



Universidade de Brasília

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

JOSÉ ALAN CORDEIRO DE BRITO

**EFEITO DO INOCULANTE MICORRÍZICO ROOTELLA® BR ULTRA E DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CULTIVO DO HÍBRIDO BM990 NO CERRADO**

Brasília - DF

2023

JOSÉ ALAN CORDEIRO DE BRITO

**EFEITO DO INOCULANTE MICORRÍZICO ROOTELLA® BR ULTRA E DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CULTIVO DO HÍBRIDO BM990 NO CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Jordana Moura Caetano

Brasília - DF

2023

BB862e

Brito, José Alan Cordeiro.

Efeito do inoculante micorrízico rootella® br ultra e da adubação fosfatada no cultivo do híbrido bm990/ José Alan Cordeiro Brito; orientador Jordana Moura Caetano. -- Brasília, 2023.
36 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Milho. 2. Fósforo. 3. Fungos micorrízicos arbusculares. 4. Inoculação.
5. Solos tropicais. I. Caetano, Jordana Moura, orient. II. Título

FICHA CATALOGRÁFICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITO, José Alan Cordeiro. **Efeito do inoculante micorrízico rootella® br ultra e da adubação fosfatada no cultivo do híbrido bm990 no Cerrado**. 2023. 35 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: José Alan Cordeiro de Brito.

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Efeito do inoculante micorrízico rootella® br ultra e da adubação fosfatada no cultivo do híbrido bm990 no Cerrado.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

JOSÉ ALAN CORDEIRO DE BRITO

Email: zealan02.ja@gmail.com

Tel.: (61) 99261-7683

JOSÉ ALAN CORDEIRO DE BRITO

**EFEITO DO INOCULANTE MICORRÍZICO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO
CULTIVO DO HÍBRIDO BM990 NO CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado à Faculdade de Agronomia e
Medicina Veterinária da Universidade de
Brasília como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Jordana Moura
Caetano

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Orientadora

Jordana Moura Caetano

Examinador 1

Cícero Célio de Figueiredo

Examinador 2

Filipe Bittencourt Machado de Souza

AGRADECIMENTOS

Apesar de nesta monografia constar apenas um autor, esta não teria sido concretizada não fosse a contribuição de muitas pessoas. Portanto, quero deixar registrado aqui meus agradecimentos a todos que de alguma forma estiveram envolvidos neste trabalho e na minha formação.

Agradeço à Deus por me conceder saúde e sabedoria para persistir e vencer os desafios dessa jornada. Aos meus pais (Nilza Mesquita de Brito e José Cordeiro de Brito Neto) que estão sempre me apoiando, incentivando e não medem esforços para me ajudar. Sou grato à professora Jordana pela a oportunidade e por ter sido sempre solícita durante esse período. Aos meus colegas do projeto, com os quais dividi as atividades, e a todos que, mesmo não fazendo parte como membros da equipe, se disponibilizaram para ajudar na condução da pesquisa. E também aos profissionais da Fazenda Água Limpa e professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília que auxiliaram em todo o processo.

RESUMO

Devido ao elevado grau de intemperismo dos solos do Cerrado, aliado com a baixa mobilidade e alta atratividade fósforo (P) às estruturas desses solos, este torna-se limitante para o cultivo de milho nessas regiões. Com isso, alternativas mais eficientes na utilização desse nutriente tornam-se imprescindíveis. Portanto, objetivou-se com este trabalho investigar os efeitos de um inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* e de diferentes doses de adubação fosfatada na bioquímica do solo rizosférico cultivado com milho e na sua produtividade. O experimento foi realizado no campo experimental da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, em Brasília - DF. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2, com quatro repetições, em parcelas subdivididas. Os fatores empregados neste experimento são: dose de P (0, 30 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e inoculação (semente inoculada e semente não inoculada) com o inoculante ROOTELLA® BR ULTRA, totalizando 24 parcelas experimentais. Foram realizadas avaliações do fósforo microbiano (P-BIO), carbono microbiano (C-BIO) e nitrogênio microbiano (N-BIO), da atividade das enzimas fosfatase ácida e B-Glicosidase, além do pH, fósforo lábil (P lábil) e produtividade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($\alpha=0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade com auxílio do software estatístico SISVAR®. A inoculação proporcionou maior atividade da fosfatase ácida e concentrações de C-BIO e N-BIO no solo rizosférico. As doses de P aplicadas no sistema resultaram em diminuição do pH, aumento do P lábil e alterações complexas nos níveis de C-BIO e de N-BIO. A interação entre inoculação e dose de P teve efeito significativo na concentração de P-BIO e na atividade da B-Glicosidase. A produtividade não apresentou aumento ou redução significativa em relação aos tratamentos investigados.

