada teve perdas de plantas por encharcamento, reduzindo assim sua produtividade. O Stand final dos tratamentos segue: Parcela 1 – Testemunha sem consórcio com estilozantes – 5 plantas por metro linear, perfazendo 55.555 plantas por ha. Parcela 2 – Com consórcio com estilozantes – 5,05 plantas por metro linear, perfazendo 56.111 plantas por ha. Parcela 3 – Testemunha sem consórcio com estilozantes – 5,3 plantas por metro linear, perfazendo 58.888 plantas por ha. Parcela 4 – Com consórcio com estilozantes – 5,15 plantas por metro linear, perfazendo 57.222 plantas por ha, (Figura 9).

**Figura 9.** Controle de colheita e média dos experimentos estilozantes, extraído do estudo realizado por Maito (2020).

Parcela	Descrição	MT				Peso inicial	Peso final	Peso líquido	kg/ha	sacos/ha	umidade	impureza	GRS	Umidade
		N° linhas colh	Es pac/linha	comp. Colhido	ha colhido									
1	sem estilozantes	16	0,9	920	1,32	34.730	43.220	8.490	6.408,51	106,81	13,4	1%	280	107,37
2	Com estilozantes	16	0,9	911	1,31	43.220	51.660	8.440	6.433,71	107,23	13	1%	269	108,16
3	sem estilozantes	36	0,9	288	0,93	51.660	58.750	7.090	7.598,17	126,64	12,7	1%	265	127,66
4	Com estilozantes	36	0,9	286	0,93	58.750	65.140	6.390	6.895,88	114,93	12,7	1%	266	116,06

Fonte: Maito, (2020, p.18).

De acordo com experimentos conduzidos em Rio Branco, AC, o estilozantes Campo Grande apresentou elevado vigor e produziu, em estandes puros, cerca de 12 t/ha/ano de matéria seca. A cobertura do solo foi de 84% e a altura média do estande de 54 cm, em avaliações realizadas entre dezembro de 1994 e janeiro de 1996. Quando avaliado em seis diferentes unidades de observação, implantadas em diversas localidades do Estado do Acre, o estilozantes Campo Grande apresentou bom vigor e adaptação que variou de boa a excelente, exceto naquelas localidades em que a drenagem do solo se mostrou deficiente (Andrade; Assis; Sales, 2010).

Estudo realizado por Moreira *et al.*, (2013), observaram que, no outono, o estilozantes ‘Campo Grande’ solteiro obteve as maiores concentrações de nitrogênio, seguido dos consórcios com as gramíneas em linha e a lanço. No inverno, apenas as gramíneas solteiras se diferenciam dos outros sistemas, com menores concentrações. Já na primavera, todos os sistemas forrageiros foram influenciados, com maiores concentrações de nitrogênio para o estilozantes ‘Campo Grande’ solteiro, seguido dos capins

'Xaraés' e 'Marandu' consorciado com o estilosantes 'Campo Grande' em linha. Esse resultado pode ser decorrente da menor competição das forrageiras, quando plantadas em linha. No entanto, no verão, os sistemas consorciados apresentaram concentrações semelhantes entre as formas de plantio. Em todas as estações estudadas, houve aumento expressivo na concentração de nitrogênio nos sistemas consorciados.

A literatura é escassa no que diz respeito à reação de *Stylosanthes* spp. a nematoides da espécie *R. reniformis*. Uma das poucas referências é que observaram a resistência de Estilosantes Campo Grande ao nematoide. Os resultados obtidos no presente trabalho ampliam o conhecimento sobre a resistência de *Stylosanthes* spp. ao nematoide reniforme, *R. reniformis*.

Resultado interessante foi publicado pela EMBRAPA, onde avaliação de cinco experimentos indicaram alta resistência dos genótipos de estilosantes, incluindo aqueles que compõem o estilosantes Campo Grande e a *Stylosanthes guianensis*, às principais espécies de fitonematóides que ocorrem em cultivos anuais no Brasil. Com base no exposto, o estilosantes torna-se uma alternativa muito interessante para utilização como forragem ou cobertura vegetal em sistemas de ILP, em áreas infestadas por fitonematóides. Cabe ressaltar o melhor desempenho do estilosantes em solos com baixos teores de argila, justamente aqueles em que predominam os nematoides-de-galhas (*Meloidogyne* spp.) e o nematoide-das-lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.), tornando seu uso muito atrativo em tais solos, quando infestados (Asmus; Fernandes; Sanches, 2023).

A agricultura sustentável é identificada como um desafio e uma oportunidade para o desenvolvimento rural. O uso de estilosantes, uma leguminosa forrageira, pode oferecer benefícios significativos para o solo, a água, a produção e o ambiente em geral. Contudo, os resultados da pesquisa destacam que os atributos biológicos do solo respondem de maneira diferenciada aos tratamentos de plantas de cobertura, épocas de amostragem e sistemas de manejo do solo. A interação entre as culturas de cobertura e as épocas de amostragem demonstra influência significativa nos atributos biológicos, como o nitrogênio da biomassa microbiana e a razão nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total. Os resultados indicam variações nos valores desses atributos em diferentes tratamentos, sugerindo que a escolha da cultura de cobertura pode impactar diretamente a saúde e a qualidade do solo.

O consórcio de estilosantes com *U. decumbens* é ressaltado pelos benefícios econômicos, incluindo melhoria na produtividade e redução de custos com adubação nitrogenada. Experimentos com o consórcio de milho e estilosantes mostram resultados positivos, embora condições específicas possam afetar a produtividade. A resistência do estilosantes a fitonematóides destaca sua viabilidade em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária, especialmente em solos com baixos teores de argila.

A pesquisa enfatiza a importância de sistemas integrados, como o consórcio triplo de cultura anual e forrageiras tropicais, para a produção sustentável, com benefícios como mitigação de emissões de gases do efeito estufa e redução de custos. Os resultados apontam a complexidade das interações entre práticas agrícolas sustentáveis, escolha de culturas de cobertura e influências nos atributos biológicos do solo, destacando a necessidade de abordagens integradas e adaptativas para alcançar a sustentabilidade agrícola. O impacto do sombreamento na fixação biológica de nitrogênio pelo estilosantes também é observado, sugerindo considerações importantes ao planejar sistemas de plantio em ambientes sombreados.

## Considerações finais

Os resultados obtidos evidenciam a capacidade do estilosantes em influenciar positivamente os atributos biológicos do solo, como indicado pelas interações significativas observadas nas análises de nitrogênio da biomassa microbiana e razão nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total. Essa contribuição para a saúde do solo representa um aspecto crucial para garantir a produtividade a longo prazo e a manutenção de ecossistemas agrícolas resilientes.

Além disso, revelou que o estilosantes, quando utilizado em consórcio com outras culturas, não só incrementa a produtividade como também reduz os custos relacionados à adubação nitrogenada. Essa dualidade de benefícios, tanto ambientais quanto econômicos, destaca o potencial do estilosantes como uma ferramenta multifuncional na conservação do solo. A adaptação do estilosantes em diferentes contextos regionais, evidenciada pelos experimentos conduzidos em diversas localidades, reforça a versatilidade dessa prática na promoção da conservação do solo em diferentes climas e condições edafoclimáticas.

Especificamente, a resistência do estilosantes a fitonematóides, particularmente em solos com baixos teores de argila, destaca seu papel estratégico na gestão integrada de pragas e na preservação da integridade do solo. Diante dessas considerações, recomenda-se enfaticamente a incorporação consciente do estilosantes como parte integrante das estratégias de conservação do solo. Seus benefícios abrangentes, que vão desde melhorias na saúde do solo até ganhos econômicos, posicionam o estilosantes como uma peça-chave para a construção de sistemas agrícolas sustentáveis e resilientes.

A compreensão aprofundada do potencial dos estilosantes na conservação do solo não apenas enriquece o corpo de conhecimento científico, mas também oferece direcionamentos práticos valiosos para os agricultores em busca de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Diante das análises apresentadas ao longo deste estudo sobre o uso de estilosantes na conservação do solo, é possível destacar que essa prática se revela não apenas uma alternativa promissora, mas uma estratégia fundamental para promover a sustentabilidade e preservar a qualidade dos solos agrícolas.

## Referências

ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. **Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração.** In: BUNGENSTAB, D. J. (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012, p.87-94. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/938915>. Acesso em: 25 abr. 2024.

ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. D. A. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411–418, 2009.

ANDRADE, C. M. S.; ASSIS, G. M. L.; SALES, M. F. L. **Estilosantes Campo Grande: leguminosa forrageira recomendada para solos arenosos do Acre.** (Circular Técnica, 55). EMBRAPA Acre. 2010, 12p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29003/1/Circular-tec.-55.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.

ASMUS, G. L.; FERNANDES, C. D.; SANCHES, M. M. **Reação de Genótipos de *Stylosanthes* spp. a Fitonematoides.** Dourados-MS. Embrapa Agropecuária Oeste. 2023 30p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1158147/1/BP-95-2023-CPAO-1.pdf>. Acesso: 11 dez. 2023.

BRAVIN, N. P.; FERRO, L. A. de B. C.; BONI, T. P.; DOMINGUES, C. G.; SILVA, C. A. da; MACHADO DIAS, J. R. Crescimento inicial do cafeeiro robusta submetido a consórcios culturais nas entrelinhas. **Agrarian**, v. 13, n. 48, p. 169–177, 2020. DOI: 10.30612/agrarian. v13i48.8337. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8337>. Acesso em: 25 abr. 2024.

CHAVES, J. da S.; BARAÚNA, A. C.; MOSQUEIRA, C. A.; GIANLUPPI, V.; SILVA, K. da; ZILLI, J. E. **Identificação E Ocorrência De Nodulação Em Espécies Nativas E Introduzidas De Estilosantes No Cerrado De Roraima.** 2013. 4 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/971284/1/1611.pdf>. Acesso em: 8 set. 2023.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. **Espécies Nativas Da Flora Brasileira De Valor Econômico Atual Ou Potencial: Plantas Para O Futuro: Região Norte.** Brasília, DF: MMA, 2022. (Série Biodiversidade; 53). 1452 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1144407/1/Especies-Nativas-da-Flora-Brasileira-de-Valor-Economico-Atual-ou-Potencial-Plantas-para-o-Futuro-Regiao-Norte-p1184a1198.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

CRUZ, E.; D.; DIAS-FILHO, M. B. **Espécies Nativa Da Flora Brasileira De Valor Econômico Atual Ou Potencial.** In: *Stylosanthes Guianensis Stylosanthes*. Brasília, DF: Ima Célia Guimarães, 2022. cap. Capítulo 5 - Forrageiras - Fabaceae, p. 953-957. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/manejo-euso-sustentavel/flora>. Acesso em: 5 nov. 2023.

DINIZ, W. P. S. **Aspectos Produtivos, Qualitativos E Frequência De Visitantes Florais Em Espécies De *Stylosanthes* ssp. Na Zona Da Mata Seca de Pernambuco.** 2020. 131 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2020. Disponível em: <http://tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/9149/2/Williane%20Patricia%20da%20Silva%20Diniz.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2023.

EMBRAPA. **Campo Grande Cultivar de estilosantes.** [publicação não seriada]. 2007, 2p. Disponível em: <https://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/naoseriadas/estilosantescampogrande.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2024.

EMBRAPA, **Estilosante Campo Grande.** Banco de imagens. 2007. fotografia. 2560x1712 pixels Disponível em: <https://cloud.cnpqg.embrapa.br/wp-content/igu/bancoimagens/EstilosantesCampoGrande/DSC04843.html>. Acesso em: 30 abr. 2024.

FIGUEIRÊDO, J. A. **Consórcio do java ou estilosantes com capim xaraés.** 2019. 55f.

Tese (Doutor em zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga –BA. 2019 Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppz/wp-content/uploads/2019/08/Tese-Abdias-corrigida-final-Entregar-programa.pdf>. Acesso em: 29 out. 2023.

FERREIRA, N. C. F.; DUARTE, J. R. M., OLIVEIRA; L. A. B. O.; SILVA, E. C. S.; CARVALHO, I. A. O papel das matas ciliares na conservação do solo e água. **Revista Biodiversidade**, v. 18, n. 3, p. 171-179. 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/index.php/biodiversidade/article/view/9416>. Acesso: 24.abr. 2024.

GUIMARÃES, L. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para estimativa da área foliar de leguminosas forrageiras.** 2020. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: [https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3357/1/tcc\\_larissamoraneypintoguimaraes.pdf](https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3357/1/tcc_larissamoraneypintoguimaraes.pdf). Acesso em: 25 abr. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. – São Paulo: Atlas, 2017, 128 p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7237624/mod\\_resource/content/1/Ant%C3%B4nio%20C.%20Gil\\_Como%20Elaborar%20Projetos%20de%20Pesquisa.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7237624/mod_resource/content/1/Ant%C3%B4nio%20C.%20Gil_Como%20Elaborar%20Projetos%20de%20Pesquisa.pdf). Acesso em: 29 set. 2023.

LIMA-FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; WUKLTKE, W. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação Verde E Plantas De Cobertura No Brasil: Fundamentos E Prática.** Embrapa, Brasília, DF, v. 1, ed. 2ª edição, p. 1-564, 2023.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. DE O. Disponibilidade E Recuperação De Nutrientes De Resíduos Culturais Em Solo Com Diferentes Texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1690–1702, 2015.

MAITO, N. L. **Consórcio Milho Safrinha Com Estilosantes Campo Grande em Sapezal - Mt.** 2020. 31f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) Faculdade da Amazônia –(FAMA), 2020. Disponível em: <http://repositorio.fama-ro.com.br/bitstream/123456789/203/1/NEIMAR%20TCC%20Final.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

MOREIRA J. F. M.; COSTA K. A. P.; SEVERIANO E. C.; SIMON G. A.; CRUVINEL W. S.; BENTO J.C. Nutrientes em cultivares de *Brachiaria brizantha* e estilosantes em cultivo solteiro e consorciado. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, n. 240, p. 9–13, 2013. <https://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922013000400004>.

NUNES, G. C.; NASCIMENTO, M. C. D. O N.; LUZ, G. A. C. A. **Vista Do Pesquisa Científica: Conceitos Básicos**. 2016. 8 p. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/390/527>. Acesso em: 23 set. 2023.

PEREIRA, R. D. S. **Desempenho e índices morfométricos in vitro de borregas em pastos de capim-tamani em monocultura e consorciado com feijão-guandu e estilosantes campo grande**. 2022. 23 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Zootecnia), Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2022. Disponível em: [https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/6770/1/RODRIGO\\_DA\\_SILVA\\_PEREIRA\\_TCC.pdf](https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/6770/1/RODRIGO_DA_SILVA_PEREIRA_TCC.pdf). Acesso em: 30 set. 2023.

ROCHA, H. G. S. **Características produtivas e nutricionais do estilosantes campo grande submetido a intervalos de cortes e adubação fosfatada**. 2019. 66 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal /CCAA) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019. Disponível em: <https://tede2.ufma.br/jspui/bitstream/tede/2873/2/Higo%20Gustavo%20da%20Silva%20Rocha.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2023.

SANTOS, M. T. M. **Parâmetros agronômicos de alface cultivada em associação com adubação verde avaliados por índices de vegetação**. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36154/1/Par%c3%a2metrosAgron%c3%b4micosAlface.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SCHULTZE-KRAFT, R.; COOK, B. G.; CIPRIÁN, A. Clearing confusion in *Stylosanthes* taxonomy. 2. *S. macrocephala* M.B. Ferreira & Sousa Costavs. *S. capitata* Vogel and *S. bracteata* Vogel. **Tropical Grasslands-Forrajões Tropicales**, n. 8, v., p. 250–262, 2020. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)250-262](https://doi.org/10.17138/tgft(8)250-262)

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 12, p. 1755–1761, 2007.

SILVA-NETO, A. J. D. **Aspectos morfológicos e produtivos de leguminosas forrageiras submetidas a diferentes frequências de corte**. 48 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE, 2020. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8905>. Acesso em: 5 nov. 2023.

SOUSA, A. S. OLIVEIRA, S. O.; ALVES, L. H. **A Pesquisa Bibliográfica: Princípios E Fundamentos**. 2021. 20p. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336>. Acesso em: 22 set. 2023.

SOUSA-NETO, M. S. D. **Comportamento Ingestivo De Borregas A Pasto De Capim-Tamani Consorciado Com Estilosantes Campo Grande E Feijão Guandu.** 2022, 25f. Trabalho de Conclusão de Curso TCC (Graduação em Zootecnia) Universidade Federal do Maranhão, Campus de Chapadinha. 2022. Disponível em: [https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/6764/1/MIGUEL\\_SERGIO\\_DE\\_SOUSA\\_NETO\\_TCC.pdf](https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/6764/1/MIGUEL_SERGIO_DE_SOUSA_NETO_TCC.pdf). Acesso em: 25 abr. 2023.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V.; SILVA, N. C. D. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista De Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2 p. 305-313, 2019. <https://doi.org/10.19084/rca.16016>

TRINDADE, B. **A Importância Da Conservação Da Biodiversidade Do Solo Na América Latina Para A Segurança Alimentar E Para A Promoção Do Objetivo De Desenvolvimento Sustentável 2.** 71f. Trabalho de conclusão de curso TCC - bacharel em Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia – MG. 2023. 71 f. 18-19p. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/38290/3/Import%c3%a2nciaConserva%c3%a7%c3%a3oBiodiversidade.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

XAVIER, P. B. **Recobrimento de sementes de estilosantes cv. Campo grande e soja perene cv. comum com micronutriente.** 2015. 143 f Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2015/05/Tese-Priscilla-Brites-Xavier.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.

## CAPÍTULO 3

### LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO DE PLANTAS DANINHAS SOB DIFERENTES PALHADAS NO CULTIVO DO ALGODÃO

**Lorena da Silva Campos<sup>1</sup>; Danilo Marcelo Aires dos Santos<sup>2</sup>; Michele Ribeiro Ramos<sup>3</sup>; Dara Chaves Paixão<sup>4</sup>; Talita Maia Freire<sup>5</sup>**

#### Introdução

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de algodão, atrás da Índia, China, Estados Unidos e Paquistão. O País é também o quarto maior exportador mundial, atrás de Estados Unidos, Austrália e Índia (USDA, 2018). A produção do algodão na safra de 2022/2023 foi de 4,62 milhões de t/ha de algodão em caroço, sendo 1,9 milhões de t/ha em pluma, com um aumento de 50% na produção (Conab, 2024).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de grande interesse econômico, sendo uma espécie bastante sensível a interferência de plantas daninhas, cujo período de desenvolvimento da cultura apresenta competição por fatores de crescimento (água, luz e nutrientes), a liberação de substâncias alelopáticas, a multiplicação de insetos-praga e doenças, que retardam o desenvolvimento da cultura que podem causar decréscimo da qualidade da fibra e dificultar a realização da colheita da cultura (Ballaminut, 2009).

Na cotonicultura, o controle de plantas daninhas é essencial, pois caso não controlada pode reduzir a produtividade desta cultura em mais de 90%. E mesmo com algum controle, estima-se que a produção mundial de algodão em pluma é perdida de 15 a 25%, devido a intervenção imposta pelas plantas daninhas (Beltrão, 2004).

No sistema de plantio direto (SPD) a utilização de plantas de cobertura com alta capacidade de produção de massa seca é uma característica essencial dessa forma de manejo, pois permite que o solo permaneça coberto durante todos os períodos de desenvolvimento da cultura (Ceretta *et al.*, 2002). Segundo Severino e Christoffoleti (2001), as plantas de cobertura reduzem o banco de sementes de plantas daninhas no solo, sendo uma prática importante a ser adotada no manejo integrado de plantas daninhas.

O controle de plantas daninhas pela palha pode ser superior a 90% com uma cobertura adequada proporcionada pelo SPD (Mateus, Crusciol, Negrisloi, 2004). Segundo Lamas e Staut (2006), que avaliaram diversas espécies para produção de palha nas condições de Mato Grosso, a cobertura de *Urochloa ruziziensis* R. Germ; Evrard, proporcionou uma redução significativa na população de plantas daninhas na cultura do algodoeiro.

1 Engenheira Agrônoma, assistente Agrícola MANSERV - Palmas, TO.

2 Docente do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Tocantins – Campus Palmas. E-mail: danilo.ma@unitins.br

3 Docente do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Tocantins – Campus Palmas.

4 Engenheira Agrônoma GDM.

5 Engenheira Agrônoma, Mestre em Agroenergia; SENAR -CE

A supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura é bastante conhecida e explorada, no entanto seja pouco pesquisada a importância relativa dos efeitos físicos, químicos e biológicos sobre esse fenômeno (Trezzi; Vidal, 2004).

A identificação das espécies de plantas daninhas presentes nos sistemas de plantio direto constitui uma prática importante para a minimização da dificuldade no controle, devido as características da própria planta ou devido a intensidade de infestação (Albuquerque *et al.*, 2013). Para um controle eficaz é necessário a identificação das espécies presentes na área em estudo, como também sua importância por meio dos parâmetros de frequência, densidade e abundância. Fazendo-se uso de um levantamento fitossociológico, aplicado periodicamente em uma dada área, pode indicar a tendência de oscilações de uma ou mais populações, e estas oscilações podem estar associadas às práticas agrícolas utilizadas (Oliveira; Freitas, 2008). Desta forma, este capítulo, mostra o estudo realizado com objetivo de identificar e quantificar as espécies de plantas daninhas presentes em períodos distintos na cultura do algodoeiro cultivado sob diferentes coberturas vegetais.

## **Material e métodos**

### **Área do estudo**

O experimento foi conduzido no Complexo de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS, localizado no Centro Agrotecnológico de Palmas, Rodovia TO – 050, Km 23 - Estrada Vicinal Km 08 - Zona Rural, coordenada 8849507,53 N / 787866,55 ML, no município de Palmas – TO.

Segundo a classificação climática global de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, com duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. A precipitação média é de 1.700 mm e a temperatura média de 26,7 °C. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Santos, 2018).

### **Delineamento experimental e instalação do experimento**

No primeiro ano de cultivo, antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo da área e realizada análise química (Tabela 1). O preparo do solo consistiu em uma aração (30 cm de profundidade), onde foram aplicados cerca de 3 t/ha de calcário seguida por grade niveladora. A área sob plantio direto estava com um ano de implantação, tendo sido cultivada soja no ano anterior.

**Tabela 1.** Características químicas de amostras do solo oriundas da área experimental, análises realizadas no Laboratório de Solos da UNITINS

Profundidade	Características Químicas									
	pH	Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	C.T.C. a pH 7,0	P (Mehlich)	K <sup>+</sup>	V	M
m	H <sub>2</sub> O	cmolc.dm <sup>3</sup>				mg.dm <sup>3</sup>			%	
0,0 - 0,20	4,85	1,53	3,75	0,22	1,58	5,33	1,63	20	29,69	12,2
0,20 - 0,40	5,05	1,75	3,38	0,18	1,85	5,24	1,77	40	35,39	8,86
0,40 - 0,60	4,52	0,7	3,58	0,39	0,73	4,31	1,35	10	16,85	34,9

pH (Potencial Hidrogeniônico); P (Fósforo); K (Potássio); Ca + Mg (Cálcio + Magnésio); Al (Alumínio); H + A (Hidrogênio + Alumínio); S (Enxofre); CTC (Capacidade de Troca de Cátions); V (Saturação por base); M.O (Matéria Orgânica).

**Fonte:** Laboratório Agroambiental (Unitins).

A semeadura das forrageiras crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth.) e milheto CV. 'ADR300' (*Pennisetum glaucum* L.) foi realizada em 22 de outubro de 2018, de forma mecanizada, com objetivo de alcançar uma população de 800 mil plantas/ha. Foram utilizadas cerca de 14 kg/ha de sementes de milheto e 8 kg/ha de crotalária durante o plantio. A semeadura da forrageira *Urochloa brizantha* CV. 'Marandu' foi realizada em 18 de dezembro de 2018, cujas sementes foram misturadas com fertilizante e colocadas na caixa de adubo da semeadora, utilizando 10 kg/ha de sementes (Figura 1).

**Figura 1. A:** Área do experimento depois do plantio; **B:** Algodão após 46 dias sob palhada de capim Marandu.



**Fonte:** Arquivo do autor.

Foi realizado o manejo das plantas daninhas nas entrelinhas com capina manual e quando necessário a aplicação de herbicida atrazine e glifosate. A dessecação das plantas de cobertura ocorreu no dia 25 de fevereiro de 2019, quando atingiram tamanho ideal para serem dessecadas para a formação da palhada, mediante a aplicação de herbicida Roundup WG em pó (2 Kg/ha) e posteriormente o corte com roçadeira mecanizada.

A semeadura do algodão FMT 975 WS ocorreu em 09 de abril de 2019 de forma mecanizada, com semeadora-adubadora, na densidade 6 plantas/m<sup>2</sup> no espaçamento de 0,80 m entre linhas, distribuído

juntamente 53 Kg/ha de  $P_2O_5$  de superfosfato simples. Aos 33 dias após a emergência (DAE), foi realizada a primeira adubação de cobertura com 75 kg/ha de cloreto de potássio e 44 kg/ha de sulfato de amônio. A segunda adubação de cobertura utilizou-se 35 kg/ha de sulfato de amônio.