Palavras-chave: carbono microbiano, fósforo microbiano, nitrogênio microbiano, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Due to the high degree of weathering in Cerrado soils, combined with the low mobility and high affinity of phosphorus (P) to the structures of these soils, it becomes a limiting factor for corn cultivation in these regions. Therefore, more efficient alternatives in the use of this nutrient become indispensable. Thus, the objective of this study was to investigate the effects of a mycorrhizal inoculant based on *Rhizophagus intraradices* and different doses of phosphorus fertilization on the rhizospheric soil biochemistry in corn cultivation and its productivity. The experiment was conducted at the experimental field of Fazenda Água Limpa, University of Brasília, in Brasília - DF. The experimental design used was a completely randomized factorial 3x2 scheme with four replications in split plots. The factors employed in this experiment are: P dose (0, 30, and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and inoculation (inoculated seed and non-inoculated seed) with the inoculant ROOTELLA® BR ULTRA, totaling 24 experimental plots. Evaluations were performed for microbial phosphorus (P-BIO), microbial carbon (C-BIO), and microbial nitrogen (N-BIO), as well as the activity of acid phosphatase and β-Glucosidase enzymes, pH, labile phosphorus (P labile), and productivity. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) by the F-test ($\alpha=0.05$), and the means were compared by the Tukey test, with a significance level of 5% probability using the statistical software SISVAR®. Inoculation resulted in higher acid phosphatase activity and concentrations of C-BIO and N-BIO in the rhizospheric soil. Phosphorus doses applied in the system led to a decrease in pH, an increase in labile P, and complex changes in C-BIO and N-BIO levels. The interaction between inoculation and P dose had a significant effect on P-BIO concentration and β-Glucosidase activity. Corn productivity did not show a significant increase or decrease in relation to the investigated treatments.

Keywords: microbial carbon, microbial phosphorus, microbial nitrogen, *Zea mays* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	MILHO	10
2.1.1	BOTÂNICA.....	11
2.1.2	FISIOLOGIA	11
2.1.3	NECESSIDADES NUTRICIONAIS.....	15
2.2	MICROORGANISMOS DO SOLO NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES ÀS PLANTAS.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	18
3.2	IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	18
3.3	HÍBRIDO BM990 VIP3	19
3.4	INOCULANTE ROOTELLA® BR ULTRA	20
3.5	TRATOS CULTURAIS	20
3.6	COLETA DE DADOS	21
3.6.1	FASE FENOLÓGICA	21
3.6.2	AMOSTRAGEM DE SOLO RIZOSFÉRICO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	22
3.7	ANÁLISES DE SOLO.....	22
3.8	ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE.....	23
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1	pH.....	24
4.2	P lábil.....	25
4.3	P-BIO	25
4.4	C-BIO.....	26

4.5	N-BIO	27
4.6	Fosfatase	28
4.7	B-glicosidase	29
4.8	Produtividade	30
5	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

As comunidades microbianas estão intimamente envolvidas na dinâmica dos nutrientes no solo, atuando por diferentes mecanismos responsáveis pelas transformações dos elementos. As micorrizas, interação simbiótica mutualística entre plantas e fungos do solo, destacam-se como um desses mecanismos por aumentar a área de exploração radicular da planta tornando a absorção de água e nutrientes mais eficientes (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Nos ecossistemas tropicais, onde predominam solos muito intemperizados e oxídicos, como os latossolos, as associações micorrízicas são cruciais para o aumento da absorção de fósforo (P), principalmente devido à baixa mobilidade deste elemento e seu caráter limitante para a produção agrícola e florestal (CARDOSO; ANDREOTE, 2016) e a região do Cerrado não constitui exceção. Isso faz com que sejam requeridas grandes quantidades de fosfatos na correção da fertilidade desses solos. Além do mais, não há de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no país e os fertilizantes possuem elevado custo, justificando estudos para otimizar a eficiência no uso de adubos fosfatados (RESENDE et al., 2006).

Atualmente, o milho é um dos cereais mais produzidos no mundo, com produção em 2023 de 1,2 bilhões de toneladas, sendo o Brasil responsável por 11% dessa produção (aproximadamente 130 milhões de toneladas) (USDA, 2023) e o Cerrado é a principal região de cultivo do grão no país. Embora o P não seja o nutriente mais requerido pelo milho, este se torna limitante nas principais regiões produtoras do país, onde a quantidade disponível para a planta é 0,1% dos teores totais (COELHO; FRANÇA, 1995; CORRÊA et al., 2008). Lucena et al. (2000) verificaram que o rendimento do milho aumentou com o aumento das dosagens de P_2O_5 , até o nível de $197,6 \text{ kg ha}^{-1}$, atingindo um ponto máximo de $2.258,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos evidenciando a importância desse nutriente para a cultura. Nesse sentido, faz-se necessário tecnologias que melhorem o aproveitamento dos fertilizantes fosfatados e do P já presente no solo tornando a produção sustentável nos aspectos econômico, ambiental e social.

Para melhor compreensão da função e dos efeitos de certa comunidade microbiana sobre a cultura de interesse deve-se utilizar metodologias que descrevam processos funcionais associados à rizosfera, zona próxima às raízes das plantas, onde ocorrem interações entre a planta, microrganismos e substâncias químicas do solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Desse modo, objetivou-se com este trabalho investigar os efeitos de um inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices*, recém registrado no Brasil, e de diferentes doses de adubação fosfatada na bioquímica do solo rizosférico em cultivo de milho na região do Cerrado e avaliar a resposta da produtividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MILHO

O milho (*Zea Mays* L.) é um dos cereais mais cultivados do mundo. Originário da América, espalhou-se por outras regiões logo após o descobrimento. Cristóvão Colombo levou as primeiras sementes para a Europa e os portugueses as levaram até a Ásia. Atualmente, há aproximadamente 150 espécies de milho, com grande diversidade de cor e formato dos grãos. É um cereal fácil de ser plantado e colhido, seja milho duro, doce ou de pipoca (MAPA, 2023; ABIMILHO, 2023).

A sua importância se dá devido à sua grande adaptação às diferentes condições ambientais, ao seu valor nutricional para a alimentação humana e animal e para a geração de renda por meio da produção de grãos (MAPA, 2023). No Brasil, segundo a Abimilho (2023), a alimentação animal, o consumo humano e o uso industrial configuram entre os principais usos do grão no país, os quais demandaram 53,2, 14,9 e 1,9 milhões de toneladas (mil toneladas), respectivamente, da safra 2021/2022.

Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos, a China e o Brasil, nessa ordem, totalizando 66% da produção mundial (USDA, 2023). O Estados Unidos, com produção de 384.419 mil toneladas, foi responsável por 32% do total produzido em 2023. Já a China produziu 277.000 mil toneladas, representado 23% da parcela mundial. Por fim, o Brasil ficou responsável por 11% da produção mundial nesse mesmo ano.

De acordo com a Conab (2023), a produção da safra brasileira 2022/23 foi de 131.865,9 mil toneladas, com variação positiva de 16,6% em relação à anterior. A produtividade saltou de 5.248 kg ha⁻¹ para 5.922 kg ha⁻¹ e a área cultivada foi de 22.267,4 mil ha. Os principais estados produtores foram Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul com 51.240,6, 18.509,2 e 12.869,6 mil toneladas de milho, respectivamente (Tabela 1). Para o final da safra 22/23, a Conab (2023) estima que o estoque brasileiro seja de 12,3 milhões de toneladas, 51,5% a mais que a safra 2021/22. Há expectativa de redução nas importações, que devem ficar em torno de 1,9 milhão de toneladas em razão da maior produção nacional. Além disso, estima-se que 50 milhões de toneladas do grão serão exportados via portos.

Tabela 1. Comparativo de área (mil ha⁻¹), produtividade (kg ha⁻¹) e produção do milho (mil t), safras 2021/22 e 2022/23.

UF	ÁREA (mil ha)			PRODUTIVIDADE (kg ha ⁻¹)			PRODUÇÃO (mil t)		
	Safra 21/22	Safra 22/23	VAR. %	Safra 21/22	Safra 22/23	VAR. %	Safra 21/22	Safra 22/23	VAR. %
BR	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
MT	6.547,4	7.428,1	13,5	6.357	6.898	8,5	41.620,1	51.240,6	23,1
MS	2.180,3	2.262,6	3,8	5.715	5.688	(0,5)	12.460,3	12.869,6	3,3
PR	3.151,7	2.855,8	(9,4)	5.210	6.481	24,4	16.421,6	18.509,2	12,7
BR	21.580,6	22.267,4	3,2	5.242	5.922	13,0	113.130,4	131.865,9	16,6

Fonte: CONAB (2023).