Em 2 de agosto de 2019, foi aplicado desfolhante (750 ml/ha de Paraquat) para a colheita manual da pluma do algodão.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso (GOMES, 2000), composto por quatro manejos, sendo três tipos de cobertura e um manejo sem cobertura com três repetições, totalizando 12 parcelas (Tabela 2). Cada parcela foi constituída de 6,0 metros de comprimento e 3,20 metros de largura, totalizando 19,2 m<sup>2</sup>. A área útil da parcela foi representada por quatro linhas centrais, deixando-se 1,0 m em cada extremidade como bordaduras frontais.

**Tabela 2.** Descrições dos tratamentos utilizados no experimento.

<i>Tratamentos</i>	<i>Tipo de semeadura</i>	<i>Sistema de manejo</i>
T1	Semeadura Convencional (SC)	Algodão
T2	Pré- Semeadura (PSe)	<i>Urochloa</i> + Algodão
T3	Pré- Semeadura (PSe)	Crotalária + Algodão
T4	Pré- Semeadura (PSe)	Milheto + Algodão

Fonte: Próprio autor.

## Parâmetros avaliados

### Identificação das Plantas Daninhas

O levantamento de plantas daninhas foi realizado, conforme os períodos de maior competição das daninhas com a cultura do algodão que são 20, 40, 60 dias após a emergência. A determinação e quantificação das plantas daninhas foram feitas através de um gabarito (quadrado) de PVC, constituído de 0,5 m<sup>2</sup>, lançados aleatoriamente três vezes em cada parcela, totalizando 36 pontos de amostragens em cada período de avaliação (Figura 2).

**Figura 2.** Coleta de plantas daninhas na área amostrada



Fonte: Arquivo do autor.

As plantas daninhas foram seccionadas rente ao solo e levadas ao laboratório, onde foram identificadas, conforme o sistema APG IV (2016) segundo família, gênero e espécie (Figura 3).

**Figura 3.** Identificação das plantas daninhas coletadas na área experimental.



Fonte: próprio autor.

A respeito das características da cultura em cada período estudado, fez-se uma relação com períodos fenológicos da cultura (Tabela 3):

**Tabela 3.** Descrições dos estágios fenológicos da cultura do algodão.

Estágios fenológicos do algodão	
Período de avaliação (dias após a emergência da cultura)	Descrição
20	V2 (caracterizado pelo terceiro nó vegetativo)
40	VR primeiro ramo frutífero (simpodial)
60	R3 (crescimento da primeira maçã com 1,0 cm de diâmetro na primeira e início da frutificação)

Fonte: descrição fenológica extraído e adaptado de Câmara e Chiavegato, (2001).

## Levantamento fitossociológico

A dinâmica populacional foi avaliada por meio de parâmetros fitossociológicos baseados na frequência, frequência relativa, densidade, densidade relativa, abundância, abundância relativa, índice de valor de importância e importância relativa das espécies amostradas. Calculados os parâmetros fitossociológicos para cada espécie de acordo com metodologia proposta por Mueller-Domboi; Ellenberg (1974).

## Biomassa Seca das plantas daninhas

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft, pesadas antes e após secagem em estufa de aeração forçada a 65°C, por 72 horas para a determinação da biomassa seca da parte aérea de cada espécie.

### Análise descritiva

Os dados obtidos foram submetidos a análise descritiva dos parâmetros fitossociológicos de cada espécie dentro de cada tratamento.

### Resultados e discussão

#### Comunidade infestante

Observa-se na tabela 1 que no experimento houve uma diversidade de famílias de espécies infestantes, o qual pode ser explicado devido as condições ambientais do local do experimento, bem como ao banco de sementes presentes na área em estudo.

**Tabela 4.** Relação de plantas daninhas encontradas na área experimental, identificadas por espécie, família e nome popular referente as cinco avaliações no algodão.

Família- Subfamília	Nome científico	Nome popular
<b>Eudicotiledônea</b>		
Amaranthaceae	<i>Amaranthus deflexus</i> L.	Caruru rasteiro
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	Perpétua
Asteraceae	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	Falsa serralha
Convolvulaceae	<i>Grandifolia</i> (Dammer)	Corda de viola
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Amendoim-bravo
Leguminosae – Caesalpinioideae	<i>Senna obtusifolia</i> L.	Fedegoso
Leguminosae- Faboideae	<i>Neonotonia wightii</i> W.	Soja perene
Leguminosae – Mimosoideae	<i>Mimosa hirsutissima</i> (Mart.)	Dormideira
Malvaceae	<i>Sida acuta</i> Burm f.	Malva baixa
	<i>Watheria indica</i> L.	Malva branca
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Beldroega
Rubiaceae	<i>Richardia brasiliensis</i> Gomes	Poaia branca
	<i>Spermacoce verticillata</i> L.	Vassourinha de botão
	<i>Richardia grandiflora</i> C.	Quebra pedra
<b>Monocotiledônea</b>		
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L.	Trapoeiraba
Cyperaceae	<i>Cyperus distans</i> L.f.	Tiririca
Poaceae	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Capim carrapicho
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Capim colchão
	<i>Digitaria insularis</i> L.	Capim amargoso

Fonte: Angiosperm Phylogeny Group (2016).

A composição da comunidade infestante de plantas daninhas na área experimental foi de 19 espécies distribuídas em 13 famílias nas cinco avaliações na cultura do algodão. As comunidades de plantas daninhas variam sua composição florística de acordo com o tipo de solo e os tratos culturais. Tais fatores explicam encontrar uma maior ou menor densidade de plantas infestante no local da implantação da cultura (Duarte; Silva; Deuber, 2007).

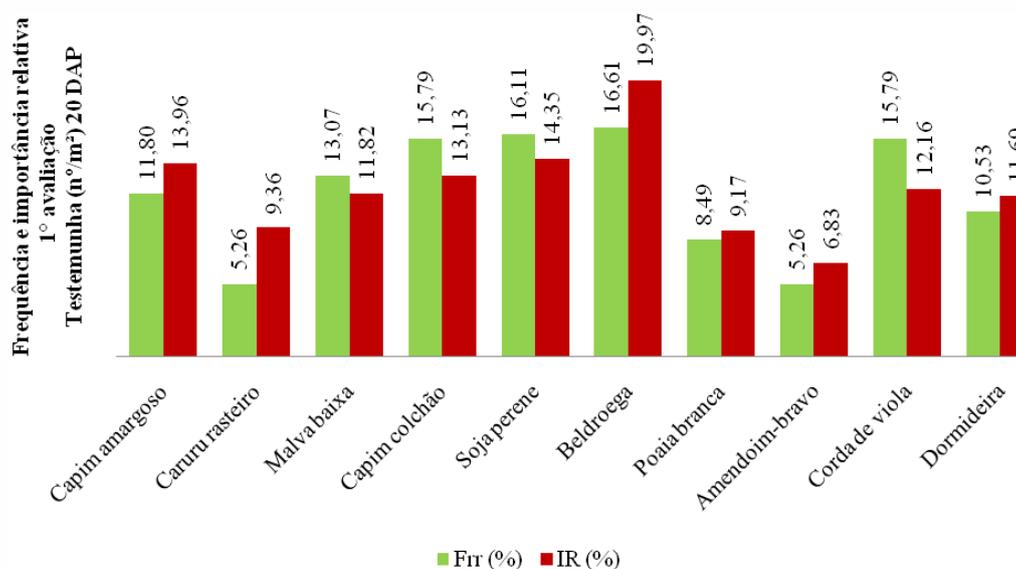
Dentre as eudicotiledôneas destacaram-se as famílias Rubiaceae com três espécies e Leguminosae com três espécies. Entre as monocotiledôneas destaca-se a família Poaceae com três espécies. Neste levantamento também foram encontradas as famílias Malvaceae, Amaranthaceae, Euphorbiaceae, Portulacaceae, Convolvulaceae, Commelinaceae, Asteraceae e Cyperaceae que apresentam um menor número de espécies.

Esses resultados também corroboram com estudos desenvolvidos por Marques *et al.* (2010), na cultura do feijão-caupi, e Cardoso *et al.* (2013), na cultura da mandioca, nas quais relatam que, entre as famílias identificadas, as Rubiaceae e Poaceae foram detentoras de maior número de espécies. Essas famílias são predominantes por apresentarem um alto potencial competitivo em relação a outras espécies (Leal; Vieira; Kato, 2006).

As Poaceae apresentam em torno de 44 espécies com importância como plantas daninhas, totalizando cerca de 37% das consideradas infestantes importantes em sistemas produtivos (SILVA, 2007). Segundo Piccolo (2007) as Asteraceae estão em segundo lugar, com 32 espécies e 26,9% das plantas consideradas infestantes, e as Malvaceae, embora com poucas espécies consideradas infestantes, são relevantes devido ao seu sistema radicular profundo, fibroso e resistente, sendo espécies amplamente adaptadas a sistemas de cultivo sem revolvimento do solo como o plantio direto.

Foi encontrada na área experimental uma comunidade de 119 indivíduos (Plantas/m<sup>2</sup>) na testemunha (sem palhada), agrupadas em 10 espécies (Figura 4). Para o índice de frequência relativa (Frr) as espécies que apresentaram maiores valores foram beldroega (*Portulaca oleracea* L.) (16,61%), seguida da soja perene (*Neonotonia wightii* W.) (16,11%), capim colchão (*Digitaria horizontalis* W.) (15,79 %) e corda de viola (*Grandifolia* D.) (15,79%). Sendo a espécie menos frequente o amendoim bravo (*Euphorbia heterophylla*) (5,26%). A importância relativa (IR) foi maior na beldroega (19,97%), sendo a espécie mais influente na comunidade de plantas daninhas. As espécies denominadas malva baixa (*Sida acuta* Burm f.), poaia branca (*Richardia brasiliensis* G.), dormideira (*Mimosa hirsutissima* Mart.) e vassourinha de botão (*Spermacoce verticillata* L.) não obtiveram resultados representativos para esses índices.

**Figura 4.** Frequência e importância relativa aos 20 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro sem palhada.

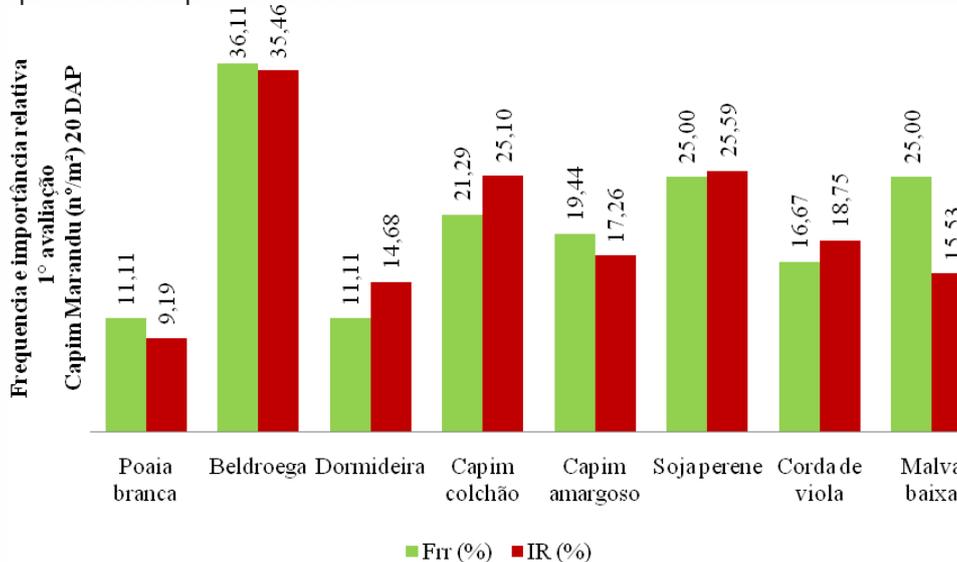


Fonte: Próprio autor.

Na palhada de *Urochloa brizantha* Cv. 'Marandu' aos 20 dias foram encontrados 52 indivíduos, onde teve predomínio a beldroega, capim colchão e soja perene (Figura 5). A beldroega (*Portulaca oleracea* L.) foi a espécie que apresentou valores superiores as demais infestantes, sendo frequência relativa de (36,11%) e IR (35,46%). A importância relativa é o índice que melhor expressa a participação das populações na comunidade de plantas.

Segundo Lorenzi (2000), a beldroega é uma espécie altamente prolífica e se adapta bem a solos férteis, o que pode explicar a presença dessas plantas na área. Em regiões produtoras de algodão no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Bahia, têm sido constatado o crescimento evidente do número de áreas com aumento significativo por infestação dessa espécie (Raimondi, 2009).

**Figura 5.** Frequência e importância relativa aos 20 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Capim Marandu.



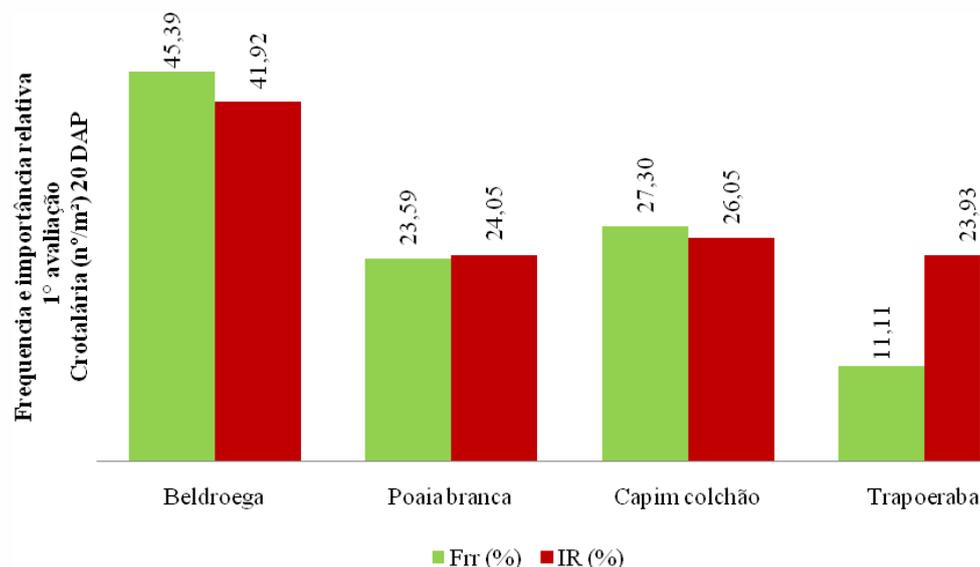
Fonte: Próprio autor.

Na palhada de *Crotalaria spectabilis* foi encontrado uma comunidade de 53 indivíduos, sendo as espécies predominantes beldroega (*Portulaca oleracea* L.), poaia branca (*Richardia brasiliensis* G.), capim colchão (*Digitaria horizontalis* W.) e trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.).

A espécie que apresentou maior valor de frequência relativa foi a beldroega (45,39%), seguida do capim colchão (27,3%). Ambas apresentaram os maiores valores para o outro índice avaliado. (Figura 6). Essas plantas apresentam alta capacidade de disseminação em condições propícias para o seu desenvolvimento.

A trapoeraba foi a espécie que apresentou menores valores de frequência e importância relativa entre as demais espécies infestantes. As espécies do gênero *Commelina* se caracterizam por serem plantas anuais, possuem hábito de crescimento semi-prostradas, e se propagarem por sementes e enraizamento do caule (Lorenzi, 2008).

**Figura 6.** Frequência e importância relativa aos 20 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de *Crotalaria*.

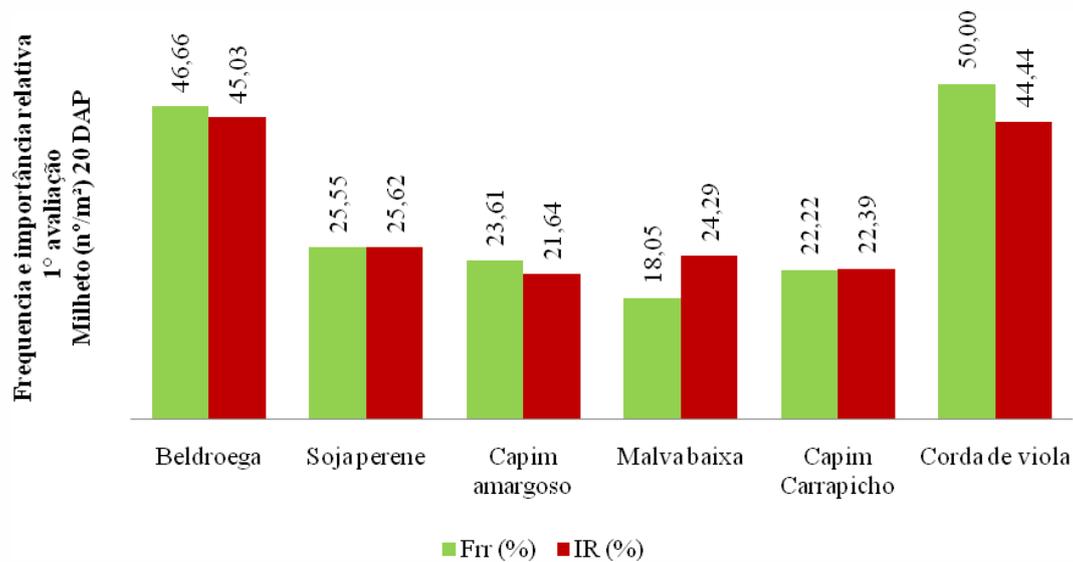


Fonte: Próprio autor.

Na palhada de Milheto Cv. 'ADR 300' as plantas daninhas predominantes foram beldroega (*Portulaca oleracea* L.), soja perene (*Neonotonia wightii* W.) e corda de viola (*Grandifolia* D.) em uma comunidade de 56 indivíduos. A beldroega foi a planta daninha que predominou em todos os índices avaliados, sendo IR (45,03%). Sendo as espécies capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), malva baixa (*Sida acuta* Burm. f.) e capim amargoso (*Digitaria insularis* L.) (Figura 7).

Nas comunidades de plantas daninhas, nem todas as plantas têm a mesma importância. Normalmente, há algumas poucas espécies que ocasionam a maior parte da interferência como capim carrapicho, corda de viola que são plantas que danificam tanto na qualidade da pluma, quanto dificultando a colheita do algodão. Portanto, a maioria dos danos no desenvolvimento e produção da cultura de interesse é imposta pelas plantas que dominam a área, devido a isso devem receber atenção maior durante o desenvolvimento da cultura.

**Figura 7.** Frequência e importância relativa aos 20 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Milheto.



Fonte: Próprio autor

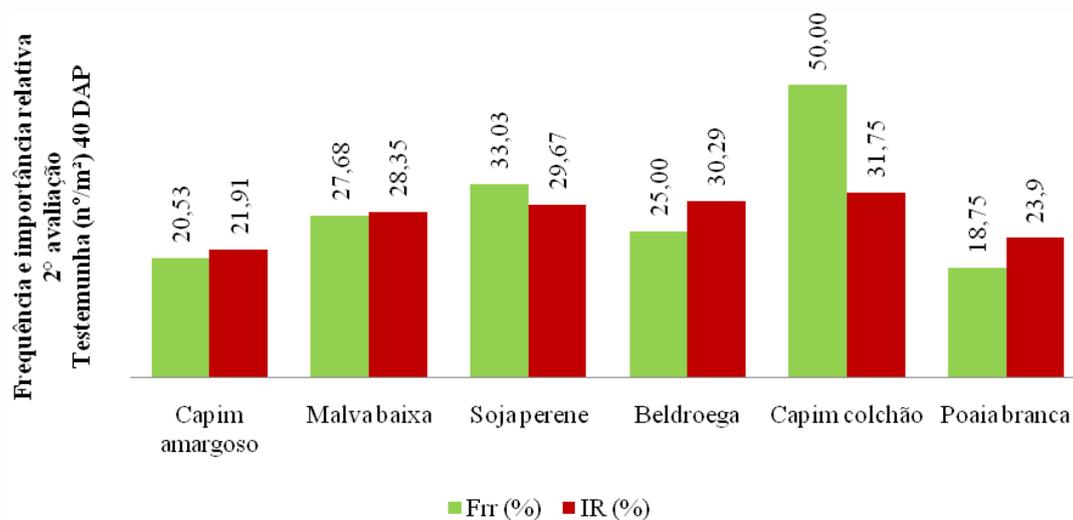
Durante os 20 dias de cultivo do algodão observou-se uma heterogeneidade de espécies de plantas daninhas, sendo a beldroega (*Portulaca oleracea* L.), a espécie que mais apareceu em todas as palhadas avaliadas, com alto IR, o que indica que esta espécie foi a que apresentou maior influência dentro da comunidade em relação as demais, sendo altamente adaptadas as condições edafoclimáticas da área e conseguindo desenvolver-se no período inicial de desenvolvimento do algodão. Em geral, esta é uma espécie considerada problemática em áreas de cultivo de algodão no cerrado porque apresenta alta competição influenciada pela fertilidade do solo (Santos et al, 2004).

Kissmann e Groth (2000) relatam em seu estudo com a cultura da soja que a beldroega é uma planta daninha de ciclo anual e possui ciclo relativamente curto em relação a cultura da soja. Ela pode desenvolver mais de uma geração durante um ano. Além de ser uma espécie muito competitiva nos estádios iniciais da soja, ela também serve de hospedeira para vírus e nematóides.

Aos 40 dias as espécies predominantes na área em estudo foram malva baixa (*Sida acuta*), beldroega (*Portulaca oleracea*), poaia branca (*Richardia brasiliensis*), soja perene (*Neonotonia wightii*), capim colchão (*Digitaria horizontalis*) e amargoso (*Digitaria insularis*), dentro de uma comunidade de 42 indivíduos (Figura 8). Na testemunha (sem palhada) a espécie que apresentou maior frequência relativa foi o capim colchão com 50%, seguida da beldroega com 33,03%. No índice de importância relativa o capim colchão apresentou (31,75%) superior as demais plantas daninhas presentes na área, sendo a menos importante o capim amargoso (21,91%).

Segundo Machado *et al.*, 2006, durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura, até os 45 dias após a emergência, o capim amargoso apresenta baixa capacidade de competição, sendo facilmente suprimida pelas demais espécies.

**Figura 8.** Frequência e importância relativa aos 40 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro sem palhada.

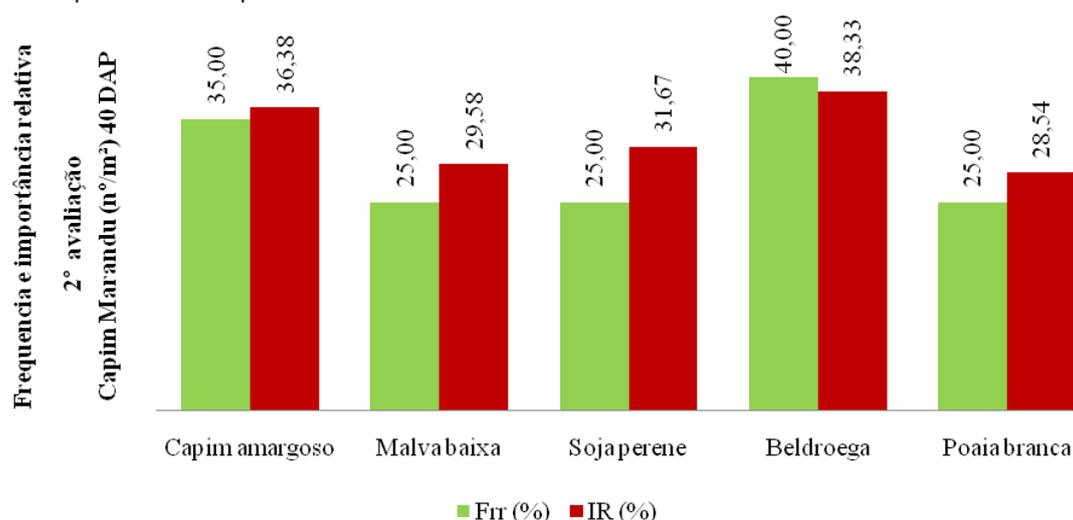


Fonte: Próprio autor.

Na palhada de capim Marandu apresentou uma comunidade de 30 indivíduos, a espécie que se destacou foi a beldroega (*Portulaca oleracea*), apresentando maiores valores nos índices avaliados. A espécie que apresentou menor importância relativa foi a poaia branca (*Richardia brasiliensis*) com 28,54%.

Deduz-se que aos 40 dias as espécies da família Poaceae estão apresentando valores altos de IR demonstrando que as espécies dessa família são altamente competitivas, além de serem espécies mais influentes dentro dos tratamentos com palhadas (Figura 9).