No entanto, a perspectiva para a safra 2023/24 é diferente. Prevê-se uma área cultivada de milho de 21,2 milhões de hectares, o que representa uma redução de 4,8% em relação à safra 2022/23. A produtividade total também estará sujeita a uma queda de 9,1%, passando para 5.651 kg ha⁻¹. Com isso, resulta-se em uma safra de, aproximadamente, 119,8 milhões de toneladas de milho, ou seja, 6,2% inferior à safra anterior (CONAB, 2023).

2.1.1 BOTÂNICA

Botanicamente, o milho é assim classificado: a) reino: Plantae; b) divisão: Anthophita; c) classe: Monocotilidoneae; d) ordem: Poales; e) família: Poaceae; f) subfamília: Panicoideae; g) tribo: Maydae; h) gênero: Zea; e i) Espécie: *Zea mays* L. (BORÉM et al., 2017).

2.1.2 FISILOGIA

O milho é uma planta de ciclo anual, que apresenta baixo ponto de compensação de CO₂, alta taxa fotossintética e baixo consumo de água para a formação de matéria fresca (GOMES et al., 2011). Para a obtenção de boas produtividades essa cultura necessita de disponibilidade hídrica entre 500 a 800 mm bem distribuídos durante o ciclo fenológico; temperatura média diária superior a 15 °C, livres de geadas, temperatura média noturna acima de 12,8 °C e abaixo de 25 °C; temperatura no período próximo e durante o florescimento entre 15 °C a 30 °C e ausência de déficit hídrico (MAPA, 2022).

Todas as plantas de milho seguem o mesmo padrão de desenvolvimento, porém, o intervalo de tempo específico entre os estádios e o número total de folhas desenvolvidas podem variar entre híbridos diferentes, ano agrícola, data de plantio e local (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). No Brasil, a cultura apresenta ciclo variável entre 100 e 160 dias (BORÉM; PIMENTEL, 2017) em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio – período compreendido entre a semeadura e o ponto de maturidade fisiológica) (FANCELLI, 2015).

Considerando o contexto de desenvolvimento da agricultura mais tecnificada e científica, torna-se imprescindível o emprego de conhecimentos alusivos à fenologia – estudo dos eventos periódicos da vida da planta, quanto à sua duração e sincronismo, em função da reação às condições de ambiente, de forma a permitir o estabelecimento de correlações entre os eventos fisiológicos da vida vegetal e as evidências morfológicas apresentadas pela planta no momento da avaliação (FANCELLI, 2015). A utilização prática da fenologia é assegurada por inúmeros estudos que permitem o estabelecimento de correlações entre a ocorrência de eventos fisiológicos e bioquímicos na planta com seus aspectos morfológicos, como número e tipos de folhas, presença de estruturas reprodutivas e frutos, oferecendo maior segurança e precisão nas ações de manejo e de pesquisa (KOZLOWSKI, 2002).

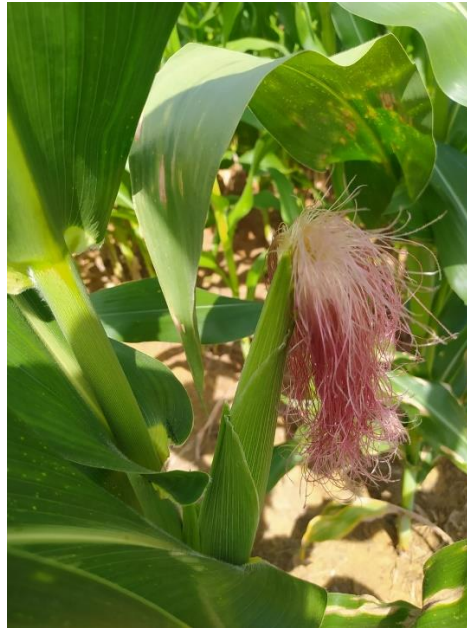
Os estádios de crescimento da planta de milho se dividem em vegetativos (V1 a VT) e reprodutivos (R1 a R6), segundo a escala fenológica de Ritchie & Hanway (1989). Subdivisões dos estádios vegetativos são designados numericamente como V1, V2, V3 até V(n); em que (n) representa o número de folhas até a última folha emitida antes do pendoamento (Vt). O primeiro e o último estádios V são representados, respectivamente, por VE (emergência) e Vt (pendoamento) (MAGALHÃES; DURÃES; 2006).