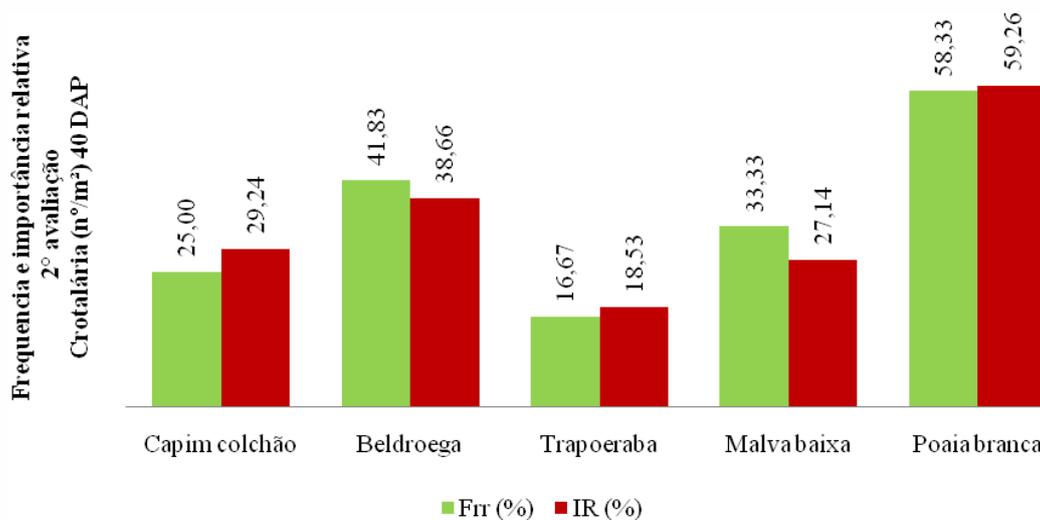
**Figura 9.** Frequência e importância relativa aos 40 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Capim Marandu.



Fonte: Próprio autor

Na palhada de Crotalária apresentou uma comunidade de 32 indivíduos, houve predominância em todos os índices avaliados a espécie poaia branca (*Richardia brasiliensis*), que apresentou frequência relativa de 58,33% e IR de 59,26%. Seguida da espécie beldroega (*Portulaca oleracea*) com IR de 38,66%. A trapoeraba (*Commelina benghalensis*) foi a espécie com menor IR de 18,53 (Figura 10).

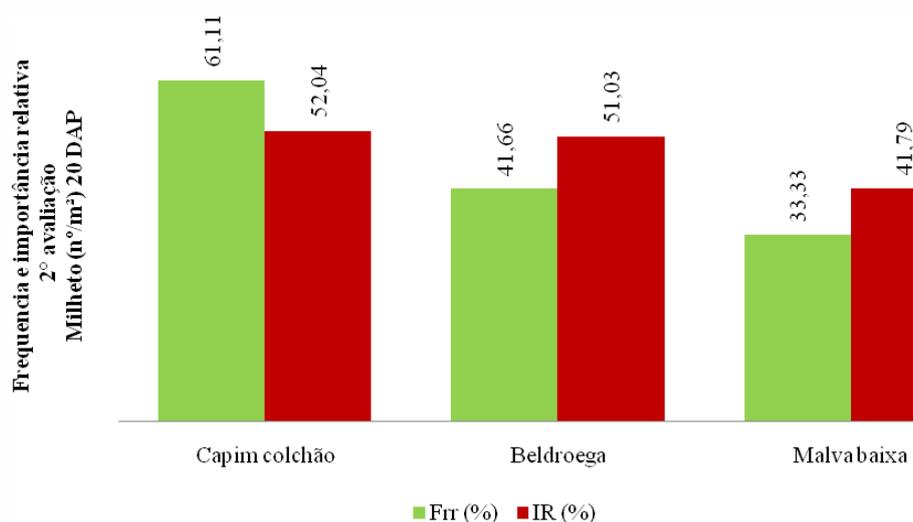
**Figura 10.** Frequência e importância relativa aos 40 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Crotalária.



Fonte: Próprio autor.

No tratamento com palhada de Milheto apresentou uma comunidade de 25 indivíduos, houve predominância de três espécies na área em estudo, apresentando valores altos de importância relativa e indicando que são espécies altamente competitivas dentro da comunidade infestante. A espécie que apresentou valores significativos em todos os índices avaliados foi o capim colchão (*Digitaria horizontalis*), com frequência relativa de 61,11% e IR de 52,04%, sendo uma espécie que apresenta ciclo de 90 dias, chegando a produzir 8.000 sementes durante um ano (Figura 11).

**Figura 11.** Frequência e importância relativa aos 40 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Milheto.



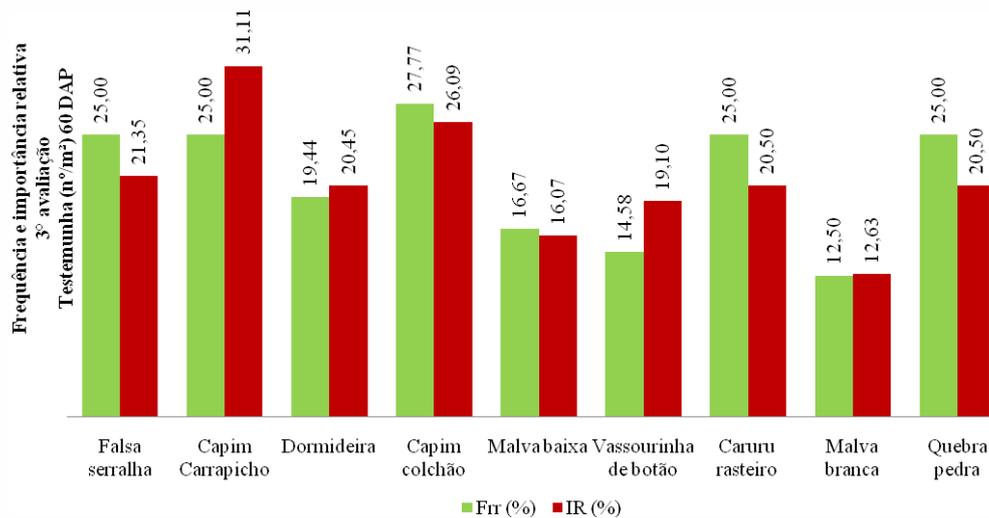
Fonte: Próprio autor.

Aos 60 dias de cultivo na testemunha (sem palhada) apresentou uma comunidade de 52 indivíduos, sendo presentes 9 espécies. O capim colchão (*Digitaria horizontalis*) apresentou maior resultado para frequência relativa (27,77%), sendo a segunda espécie mais importante na área (Figura 12). O capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*) foi a espécie com importância relativa de maior valor com (31,11%).

Essa espécie é muito frequente em áreas de cultivos anuais e perenes, sendo temida em áreas de cultivo de algodão, pois fixam irreversivelmente na fibra, causando sua desvalorização. (Lorenzi, 2000).

As espécies falsa-serralha (*Emilia sonchifolia*), dormideira (*Mimosa hirsutissima*), caruru rasteiro (*Amaranthus deflexus*) e quebra pedra (*Richardia grandiflora*) apresentaram valores de índice de valor de importância aproximados, sendo a malva branca (*Watheria indica*) menos frequente sobre essa palhada.

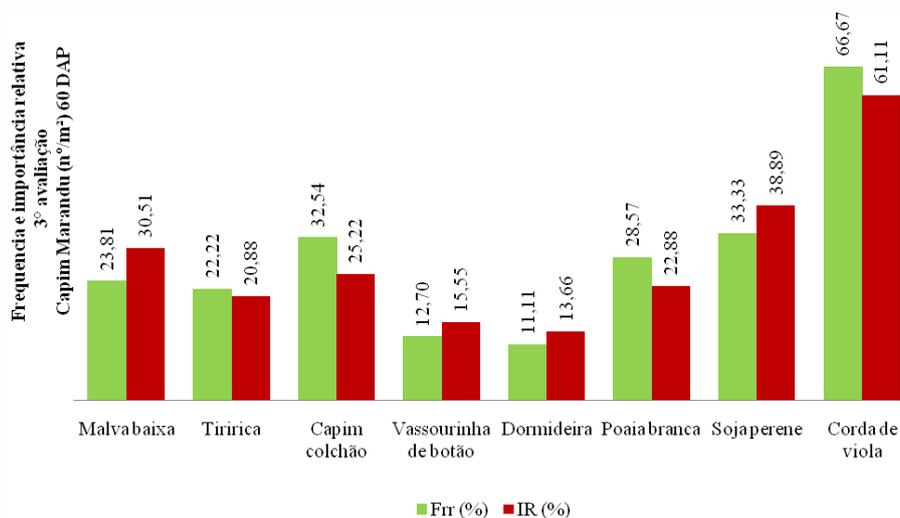
**Figura 12.** Frequência e importância relativa aos 60 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro sem palhada.



Fonte: Próprio autor.

Na palhada de capim Marandu aos 60 dias foram encontradas na área experimental uma comunidade de 31 indivíduos, distribuídas em 8 espécies. Sendo a corda de viola (*Grandifolia*) apresentou destaque em todos os índices avaliados. A espécie menos importante foi dormideira (*Mimosa hirsutissima*) com frequência relativa de (11,11%) e IR (13,66%) (Figura 13). Outra planta daninha que deve receber bastante atenção é tiririca (*Cyperus distans*), que causa problemas em áreas agrícolas, devido sua rede de tubérculos facilitarem sua disseminação na área.

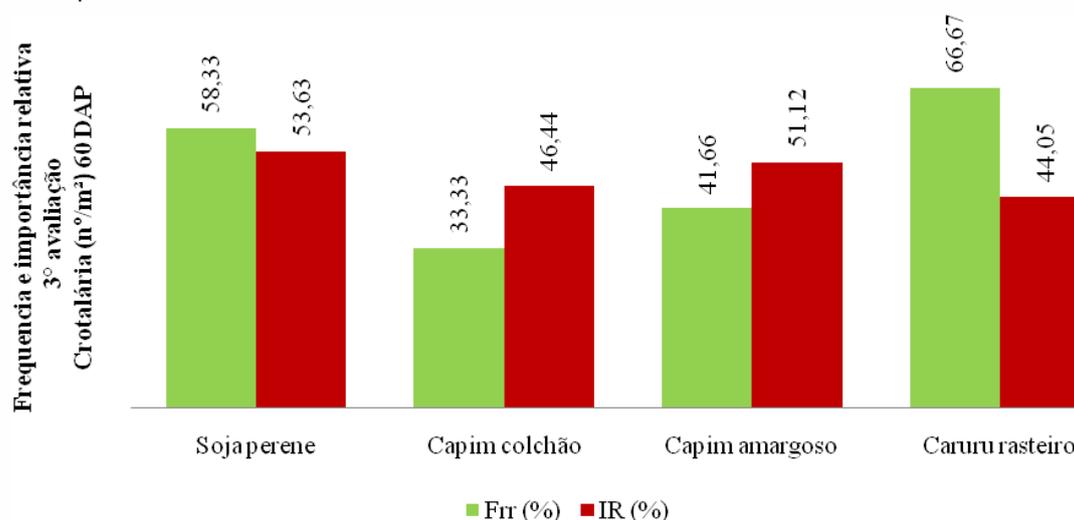
**Figura 13.** Frequência e importância relativa aos 60 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Capim Marandu.



Fonte: Próprio autor.

Na palhada de Crotalária houve predominância de 35 indivíduos, sendo que a comunidade apresenta oscilações no decorrer dos períodos de avaliações. O caruru rasteiro (*Amaranthus deflexus*) apresentou a maior frequência relativa entre as demais espécies presentes na área; entretanto, não sendo a mais importante (Figura 14). A soja perene (*Neonotonia wightii*) foi a espécie que apresentou maior importância relativa de (53,63%).

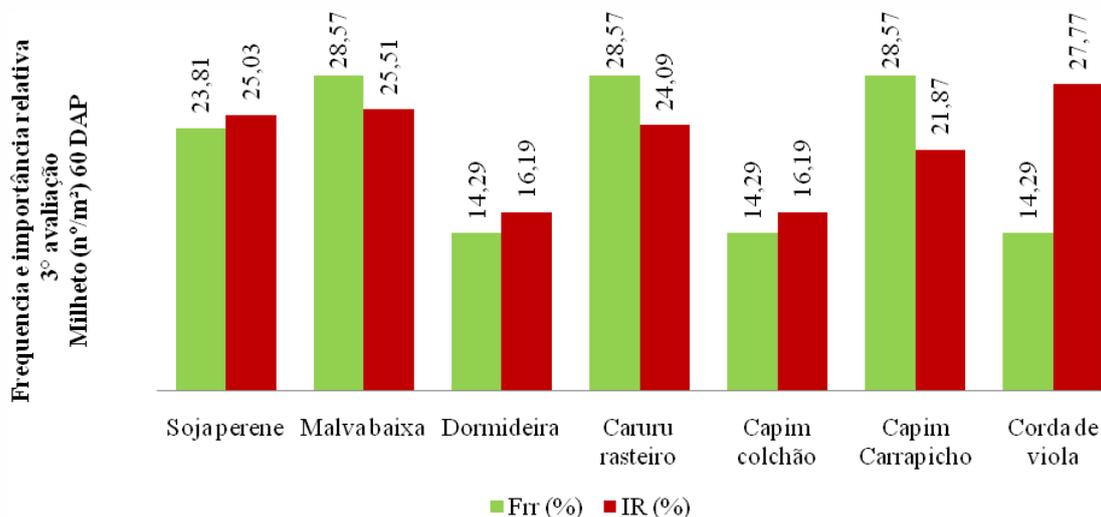
**Figura 14.** Frequência e importância relativa aos 60 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Crotalária.



Fonte: Próprio autor.

No tratamento com palhada de Milheto houve incidência de uma comunidade de 33 indivíduos, distribuídas em 7 espécies. Sendo os resultados para frequência relativa bem aproximados entre as espécies malva baixa, caruru rasteiro e capim carrapicho (28,57%). A espécie com maior importância foi a corda de viola com (27,77%), seguida da soja perene (25,03%). A espécie menos frequente e importante sobre esse palhada foram as espécies dormideira e capim colchão com (14,29%) e (16,19%) respectivamente (Figura 15).

**Figura 15.** Frequência e importância relativa aos 60 dias após o plantio (DAP) na cultura do algodoeiro com palhada de Milheto.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com as avaliações dos 20 aos 60 dias, observa-se diferença entre as palhadas avaliadas com relação aos níveis de infestação, sendo algumas espécies muito abundantes nos primeiros dias de cultivo como a *Portulaca oleracea* (beldroega) presente em todas as palhadas aos 20 dias. Já nos 60 dias de cultivo a família Poaceae mais representativa, sendo o *Digitaria horizontalis* (capim colchão) a espécie predominante na área. A beldroega ao longo do desenvolvimento da cultura foi suprimida por outras espécies de plantas daninhas que se mostraram mais competitivas e adaptadas ao local do que ela.

Dessa forma, é importante que as espécies mono e eudicotiledôneas sejam manejadas utilizando coberturas vegetais que promovam boa cobertura e maior acúmulo de massa seca sobre o solo. Em trabalhos desenvolvidos por Concenço, Salton e Ceccon (2011) observou-se que as plantas daninhas foram em torno de 50% menores em altura em área de sistema plantio direto em comparação com aquelas presentes em sistema convencional. Isso pode indicar que em sistemas conservacionistas, como o plantio direto, as sementes de plantas infestantes demoram mais para iniciar o processo germinativo, possivelmente devido a ausência de revolvimento do solo e a presença da palhada, que reduz o acesso das plântulas recém emergidas a incidência de luz.

**Tabela 5.** Produção média de biomassa seca (g/m<sup>2</sup>) de plantas daninhas predominantes nas cinco avaliações na cultura do algodoeiro FMT 975 WS.

ESPÉCIES DE COBERTURA	Biomassa seca (g/m <sup>2</sup> )				
	20	40	60	80	100
Testemunha (sem palhada)	131,33	23,44	111,70	42,96	77,06
Capim Marandu	67,71	19,14	74,71	27,75	41,48
Crotalária	70,54	14,93	32,44	27,36	55,03
Milheto	84,08	7,85	110,65	79,69	55,34

Fonte: próprio autor.

A produção de biomassa seca das plantas daninhas aos 20 dias de cultivo do algodoeiro, observa-se que na testemunha (sem palhada) foi a que apresentou maior valor de (131,33 g/m<sup>2</sup>), seguida do milho (84,08 g/m<sup>2</sup>). O capim Marandu apresentou performance favorável para suprimir a comunidade infestante, pois obteve redução da produção de biomassa seca das plantas espontâneas (67,71 g/m<sup>2</sup>) a níveis menos nocivos a cultura do algodão se comparada aos demais manejos. Dessa forma, o capim Marandu além de produzir grande quantidade de biomassa, e assim possibilitar o aporte de nutrientes para a cultura em sucessão, pode pelo efeito supressivo da vegetação espontânea auxiliar no manejo cultural de tais plantas.

A superfície do solo descoberta, além de receber maior quantidade de luz, também tem maior alternância de temperaturas, o que pode estimular a germinação de grande número de espécies. Trezzi e Vidal (2004) observaram reduções de 41% de infestação e de 74% de massa seca total de plantas daninhas comparando as áreas cobertas com culturas a testemunha descoberta. Contudo, a rápida acumulação de massa seca de uma planta resulta em aumento na demanda e, conseqüentemente, na absorção de nutrientes pelas raízes. A produção elevada de massa seca por plantas daninhas as tornam mais competitivas em relação a uma cultura.

Aos 40 dias observou-se que houve um decréscimo na produção de biomassa seca das plantas daninhas, sendo o maior valor na testemunha (23,44 g/cm<sup>2</sup>) e menor valor no milheto (7,85 g/cm<sup>2</sup>). Já aos 60 dias de cultivo houve a infestação da área com palhada de milheto (110,65 g/m<sup>2</sup>) em relação a testemunha (111,7 g/m<sup>2</sup>), sendo a pior cobertura vegetal avaliada neste período. A melhor cobertura vegetal que apresentou menor resultado para produção de biomassa de plantas daninhas foi a *Crotalaria spectabilis* que suprimiu as plantas daninhas em menos de 50% sua biomassa em relação a testemunha, seguida do capim Marandu. Para Timossi *et al.* (2007) o desenvolvimento inicial rápido do milheto suprime a infestação proporcionada pelas plantas daninhas, entretanto em condições climáticas favoráveis, a partir dos 110 DAS quando se encontra no final do ciclo da espécie, ocorre a infestação da área.

A diminuição na produtividade de matéria seca das plantas espontâneas na presença das leguminosas de cobertura deve-se aos efeitos de concorrência entre elas, ou seja, abafamento, competição por nutrientes, água, luminosidade e oxigênio e, possivelmente, também aos efeitos alelopáticos provocados pelas leguminosas cultivadas sobre as plantas espontâneas (Overland, 1966; Lorenzi, 1984; Medeiros, 1989).

Aos 80 dias de cultivo do algodoeiro observou-se que o milheto é responsável pela produção de 79,69 g/m<sup>2</sup> da produção de biomassa seca, sendo superior a testemunha, reduzindo 57% na área descoberta, devido a infestação da área pelas plantas daninhas. Observou-se que os tratamentos com palhada de capim Marandu e *Crotalaria* aos 80 dias apresentaram valores de produção de biomassa seca bem aproximados, sendo as coberturas vegetais com os melhores resultados para supressão de plantas daninhas nessa época. Nos 100 dias a testemunha foi a que apresentou maior valor de biomassa seca em relação as demais palhadas avaliadas, sendo os que proporcionaram menor produção de biomassa de plantas daninhas os tratamentos com palhada de capim Marandu e *Crotalaria*.

## Conclusões

A cobertura de capim Marandu apresentou boa supressão das plantas invasoras, promovendo maior cobertura do solo e proporcionando condições desfavoráveis para emergência de novas sementes, sendo a espécie vegetal mais indicada para o plantio em sistema de plantio direto sobre palhada na região do Tocantins para a cultura do algodoeiro sob essas condições climáticas. Recomenda-se utilizar o manejo químico para as espécies beldroega, capim colchão, malva baixa que foram mais frequentes na área, sendo os métodos de controle focados nessas espécies durante o desenvolvimento do algodão.

## Referências

- ALBUQUERQUE, J. A. A.; MELO, V. F.; SOARES, M. B. B.; FINOTO, E. L.; SIQUEIRA, R. H. S.; MARTINS, S. A. Fitossociologia e características morfológicas de plantas daninhas após cultivo de milho em plantio convencional no cerrado de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, n. 3, p. 313-321, 2013.
- BALLAMINUT, C. E. C. **Seletividade da cultura do algodoeiro aos herbicidas diuron, clomazone, trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.
- BELTRÃO, N. E. Manejo e controle de plantas daninhas em algodão. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.215-250.
- CÂMARA, G. M. de S.; CHIAVEGATO, E. J. **Algodão: Origem, plantas e perspectivas para a cultura**. In: O agronegócio das plantas oleaginosas: algodão, amendoim, girassol e mamona. Piracicaba, SP: ESALQ, 2001. p. 51-73.
- CARDOSO, A. D.; VIANA, A. E. S.; BARBOSA, R. P.; TEIXEIRA, P. R. G.; CARDOSO JÚNIOR, N. S.; FOGAÇA, J. J. N. L. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura da mandioca em Vitória da Conquista, Bahia. **Jornal Biociência**. Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1130-1140, Set./Out. 2013.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.26, n.1, p.163-171, 2002.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Algodão**. 2024. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/898-algodao>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- DUARTE, A. P. SILVA, A. C.; DEUBER, R. Plantas infestantes em lavouras de milho safrinha, sob diferentes manejos, no médio Paranapanema. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 2, p. 285- 291, 2007.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. Tomo III, 2.ed. São Paulo: BASF, 726p. 2000.
- LAMAS, F. M.; STAUT, L. A. **Algodoeiro em sistema plantio direto**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 8p.
- LEAL, E. C.; VIEIRA, I. C. G.; KATO, M. S. A. **Banco de sementes em sistemas de produção de agricultura com queima e sem queima no município de Marapanim**. Pará. B. Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, n. 1, p. 19-29, 2006.
- LORENZI, H. Inibição alelopática de plantas daninhas. In: FUNDAÇÃO CARGILL (Campinas, SP). **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 183-198.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas no Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 3 ed. Nova Odessa. 608 p. 2000.

LORENZI, H. **Plantas invasoras do Brasil: terrestres aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; FIALHO, C. M. T.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, M. S. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.4, p.641-647, 2006

MARQUES, L. J. P.; SILVA, M. R. M.; ARAÚJO, M. S.; LOPES, G. S.; CORREA, M. J. P.; FREITAS, A. C. R.; MUNIZ, F. H. Composição florística de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi no sistema de capoeira tritura-da. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, p. 953-961, 2010.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISLOI, E. Palhada de sorgo guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2004. 539-542p.

MEDEIROS, A. R. M. **Determinação de potencialidades alelopáticas em agroecossistemas**. Piracicaba: Esalq, 1989. 92 p. Tese de Doutorado.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Objetivos e Métodos da Ecologia da Vegetação**. Nova York: J. Wiley. 347 p. 1974.

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.

OVERLAND, L. O papel das substâncias alelopáticas na colheita. **Revista de Botânica Americana Colômbia**, v. 53, p. 423-432, 1966.

PICCOLO, G. Efeito alelopático de capim-limão e sabugueiro sobre a germinação de guanxuma. **Semina: Ciências Agrárias.**, v. 28, n. 3, p. 381-386, 2007.

RAIMONDI, M. A. **Determinação da curva dose-resposta e atividade residual de herbicidas aplicados em pré emergência utilizados na cultura do algodoeiro para o controle de *Amaranthus* e *Portulaca oleracea***. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

SANTOS, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 Brasília: EMBRAPA, 2018, 356 p.

SANTOS, B. M.; DUSKY, J. A.; STALL, W. M.; BEWICK, T. A.; SHILLING, D. G. Mecanismos de interferência de plantas daninhas (*Amaranthus hybridus*) e beldroega (*Portulaca oleracea*) em alface influenciados pela fertilidade do fósforo. **Ciência das plantas daninhas**, v.52, n.1, p.78-82, 2004.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.3, p.201-204, 2001.

SILVA, A. A. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 17-61.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.617-622, 2007.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condições de campo: II - Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.

## CAPÍTULO 4

### BENEFÍCIOS DOS MICRORGANISMOS NA REDUÇÃO DO USO DE INSUMOS NA AGRICULTURA

**Carlos Eduardo da Silva Oliveira<sup>1</sup>, Guilherme Carlos Fernandes<sup>2</sup>, William Cesar Nishimoto Ito<sup>3</sup>, Rodolfo de Niro Gazola<sup>4</sup>, Mariana Cristina Barbosa<sup>5</sup>, Vagner do Nascimento<sup>6</sup>, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho<sup>7</sup>**

#### Introdução

Uma questão que tem recebido muita atenção nos últimos anos é a contribuição dos microrganismos da rizosfera para o rendimento das culturas, o crescimento das plantas e os estresses bióticos e abióticos, não causando patogenicidade (Salvo *et al.*, 2018). Muitos gêneros de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) têm interações positivas com diferentes espécies vegetais, por exemplo, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Herbaspirillum*, *Pseudomonas* e *Bradyrhizobium* (Zeffa *et al.*, 2018). Estudos anteriores com BPCPs destacam sua capacidade de fixação de N<sub>2</sub> (Teixeira Filho; Galindo, 2019; Galindo *et al.*, 2020) fornecendo Fe (Sivasakthi; Usharani; Saranraj, 2014), mobilizando fósforo e zinco (Saravanan *et al.*, 2004), apresentando benefícios em relação ao crescimento - promoção pela síntese de fitohormônios das plantas, como giberelina, auxinas, etileno, citocininas, ácido salicílico, aumentando também a disponibilidade de nutrientes (Zaheer *et al.*, 2019).