Os estágios vegetativos são definidos de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo. Ritchie & Hanway (1989) relataram que a primeira folha de cima para baixo, com o colar visível, é considerada completamente desenvolvida e, portanto, é contada como tal.

A emergência (estádio VE) caracteriza-se pelo crescimento e aparecimento do coleóptilo acima da superfície do solo. O V1 ocorrerá quando a primeira folha estiver totalmente desenvolvida e assim sucessivamente. O Pendoamento, ou estádio VT, dá início quando é possível observar o último ramo do pendão e os estilos-estigmas, popularmente conhecidos como cabelos, ainda não tenham emergido.

Os estádios reprodutivos iniciam-se com o Estádio R1 e terminam em R6. Em R1 ocorre o embonecamento - os cabelos estão para fora da espiga, visíveis (Figura 1) – e a polinização. É uma fase sensível a estresses ambientais, principalmente o hídrico. Sob seca, os cabelos e grãos de pólen podem dissecar, resultando em baixa polinização e baixa granação da espiga.

Figura 1 - Estilo estigmas visíveis de uma planta em R1 observada em campo



Fonte: autoria própria.

O estágio R2 caracteriza-se pelo escurecimento e secamento dos cabelos, pois já cumpriram sua função. Os grãos estão brancos com o aspecto de “bolha d’água”, mas já contém o primórdio do que será uma planta adulta. A espiga está perto de atingir o tamanho máximo.

Em R3 o grão inicia a transformação dos açúcares solúveis em amido, ficando com uma coloração amarela e com o fluido leitoso internamente. Nesse estágio há rápida acumulação de matéria seca, a densidade dos grãos é definida e ainda há translocação efetiva de N e P para os grãos em formação.

No estágio R4 a consistência do líquido interno dos grãos passa para um aspecto pastoso, devido à elevada deposição de amido. Essa fase destina-se ao ganho de peso dos grãos e condições ambientais desfavoráveis irão resultar em grãos leves e pequenos.

Em R5 os grãos estão passando para estado farináceo, ocorre a formação do dente na parte superior do grão e é possível observar a linha do leite. Essa linha (milk-line) é uma camada externamente visível na face oposta ao embrião, que limita as matrizes sólida e líquida do endosperma e se desloca da região da coroa para a base do grão, durante o processo da maturação (FAHL et al., 1994) (Figura 2). Portanto, a milk-line é uma das formas de acompanhar o processo de maturação dos grãos de milho. O grão destinado para silagem é colhido nesse estágio com 33 a 37% de matéria seca.

Figura 2 - Observação em campo da linha do leite na espiga do milho



Fonte: autoria própria.

Por fim, no estágio R6 os grãos alcançam a maturidade fisiológica. Esse é o estágio em que todos os grãos na espiga alcançam o máximo de acumulação de peso seco e vigor, ocorre cerca de 50 a 60 dias após a polinização (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Os grãos de milho não apresentam mais leite detectável em seu endosperma e a milk-line não está mais visível, pois já avançou até a espiga.

Cada etapa de crescimento possui sua importância, mas, de acordo com Magalhães (2011), pode-se eleger três mais importantes:

- Iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, estágio esse atingido com cinco folhas totalmente desenvolvidas (V5), quando o número potencial de grãos é determinado. Nesse estágio, apesar de a planta ainda estar jovem, é uma fase crítica, pois todo o potencial de rendimento poderá ser comprometido caso a lavoura venha sofrer algum tipo de estresse;
- Período de florescimento, conhecido como VT-R1, que é o período de pendoamento do milho e emissão da boneca, quando o potencial de grãos é fixado. Essa fase coincide com a fertilização dos grãos, em que não poderá faltar umidade e nutrientes para as plantas, em consequência das altas taxas de metabolismo presente;
- Enchimento de grãos que vai de R2 a R6, quando então haverá o depósito de matéria seca nos grãos contribuindo para aumentar o seu peso e, conseqüentemente, o rendimento final. Estresse nessa fase vai afetar a fotossíntese e conseqüentemente o peso final de grãos.

2.1.3 NECESSIDADES NUTRICIONAIS

Entre os fatores que mais contribuem com a produtividade do milho, está o estado nutricional da planta, que depende da fertilidade dos solos e das adubações (BENTO et al., 2016).