As BPCPs promovem o crescimento das plantas na rizosfera ou nos tecidos vegetais. Foi relatado anteriormente que os BPCPs possuem múltiplos mecanismos de ação para o crescimento das plantas, como a produção e secreção de fitohormônios – como ácido indol-3-acético (IAA), citocininas, giberelinas e etilenos (Meza *et al.*, 2015), de reguladores de crescimento de plantas, ácido abscísico (Cohen *et al.*, 2008), óxido nítrico (Fibach-Paldi *et al.*, 2012) e poliamina (espermidina e espermina) (Cassan *et al.*, 2009), aumento da disponibilidade de nutrientes, solubilidade de fosfato, fixação biológica de nitrogênio (FBN) e eficiência de uso de nitrogênio (Teixeira Filho; Galindo, 2019), biocontrole de fitopatógenos e doenças (Corrêa; Bettiol; Sutton, 2010), proteção de plantas contra déficit hídrico e salino e elementos

1 Departamento de agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, 79980-000, Cassilândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. carlos.eduardo@uems.br/0000-0002-3894-9559.

2 Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, guilherme.carlos-fernandes@unesp.br.

3 Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, william.nishimoto@unesp.br.

4 Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, rodolfo.gazola@unesp.br.

5 Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, mariana.c.barbosa@unesp.br.

6 Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Dracena, São Paulo, Brasil. vagner.nascimento@unesp.br.

7 Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, mcm.teixeira-filho@unesp.br.

químicos tóxicos do solo (Cassán; Diaz-Zorita, 2016). Além de auxiliar na nodulação (FBN), aumenta a estabilidade das membranas celulares e reduz a taxa de abscisão foliar em condições de déficit hídrico (Silva *et al.*, 2019; Steiner *et al.*, 2020).

De modo geral, deve-se destacar a importância da simbiose entre fungos e raízes das plantas, conhecida como micorriza, os fungos micorrízicos estabelecem uma relação simbiótica com as raízes das plantas, aumentando significativamente a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, especialmente de elementos como fósforo e nitrogênio, que são essenciais para o crescimento da planta (Luginbuerl; Oldroyd, 2017). Além disso, esses fungos ajudam a proteger as plantas contra patógenos do solo, melhorando sua resistência a doenças.

Outro aspecto importante é a decomposição de matéria orgânica realizada pelos fungos, aumentando a liberação de nutrientes no solo, aumentando a disponibilidade para absorção das plantas (Poveda; Abril-Urias; Escobar, 2020). Além disso, os fungos micorriza arbusculares (FMA) e os fungos do gênero *Trichoderma* têm a capacidade de secretar enzimas que ajudam a quebrar compostos orgânicos e inorgânicos complexos presentes no solo, tornando os nutrientes mais solúveis e acessíveis para as raízes das plantas (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016; Battini *et al.*, 2017).

Como a capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, como o fosfato de cálcio, por meio da secreção de ácidos orgânicos, facilitando a absorção de fósforo pelas plantas. Da mesma forma, outros nutrientes essenciais, como o nitrogênio e o potássio, também podem ser mobilizados e disponibilizados às plantas por meio da atividade metabólica dos fungos no solo (Etesami; Jeong; Glick, 2021). Nesse contexto, esta revisão tem como objetivo mostrar os impactos da utilização de microrganismos benéficos sobre o crescimento e nutrição das plantas, como na redução do uso de insumos agrícolas.

## Uso de microrganismos na agricultura

Com o aumento populacional nos anos seguintes, o aumento da produtividade será necessário para leguminosas, cereais, hortaliças, frutas e tubérculos. Um dos principais desafios para o futuro inclui a proteção das plantas contra agentes patogênicos, o aumento do rendimento e a redução dos fertilizantes minerais sem expandir a área agrícola (Doley *et al.*, 2020). Tais necessidades são diferentes das práticas atuais, especialmente nos países em desenvolvimento, onde predominam os métodos convencionais entre os agricultores que visam otimizar o rendimento utilizando concentrações excessivas de produtos químicos (Gahukar, 2014). Do mesmo modo, as abordagens causaram muitas formas de poluição do solo e dos lençóis freáticos, com danos irreversíveis ao ecossistema (Singh *et al.*, 2017). Eles danificam singularmente os microrganismos do solo benéficos para o crescimento das plantas.

Numerosos microrganismos da rizosfera vegetal vivem sob o solo com uma diversidade funcional favorável às plantas. A rizosfera é cercada por microrganismos, como BPCPs, rizóbios, fungos micorrizas arbusculares (FMA), *Trichoderma sp.* e endófitos (Doley *et al.*, 2020). O equilíbrio entre as plantas e esses microrganismos contribui para um crescimento e desenvolvimento melhor e livre de doenças. Assim, as comunidades microbianas associadas à planta desempenham um papel significativo no crescimento das plantas, nutrição, ciclos de carbono e nitrogênio (Vacheron *et al.*, 2015). O rendimento das culturas é facilmente alterado pela interação entre os microrganismos e as plantas (Emmett *et al.*, 2017).

Os microrganismos da rizosfera são um recurso essencial para suprir as necessidades nutricionais e hídricas porque podem aumentar a fertilidade do solo e aumentar o rendimento das culturas. Espera-se que a presença proeminente de uma população bacteriana na rizosfera influencie muitos processos fisiológicos das plantas, uma vez que estão próximas às suas raízes (Barriuso *et al.*, 2008). Essas bactérias e alguns fungos benéficos pertencem a muitos gêneros. Durante a última década, muitos investigadores pesquisaram a capacidade destas bactérias como agentes de controle biológico (Ruiu, 2020).

A abundância de BPCPs perto da planta tem um papel significativo no aumento do potencial de crescimento de muitas culturas com importância agrícola (Santoyo *et al.*, 2016). Tal BPCPs estimula o desenvolvimento das plantas através de diversos mecanismos, acionando hormônios de crescimento vegetal, sistema antioxidante, produção de sideróforos e aumentando a capacidade nutricional das plantas (Kumar; Verma, 2018). Portanto, considerando os benefícios do BPCPs no sistema agrícola, eles poderão em breve se tornar uma estratégia alternativa aos produtos químicos sintéticos que estão prejudicando o ecossistema.

### **Contribuição das bactérias para o crescimento e nutrição de plantas**

Existem muitas bactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPB); enfatizamos os gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum* e *Burkholderia* (Teixeira Filho; Galindo, 2019). O crescimento das plantas é estimulado por uma ampla gama de mecanismos descritos de acordo com sua função, como a produção e secreção de fitohormônios – IAA, etileno, citocinina e giberelina (Meza *et al.*, 2015), o ácido abscísico atuando como regulador de crescimento vegetal (Cohen *et al.*, 2008), óxido nítrico (Fibach-Paldi *et al.*, 2012) e poliaminas (espermidina, espermina e cadaverina) (Cassán *et al.*, 2009). Eles também proporcionam aumento na disponibilidade de nutrientes (Hungria *et al.*, 2010), solubilidade de fosfato (Rosa *et al.*, 2020), solubilidade de zinco (Mumtaz *et al.*, 2017), solubilização de potássio (Das; Pradhan, 2016), metabólitos secundários (como os sideróforos) que atuam como transportadores de ferro, aumentando a sua disponibilidade nas raízes das plantas (Neilands, 1995), a FBN (Pankiewicz *et al.*, 2015) e a eficiência da utilização de N (Hungria; Nogueir; Araujo, 2016; Galindo *et al.*, 2020).

A inoculação de BPCPs em lavouras está crescendo em muitos países com trigo e milho (Marks *et al.*, 2015; Salvo *et al.*, 2018; Galindo *et al.*, 2020; Jalal *et al.*, 2022; Jalal *et al.*, 2023; Gaspareto *et al.*, 2023), girassol (Devi; Sreenivasulu; Rao, 2017), soja (Hungria; Nogueira; Araujo, 2013; Hungria; Nogueira; Araujo, 2015; Moretti *et al.*, 2020; Leite *et al.*, 2022); feijão (Peres *et al.*, 2016; Jalal *et al.*, 2021; Mortinho *et al.*, 2022), arroz (Sahoo *et al.*, 2014), cana-de-açúcar (Schultz *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2020; Rosa *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2023), sorgo (Santos *et al.*, 2017), pastagens (Hungria; Nogueira; Araujo, 2016; Sampaio *et al.*, 2021), batata (Devi *et al.*, 2016), tomate (Lima; Vogel; Fey, 2018), cebola (Hartmann *et al.*, 2010), melão (Seido *et al.*, 2019), alface (Moreira *et al.*, 2022; Oliveira, C. *et al.*, 2023a, Oliveira, C. *et al.*, 2023b) e rúcula (Gato *et al.*, 2023; Oliveira, T. *et al.*, 2023). Ensaios realizados há mais de 20 anos com condições de solo e clima distintas e culturas não leguminosas variadas verificaram que as BPCPs têm o potencial de aumentar a produtividade em até 30% (Fukami *et al.*, 2017).

Além de ser uma alternativa econômica, ecológica e sustentável, potencializa o uso de fertilizantes. Geralmente, o comportamento das BPCPs ocorre devido a três mecanismos principais: 1) síntese de compostos e fitohormônios específicos, 2) facilidade de obtenção de nutrientes do solo e 3) prevenção ou redução de pragas e doenças (Salvo *et al.*, 2018). O BPCPs apresenta interações associativas com as plantas divididas em dois tipos principais de associação: entre plantas e bactérias de vida livre ou rizomas e entre plantas e diazotróficos endofíticos (Teixeira Filho; Galindo, 2019).

As bactérias do gênero *Azospirillum* têm como principal característica colonizar plantas em diferentes ecossistemas, desde regiões árticas até regiões tropicais (Reed *et al.*, 2011). Bactérias como *Azospirillum brasilense* promovem o crescimento radicular através de IAA, giberelinas e citocininas, produzidas pela associação entre a planta e as rizobactérias (Tien; Gaskins; Hubbell, 1979). Além disso, essas bactérias são classificadas como diazotróficas, as quais têm a capacidade de capturar nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) e o fixar na região da rizosfera no solo para aquisição pelas plantas (Chueir; Hungria, 1997). Como foi observado em estudo sob a coinoculação de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium sp.* em feijão caupi proporcionou uma maior taxa de recuperação de nitrogênio para a cultura sucessora (trigo) sendo advinda da FBN sob a coinoculação destas bactérias no feijão caupi e no trigo (Galindo, F. *et al.*, 2021a).

A inoculação com *A. brasilense* melhorou o funcionamento do metabolismo fotossintético nas plantas de alface americana hidropônica, aumentando a assimilação de carbono, crescimento da parte aérea, acúmulo de massa seca nos tecidos foliares e radiculares, maior crescimento radicular e maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea e raízes (Oliveira *et al.*, 2023a). Esta bactéria ainda proporcionou o aumento da altura de planta, massa seca da parte aérea, número de grãos, produtividade de grãos, acúmulo e concentração de N na palhada e nos grãos de milho, feijão caupi e trigo sob a inoculação com *A. brasilense* (Galindo *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019; Galindo *et al.*, 2020; Galindo, F. *et al.*, 2021a; Galindo, F. *et al.*, 2021b).

As bactérias do gênero *Bacillus* e *Pseudomonas* são produtoras de fitohormônios, um efeito positivo para aumento do crescimento das plantas. De outro modo, os *Bacillus spp.* e *Pseudomonas spp.* regulam o crescimento das plantas aumentando os níveis de hormônios relacionados a produção e alongamento de células, como as auxinas e giberelinas, além de atuar como sinalizador do etileno no processo de abertura e fechamento estomático em condições de estresse (Teixeira Filho *et al.*, 2023). Estas bactérias também são associadas a solubilização de fosfatos, potássio e zinco, a principal via da liberação destes nutrientes indisponíveis para as plantas do solo, é através da ação dos ácidos orgânicos, os exsudatos solubilizantes produzidos por *Bacillus spp.* e *Pseudomonas spp.* envolvem os cinco seguintes ácidos orgânicos: glucônico, lático, acético, succínico e propiônico (Sivasakthi; Usharani; Saranraj, 2014; Das; Pradhan, 2016; Mumtaz *et al.*, 2017; Saeid; Prochownik; Dobrowolska-Iwanek, 2018).

Neste contexto foi observado que a inoculação com *Bacillus subtilis* e *A. brasilense* na cultura do milho aumentou a absorção de P, a eficiência do uso de P, a produtividade de grãos com uma redução de 67% na adubação fosfatada (Pereira *et al.*, 2020). Da mesma forma, *Pseudomonas tolaasii* mesmo sem a adubação fosfatada na cultura de milho e aumentou a absorção de P, o crescimento e a produtividade de grãos da cultura (Viruel *et al.*, 2014), na cultura da cana-de-açúcar foi possível reduzir a adubação fosfata

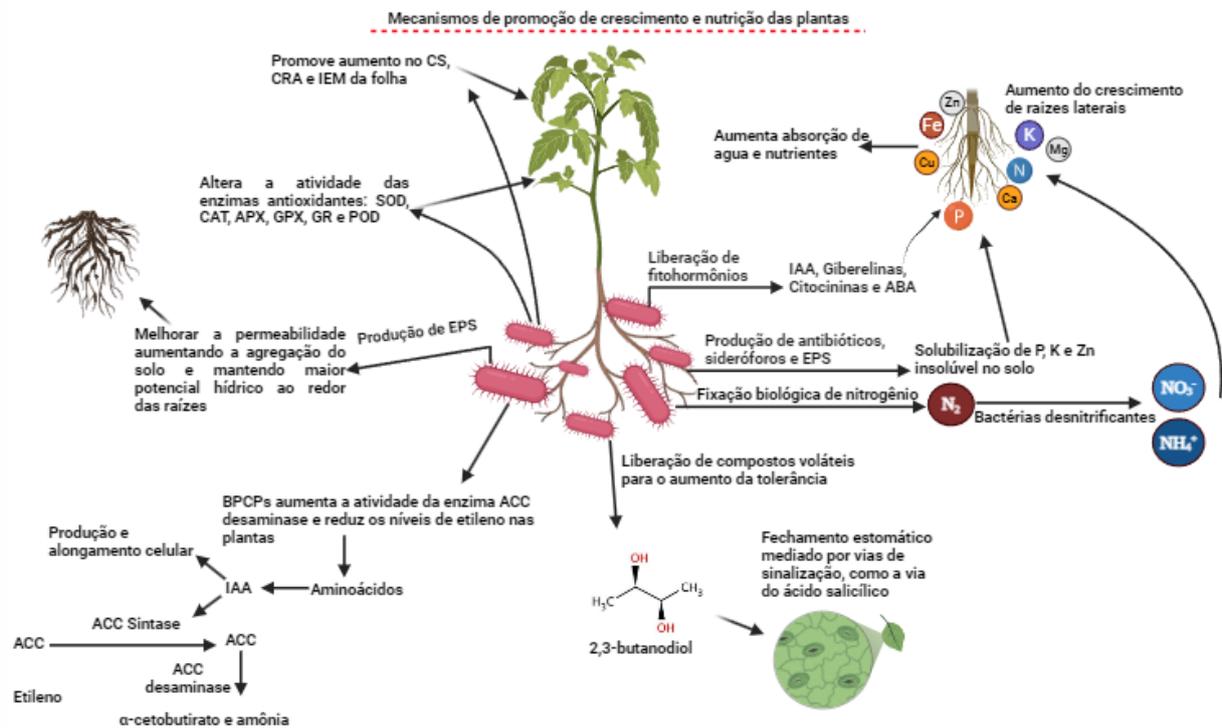
em até 75% com a inoculação de *B. subtilis* e *A. brasilense* via sulco de plantio (Rosa *et al.*, 2020; Rosa *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2023).

Como a inoculação de *B. subtilis* e *P. fluorescens* promoveu aumento da produtividade de grãos, número de grãos, massa de grãos, aumento na concentração de N, P e K na parte aérea de feijão, e proporcionou redução de 50% na adubação com N, P e K na cultura (Mortinho *et al.*, 2022). Como aumentou a altura de plantas, massa seca da parte aérea, número de grãos, a produtividade de grãos, o acúmulo de Zn na parte aérea e a biofortificação dos grãos com Zn de feijão, trigo e milho sob a inoculação com *P. fluorescens* *B. subtilis*, sugerido que o maior benefício das inoculações foi a solubilização de Zn no solo (Jalal *et al.*, 2021; Jalal *et al.*, 2022; Jalal *et al.*, 2023). Em uma cultura de milho com a inoculação de *B. subtilis* e *B. aryabhattai*, foi verificada a eficiência da bactéria em solubilizar fontes insolúveis de zinco, proporcionando maior crescimento vegetal, produtividade e valor nutricional dos grãos de milho (Muntaz *et al.*, 2017), *B. subtilis* em milho (Hussain *et al.*, 2015) e *Pseudomonas spp.* e *Bacillus spp.* em milho (Goteti *et al.*, 2013).

Em geral, a inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionou a maior massa fresca e seca da parte aérea, índice de clorofila foliar, número de folhas, massa seca das raízes, acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn e Mn na parte aérea e raízes das plantas de rúcula hidropônica (Oliveira, T. *et al.*, 2023). Verificou-se que a inoculação de *B. subtilis* aumenta a eficiência do uso da água e a concentração de vitamina C no tomate (Gül *et al.*, 2008), e a produtividade, o diâmetro e o peso do pimentão e do tomate (García *et al.*, 2004). Como proporcionou o aumento do número de folhas, produtividade de folhas, comprimento da parte aérea e raízes, a assimilação de carbono, fotossíntese e eficiência do uso da água em alface hidropônica inoculada com *B. subtilis* (Oliveira, C. *et al.*, 2023b).

O benefício dessas bactérias para o crescimento das plantas é visível principalmente porque elas podem ser fornecidas exogenamente com alta eficiência, os principais mecanismos foram expostos (Figura 1).

**Figura 1.** Promoção do crescimento, proteção contra estresse e mecanismos de nutrição de plantas em estudos de bactérias benéficas. IAA: ácido indol-3-acético, ABA: ácido abscísico, SOD: superóxido dismutase, POD: peroxidase, APX: ascorbato peroxidase, CAT: catalase, GPX: guaiacol peroxidase, GR: glutatona redutase, BPCPs: bactérias promotoras de crescimento de plantas, EPS: substâncias poliméricas extracelulares/exopolissacarídeos, ACC: 1-aminociclopropano-1-carboxilato, CS: condutância estomática, CRA: conteúdo relativo de água nas folhas, IEM: índice de estabilidade da membrana foliar.



## Contribuição dos fungos para o crescimento e nutrição de plantas

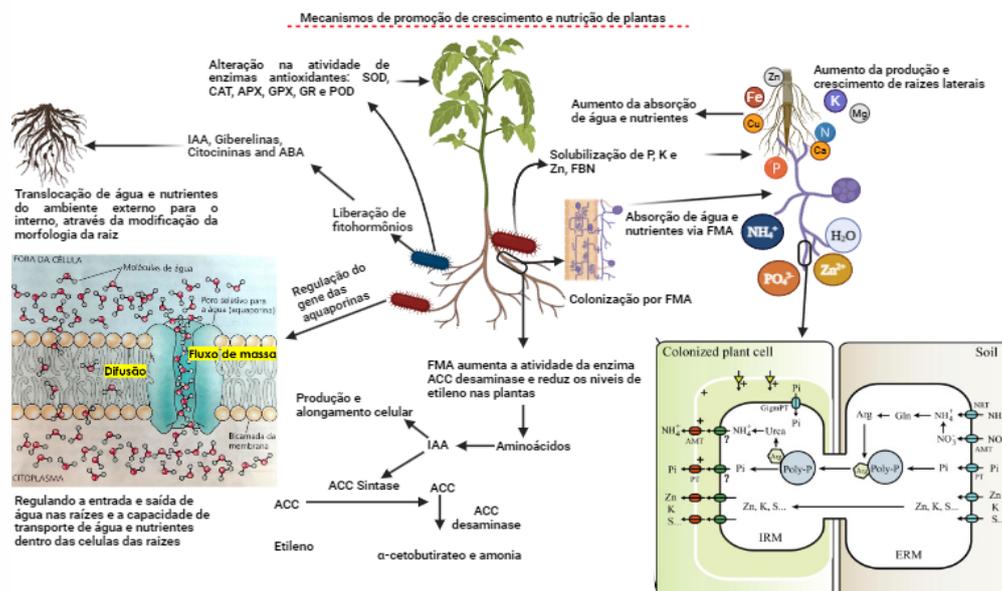
Alguns fungos são bem conhecidos pela sua associação com a agricultura como mitigadores de stress e estão a ser estudados e introduzidos nos sistemas agrícolas atuais. Porém, sua aplicação ainda requer mais estudos e avanços devido à sua baixa aceitação pelos agricultores, além de ser mais sustentável para futuros agrossistemas (Doley *et al.*, 2020). Dentre estes, os fungos do gênero *Trichoderma spp.* são assexuais, podem ser encontrados na maioria dos lugares, predominantemente como saprófitas na microflora do solo, na matéria orgânica e no ecossistema da rizosfera de quase todos os climas (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016).

Diferentes gêneros de *Trichoderma spp.* contribuem para o rendimento das culturas mediante muitos mecanismos que incluem microparasitas, antibióticos, crescimento do sistema radicular e da planta por estimular a produção de fitohormônios e induz a produção de compostos bioquímicos como fitoalexinas e proteínas de defesa para proteção da planta (Doley *et al.*, 2020). Uma das principais contribuições de *Trichoderma sp.* para o crescimento das plantas além da produção de fitohormônios é o aumento da fertilidade do solo (Shoresh; Harman; Mastouri, 2010). Quando realizada a inoculação via foliar de *Trichoderma harzianum* foi observado aumento da massa fresca e seca da parte aérea, massa

fresca e seca das raízes, comprimento da parte aérea e das raízes, número de folhas e índice de clorofila foliar em alface e rúcula hidropônica, conseguindo reduzir a aplicação de fertilizantes na solução nutritiva em 15% (Moreira *et al.*, 2022; Gato *et al.*, 2023).

Os principais mecanismos dos fungos para promover crescimento e nutrir as plantas foram expostos na Figura 2.

**Figura 2.** Promoção do crescimento vegetal, proteção contra estresse vegetal e mecanismos de nutrição vegetal em estudos de fungos benéficos. IAA: ácido indol-3-acético, ABA: ácido abscísico, SOD: superóxido dismutase, POD: peroxidase, APX: ascorbato peroxidase, CAT: catalase, GPX: guaiacol peroxidase, GR: glutatona redutase, ACC: 1-aminociclopropano-1-carboxilato, FBN: fixação biológica de nitrogênio, ERM: micélio extrarradical, IRM: micélio intrarradical, Gln: glutamina, Arg+: arginina,  $\text{NH}_4^+$ : amônio,  $\text{NO}_3^-$ : nitrato e FMA: fungos micorrízicos arbusculares.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Dentre os fungos benéficos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) do subfilo *Glomeromycotina* contribuem para o crescimento das plantas com uma interação benéfica com muitas plantas durante seu desenvolvimento, auxiliando-as a superar as deficiências de fósforo (Smith; Smith, 2011). O fósforo é um elemento essencial para o crescimento e diversos metabolismos das plantas, pois é fundamental para os ácidos nucleicos e fosfolipídios, que são necessários na forma de energia para realizar diversos processos fisiológicos na planta, porém no solo existe uma predominância de fosfato insolúvel, que impossibilita ser utilizado pelas plantas (Doley *et al.*, 2020).

Para superar a limitação do fosfato insolúvel no solo, as plantas envolvem-se em ramificações generalizadas, aumentando o comprimento da raiz e utilizando secreções de ácidos orgânicos e fosfatase para solubilizar o fosfato insolúvel do solo para conseguir disponibilizar este nutriente na solução do solo para as plantas, o FMA faz este papel mutualístico. Nesta mutualidade, a planta hospedeira é uma fonte de hidratos de carbono para o seu parceiro, essencial para o crescimento do fungo, e a nutrição é melhorada na planta hospedeira (Luginbuehl; Oldroyd, 2017).

Foi possível destacar que a inoculação com *Glomus sp.* e *Gigaspora sp.* proporcionaram aumento da produtividade de grãos, palhada, altura de plantas, número de grãos, acúmulo de N, P e K nas plantas de cevada mesmo sob redução de 50% na aplicação de fósforo, que sugere maior disponibilização de P via solubilização (Masrashi *et al.*, 2023). Como maior crescimento da parte aérea e raízes de mudas de tomate sob a inoculação com *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus deserticola*, *G. intraradices* e *G. versiforme* (Maaloum *et al.*, 2020). Em mudas de abacate foi observado aumento da altura de plantas, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e o acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas, resultado a inoculação isolada ou combinada de *Rhizoglomus fasciculatum* e *Mortierella sp.* (Tomayo-Velez; Osorio, 2016).

### **Associação de bactérias e fungos para o crescimento e nutrição de plantas**

Alguns estudos destacam que a inoculação combinada de fungos e bactérias proporcionam maior eficiência na simbiose e atividade mutualística entre os microrganismos e a planta hospedeira, com base nos mecanismos isolados relatados nos tópicos anteriores (Jeon *et al.*, 2003). Em estudo de campo com alcachofra inoculadas com um FMA (*Rhizophagus intraradices*) e uma bactéria (*Klebsiella varicola*) e sua interação proporcionaram aumento da produtividade de tubérculos, massa seca da parte aérea, palhada total, índice de área foliar, índice de clorofila foliar, absorção de N, P e K pelas plantas (Nacoon *et al.*, 2021) o mesmo foi reportado por Nacoon *et al.* (2020) sobre a interação da bactéria *K. varicola* com dois FMA (*R. intraradices* e *G. multisubtensum*) em plantas de alcachofra. A coinoculação de *B. subtilis*, *B. meheterium* com *R. intraradices* proporcionou aumento do número de vagens, número de grãos, produtividade de grãos e concentração foliar de P, K, Mg e B em soja (Leite *et al.*, 2022).

A coinoculação de *A. brasilense* com *T. harzianum* propiciou aumento da massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca das raízes, número de folhas e concentração foliar de N, P, K, Fe e Zn, como redução da concentração foliar de nitrato das plantas de rúcula hidropônica, conseguindo reduzir a aplicação de fertilizantes na solução nutritiva em 15% (Oliveira *et al.*, 2022; Gato *et al.*, 2023). Em alface sob a coinoculação da *A. brasilense* com *T. harzianum* foi observado aumento do volume das raízes, comprimento das raízes, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca das raízes, índice de clorofila foliar, produtividade de folhas e acúmulo de N, P, K, Ca, Zn, Cu e Mn na parte aérea das plantas, conseguindo reduzir a aplicação de fertilizantes na solução nutritiva em 15% (Moreira *et al.*, 2022). Como a coinoculação de *T. asperellum* com *B. subtilis* promoveu maior crescimento das plantas de capim Marandu, e proporcionou redução da adubação com N, P e K em 25, 50 e 50%, respectivamente (Costa *et al.*, 2022). Tudo isso, demonstrou o potencial do uso combinado de microrganismos (fungo com bactérias) para aumentar o crescimento e melhorar a nutrição de todas as espécies de plantas cultivada, como no aumento da eficiência da absorção de nutrientes pela combinação destes microrganismos e em consequência reduzir o uso de fertilizantes minerais, culminando para uma agricultura com maior sustentabilidade.

## Conclusões e perspectivas futuras

Existem muitos obstáculos para que as plantas atinjam altos rendimentos nos sistemas agrícolas atuais. Dentre estes, destaca-se os prejuízos causado pelo uso excessivo de insumos agrícolas, os estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (seca, inundação, salinidade por excesso da aplicação de fertilizantes), inundações e calor (efeito estufa), que afeta o crescimento e a produtividade das plantas, causando danos significativos à produção global de alimentos.

O uso indiscriminado de insumos na produção agrícolas (fertilizantes minerais e agroquímicos) prejudica amplamente os ecossistemas, desde as condições do solo e da água até a flora e fauna nativa. Isolar bactérias e fungos benéficos são necessárias para o desenvolvimento de inoculantes novos e cada vez mais eficientes para a agricultura. Investimentos em novas tecnologias que aumentem a eficiência da inoculação e a taxa de sobrevivência das bactérias e fungos aderidas às sementes e/ou solo, entre outros fatores, são essenciais para o sucesso desta tecnologia.

As práticas de inoculação com bactérias e fungos benéficos na agricultura atual, é irreversível, tem menor impacto ao meio ambiente e menor agressividade em relação aos fertilizantes minerais, contribuindo para o aumento da sustentabilidade produtiva nos próximos anos e reduzindo custos de produção. Portanto, atualmente o foco em muitas estratégias em desenvolvimento sugere que a aplicação da população microbiana para a futura produção global de alimentos também será útil para o meio ambiente, obtendo elevados rendimentos sem perdas ambientais.

## Referências

- BARRIUSO, J.; B.R. J.A. SOLANO, LUCAS, A.P. LOBO, A. GARCÍA-VILLARACO, F.J.G. MAÑERO. Ecology, genetic diversity and screening strategies of plant growth promoting rhizobacteria. *In*: Ahmad, I.; Pichtel, J.; Hayat, S. (org). **PlantBacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth**. Nova Jersey: Editora Wiley. 2008. cap. 1, p. 1-17.
- BATTINI, F. *et al.* Facilitation of phosphorus uptake in maize plants by mycorrhizosphere bacteria. **Scientific Reports**, Londres, v.7, n.4686, p.1-11, jul. 2017.
- CASSÁN, F. *et al.* Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. **European Journal Soil Biology**, Issy les Moulineaux Cedex, v.45, n.1, p.12-19, jan./fev. 2009.
- CASSÁN, B.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum sp.* in current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.103, n.1, p.117-130, dez. 2016.
- COHEN, A.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. *Azospirillum brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in *Arabidopsis* plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.54, n.1, p.97-103, out. 2008.
- CONTRERAS-CORNEJO, H. A. *et al.* Ecological functions of *Trichoderma spp.* and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v.92, n.4, p.1-17, abr. 2016.
- CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Biological control of root rot (*Pythium aphanidermatum*) and growth promotion by *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 and *Bacillus subtilis* GB03 in hydroponic lettuce. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.36, n.4, p.275-281, dez. 2010.
- COSTA, S. D. A.; CARDOSO, A. F.; CASTRO, G. L. S.; SILVA JUNIOR, D. D.; SILVA, T. C.; SILVA, G. B. Co-Inoculation of *Trichoderma asperellum* with *Bacillus subtilis* to promote growth and nutrient absorption in marandu grass. **Applied and Environmental Soil Science**, Londres, v.2022, n.3228594, p.1-13, dez. 2022.
- DAS, I.; PRADHAN, M. Potassium-Solubilizing Microorganisms and Their Role in Enhancing Soil Fertility and Health. *In*: MEENA, V. *et al.* (org.) **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**. New Delhi: Editora Springer. 2016. Cap. 11, p. 281-289.
- DEVI, A. R. *et al.* 2016. Application of *Bacillus spp.* for Sustainable Cultivation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) and the Benefits, 185-213, in: Islam, M.T., M.R.P. Pandey, C.K.J.A. Aeron. *Bacilli and agrobiotechnology*, ed1. editora Springer.
- DEVI, S.; SREENIVASULU, Y.; RAO, K. Protective role of *Trichoderma logibrachiatum* (WT2) on Lead induced oxidative stress in *Helianthus annuus* L. **Indian Journal of Experimental Biology**, New Delhi, v.55, n.1, p.235-241, Abr. 2017.

DOLEY, K.; TERKAR, A.; BORDE, M. Applications of Microorganisms in Agriculture. In: P.K. Arora. (ed.), **Microbial Technology for Health and Environment, Microorganisms for Sustainability**. 2020.

EMMETT, B. D. *et al.* Plant phylogeny and life history shape rhizosphere bacterial microbiome of summer annuals in an agricultural field. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v.8, n.1, p.1-16, Dez. 2017.

ETESAMI, H. *et al.* Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and silicon to P Uptake by plant. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.12, n.1, p.1-29, Jul. 2021.

FERNANDES, G. C. *et al.* Technological quality of sugarcane inoculated with plant-growth-promoting bacteria and residual effect of phosphorus rates. **Plants**, Basel, v.12, n.14, p.1-14, Jul. 2023.

FIBACH-PALDI, S. *et al.* Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**, Oxford, v.326, n.2, p.99-108, Set. 2012.

FUKAMI, J. *et al.* Phytohormones and induction of plant stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB Express**, Heidelberg, v.7, n.153, p.1-13, Jul. 2017.

GAHUKAR, R.T. Potential and utilization of plant products in pest control. In: ABROL, D. P. (Org) **Insect pest management: current concepts and ecological perspectives**. New York: Edtiroa Elsevier Inc., 2014. Cap. 8, p.125-139.

GALINDO, F.S. *et al.* Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, Madison, v.111, n.4, p.1985-1997, Jul. 2019.

GALINDO, F.S. *et al.* Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific Reports**, Londres, v. 10, p. 6160, 2020.

GALINDO, F.S. *et al.* Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium sp.* and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.157, n.1, p.1-13, Set. 2021a.

GALINDO, F.S. *et al.* Zinc use efficiency of maize-wheat cropping after inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.120, n.2, p.205–221, Mai. 2021b.

GARCÍA, J.A.L. *et al.* Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. **Agronomie**, v.24, n.4, p.169-176, Mai. 2004.

GASPARETO, R. N. *et al.* Inoculation with plant growth-promoting bacteria and nitrogen doses improves wheat productivity and nitrogen use efficiency. **Microorganisms**, Basel, v.11, n.1046, p.1-14, Jul. 2023.

GATO, I. M. B. *et al.* Nutrition and yield of hydroponic arugula under inoculation of beneficial microorganisms. **Horticulture Environment and Biotechnology**, Suwon, v.63, n.3, p.1-12, Ago. 2023.

GOTETI, P. K. *et al.* Prospective zinc solubilising bacteria for enhanced nutrient uptake and growth promotion in maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Microbiology**, v.2013, n.1, p.1-8, Jun. 2013.

GÜL, A. *et al.*, Effects of nutrition and *Bacillus amyloliquefaciens* on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.6, n.3, p.422-429, Set. 2008.

HUNGRIA, M. *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazilian. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.331, n.1, p.413-425, Jan. 2010.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, n.1, p.791-801, Jan. 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R.S. Soybean seed coinoculation with *Bradyrhizobium spp.* and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, Grendale, v.6, n.2, p.811-817, Abr. 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria spp.* with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.221, n.2, p.125-131, Abr. 2016.

HUSSAIN, A. *et al.* Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v.52, n.4, p.915-922, Set. 2015.

JALAL, A. *et al.* Common Bean Yield and Zinc Use Efficiency in Association with Diazotrophic Bacteria Co-Inoculations. **Agronomy**, Basel, v.11, n.959, p.1-20, Mai. 2021.

JALAL, A. *et al.* Agronomic biofortification and productivity of wheat with soil zinc and diazotrophic bacteria under tropical savannah. **Crop & Pasture Science**, Victoria, v.73, n.8, p.817-830, Ago. 2022.

JALAL, A. *et al.* Nano-zinc and plant growth-promoting bacteria improve biochemical and metabolic attributes of maize in tropical Cerrado. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.13, n.1, p.1-21, Jan. 2023.

JEON, J. S. *et al.* Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. **The Journal of Microbiology**, Seoul, v.41, n.4, p.271-276, Dez. 2003.

KUMAR, A., VERMA, J. P. Does plant—microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review. **Microbiology Research**, Basel, v.207, n.1, p.41-52, Mar. 2018.

LEITE, R. C. *et al.* Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean co-inoculated with *Bacillus strains* and *Arbuscular mycorrhizal* fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.46, n.1, p.1-20, Abr. 2022.

LIMA, N.S.A.; VOGEL, G. F.; FEY, R. Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.5, n.4, p.81-87, Abr. 2018.

LUGINBUEHL, L. H.; OLDROYD, G. E. D. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants. **Current Biology**, Maryland Heights, v.27, n.17, p.952–963, Set. 2017.

MAALOUM, S. E. *et al.* Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphate-Solubilizing Bacteria Consortia Associated with Phospho-Compost on Phosphorus Solubilization and Growth of Tomato Seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.51, n.5, p.622–634, Mai. 2020.

MARKS, B. B. *et al.* Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, Heidelberg, v.5, n.6, p.71-82, Nov. 2015.

MEZA, B.; BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. Involvement of indole-3-acetic acid produced by *Azospirillum brasilense* in accumulating intracellular ammonium in *Chlorella vulgaris*. **Research in Microbiology**, v.166, n.2, p.72-83, Fev./Mar. 2015.

MOREIRA, V. A. *et al.* Inoculation with *Trichoderma harzianum* and *Azospirillum brasilense* increases nutrition and yield of hydroponic lettuce. **Archives in Microbiology**, Berlin, v.204, n.1, p.1-12, Jun. 2022.

MORETTI, L. G. *et al.* Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.112, n.1, p.418-428, Jan./Fev. 2020.

MORTINHO, E. S. *et al.* Co-Inoculations with Plant Growth-Promoting Bacteria in the Common Bean to Increase Efficiency of NPK Fertilization. **Agronomy**, Basel, v.12, n.6, p.1-15, Mai. 2022.

MUMTAZ, Z. M. *et al.* Zinc solubilizing *Bacillus spp.* potential candidates for biofortification in maize. **Microbiological Research**, Muenchen, v.202, n.4, p.51-60, Set. 2017.

NACCOON, S. *et al.* Combination of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on growth and production of *Helianthus tuberosus* under field condition. **Scientific Reports**, Londres, v.11, n.1, p.1-10, Mar. 2021.

NACCOON, S. *et al.* Interaction between Phosphate Solubilizing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Promotion and Tuber Inulin Content of *Helianthus tuberosus* L. **Scientific Reports**, Londres, v.10, n.3, p.1-10, Mar. 2020.

NEILANDS, J. B. Siderophores - structure and function of microbial iron transport compounds. **Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v.270, n.45, p.26723-26726. Nov. 1995.

OLIVEIRA, T. J. S. S. *et al.* Inoculation reduces nitrate accumulation and increases growth and nutrient accumulation in hydroponic arugula. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.320, n.2, p.1-11, Jun. 2023.

OLIVEIRA, C. E. S. *et al.* Leaf inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Trichoderma harzianum* in hydroponic arugula improve productive components and plant nutrition and reduce leaf nitrate. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v.52, n.1, p.1-12, Jul. 2022.

OLIVEIRA, C. E. S. *et al.* Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. **Plants**, v.12, n.3, p.1-13, Set. 2023a.

OLIVEIRA, C. E. S. *et al.* Yield, nutrition, and leaf gas exchange of lettuce plants in a hydroponic system in response to *Bacillus subtilis* inoculation. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.14, n.3, p.1-16, Abr. 2023b.

PANKIEVICZ, V. C. S. *et al.* Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **The Plant Journal**, Oxford, v.81, n.5, p.907-919, Set. 2015.

PEREIRA, N.C.M. *et al.* Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers Environment Science**, Lausanne, v.8, n.4, p.1-11, Dez. 2020.

PERES, A.R. *et al.* Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.2, p.198-207, Mai. 2016.

POVEDA, J.; ABRIL-URIAS, P.; ESCOBAR, C. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, *Mycorrhizal* and *Endophytic* fungi. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v.11, n.992, p.1-14, Mar. 2020.

REED, S. C.; CLEVELAND, C. C.; TOWNSEND, A. R. Functional ecology of free-living nitrogen fixation: A contemporary perspective. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v.42, n.3, p.489–512, Jun. 2011.

ROSA, P. A. L. *et al.* Inoculation With Growth-Promoting Bacteria Associated With the Reduction of Phosphate Fertilization in Sugarcane. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v.8, n.32, p.1-18, Mar. 2020.

ROSA, P. A. L. *et al.* Inoculation with Plant Growth-Promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. **Microorganisms**, Basel, v.10, n.1, p.1-18, Jan. 2022.

RUIU, L. Plant-Growth-Promoting Bacteria (PGPB) against Insects and Other Agricultural Pests. **Agronomy**, Basel, v.10, n.6, p.1-12, Jun. 2020.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. **Molecules**, Basel, v.23, n.11, p.1-18, Nov. 2018.

SAHOO, R. K. *et al.* Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. **Protoplasma**, Wien, v.251, n.2, p.943–953, Jun. 2014.

SALVO, L. P. D. *et al.* Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.424, n.1, p.405-417, Fev. 2018.

SAMPAIO, F. A. R. *et al.* Nitrogen supply associated with rhizobacteria in the first productive cycle of Marandu grass. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, Seoul, v.24, n.1, p.429–439, Mar. 2021.

SANTOS, C. L. R. *et al.* Contribution of a mixed inoculant containing strains of *Burkholderia spp.* and *Herbaspirillum ssp.* to the growth of three sorghum genotypes under increased nitrogen fertilization levels. *Applied Soil Ecology*, 113, 96-106. 2017.

SANTOYO, G. *et al.* Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiol Research*, v. 3, p. 92–99. 2016.

SARAVANAN, V.S.; SUBRAMONIAM, S. R.; RAJ, S. A. Assessing in vitro solubilization of different zinc solubilizing bacterial (ZBS) strains. **Brazilian Journal Microbiology**, São Paulo, v.34, n.1-2, p.121-125, Jun. 2004.

SCHULTZ, N. *et al.* Agronomic evaluation of varieties of sugar cane inoculated with diazotrophic bacteria and fertilized with nitrogen. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.261-268, Fev. 2012.

SEIDO, S.L. *et al.* Melon growth-promoting rhizobacteria under saline stress. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.14, n.1, p.1-7, Jan. 2019.

SHORESH, M., HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal Biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.48, n.1, p.21–43, Set. 2010.

SILVA, E.R. *et al.* Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L Merrill.)? **Archives of Microbiology**, Berlin, v.201, n.2, p.325-335, Mai. 2019.

SINGH, R. *et al.* Uncovering potential applications of *Cyanobacteria* and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: current status and future prospects. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v.8, n.515, p.1-15, Mar. 2017.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Saharan, v.16, n.9, p.1265-1277, Abr. 2014.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review Plant Biology**, Berkeley, v.62, n.1, p.227–250, Mar. 2011.

SOUZA, E.M. *et al.* Does nitrogen application associated with *Azospirillum brasilense* inoculation influence corn nutrition and yield?. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, n.1, p.53-59, Jan. 2019.

STEINER, F. *et al.* Co-Inoculation of Common Bean with *Rhizobium* and *Azospirillum* Enhance the Drought Tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67, 923-932. 2020.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S. Inoculação de bactérias com foco na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. in: SEVERIANO, E.C.; MORAES, M. F.; PAULA, A. M. (Org). **Tópicos em ciência do solo - Volume X**, ed.1, editora, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019. Cap. 11. p.112-131.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. *et al.* Avanços no uso de microrganismos na agricultura no cenário de mudanças climáticas globais. In: NOGUEIRA, T. A. S.; CHERUBIN, M. R.; PEREIRA, A. P. A.; TIECHER, T. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo - Volume XII**. 1ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2023. Cap. 4, p.91-122.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Miami, v.37, n.5, p.1016-1024, Mai. 1979.

VACHERON, J. *et al.* Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by *Azospirillum*. In:

CASSAN, F. D.; OKON, Y.; CREUS, C. (Org) **Handbook for Azospirillum: technical issues and protocols**. Berlin: editora Springer. 2015. Cap. 19, p.333-365.

VIRUEL, E. *et al.* Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: effect on plant growth and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v.14, n.4, p.819-831, Out. 2014.

ZAHEER, M.S. *et al.* Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy Soil Science**, Londres, v.65, n.11, p.1554–1564. Fev. 2019.

ZEFFA, D. M. *et al.* The influence of topdressing nitrogen on *Azospirillum spp.* inoculation in maize crops through meta-analysis. **Bragantia**, Campinas, v.77, n.3, p.493–500, Jul./Set. 2018.

## CAPÍTULO 5

### BIOFORTIFICAÇÃO, NUTRIÇÃO E ORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO NA CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS

**Samuel Ferrari<sup>1</sup>, Evandro Pereira Prado<sup>2</sup>, Carolina dos Santos Batista Bonini<sup>3</sup>, Fernando Shintate Galindo<sup>4</sup>, Vagner do Nascimento<sup>5</sup>, Alex Mendonça de Carvalho<sup>6</sup>, Leandro José Grava de Godoy<sup>7</sup>**

#### Introdução

O arroz (*Oriza sativa* L.) é um dos principais cereais cultivados no mundo, consistindo em alimento básico para quase 2,5 bilhões de pessoas. Na safra 2023/2024, a produção mundial de arroz foi de 790 milhões de toneladas e o Brasil contribuiu com cerca de 10,6 milhões de toneladas. Desse total, cerca de 1,50 milhão de toneladas de arroz foram destinadas para a exportação e a produtividade do arroz se situa na faixa de 6.841 kg ha<sup>-1</sup>, (CONAB, 2024). No Brasil, o sistema de cultivo predominante é o de inundação controlada, seguido pelo sistema de arroz de terras altas (Silva; Wander; Ferreira, 2019).

A produção de arroz de terras altas, que era de 1,42 milhão de toneladas em 2009, reduziu para 482 mil toneladas em 2018, o que demonstra uma diminuição significativa de utilização do sistema pelos produtores. Esse resultado pode ser um reflexo da baixa produtividade do arroz de terras altas que, no período de 2009 até 2018, teve um incremento de 1.860 kg ha<sup>-1</sup> para 2.352 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto o arroz produzido em inundação controlada teve um incremento de 6.924 para 7.649 kg ha<sup>-1</sup> (Silva; Wander; Ferreira, 2019).

Tais resultados consistem em um importante indicativo de que o sistema de produção de arroz de terras altas necessita de suporte tecnológico para melhoria dos níveis de produtividade, seja na área de nutrição mineral e adubação, manejo de pragas e doenças, lançamento de novos cultivares, utilização de microrganismos promotores de crescimento, entre outras adaptações tecnológicas.

---

1 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, Dracena, São Paulo, Brasil

2 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, Dracena, São Paulo, Brasil

3 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, Dracena, São Paulo, Brasil

4 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, Dracena, São Paulo, Brasil

5 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, Dracena, São Paulo, Brasil

6 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Departamento de Agronomia e Recursos Naturais, Registro, São Paulo, Brasil.

7 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Departamento de Agronomia e Recursos Naturais, Registro, São Paulo, Brasil.

## BIOFORTIFICAÇÃO GENÉTICA DO ARROZ: ESTRATÉGIA PARA REDUZIR A DESNUTRIÇÃO E AUMENTAR A SAÚDE HUMANA

O arroz é um dos três cereais mais importantes do mundo e constitui a dieta básica de mais de 2,7 bilhões de pessoas, sendo fonte de nutrientes, como magnésio, fósforo, manganês, selênio, ferro, ácido fólico, tiamina e niacina (Fukagawa *et al.*, 2019). Estima-se que até 2050 a população mundial pode chegar a 9 bilhões de pessoas e, portanto, a produção desse cereal deverá aumentar mais de 50% para atender a demanda das pessoas por alimentos (Ferrari *et al.*, 2022). Dessa forma, novas tecnologias e práticas culturais deverão ser desenvolvidas ou aprimoradas para aumentar a produtividade de arroz nas lavouras ao redor do mundo (Cunha *et al.*, 2022).

Aliada ao crescimento populacional, a desnutrição tem aumentado significativamente nos últimos anos, especialmente com o agravamento severo durante a pandemia da covid-19. A desnutrição afeta todos os grupos inseridos na sociedade, mas os bebês e as mulheres grávidas são os mais vulneráveis. A deficiência de ferro (Fe) e zinco (Zn) é um problema de saúde global, sendo uma das principais deficiências nutricionais em todo o mundo (Haider *et al.*, 2020).

Uma das causas possíveis para a ocorrência da desnutrição nas pessoas é o cultivo das culturas agrícolas em solos com baixo teor nutricional, o que resulta em menor absorção e translocação desses nutrientes para os grãos. Uma forma de reduzir esse problema é através da utilização de genótipos que são eficientes em absorver e translocar os nutrientes para os grãos, melhorando a qualidade dos alimentos. Os estudos sobre biofortificação genética de genótipos de arroz, com foco em maiores teores nutricionais, começaram há aproximadamente 15 anos, mostrando importantes conquistas para Fe, selênio (Se) e Zn (Jiang *et al.*, 2008; Reis *et al.*, 2018; Ferrari *et al.*, 2022).

A biofortificação é o processo de enriquecimento de culturas comestíveis com nutrientes minerais, que leva em consideração as estratégias de manejo, as variações genotípicas intra e interespecíficas e o melhoramento genético, que aumentam a disponibilidade de nutrientes nas partes comestíveis das plantas (Reis *et al.*, 2018; Ferrari *et al.*, 2022). Portanto, mesmo um pequeno aumento nos micronutrientes biodisponíveis nos grãos de arroz teria um impacto significativo na saúde humana, especialmente nos países em desenvolvimento. Uma ampla variação genotípica na concentração de micronutrientes está presente nas espécies vegetais. Essa variação é uma ferramenta de extrema importância para programas de melhoramento genético, principalmente para o melhoramento convencional com o objetivo de aumentar a densidade de micronutrientes nas partes comestíveis.