A absorção de nutrientes logo no início do ciclo da cultura do milho é mínima, pois as reservas contidas nas sementes são suficientes para as necessidades iniciais da planta (PINHO et al., 2009). Observa-se que a extração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) aumenta linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho se refere a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (COELHO; FRANÇA, 1995).

No solo, o P é pouco móvel sendo encontrado basicamente na forma orgânica (Po) e na fração inorgânica (Pi), representada principalmente pelo fosfato (H_2PO_4^-), que é a forma predominante na solução do solo e assimilável pelas plantas e microrganismos do solo. A baixa mobilidade e alta tendência à adsorção em óxidos de Fe e Al torna o P deficiente na maior parte dos solos brasileiros (CARDOSO; ANDREOTE, 2016), especialmente nos Latossolos.

Os Latossolos representam aproximadamente 45,7% dos solos da região do Cerrado, sendo descritos como muito intemperizados, profundos, apresentam pH entre 4,0 e 5,5, baixa capacidade de troca catiônica, alta capacidade de adsorção aniônica (especialmente fosfato) e teores baixos de P disponível por Mehlich-1 (menores que $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$) (EBERHARDT et al., 2008). Portanto, embora não seja o nutriente mais exigido pelo milho, o fósforo é um dos nutrientes que merecem mais atenção para a produção agrícola nos solos da região do Cerrado onde a disponibilidade desse elemento, em condições naturais, é muito baixa (SOUSA; LOBATO, 2004). Sichoeki et al. (2014) constataram que há incremento linear na produtividade do milho com o aumento das doses de P em latossolo vermelho-amarelo, evidenciando a importância desse nutriente para a cultura, sendo que a produtividade máxima de grãos estimada foi de 6.401 kg ha^{-1} , obtida com a aplicação de $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

A necessidade de grandes volumes de fosfatos para corrigir a fertilidade desses solos somada à escassez de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no país e ao elevado custo dos fertilizantes, motiva pesquisas para melhorar a eficiência no emprego de adubos fosfatados (RESENDE et al., 2006) e o fósforo já acumulado no solo.

2.2 MICRORGANISMOS DO SOLO NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES ÀS PLANTAS

O componente biológico do solo é formado por diversos grupos organismo que atuam na transformação da matéria orgânica do solo. Essa ação compreende o desenvolvimento contínuo de processos de síntese e de análise de compostos orgânicos, conferindo ao solo uma natureza biológica e, portanto, com características dinâmicas (GALLI, 1964).

Dentre os efeitos benéficos resultante das relações entre os microrganismos presentes no solo e deles com o ambiente, podem-se destacar aqueles relacionados com o estímulo ao desenvolvimento vegetal (e por consequência resultar em maior produtividade agrícola), sejam estes relacionados diretamente com a fisiologia da própria planta, ou indiretos, onde os microrganismos apresentam atividades – como a degradação de compostos orgânicos ou o antagonismo a patógenos – que interferem no desenvolvimento vegetal (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Entre os mecanismos diretos, destaca-se o aprimoramento da absorção e acúmulo de nutrientes essenciais às plantas, a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfato, a secreção de sideróforos e a produção de fitormônios (REZENDE et al., 2021).

O estudo desses microrganismos vem merecendo destaque nos últimos anos em razão da grande demanda por tecnologias sustentáveis, podendo reduzir os custos de produção, aumentando a produtividade e a rentabilidade do agronegócio (REZENDE et al., 2021). Estima-se que o mercado global de bioestimulantes (microrganismos, extratos, enzimas, etc) alcançou US\$ 3,14 bilhões (R\$ 16,2 bilhões) em 2022, com projeções para US\$ 6,69 bilhões (R\$ 34,5 bilhões) em 2029, um crescimento de 11,43% (FORBES, 2023).

Entre os diversos grupos de organismos do solo que influenciam o crescimento das plantas, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs - Filo Glomeromycota), que estabelecem a associação micorrízica arbuscular (MA) com aproximadamente 80% das espécies vegetais (CZERNIAK; STURMER, 2014). Essa associação é uma simbiose mutualística obrigatória. Entre os benefícios que trazem às culturas, os mais evidentes são o aumento da absorção de nutrientes, sobretudo os de baixa mobilidade no solo, como o fósforo (P) e o zinco (Zn). Isso acontece porque suas hifas permitem a exploração de um maior volume de solo em comparação à raiz da planta não micorrizada (CARDOSO; NOGUEIRA, 2009).