A biofortificação genética em genótipos de arroz, visando aumentar os níveis de Zn nos grãos, tem sido amplamente reportada na literatura como um sucesso na obtenção de grãos mais nutritivos. Diversos estudos relataram a variação genotípica para concentração de Zn em grãos de arroz, como, por exemplo, os resultados encontrados por Gregorio (2002) (15,3 – 58,4 mg kg<sup>-1</sup>, n = 1138), Kumar *et al.* (2012) (9,9 – 39,4 mg kg<sup>-1</sup>, n = 20), Patil *et al.* (2015) (3,32 – 42,49 mg kg<sup>-1</sup>, n = 60) e outros estudos compilados na Tabela 1.

O Zn é um elemento importante na saúde humana e sua deficiência pode levar ao retardo do crescimento, à anorexia e a outros sintomas em humanos. Assim, a seleção de genótipos de arroz com maior concentração de Zn nos grãos é importante para aumentar a ingestão desse nutriente pela população e reduzir os problemas relacionados à deficiência.

**Tabela 1.** Compilação de diferentes resultados do acúmulo de micronutrientes nos grãos em diferentes genótipos de arroz de terras altas.

Espécie vegetal	Fe	Zn	Mn	Genótipos	Referências
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
<i>Oryza sativa</i>	6,0 - 22,3	14,5 - 35,3	-	n = 159	Maganti, Swaminathan e Parida (2020)
<i>Oryza sativa</i>	29,0 - 41,0	23,0 - 37,0	-	n = 2	Cakmak <i>et al.</i> (2010)
<i>Oryza sativa</i>	6,6 - 16,7	7,1 - 28,0	-	n = 192	Nachimuthu <i>et al.</i> (2014)
<i>Oryza sativa</i>	13,2 - 45,8	18,6 - 38,0	-	n = 26	Raza <i>et al.</i> (2019)
<i>Oryza sativa</i>	14,4 - 32,3	6,4 - 25,6	3,6 - 34,1	n = 50	Nasiri <i>et al.</i> (2019)
<i>Oryza sativa</i>	0,98 - 26,7	13,3 - 43,6	4,8 - 25,9	n = 274	Jiang <i>et al.</i> (2008)
<i>Oryza sativa</i>	0,4 - 147,0	15,1 - 124,0	6,7 - 26,6	n = 628	Zeng <i>et al.</i> (2010)
<i>Oryza sativa</i>	3,3 - 36,9	3,3 - 42,4	-	n = 60	Patil <i>et al.</i> (2015)
<i>Oryza sativa</i>	10,0 - 20,0	-	-	n = 15	Prom-u-thai <i>et al.</i> (2007)
<i>Oryza sativa</i>	9,6 - 44,0	9,9 - 39,4	-	n = 20	Kumar <i>et al.</i> (2012)
<i>Oryza sativa</i>	6,3 - 24,4	15,3 - 58,4	-	n = 1138	Gregorio (2002)
<i>Oryza sativa</i>	15,0 - 30,7	27,5 - 37,2		n = 8	Ferrari <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Próprio autor.

A biofortificação genética também tem sido comumente relatada como uma boa ferramenta para elevar os teores de Fe nos grãos. Maganti, Swaminathan e Parida (2020) verificaram grande variação na concentração de Fe nos grãos de diferentes genótipos de arroz (6,0 - 22,3 mg kg<sup>-1</sup>, n = 159), enquanto Cakmak *et al.* (2010) (29,0 - 41,0 mg kg<sup>-1</sup>, n = 2) e Patil *et al.* (2015) (3,3 - 36,9 mg kg<sup>-1</sup>, n = 60), sendo que também encontraram alta variabilidade genotípica para o acúmulo de Fe nos grãos de diferentes genótipos de arroz (Tabela 1). A principal causa de deficiência de Fe em humanos é a anemia (Shubham *et al.*, 2020) que, segundo a Organização Mundial da Saúde (ONU), afeta cerca de um quarto da população mundial, sendo metade dos casos atribuída à deficiência de Fe.

O surgimento ou a seleção de genótipos com boas características agrônômicas são fundamentais para atingir altas produtividades, ao considerar o crescimento populacional mundial e a necessidade de aumentar a produção de alimentos, com destaque para o arroz, bem como do ponto de vista em que a produtividade dos genótipos de arroz cultivados em sistema de terras altas é baixa se comparada com a do arroz cultivado por inundação controlada.

## Atualidades em adubação mineral no arroz

A adubação mineral na cultura do arroz irá variar de acordo com o sistema de produção, que pode ser cultivado em terras altas (sequeiro e irrigado) ou por inundação controlada, sendo que a absorção de nutrientes não necessariamente varia de acordo com a arquitetura e produtividade da cultivar (Crusciol *et al.*, 2016).

O arroz, mesmo que possa ser utilizado em áreas de início de cultivo por tolerar solos ácidos e de baixa fertilidade, quando cultivado em ambientes de produção favoráveis e manejo adequado, consegue-se alta produtividade de grãos. A cada tonelada de grãos produzida é absorvido 38; 4,6; 59; 34; 12,7; 12,5 kg t<sup>-1</sup> de grão de N; P; K; Ca; Mg e S respectivamente, podendo haver pequena variação de acordo com a cultivar avaliada (Crusciol *et al.*, 2016).

Um dos principais nutrientes na produção de arroz é o nitrogênio (N), pois tem função importante no desenvolvimento vegetativo e na atividade fotossintética e, ainda, por fazer parte dos aminoácidos que formarão a proteína. Nos trabalhos atuais, o arroz obtém resposta de aplicação entre 90 e 170 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo as maiores respostas esperadas com arroz cultivado sobre gramíneas e ambientes de produção que apresentam condições ideais para o bom desenvolvimento da cultura (Ferrari *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2021).

O parcelamento do N pode ser realizado em até três aplicações, sendo a primeira no sulco de semeadura, a segunda e a terceira no estágio V3-V4 e V7-V8, respectivamente, utilizando preferencialmente fonte amoniacal, uma vez que apresenta maior eficiência de aproveitamento pela cultura, pois é a forma na qual a planta gasta menos energia para assimilar esse N em outros compostos orgânicos (Moro *et al.*, 2017).

O potássio (K) tem grande importância na translocação de carboidratos, na condutância estomática (tolerância à seca) e na ativação enzimática das plantas. Em busca de avaliar a interação entre N e K, um experimento mostrou um efeito sinérgico entre os dois nutrientes com respostas de até 120 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (K<sub>2</sub>O), atingindo mais de 7 t ha<sup>-1</sup> de grãos de arroz (Xu *et al.*, 2023). Já em trabalho conduzido em solo com teor médio a alto de fertilidade, houve incremento de produtividade com aplicação de até 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Ojha *et al.*, 2021). Portanto, a dose a ser aplicada irá variar de acordo com o sistema de produção, fertilidade do solo e potencial produtivo da cultura.

O fósforo (P) atua no crescimento radicular e faz parte das moléculas de energia das plantas, portanto, torna-se indispensável a planta estar bem nutrida com esse macronutriente. Além disso, o P pode ser fornecido à cultura de várias formas, seja através de fertilizante mineral, fosfatos naturais ou compostos orgânicos. As maiores produtividades do arroz se obtêm desde a aplicação de adubações por reposição, quando cultivado em solo com alto teor de P, até a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quando cultivado sobre solo com baixo teor (menor que 15 mg dm<sup>-3</sup> – resina) (Zhang *et al.*, 2021).

Mesmo sabendo que a cultura do arroz absorve pouco P (4,6 kg t<sup>-1</sup> de grãos) em comparação com o nitrogênio e o potássio (Crusciol *et al.*, 2016), são aplicadas doses semelhantes, devido à baixa eficiência do fertilizante aplicado via solo, em que é aproveitado até 25% pelas plantas no primeiro ano de aplicação (Roberts; Johnston, 2015).

A calagem é uma prática de suma importância nos sistemas de produção de grãos, principalmente em áreas de baixa fertilidade e acidez elevada. Essa prática, além de elevar o pH do solo a níveis adequados, é importante para fornecer cálcio e magnésio às plantas, bem como por aumentar a disponibilidade de outros nutrientes (Chang; Sung, 2004).

Os principais fatores limitantes de produtividade dos Latossolos (a maior parte dos solos brasileiros são constituídos por esse tipo) são o pH do solo, a indisponibilidade de cálcio, de magnésio e de fósforo e a presença de alumínio tóxico; fatores que podem ser minimizados pela aplicação de calcário (Fageria; Baligar, 2008).

Ainda que a cultura do arroz seja tolerante à acidez do solo, apresenta resposta em produtividade com incremento do pH em 6,2 ( $H_2O$ ), sendo a saturação por bases do solo para atingir a máximas produtividades de 50 a 60% (Fageria; Baligar, 2008). Portanto, a dose adequada deve ser calculada de acordo com as condições de solo de cada local, do mesmo modo, é de suma importância a escolha correta do calcário para fornecer de forma equilibrada cálcio e magnésio para a cultura, já que existem calcários com diferentes concentrações de óxidos de cálcio e magnésio.

A aplicação de gesso agrícola também é uma tecnologia que pode ser utilizada na cultura do arroz, tanto para o fornecimento de cálcio e enxofre quanto para condicionar subsuperfície para o melhor crescimento das raízes do arrozeiro e tornar a cultura menos sensível às intempéries climáticas. Quando o objetivo for somente o fornecimento de enxofre, essa fonte pode ser substituída por outras, como sulfato de amônio, superfosfato simples ou, até mesmo, enxofre elementar; porém, não terá os efeitos de condicionamento de subsuperfície. De tal forma que vários trabalhos mostram incremento de produtividade quando aplicado esse produto nas lavouras (Pema *et al.*, 2022; Goiba *et al.*, 2022).

Atualmente, com variedades cada vez mais produtivas e exigentes em fertilidade do solo, torna-se importante a aplicação de micronutrientes a fim de maximizar a produtividade do arrozeiro. Os dois principais micronutrientes que acarretam a limitação de produtividade às gramíneas são o boro (B) e o Zn: o B importante na formação da parede celular das plantas (Rosolem; Bogiani, 2014) e no auxílio do transporte de carboidratos das folhas aos drenos (Zhao; Oosterhuis, 2002); o Zn tem função importante na ativação enzimática e na relação direta com a produção de alguns hormônios vegetais, além de aumentar a eficiência fotossintética das plantas (Hassan *et al.*, 2020).

A aplicação de B em solos que contêm baixo teor desse nutriente ( $<0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) é de suma importância para maximizar a produtividade do arrozeiro. A melhor forma de fornecer tal nutriente é via solo, encontrando resposta com a aplicação de até  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B (Hussain *et al.*, 2012), sendo que, em caso de cultivo de arroz em regiões que apresentam altas temperaturas, a aplicação de B é uma boa estratégia para minimizar essa condição não ideal para o desenvolvimento da cultura, pois aumenta a viabilidade dos grãos de pólen (Shahid *et al.*, 2018).

O fornecimento de Zn pode ser realizado com aplicações via sementes, foliar e solo, de modo que a última maneira é a mais indicada quando o teor no solo for baixo, no qual é encontrado resposta de até  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn (Farooq *et al.*, 2018).

O cobre, manganês e o ferro são nutrientes importantes nos processos bioquímicos das plantas que, conseqüentemente, influencia na taxa fotossintética. Na maioria das áreas, o teor desses nutrientes no solo é adequado, porém, nos sistemas de cultivos atuais, sem ou com o menor revolvimento mínimo do solo, a calagem é realizada superficialmente. Assim, o pH do solo na camada de 0-5 cm fica próximo a 7, causando indisponibilidade dos nutrientes metálicos nessa camada do solo (Fageria; Baligar, 2008) e podendo haver respostas de micronutrientes metálicos, como cobre, manganês e ferro, além do Zn que apresenta baixo teor na maioria dos solos, independentemente do sistema de cultivo.

### **Microrganismos promotores de crescimento: bactérias e fungos**

A procura por aumentar os índices produtivos na agricultura pode gerar problemas de ordem econômica e ambiental, isso em consequência das altas quantidades de fertilizantes químicos utilizados no sistema produtivo. A influência das chuvas pode agravar esse fator, devido aos fertilizantes utilizados e, até mesmo, aos agroquímicos serem facilmente levados pelas chuvas através de lixiviação e erosão, carregando consigo parte do lucro e da sanidade ambiental (Dias; Santos, 2022).

Com isso, há demanda por pesquisas voltadas à utilização de métodos naturais que possam ser implantados na agricultura e que, aliados com as tecnologias já existentes, possam proporcionar um sistema produtivo mais responsivo e ecologicamente viável. A utilização de microrganismos promotores de crescimento de plantas apresenta crescente demanda no setor produtivo, em razão do seu grande leque de possibilidades de utilização e das diversas funções que podem ser utilizadas para melhorar o desempenho da planta. Por diminuição dos efeitos do estresse hídrico e de salinidade do solo, pode-se exemplificar a fitoextração de metais pesados, o balanço hormonal, o biocontrole de fitopatógenos, a mineralização e a fixação de nutrientes (Dias; Santos, 2022).

Os microrganismos, promotores de crescimento, têm como característica ser de vida livre, na qual podem influenciar direta ou indiretamente as plantas e possuem capacidade de se adentrarem em tecidos vegetais ou de colonizarem a superfície da rizosfera da planta, provocando uma ação simbiótica em si mesma, em que geram benefícios mútuos (Glick, 2012). A ação direta tem função de facilitar a absorção de nutrientes e síntese de fitormônios que afetam diretamente o desenvolvimento vegetal (Novo *et al.*, 2018). Já a ação indireta consiste em uma série de eventos biológicos, que atua no controle de fitopatógenos por meio de produção de compostos antagônicos ou de indução de uma resistência sistêmica (Saraf; Pandya; Thakkar, 2014).

Um exemplo, é a utilização de alguns grupos de bactérias que são produtoras de hormônios vegetais, como o ácido indolacético (responsável pelo crescimento vegetal na região meristemática da planta), as citocininas (têm função de reduzir a senescência dos órgãos vegetais, tendo sobrevida nos mecanismos fotossintéticos), e, também, as bactérias produtoras de giberelina (induz o alongamento celular, proporciona quebra da dormência e do desenvolvimento das folhas e frutos) (Taiz *et al.*, 2017).

Na busca por melhoria do sistema produtivo do arroz, são realizadas pesquisas com o *Trichoderma*, um fungo hemibiotrófico eficaz no controle de fitopatógenos (Souza, 2014), como promotor

de crescimento e indutor de crescimento (Louzada *et al.*, 2009). Segundo Souza (2014), a aplicação de *Trichoderma* por inoculação no arroz proporcionou aumento de 46% na produção de biomassa vegetal em comparação com o tratamento controle. Observou, ainda, melhora na intensidade de troca gasosa, maior absorção de nutrientes e supressão da Brusone. Doni *et al.* (2014) observaram, também, desenvolvimento superior da parte vegetativa com o uso de *Trichoderma*, além de maior comprimento de raiz.

Outra importante estratégia no desenvolvimento de gramíneas é com o uso de *Azospirillum brasilense*, que pertence a classe alfa proteobactérias, considerado de vida livre (Baldani; Baldani, 2005). Esse microrganismo é capaz de fixar nitrogênio, além de apresentar outras finalidades, como a liberação de reguladores de crescimento auxinas, citocininas e giberelina (Paldi; Burdman; Okon, 2012). Segundo Guimarães (1998), dependendo da cultivar de arroz, o aumento na produção de grãos pode chegar a 50%.

### **Considerações finais**

Buscou-se destacar neste capítulo a importância da pesquisa no desenvolvimento de novos cultivares de arroz de terras altas, visto a grande demanda mundial por grãos, além de grãos biofortificados. Ademais, que a rizicultura moderna busca o fornecimento equilibrado de nutrientes, promovendo uma lavoura saudável e produtiva.

A utilização de microrganismos promotores de crescimento é recente na cultura do arroz. Porém, apresenta grande potencial de utilização e expansão, nas quais pesquisas em diversas áreas da rizicultura devem ser estimuladas, para o aumento da área cultivada, bem como da produtividade.

### **Agradecimentos**

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - (Processos nº 2014/20351-5 e nº 2018/18895-8).

## Referências

- BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005.
- CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; KAYA, Y.; TORUN, A. A.; AYDIN, N.; WANG, Y.; ARISOY, Z.; ERDEM, H.; YAZICI, A.; GOKMEN, O.; OZTURK, L.; HORST W.J. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 16, p. 9092-9102, 2010.
- CHANG, C. S.; SUNG, J. M. Nutrient uptake and yield responses of peanuts and rice to lime and fused magnesium phosphate in an acid soil. **Field Crops Research**. [s. l.], v. 89, n. 2-3, p. 319-325, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **AgroConab**, Brasília, v. 1, n. 11, 2024.
- CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CARMEIS FILHO, A. C. D. A.; ALVAREZ, R. D. C. F. Macronutrient uptake and removal by upland rice cultivars with different plant architecture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-20, 2016.
- CUNHA, M. L. O.; OLIVEIRA, L. C. A.; SILVA, V. M.; MONTANHA, G. S.; REIS, A. R. Selenium increases photosynthetic capacity, daidzein biosynthesis, nodulation and yield of peanuts plants (*Arachis hypogaea* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 190, p. 231-239, 2022.
- DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso**. Nova Xavantina: Pantanal, 2022.
- DONI, F.; ISAHAK, A.; CHE MOHD ZAIN, C. R.; WAN YUSOFF, W. M. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. **Amb Express**, [s. l.], v. 4, p. 1-7, 2014.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in agronomy**, [s. l.], v. 99, p. 345-399, 2008.
- FAROOQ, M.; ULLAH, A.; REHMAN, A.; NAWAZ, A.; NADEEM, A.; WAKEEL, A.; NADEEM, F.; SIDDIQUE, K. H. Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 216, p. 53-62, 2018.
- FERRARI, S.; CORDEIRO, L. F. S.; CARARA, L. G. D.; NASCIMENTO, V.; LOPES, P. R. M.; PRADO, E. P.; VIANA, R. S. Effect of Trinexapac-ethyl associated with nitrogen fertilization on upland rice nutritional status and grain yield. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 11, p. 1-16, 2020.
- FERRARI, S.; CUNHA, M. L. O.; POLYCARPO, G. do V.; ZIED, D. C.; OLIVEIRA, L. C. A.; FURLANI JÚNIOR, E. Genotypic variation in grain nutritional content and agronomic traits of upland rice: strategy to reduce hunger and malnutrition. **Cereal Research Communications**, Switzerland, v. 50, p. 1155-1163, 2022.
- FUKAGAWA, N. K.; ZISKA, L. H. Rice: importance for global nutrition. **Journal of nutritional science and vitaminology**, Tokyo, v. 65, n. Supp., p. S2-S3, 2019.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, Cairo, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GOIBA, P. K.; PRAKASH, N. B.; DHUMGOND, P.; SHRUTHI, G. S. Application of slag based gypsum in rice crop and its effect on growth, yield and nutrient availability in acidic, neutral and alkaline soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 54, n. 11, p. 1510-1524, 2022.

GREGORIO, G. B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. **The Journal of Nutrition**, New York, v. 132, n. 3, p. 500S-502S, 2002.

GUIMARÃES, S. L.; GRAÇA, C. O.; SILVA, R. A.; SANTOS, C. C. R.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas na cultura de arroz sob condições de campo. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. **Anais [...]**. Lavras: UFLA; SBCS; SBM, 1998. p. 791.

HAIDER, M. U.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A. Zinc nutrition for improving the productivity and grain biofortification of mungbean. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 1321-1335, 2020.

HASSAN, M. U.; AAMER, M.; CHATTHA, M. U.; HAIYING, T.; SHAHZAD, B.; BARBANTI, L.; NAWAZ, M.; RASHEED, A.; AFZAL, A.; LIU, Y.; GUOQIN, H. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. **Agriculture**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1-20, 2020.

HUSSAIN, M.; KHAN, M. A.; KHAN, M. B.; FAROOQ, M.; FAROOQ, S. Boron application improves growth, yield and net economic return of rice. **Rice Science**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 259-262, 2012.

JIANG, S. L.; WU, J. G.; TANG, N. B.; FENG, Y.; YANG, W. E.; SHI, C. H. Genotypic variation of mineral elements contents in rice (*Oryza sativa* L.). **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 228, p. 115-122, 2008.

KUMAR, J.; CHAWLA, A.; KUMAR, P.; JAIN, R. K. Iron and zinc variability in twenty rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Annals of Biology**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 90-92, 2012.

LOUZADA, G. A. S.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M.; LOBO JÚNIOR, M.; MARTINS, I.; BRAÚNA, L. M. Antagonist potential of *Trichoderma* spp. from distinct agricultural ecosystems against *Sclerotinia sclerotiorum* and *Fusarium solani*. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 145-149, 2009.

MAGANTI, S.; SWAMINATHAN, R.; PARIDA, A. Variation in iron and zinc content in traditional rice genotypes. **Agricultural research**, [s. l.], v. 9, p. 316-328, 2020.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H.; BROETTO, F.; MORO, A. L. Nitrate reductase, micronutrients and upland rice development as influenced by soil pH and nitrogen sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 48, n. 22, p. 1-10, 2017.

NACHIMUTHU, V. V.; ROBIN, S.; SUDHAKAR, D.; RAJESWARI, S.; RAVEENDRAN, M.; SUBRAMANIAN, K. S.; TANNIDI, S.; PADIAN, B. A. Genotypic variation for micronutrient content in traditional and improved rice lines and its role in biofortification programme. **Indian Journal of Science and Technology**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 1414-1425, 2014.

NASIRI, E.; SABOURI, A.; FORGHANI, A.; ESFAHANI, M. Grouping of rice genotypes based on grain iron, zinc, manganese and protein and performance measurement of linked microsatellite markers. **Plant Genetic Researches**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 73-84, 2019.

NOVO, L. A. B.; CASTRO, P. M. L.; ALVARENGA, P.; SILVA, E. F. Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. **Bio-geotechnologies for Mine Site Rehabilitation**, [s. l.], v. 16, p. 281-295, 2018.

OJHA, R. B.; SHRESTHA, S.; KHADKA, Y. G.; PANDAY, D. Potassium nutrient response in the rice-wheat cropping system in different agro-ecozones of Nepal. **PloS one**, [s. l.], v. 16, n. 3, 2021.

PALDI, S. F.; BURDMAN, S.; OKON, Y. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**, [s. l.], v. 326, p. 99-108, 2012.

PATIL, R.; DIWAN, J. R.; NIDAGUNDI, J. M.; LOKESHA, R.; RAVI, M. V. BORANAYAK, M. B.; DIKSHITH, S. Genetic diversity of brown rice for iron and zinc content. **Electronic Journal of Plant Breeding**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 196-203, 2015.

PEMA, K. G.; NAGABOVANALLI, P. B.; PRABHUDEV, D.; LINGAPPA, M.; HAMSA, N.; SHRENIVAS, A. Comparison of slag-based gypsum with commercial gypsum as a nutrient source on soil properties, nutrient uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.) under aerobic and wetland conditions. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 69, n. 4, p. 491-506, 2022.

PROM-U-THAI, C.; SHU, F.; GODWIN, I. D.; HUANG, L. B. Genotypic variation of iron partitioning in rice grain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 87, n. 11, p. 2049-2054, 2007.

RAZA, Q.; SAHER, H.; SHAHZADI, F.; RIAZ, A.; BIBI, T.; SABAR, M. Genetic diversity in traditional genotypes for grain iron, zinc and beta-carotene contents reveal potential for breeding micronutrient dense rice. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 194-203, 2019.

REIS, H. P. G.; BARCELOS, J. P. de Q.; FURLANI JÚNIOR, E.; SANTOS, E. F.; SILVA, V. M.; MORAES, M. F.; PUTTI, F. F.; REIS, A. R. Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 79, p. 508-515, 2018.

ROBERTS, T. L.; JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources, conservation and recycling**, [s. l.], v. 105, p. 275-281, 2015.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. 1. ed. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2014. p. 103-121.

SARAF, M.; PANDYA, U.; THAKKAR, A. Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens. **Microbiology Research**, [s. l.], v. 169, n. 1, p. 18-29, 2014.

SHAHID, M.; NAYAK, A. K.; TRIPATHI, R.; KATARA, J. L.; BIHARI, P.; LAL, B.; GAUTAM, P. Boron application improves yield of rice cultivars under high temperature stress during vegetative and reproductive stages. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], v. 62, n. 8, p. 1375-1387, 2018.

SHUBHAM, K.; ANUKIRUTHIKA, T.; DUTTA, S.; KASHYAP, A. V.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHANAN, C. Iron deficiency anemia: a comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 99, p. 58-75, 2020.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. Cultivo do arroz: estatística de produção. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antonio de Goiás, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao>. Acesso em: 9 maio 2023.

SOUZA, A. C. A. **Interação entre silicato de cálcio e magnésio e bioagentes na supressão de brusone foliar**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. v. 6.

TIAN, C.; ZHOU, X.; DING, Z.; LIU, Q.; XIE, G.; PENG, J.; RONG, X.; ZHANG, Y.; YANG, Y.; EISSA, M. A. Controlled-release N fertilizer to mitigate ammonia volatilization from double-cropping rice. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 119, n. 1, p. 123-137, 2021.

XU, W.; LI, J.; FENG, J.; SHAO, Z.; HUANG, Y.; HOU, W.; GAO, Q. Nitrogen and potassium interactions optimized asynchronous spikelet filling and increased grain yield of japonica rice. **PeerJ**, [s. l.], v. 11, p. 1-20, 2023.

ZENG, Y.; ZJANG, H.; WANG, L; PU, X.; DU, J.; YANG, S.; LIU, J. Genotypic variation in element concentrations in brown rice from Yunnan landraces in China. **Environmental Geochemistry and Health**, [s. l.], v. 32, p. 165-177, 2010.

ZHANG, Y.; ZHANG, W.; WU, M.; LIU, G.; ZHANG, Z.; YANG, J. Effects of irrigation schedules and phosphorus fertilizer rates on grain yield and quality of upland rice and paddy rice. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 186, p. 1-12, 2021.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 75-87, 2002.

## CAPÍTULO 6

### AMBIENTES DE CULTIVO E RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NA FORMAÇÃO DE MUDAS OLERÍCOLA E MEDICINAL

Willams Ferreira Souza Barbosa<sup>1</sup>, Flávio Ferreira da Silva Binotti<sup>2</sup>, Edilson Costa<sup>3</sup>, Eliana Duarte Cardoso Binotti<sup>4</sup>, Josiane de Souza Salles<sup>5</sup>, Giovana Pinheiro Viana da Silva<sup>6</sup>

#### Introdução

A arruda (*Ruta graveolens* L.), popularmente conhecida como arruda-doméstica, arruda-dos-jardins, arruda-fedorenta e ruta-de-cheiro-forte, dicotiledônea, originária do Mediterrâneo, pertencente à família Rutaceae, é cultivada em diversas regiões pelo mundo (Lorenzi; Matos, 2008).

O pepino (*Cucumis sativus* L.) é uma hortaliça do tipo fruto herbácea de crescimento indeterminado, consumida em todo território nacional. Pertencente à família Cucurbitacea, sendo uma hortaliça de importância econômica no Brasil (Embrapa, 2013). É muito apreciada para o consumo in natura.

A fonte primária de energia na biosfera é a energia solar que ao entrar em contato com os organismos autótrofos, como as plantas, parte é absorvida pelos cloroplastos, que resulta em uma série de reações fotoquímicas. Essas reações acarretam quebra de moléculas de água, resultando na liberação de moléculas de oxigênio e formação de ATP e NADPH, que será empregado como fonte de energia para formação de compostos orgânicos a partir do CO<sub>2</sub> (Araujo; Deminici, 2009).

O balanço espectral do ambiente, são captados pelos pigmentos fotorreceptores das plantas, e resultam em respostas fotomorfogenéticas, culminando em um ajuste fisiológico e morfológico na mesma, e que podem favorecer seu crescimento e o desenvolvimento (Li et al., 2000). A radiação fotossinteticamente ativa, é uma fração da radiação global, que compreende a faixa espectral da radiação solar de comprimento de onda de 400 a 700 nm (espectro visível), e está diretamente ligada aos processos fotoquímicos das plantas (Monteiro Neto et al., 2016). As plantas absorvem aproximadamente 90% da luz proveniente do espectro luminoso da luz azul e vermelho, tendo forte influência sobre o, crescimento, desenvolvimento e a fisiologia da planta (Terashima et al., 2009).

1 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti).

2 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti). CEDESU – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bólsão Sul-Mato-Grossense, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil

3 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti). CEDESU – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bólsão Sul-Mato-Grossense, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil

4 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti).

5 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti).

6 UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 km 3,4, Cassilândia-MS - 79540-000, Brasil; e-mail: binotti@uems.br (Flávio Ferreira da Silva Binotti).

A radiação solar tem influência em vários processos morfológicos e fisiológicos da planta. Dentre os fotorreceptores, o fitocromo atua na absorção de luz, no espectro do vermelho (650-680 nm) e vermelho-extremo (710-740 nm), e os criptocromos absorvem luz azul (320-400 nm) (Taiz; Zeiger, 2013). O fitocromo é o fotorreceptor mais importante nas plantas vasculares, assim como outros fotorreceptores, atua no controle vários processos morfogênicos, como a germinação de sementes, o desenvolvimento da plântula e formação de novas flores e sementes.

As modificações dos níveis de luz a que uma determinada espécie se encontra adaptada, pode acarretar diferentes repostas de suas características fisiológicas, morfológicas, bioquímicas, anatômicas e de crescimento (Carvalho, 2006).

O emprego de diodos emissores de luz (LED) como fonte de radiação luminosa vem atraindo o interesse na aplicação dessa tecnologia na produção vegetal devido ao seu alto potencial de aplicação comercial (Johkan *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013). Além, disso a luz LED possibilita padronizar um tipo de comprimento de onda que será emitido e com baixa emissão de calor. Kim *et al.* (2004) observou alterações morfológicas em folhas de crisântemo com a combinação de luz de LED, sugerindo que deve haver um ajuste da fonte luminosa, no sistema de iluminação artificial, no cultivo *in vitro* de mudas de crisântemo.

O ambiente protegido, fornece condições favoráveis das variáveis meteorológicas como temperatura, umidade e radiação solar, para produção de mudas (Beckmann *et al.*, 2006). Sendo a produção de mudas, uma das mais importantes etapas na produção vegetal, pois dela vai depender o desempenho final das plantas (Costa *et al.*, 2010).

A intensidade de luz é um fator que influencia diretamente o crescimento e desenvolvimento do vegetal, assim, estudos com emprego de novas tecnologias, como uso de luz de LED em ambiente protegido, pode propiciar mudas com um crescimento e desenvolvimento diferencial, possibilitando mudanças na partição de fitomassa seca das mudas, tendo uma menor relação massa seca da parte aérea e do sistema radicular, para obtenção de mudas alta qualidade.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho estudar o efeito de diferentes níveis de luminosidade, e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) suplementar, em casa de vegetação na produção de mudas de arruda e pepino.

## Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, na Unidade Universitária de Cassilândia-MS. O local apresenta latitude 19°07'21" S, longitude 51°43'15" W e, altitude de 516 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado com clima tropical, verões quentes, em tendência de concentração das chuvas entre os meses de novembro e março, e estação seca no inverno entre os meses de maio e setembro.

Para a instalação do experimento, foram utilizadas sementes de duas espécies vegetais, arruda (*Ruta graveolens* L.) e pepino (*Cucumis sativus*), que foram distribuídas em bandejas de 128 células, contendo o substrato sendo composto por turfa de sphagnum, casca de arroz, vermiculita expandida,

fertilizante NPK (traços), potencial hidrogeniônico = 5,5 +/- 0,5, condutividade elétrica = 0,7 +/- 0,3 mS/cm, Densidade = 145 kg/M<sup>3</sup>, capacidade de retenção de água = 55%, umidade máxima=50%.

As mudas de arruda (produzidas – outubro à dezembro) foram avaliadas aos 42 dias após a semeadura (DAS), e as mudas de pepino (produzidas – dezembro à janeiro), foram aos 29 DAS. O fornecimento de água foi realizado de acordo com a capacidade de campo do substrato, com o intuito de manter o substrato úmido, sem saturar.

Os três ambientes com diferentes níveis de luz, foram compostos por:

a) ambiente externo (pleno sol);

b) casa de vegetação climatizada de 14,64 m x 6,40 m x 3,5 m (93,70 m<sup>2</sup>) + ante-câmara de 3,66 m x 3,20 m, com sistema de climatização e recoberta por filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 microns, difusor de luz, camada dupla;

c) Idem ao ambiente “b”, com suplementação de radiação fotossintética ativa por meio de lâmpadas ledgrow 28w das 7:00 às 11:00;

d) telado agrícola de 18,0 m x 8,0 m x 3,5 m (144 m<sup>2</sup>), fechado em 45 graus, com tela de monofilamento preta de 18% de sombreamento.

A suplementação de luz foi realizada utilizando 12 lâmpadas LEDgrow 6w com total de 18 leds por lâmpada, sendo 11 leds vermelhos (comprimento de 630 nm), 3 leds azuis (comprimento de 440 nm), 1 led infravermelho (comprimento de 730 nm), 1 led ultravioleta (comprimento de 380-410 nm), 2 leds brancos. Foi projetado um suporte de 60cm de comprimento x 40cm de largura x 30cm (regulável) de altura, em que as lâmpadas foram fixadas a uma altura de 15 cm acima da bandeja de produção de mudas. As lâmpadas foram distribuídas a 15 cm de distância umas das outras, propiciando uma melhor distribuição da radiação fotossintética ativa, sendo que lâmpadas de led proporcionaram suplementavam em média 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiação fotossintética ativa (7:00 às 11:00 horas).

Durante a condução dos experimentos foram monitoradas e coletadas variáveis meteorológicas nos ambientes de cultivo das mudas de arruda e do pepino por meio da mensuração da radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), com o aparelho Apogee (MQ 200) e a quantidade de iluminância (lux) nos ambientes com o luxímetro aparelho (luxímetro digital Lx1010B), diariamente às 9:30 horas da manhã e em dias de céu limpo (sem nebulosidade). Os equipamentos de coleta de dados foram posicionados sobre as bandejas e posteriormente sobre as mudas, com a finalidade de interceptar a radiação e luminosidade. Variáveis de temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas através do datalogger MOD. CDR-550, distribuídos em cada ambiente, sendo registradas leituras de temperatura e umidade por ambiente a cada 30 minutos. A temperatura do substrato e da folha foram mensurados utilizando-se um termômetro digital (°C) e um termômetro digital com laser (°C), respectivamente, sendo estas leituras eram realizadas em conjunto com as leituras de radiação fotossintética ativa e luminância, sempre às 9:30 da manhã.

Posteriormente a instalação do experimento, foram realizadas as seguintes avaliações:

A) Índice de velocidade de emergência (IVE): as avaliações foram realizadas mediante contagem diária do número de mudas emergidas até a sua estabilização, segundo a fórmula proposta por Maguire (1962). O tempo médio de emergência (TME) foi calculado segundo a fórmula proposta por Labouriau (1983).

B) As avaliações biométricas das mudas foram realizadas aos 42 DAS para a arruda e aos 29 DAS para o pepino. Com auxílio de uma régua graduada e um paquímetro foram realizadas as mensurações do comprimento da parte aérea das mudas (AP) e da raiz (cm), e diâmetro (DC) do colo (mm). A massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca da raiz (MSR), foram obtidas após estes materiais, serem inseridos em sacos de papel e mantidos em estufa a 65 °C, com circulação forçada de ar até obter uma massa constante. Com a soma das massas secas foi obtido a massa seca total (MST), e para determinar os índices de qualidade de crescimento das mudas, foram avaliadas as relações: altura da planta/diâmetro do colo ( $RAD=AP/DC$ ), massa seca da parte aérea/massa seca de raiz ( $MSPS=MSPA/MSR$ ) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), determinado por:  $IQD = MST / (AP/DC + MSPA/MSR)$  (DICKSON et al., 1960).

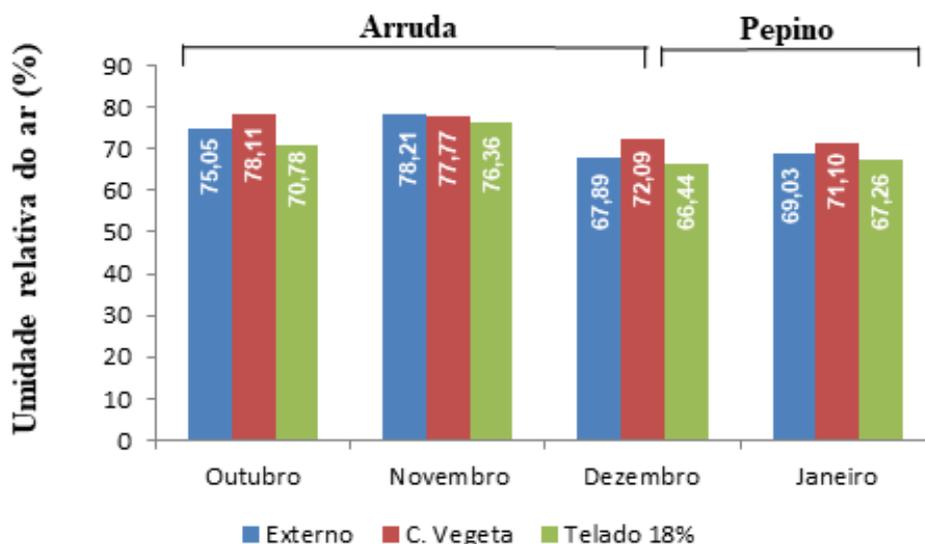
C) Para o estudo anatômico das mudas de arruda (*Rutagraveolens*L.) e pepino (*Cucumissativus*) foram utilizadas três mudas por parcela, que tiveram seus caules cortados na transversal, dispostos em uma lâmina e levados ao microscópio, onde foram registradas as imagens dos cortes.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## Resultados e discussão

A umidade relativa do ar, monitorada durante toda a condução do experimento (Figura 1), evidenciou que não houve diferença significativa entre os ambientes avaliados, a umidade do ar média se manteve entre 66,44 e 78,21%, ocorreu variação das leituras de umidade relativa em função da distribuição de chuvas que teve maior ocorrência no mês de novembro (Figura 2).

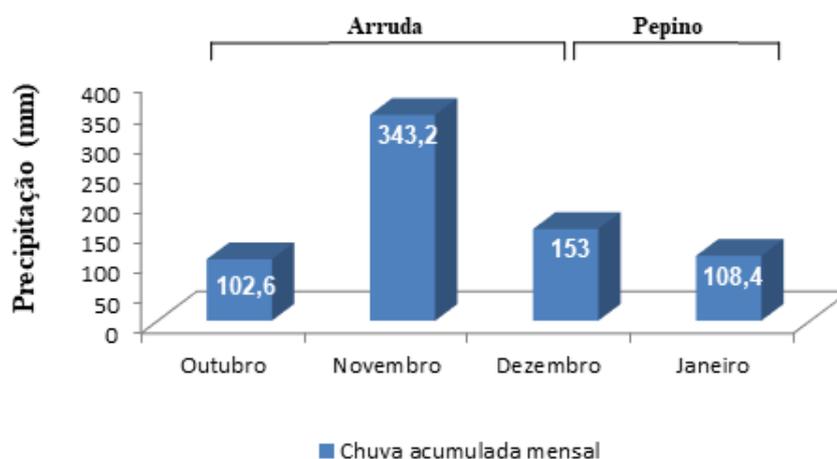
**Figura 1.** Valores médios de umidade relativa do ar registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.



Fonte: Próprio autor

Nos dados da precipitação mensal acumulada (Figura 2), coletados pela estação meteorológica do INMET, verificou-se a desuniformidade de chuvas registradas durante o período de condução do trabalho.

**Figura 2.** Valores médios de acumulado de chuva nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro em Cassilândia-MS registrados pelo instituto nacional de meteorologia (INMET).

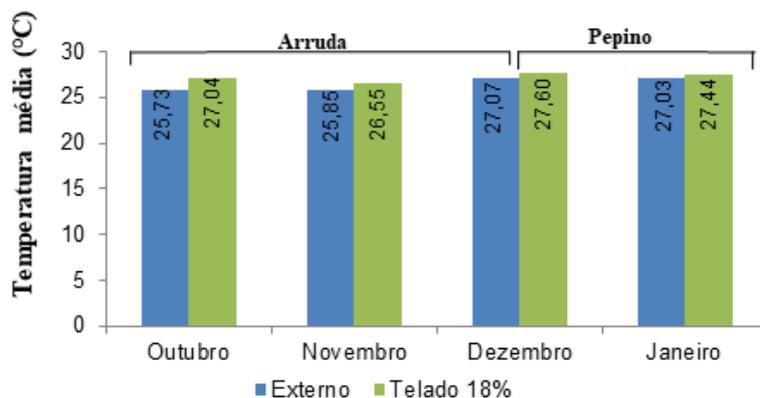


Fonte: Próprio autor.

As leituras de temperatura (média, máxima e mínima) (Figuras. 03, 04 e 05 respectivamente) foram realizadas a partir dos dados obtidos pelos aparelhos dataloggerMOD. CDR-550 que foram dispostos no ambiente externo e no telado de 18% de sombreamento, na casa de vegetação a temperatura foi controlada com variação entre 25 e 27 °C, como consequência não foram apresentados nas Figuras 3, 4 e 5. A temperatura média registrada nos ambientes (Figura 3) se manteve entre 25,73 e 27,6 °C, durante

o período de condução do experimento.

**Figura 3.** Valores médios de Temperatura Média ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.

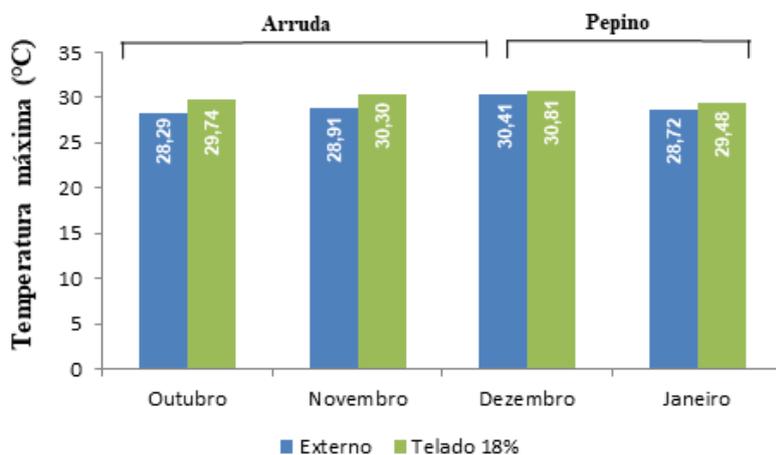


Fonte: Próprio autor.

A maioria das culturas cultivadas se desenvolvem bem em temperaturas entre 20 e  $30^{\circ}\text{C}$ , variando de acordo com as características adaptativas de cada espécie. No período de condução do trabalho é possível verificar que as médias de temperatura máxima (Figura 4) ficaram entre 25,73 e  $27,60^{\circ}\text{C}$ , sendo que não houve diferença significativa de temperatura máxima entre o ambiente externo e telado de 18% de sombreamento.

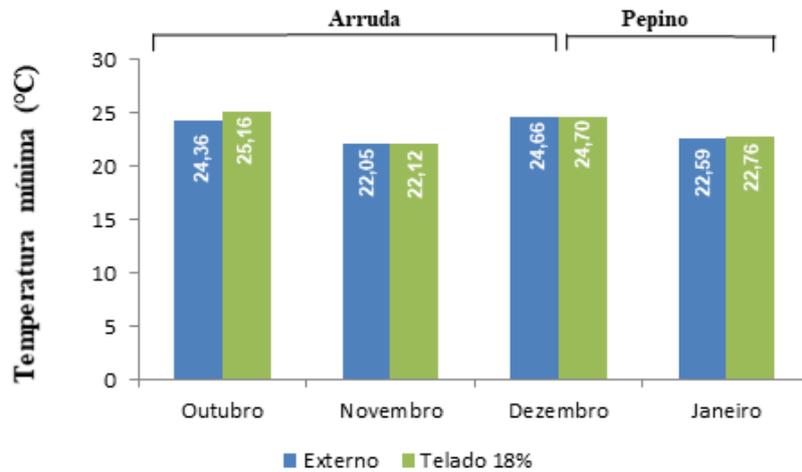
As médias de temperatura mínima registrada nos ambientes (Figura 5) estão entre 22,05 e  $26,08^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 4.** Valores médios de Temperatura Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 5.** Valores médios de Temperatura Mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.

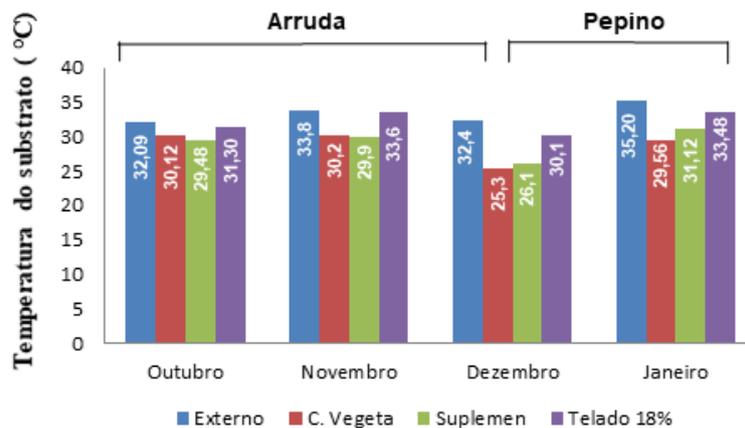


Fonte: Próprio autor.

As maiores médias de temperatura do substrato foram registradas no ambiente externo e no telado agrícola com 18% de sombreamento (Figura 6).

A temperatura do substrato se caracteriza como um dos fatores mais importantes na produção de mudas, e segundo Andriolo (2000) a temperatura do solo é o elemento que mais determina a velocidade de emergência das plântulas, sendo mais influente nos períodos da semeadura, emergência e do crescimento inicial das plântulas.

**Figura 6.** Valores médios de temperatura do substrato (°C) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.

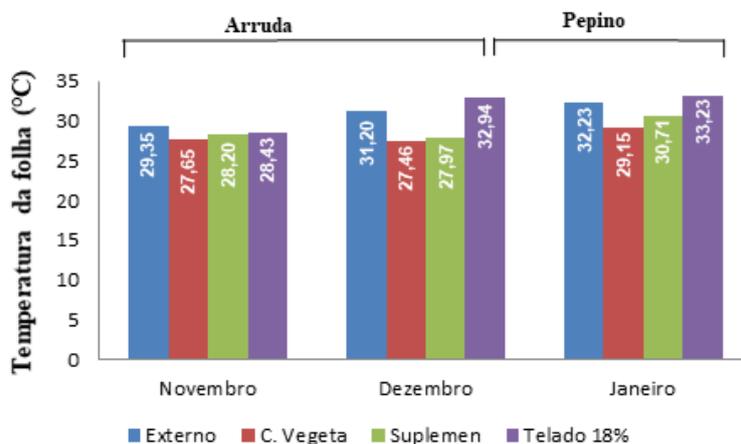


Fonte: Próprio autor.

As maiores médias de temperatura da folha das mudas (Figura 7) foram registradas no mês de janeiro no ambiente externo e no telado com 18% de sombreamento, ambos recebiam maior incidência de radiação solar. Sabe-se a influência da temperatura alta das folhas afeta negativamente atividade das enzimas (RUBISCO) a partir de 30 °C e (PEPcase) a partir de 40 °C. Altas temperaturas, também, provocam aumento da fotorrespiração, visto que diminui a razão entre as concentrações de gás carbônico e oxigênio dentro das células, favorecendo a fotorrespiração, em função da diminuição da eficiência cata-

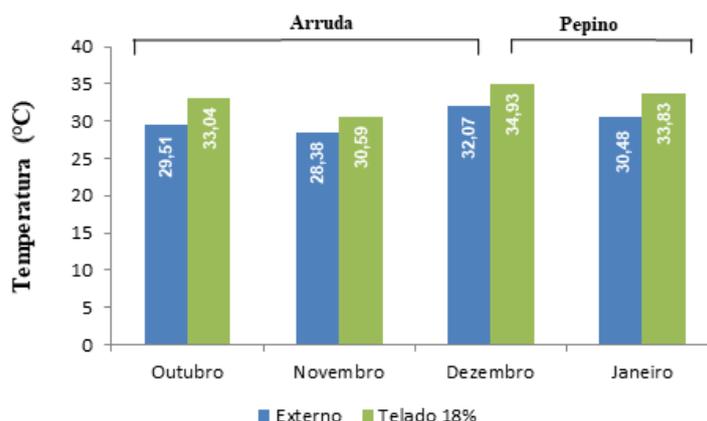
lítica da RUBISCO para a fotossíntese.

**Figura 7.** Valores médios de temperatura da folha ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 8.** Valores médios de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada nos ambientes de cultivo às 09:30 da manhã período de coleta de dados, de outubro a janeiro em Cassilândia-MS.



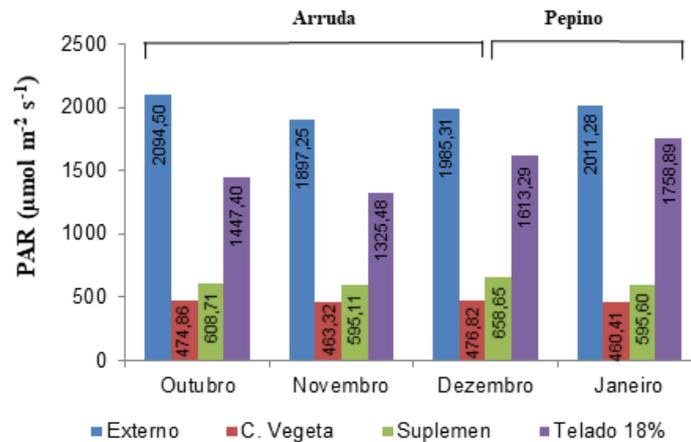
Fonte: Próprio autor.