Ao processo de estabelecimento do contato desses microrganismos com as plantas dá-se o nome de inoculação, o qual pode ocorrer em sementes, plantas já estabelecidas e diferentes épocas de aplicação. O inoculante, de acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), é todo produto que contenha microrganismos com atuação favorável ao crescimento

das plantas. Atualmente, são comercializados no Brasil em formulação líquida ou turfosa e possuem diversas formas de ação, tais como: (i) por meio da liberação de compostos químicos que podem estimular o crescimento de plantas ou aumentar sua resistência em situações de estresse; (ii) como agentes de biocontrole, reduzindo a incidência de doenças causadas por fitopatógenos nas plantas; (iii) atuando como biofertilizantes, por meio da solubilização e aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, entre outros (FLORENCIO et al., 2022).

É crescente a aplicabilidade da inoculação de sementes com esses objetivos, bem como o desenvolvimento de diversas linhas de pesquisa associadas a esta tecnologia, como a diversificação nos métodos de inoculação das sementes, o desenvolvimento de metodologias que dão maior longevidade do inóculo em sementes inoculadas, bem como o manejo empregado no sistema produtivo, que sempre considera a viabilidade do inoculante como fator importante a ser preservado nos campos de produção (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Bressan & Vasconcellos (2002) constataram que o P adicionado ao solo e a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares afetam a morfologia do sistema radicular do milho. Nas plantas sem inoculação, o aumento das doses de P aumentou o peso da matéria seca das raízes, o número de raízes laterais e pelos radiculares, levando a um maior teor de P na parte aérea, e, conseqüentemente, a um maior peso da parte aérea. Nas plantas inoculadas ocorreu um menor número de pelos radiculares, mas as hifas micorrízicas supriram a demanda de P do milho, aumentando o peso da parte aérea. A adição de fósforo aumentou o número de raízes do milho, mas há um limite. O número máximo de raízes primárias, por exemplo, foi obtido nas doses de P nos níveis de 139 e 285 mg kg⁻¹ de solo, nas plantas infectadas com os fungos micorrízicos, *Glomus etunicatum* e *Glomus clarum*, respectivamente. A adição de P acima desses níveis resultou em efeito inibitório sobre os fungos e, conseqüentemente, sobre a quantidade de raízes laterais primárias. Nas plantas com 18 dias, verificou-se que o máximo teor de P na parte aérea foi observado naquelas com inoculação e com uma menor dose de fósforo em relação às plantas não infectadas. Nas plantas sem inoculação o teor de P máximo na parte aérea foi obtido com doses de P igual a 200 mg kg⁻¹, enquanto nas plantas inoculadas a dose foi de 131 mg kg⁻¹, sendo a quantidade de P observada na parte aérea foi maior. Isso mostra que as hifas dos fungos arbusculares foram mais eficientes na absorção desse nutriente do que os pelos radiculares.

Complementando, Bento et al. (2016) também propuseram que ocorreu efeito de doses na produção de massa seca, em função da inoculação. Entretanto, os benefícios da inoculação com microrganismos promotores de crescimento na massa seca da parte aérea, nos teores de P na planta e nos grãos do milho se manifestaram principalmente em condições de baixa

disponibilidade, ou seja, nas menores doses de fósforo. A massa seca, na dose 80 kg de P_2O_5 ha^{-1} , foi maior com a inoculação. E com o uso de inoculantes, a dose de 111,21 kg de P_2O_5 ha^{-1} proporcionou a máxima produtividade estimada de 10.970,6 kg ha^{-1} de massa seca. Esses dados demonstram que a inoculação potencializou o aproveitamento do fósforo aplicado via adubação e/ou das reservas existentes no solo, possibilitando a obtenção de maior quantidade de massa seca com menor dose de fósforo (BENTO et al., 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Conduziu-se o experimento na área experimental da Universidade de Brasília, na Fazenda Água Limpa, localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, Brasília, DF ($15^{\circ}57'12.96''S$; $47^{\circ}56'3.56''O$ e altitude 1057m). O clima do Distrito Federal, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é caracterizado como um clima tropical sendo uma de suas características a sazonalidade do regime de chuva, tendo um período seco de maio a setembro e um período chuvoso de outubro a abril. Mais especificamente, é classificado como tropical estacional de savana (Aw). A média anual da precipitação acumulada em Brasília é de 1477,4 mm. A pluviosidade é caracterizada pela marcante sazonalidade. Cerca de 90% da precipitação ocorre na estação das chuvas (setembro/outubro a março/abril), enquanto na estação seca (abril/maio a setembro) raramente chove mais que 9,0 mm/mês. O total anual varia entre 1.100 mm a 1.600 mm (CODEPLAN, 2020).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo, segundo classificação realizada por Rodolfo Junior et al. (2015). Antes do plantio foi realizada a análise química do solo, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise química de solo da área experimental.