Durante o período de condução do experimento a radiação fotossintética ativa foi maior no ambiente externo do que o observado para o telado de 18% de sombreamento e a casa de vegetação. O mesmo resultado foi observado sobre a iluminância dos ambientes, que foi maior no ambiente externo (Figura 9 e 10). A radiação fotossintética ativa interfere no crescimento e desenvolvimento vegetal, e, segundo Assis (2000), a radiação solar é um dos principais fatores que limita a produtividade tanto a campo quanto em ambientes protegidos.

Na radiação solar que entra em contato com as plantas, está contida a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que reflete diretamente na taxa de crescimento e consequentemente na produtividade vegetal (Beckmann et al., 2006). Segundo Guiselini et al., (2004) o material de cada ambiente protegido, assim como as condições atmosféricas, propicia quantidades maior ou menor de radiação incidente. Ambientes protegidos que tem em sua composição, filmes ou telas, atenuam a radiação direta do sol sobre o vegetal, reduzindo assim possíveis danos aos tecidos vegetais, principalmente quando as plantas

ainda se encontram na fase juvenil, favorecendo assim a qualidade de mudas que são levadas a campo (Costa et al., 2015).

**Figura 9.** Valores médios de Radiação Fotossintética Ativa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro a janeiro. Cassilândia-MS.



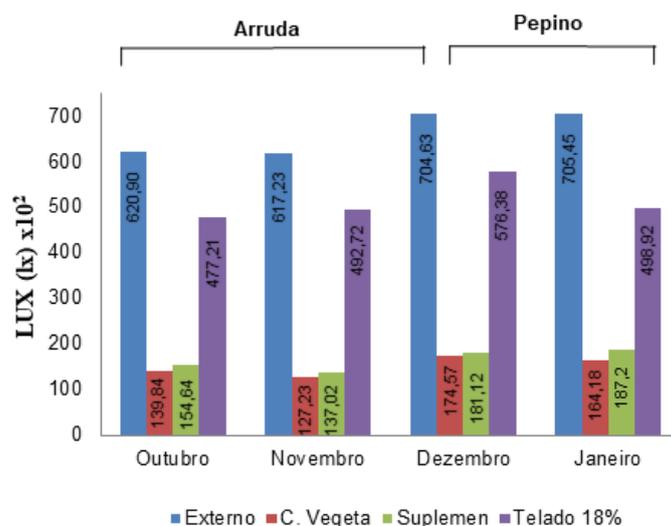
Fonte: Próprio autor.

A quantidade de iluminância no ambiente externo foi maior que as registradas nos demais ambientes (Figura 10), e, como as mudas ficaram expostas no ambiente externo, sem nenhuma barreira física, a luz incidiu diretamente sobre elas. Já para o telado com 18% de sombreamento, assim como a casa de vegetação climatizada, possuem materiais que absorvem ou refletem parte da luz solar, reduzindo assim a quantidade de iluminância que chega as mudas.

O excesso de luz pode inibir a fotossíntese através dos processos de fotoinibição (reversível) e fotooxidação (irreversível). Além disso, o excesso de luz pode afetar a fotossíntese pelo aquecimento da folha decorrente maior radiação do infravermelho, aumento da evapotranspiração, relações hídricas e na estabilidade das membranas celulares, além de modificar os aparatos hormonais e metabólicos dos vegetais (Wahid et al., 2007).

Em relação ao período do ano, como podemos observar, o mês de dezembro e janeiro resultaram em maiores leituras de iluminância em todos os ambientes estudados, sendo que o ambiente externo apresentou os maiores valores de iluminância registrada no período,  $704,63 \times 10^2$  e  $705,45 \times 10^2$  (lx), respectivamente. O filme de polietileno de baixa densidade, difusor de luz, e, com camada dupla, que recobre a casa de vegetação atua como uma barreira física a quantidade de radiação que chega ao interior do ambiente. Como o telado agrícola retém aproximadamente 18% de toda radiação que chega até o mesmo, as leituras de iluminância foram próximas das leituras do ambiente externo, com uma diferença entre eles de aproximadamente  $140 \times 10^2$  lux.

**Figura 10.** Valores médios de Iluminância (lux) registrada nos ambientes de cultivo no período de outubro de 2018 a janeiro de 2019. Cassilândia-MS.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados apontam efeitos divergentes entre as duas espécies submetidas a níveis de luminosidade (Tabela 1). O uso da iluminação suplementar artificial propiciou maior percentual de emergência de plântulas de arruda e isso se deve ao fato da arruda ter sementes fotoblástica positiva (COUTO, 2006), sendo que, a qualidade da luz incidente influencia diretamente a superação da dormência e, consequentemente, no maior percentual de emergência, que reflete em maior velocidade de emergência e tempo médio de emergência, quando comparado com os demais ambientes de produção.

A luz é importante para muitas espécies para superação de dormência das sementes (fotoblásticas positivas), a radiação luminosa é absorvida principalmente pelo fitocromo que atua em uma faixa espectral do vermelho (650-680 nm) e vermelho extremo (710-740 nm) (Martins, 2006). Sendo assim, a luz estimula a biossíntese da giberelina, atuando na síntese de enzimas, como a alfa amilase e, a liberação de energia para a retomada do crescimento do embrião e da germinação.

**Tabela 1.** Emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio emergência (TME) de plântulas de arruda e pepino em função dos ambientes de cultivo. Cassilândia-MS.

Tratamentos	Emergência		IVE		TME	
	arruda	pepino	Arruda	pepino	arruda	pepino
	-----%-----				-----dia-----	
Amb. Externo	68,80 b	84,00 b	1,28 b	3,61 c	13,64 a	4,87 a
Amb. Clamati	66,40 b	99,20 a	1,26 b	5,29 a	13,07 a	4,78 a
Suplem luz	97,60 a	98,40 a	2,12 a	5,25 a	11,93 b	4,75 a
Telado 18%	63,20 b	96,00 ab	1,19 b	4,52 b	13,37 a	5,36 a
C.V.	14,68	7,03	15,53	7,92	3,37	14,31

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ambiente Externo (pleno sol), Amb. climati (Casa de vegetação climatizada), Suplem luz (casa de vegetação climatizada com suplementação de radiação fotossintética ativa) e telado 18% (Telado agrícola com 18% de sombreamento).

Fonte: Próprio autor.

O pepino, por ser uma espécie neutra a luz em relação a superação de dormência, não resultou em diferença no percentual de emergência de plântulas em relação a quantidade e qualidade de luz fornecida suplementar durante a emergência, porém o ambiente externo propiciou condições menos favoráveis a emergência de plântulas, como é possível observar pelo índice de velocidade de emergência e na porcentagem de emergência, esse fato se deve umidade relativa abaixo de 70% (Figura 1) e alta temperatura do substrato (Figura 8) registradas no período de janeiro, decorrente a alta iluminância nesse ambiente (Figura 10). Segundo Santos *et al.*, (2010) ambientes com maior incidência de radiação luminosa tendem a apresentar maiores temperaturas do ar e do solo. Para a variável tempo médio de emergência não houve diferença estatisticamente entre os tratamentos da cultura do pepino.

Como a casa de vegetação climatizada com suplementação de luz favoreceu a emergência da arruda (Tabela 2), conseqüentemente propiciou maior crescimento inicial das mudas em relação aos demais ambientes, evidenciado no aumento no comprimento da parte aérea e da raiz das mudas de arruda. Para o pepino, os ambientes climatizados propiciaram maior comprimento da parte aérea e da raiz das mudas, além do diâmetro do colo, este fato se deve principalmente ao fato da alta temperatura do substrato (Figura 6) e folha (Figura 7) nos ambientes com alta iluminância (Figura 10), efeito negativo no crescimento das mudas, pela fotoinibição. Segundo Rodrigues *et al.* (2010), o crescimento em altura da planta deve ser proporcionalmente acompanhado pelo diâmetro do colo, sendo essa variável determinante na sobrevivência das mudas após o transplantio.

Segundo Alvarenga *et al.* (2003) o regime de luz que incide sobre a planta desempenha papel fundamental no desenvolvimento vegetal, atuando no controle de processos de acúmulo de massa seca e desenvolvimento do caule, diâmetro e comprimento da raiz do vegetal.

**Tabela 2.** Comprimento da parte aérea de mudas (CPA), comprimento do sistema radicular (CR), diâmetro do caule (DC) de mudas de arruda e pepino em função dos ambientes de cultivo. Cassilândia-MS, 2018/2019.

Tratamento	CPA		CR		DC	
	arruda	pepino	Arruda	Pepino	arruda	pepino
	-----cm-----		-----cm-----		-----mm-----	
Amb. Externo	1,88 b	3,55 b	6,84 b	7,39 b	0,38 a	2,20 b
Amb. Climati	1,89 b	6,61 a	6,24 c	11,28 a	0,43 a	3,98 a
Suplem luz	2,97 a	6,16 a	7,90 a	10,27 a	0,41 a	3,51 a
Telado 18%	1,31 b	3,54 b	5,47 d	7,42 b	0,26 b	2,18 b
C.V.	13,11	8,73	4,75	6,99	13,70	12,08

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ambiente Externo (pleno sol), Amb. climati (Casa de vegetação climatizada), Suplem luz (casa de vegetação climatizada com suplementação de radiação fotossintética ativa) e telado 18% (Telado agrícola com 18% de sombreamento).

**Fonte:** Próprio autor.

A luz causa interferência direta sobre o desenvolvimento da planta e no seu metabolismo celular, esse efeito da luz no desenvolvimento da planta e denominado fotomorfogênese, sendo que essas res-

postas a fotomorfogenéticas são promovidas principalmente por pigmentos fotorreceptores da luz vermelha e azul. Para que a luz possa ter algum efeito no desenvolvimento da planta, ela deve inicialmente ser absorvida pela planta e para que ocorra a absorção da luz a planta deve perceber um sinal luminoso, o que requer um pigmento que absorva a luz e torne-se fotoquimicamente ativo, funcionando como um fotorreceptor (Taiz; Zeiger, 2013).

Em relação ao diâmetro do caule da arruda não houve diferença entre a casa de vegetação climatizada (com e sem suplementação) e o ambiente externo, porém o menor diâmetro do caule foi evidenciado no telado de 18% de sombreamento (Tabela 2). Quando ocorrem alterações mesmo que sutis no balanço espectral do ambiente são percebidas pelas plantas, o que resulta em respostas fotomorfogenéticas, culminando em um ajuste fisiológico e morfológico na planta, e que podem atingir seu crescimento e o desenvolvimento (Li *et al.*, 2000).

Segundo Medeiro *et al.* (2018) o diâmetro do colo da planta é um dos resultados mais bem expressivos para definir a qualidade de mudas, sendo que plantas com maior diâmetro (crescimento secundário) tendem a suportar melhor as condições no campo.

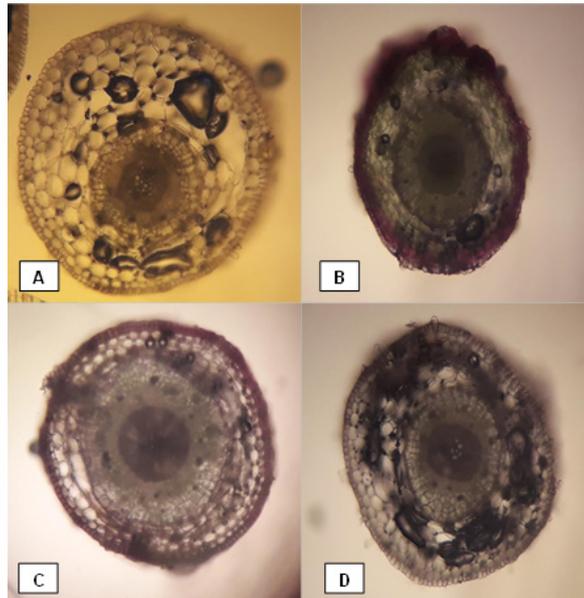
Foram observados que a intensidade de suplementação de luz (PAR) nesse experimento que foi em média de  $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  quando comparado com a casa de vegetação climatizada sem suplementação de luz, não foi expressiva para a cultura do pepino em relação ao comprimento da parte aérea, raiz e diâmetro do colo, diferente do que foi observado por Silva *et al.* (2016), que em seu experimento com diferentes fontes luminosas notou que a luz de LED vermelho (620 -630 nm) e azul (455-475 nm) comprimentos de onda na proporção de 90% (vermelho) e 10% (azul)  $28 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), resultou em maior comprimento da raiz do pepino.

Verificou-se maior temperatura da folha nos ambientes externo e telado de 18% em relação a casa de vegetação climatizada (com e sem suplementação radiação fotossintética ativa), isso se deve principalmente a alta radiação solar direta. Essa alta temperatura das folhas resulta em uma maior evapotranspiração, o que leva a planta a manter os estômatos fechados por um período maior reduzindo a entrada de  $\text{CO}_2$  interferindo diretamente na taxa fotossintética da planta (Andriolo, 2000).

Os cortes transversais anatômicos do caule das mudas de arruda estão evidenciados na Figura 11, as mudas produzidas em casa de vegetação climatizada (com e sem suplementação de luz- Figura B e C), o caule já apresenta estar em estágio de crescimento secundário mais acentuado que os das Figuras A e D.

Casa de vegetação climatizada com suplementação de luz propiciou mudas de arruda com maior massa seca da parte aérea, sistema radicular, além de maior massa seca total. Plantas medicinais não se destacam no acúmulo de fitomassa, porém tem maior eficiência no metabolismo secundário e de defesa (Andrade, 2000). Segundo Monteiro Neto *et al.* (2016), em seu experimento com pimentão produzido em diferentes ambientes, relataram que as mudas produzidas em estufa, que por atuar na retenção da temperatura e na quantidade e proporção de radiação fotossinteticamente ativa, recebida dentro do ambiente, favorecem o desenvolvimento das mudas.

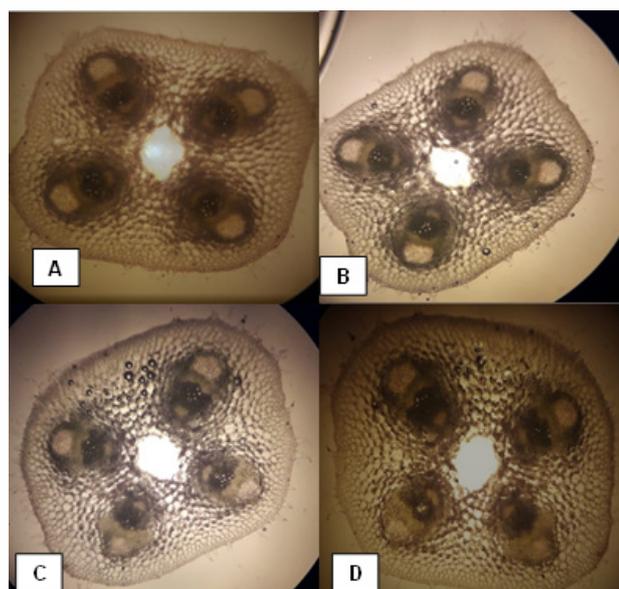
**Figura 11.** Corte transversal anatômico do caule de mudas de arruda (*Rutagraveolens*L) aos 42 dias após sementeira. A) mudas produzidas em ambiente externo; B) mudas produzidas em casa de vegetação climatizada; C) mudas produzidas em casa de vegetação climatizada com suplementação de luz; D) mudas produzidas em telado com 18% de sombreamento.



**Fonte:** Próprio autor.

Em relação aos cortes anatômicos do caule do pepino, não apresentaram nenhuma modificação entre os ambientes, como podemos observar na Figura 12.

**Figura 12.** Corte transversal anatômico do caule de mudas de pepino (*Cucumissativus*), aos 29 DAS. A) mudas produzidas em ambiente externo; B) mudas produzidas em casa de vegetação climatizada; C) mudas produzidas em casa de vegetação climatizada com suplementação de luz; D) mudas produzidas em telado com 18% de sombreamento.



**Fonte:** Próprio autor.

Podemos evidenciar um comportamento diferenciado de partição de fitomassa seca da arruda

nos órgãos em função do uso da suplementação artificial de radiação fotossintética ativa (PAR), sendo que propiciou maior acúmulo de massa seca, além de uma maior concentração no sistema radicular, decorrente que suplementação artificial de LEDs, tenha influenciado os forreceptores que propiciou mudanças fotomorfogênica do vegetal.

**Tabela 3.** Valores médios de massa seca da parte aérea de mudas (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSR), Massa seca total (MST) de mudas de arruda e pepino em função dos ambientes de cultivo. Cassilândia-MS.

Tratamento	MSPA		MSR		MST	
	arruda	pepino	arruda	Pepino	arruda	pepino
	-----mg-----		-----mg-----		-----mg-----	
Amb. externo	3,28b	80,74 b	3,40 b	64,58 ab	6,68 b	145,32 b
Amb. climati	2,71 b	143,20 a	1,25 c	77,04 ab	3,96 c	220,24 a
Suplem luz	4,39 a	147,52 a	5,62 a	89,30 a	9,99 a	236,82 a
Telado 18%	2,55 b	76,62 b	3,09 b	54,78 b	5,64bc	131,40 b
C.V.	16,85	13,79	27,79	19,89	17,04	14,00

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ambiente Externo (pleno sol), Amb. climat (Casa de vegetação climatizada), Suplem luz (casa de vegetação climatizada com suplementação de radiação fotossintética ativa) e telado 18% (telado agrícola com 18% de sombreamento).

**Fonte:** Próprio autor

No pepino a produção de mudas em casas de vegetação climatizadas (com e sem suplementação de luz) propiciou maior massa seca da parte aérea e total (Tabela 3), esse fato se deve principalmente as condições mais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, uma vez que isso se deve principalmente ao fato da alta temperatura do substrato (Figura 6) e folha (Figura 7) nos ambientes com alta iluminância (Figura 10), efeito negativo no crescimento das mudas, pela fotoinibição. Quando observados os resultados do acúmulo de massa seca da raiz, evidenciou maior massa seca na casa de vegetação climatizada (com suplementação de luz), todavia não diferindo da casa de vegetação climatizada e ambiente externo.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), por incluir, por meio de uma fórmula, variáveis morfológicas de fácil avaliação, como, diâmetro do colo, altura e biomassa, é considerado um bom indicador para qualidade de mudas (Fonseca *et al.*, 2002 e Azevedo *et al.*, 2010). Para a produção de mudas de arruda, a casa de vegetação climatizada com suplementação de luz e o ambiente externo resultou maior valor de IQD, porém não diferiu estatisticamente do telado com 18% de sombreamento (Tabela 4). Para mudas de pepino as casas de vegetação climatizada (com e sem suplementação de luz de LED) resultou em maior valor de IQD, porém não diferiram estatisticamente do ambiente externo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Relação massa secada parte aérea e do sistema radicular (MSPS), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de plantas de arruda e pepino em função dos ambientes de cultivo. Cassilândia-MS.

Tratamento	MSPS		IQD	
	arruda	pepino	Arruda	pepino
Amb. Externo	0,99 b	1,24 b	0,0011 <sup>a</sup>	0,0507 ab
Amb. Clima	2,28 a	1,91 a	0,0006 b	0,0626 a
Suplem luz	0,81 b	1,71 ab	0,0012 a	0,0684 a
Telado 18%	0,91b	1,41 b	0,0009 ab	0,0434 b
C.V.	26,41	17,28	22,07	18,45

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ambiente Externo (pleno sol), Amb. climati (Casa de vegetação climatizada), Suplem luz (casa de vegetação climatizada com suplementação de radiação fotossintética ativa) e telado 18% (telado agrícola com 18% de sombreamento).

**Fonte:** Próprio autor.

Mudas de arruda com maior massa seca, além de maior acúmulo no sistema radicular foram obtidas na casa de vegetação climatizada com suplementação de radiação fotossintética ativa, tendo as mesmas uma relação massa seca da parte aérea e do sistema radicular (MSPS) de 0,81, evidenciando maior distribuição de massa seca no sistema radicular em relação a parte aérea, propiciando mudas de melhor qualidade.

As mudas de pepino que ficaram expostas ao ambiente externo, receberam grande quantidade e intensidade de luz, e esse excesso de luz resultou em mudas de menor qualidade. A casa de vegetação climatizada (com e sem suplementação de luz) favoreceu a produção de mudas de maior qualidade.

## Conclusões

A casa de vegetação climatizada (com e sem suplementação de luz de LED) favoreceu a produção de mudas de pepino de qualidade e em quantidade.

A suplementação de radiação fotossintética ativa em casa de vegetação climatizada propiciou maior emergência de plântulas da arruda, além de mudas com maior acúmulo de massa seca, aérea, radicular, total e IQD.

## Referências

ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JUNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.53-57, 2003.

ANDRADE, F. M. C. **Homeopatia no crescimento e produção de cumarina em chambá *Justicia pectoralis***- Jacq. 2000. 214f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18,

n. 1, p.26-33, 2000.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B.B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463 - 472, 2009.

ASSIS, S. V. Radiação solar em estufa de polietileno cultivada com pepino (*Cucumis sativus*). **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.3, p.258-263, 2000.

AZEVEDO, I. M. G.; ALENCAR, R. M.; BARBOSA, A. P.; ALMEIDA, N. O. Estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (*Simarouba amara* Aubl) em viveiro. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 57-164, 2010.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Revista Rural**, v.36, n.1, p.86-92, 2006.

CARVALHO, A. D. F.; AMARO, G. B.; LOPES, J. F.; VILELA, N. J.; MICHEREFF FILHO, M.; ANDRADE, R. **A cultura do pepino**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2013. 18p. (Circular Técnica).

CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. S.; CREPALDI, I. C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC.) em diferentes níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.351-357, 2006.

COSTA, L.C.B.; PINTO, J.E.B.P.; CASTRO, E.M.; ALVES, E.; BERTOLUCCI, S.K. V.; ROSAL, L. F. Effects of colouredshadenetting on the vegetative development and leaf structure of *Ocimum selloi*. **Bragantia**, v.69, n.2, p.349-359, 2010.

COSTA, C.M. F.; SEABRA JÚNIOR, S.; ARRUDA, G.R. DE; SOUZA, S.B.S. Desempenho de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e campo aberto. **Ciências Agrárias**, v.32, n.1, p.93-102, 2011.

COUTO, M. E. O. **Coleção de plantas medicinais aromáticas e condimentares**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 91 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 157).

DAVID, E.; ROSSIL, L. A. Diferentes tecnologias de iluminação para produção de mudas de crisântemo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, n.3, p.261-266, 2010.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **For. Chron.**, v.36, p.10-13, 1960.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; OLIVEIRA, R. C. Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido II: efeito sobre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.19-26, 2004.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZO, E.; FONSECA, N.A.N.; CUTO, L. Padrão de qualidade de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.515-523, 2002.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – **ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS**. Disponível em: <<http://>

[www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoesAutomaticas](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoesAutomaticas)>. Acesso em 01 Fev. 2019.

JOHKAN, M.; SHOJI, K.; GOTO, F.; HAHIDA, S.; YOSHIHARA, T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. **Environmental and Experimental Botany**, v.75, n.1, p.128-133, 2012.

KIM, S.J.; HAHN, E.J.; HEO, J.W.; PEAK, K.Y. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. **Scientia Horticulturae**, v.101, p.143-151, 2004.

LABOURIAU, L. F. G. **A germinação de sementes**. Washington: Sec. Org. Dos Estados Unidos, 1983. 174 p.

LI, H.; TANG, C.; XU, Z. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. **Scientia Horticulturae**, v.150, n.2, p.117-124, 2013.

LI, S.; RAJAPAKSE, N. C.; YOUNG, R. E. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photosensitive plastic films. **Scientia Horticulturae**, v.84, n. 1, p. 215-225, 2000.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 544p.

MAGUEIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MARTINS, J.R. **Aspectos da germinação de sementes e influência da luz no desenvolvimento, anatomia e composição química do óleo essencial em *Ocimum gratissimum* L.** 2006. 176 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.

MEDEIROS, M. B. C. L.; JESUS, H. I.; SANTOS, N. F. A.; MELO, M. R. S.; BORGES, L. S.; GUERREIRO, A. C.; FREITAS, L. S. Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. **Agroecossistemas**, v.10, n.1, p.159-173, 2018.

MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; VILARINHO, L. B. O.; SILVA, E. D.; ARAÚJO, W. B. L.; SAKAZAKI, R. T. Produção de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em diferentes ambientes e substratos. **Agrária**, v.11, n.4, p.289-297, 2016.

RODRIGUES, E. T.; LEAL, P. A. M.; COSTA, E.; PAULA, T. S. DE; GOMES, V. A. Produção de mudas de tomateiro em diferentes substratos e recipientes em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.28, p.483-488, 2010.

SANTOS, L. L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.8, n.1, p.83-93, 2010.

SILVA, E. M.; COSTA, G. G.; ANDRADE, A. F.; STAINER, F. Light spectral quality on production of lettuce, cucumber and sweet pepper seedlings. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.15, n.4, p.446-452, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 3ª edição, Porto Alegre: Artmed. 2013. 954 p.