pH	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	K	P	V	m	MO	COrg
	cmol _c .dm ⁻³						mg.dm ⁻³	%			g.kg ⁻¹	
5,7	0,0	3,0	1,1	2,7	4,6	7,3	0,44	32,8	63,0	0,0	68,6	39,9

Fonte: autoria própria.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2, com quatro repetições, em parcelas subdivididas. Os fatores foram: dose de P (0, 50 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5) e inoculação (semente inoculada e semente não inoculada), totalizando 24 parcelas experimentais. As dimensões de cada parcela experimental foram de 4x10 m, com sete linhas de plantio cada.

A implantação do experimento iniciou-se no dia 25 de novembro de 2022, sendo realizada adubação utilizando fertilizante NPK (120 kg de N, 60 kg de P₂O₅, 80kg de K₂O) no sulco de semeadura conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004). Para essa operação foi utilizada uma semeadora-adubadora. No mesmo dia foi realizada também a semeadura do híbrido, com 0,5 m entre linhas e densidade de 3,5 sementes m⁻¹ (70000 plantas ha⁻¹), em sistema de plantio direto. O híbrido utilizado foi o BM990 com tecnologia AgrisureViptera3.

Para os tratamentos que continham inoculação foi realizado o preparo das sementes em campo antes da semeadura. Utilizou-se 15 g ha⁻¹ do inoculante comercial Rootella® BR ULTRA (formulação em pó) à base do fungo micorrízico *Rhizophagus intraradices* e 50 ml de goma xantana a 2,5% para 3 kg de sementes. Primeiro misturou-se a goma xantana às sementes e, posteriormente, adicionou-se o inoculante. As sementes tratadas foram semeadas nos diferentes tratamentos de adubação fosfatada.

3.3 HÍBRIDO BM990 VIP3

O híbrido BM990, indicado para grão ou silagem de grão úmido, apresenta tecnologia AgrisureViptera3, a qual oferece tolerância às principais espécies de lagartas que atacam a cultura, entre elas cartucho, espiga rosca e elasmó, além de tolerância ao herbicida glifosato. Além disso, possui ciclo precoce, com resposta ao investimento de alta à média/alta. A planta apresenta altura variando entre 2,4 a 2,6 m, arquitetura semiereta e excelente staygreen. As espigas apresentam bom empalhamento, inserção entre 1,10 a 1,50 m e grão do tipo semiduro, alaranjado (BIOMATRIX, 2023), representado na Figura 3.

A Biomatrix (2023) indica o uso das sementes em regiões tropicais altas (acima de 700 m de altitude), entre outras condições, tanto para o cultivo de verão quanto para safrinha. A população de plantas recomendada varia devido a diversos fatores, mas está entre 65 a 75 mil no verão e 50 a 65 mil na safrinha.

Figura 3 - Imagem de uma espiga do híbrido BM990



Fonte: BIOMATRIX (2023).

3.4 INOCULANTE ROOTELLA® BR ULTRA

Trata-se de um inoculante micorrízico em pó fino concentrado, desenvolvido pela Groundwork BioAg (Figura 4), que inocula efetivamente as plantas com fungos endomicorrízicos vigorosos. As cepas fúngicas são originárias do deserto israelense e desenvolveram-se de modo a conseguir se adaptar e prosperar nas condições mais difíceis. São cerca de 167.000 propágulos viáveis de *Rhizophagus intraradices* por grama que prometem melhorar o rendimento das culturas, reduzir as necessidades de fertilizante, composto e irrigação, além de aumentar a resistência da planta a estresses (GROUNDWORK, 2023).

Figura 4 - Imagem do inoculante embalado



Fonte: GROUNDWORK (2023).

3.5 TRATOS CULTURAIS

A adubação de cobertura consistiu em 180 kg ha⁻¹ de N parceladas em duas aplicações de 350g de ureia por parcela à lanço. A primeira aplicação ocorreu quando a maior parte das parcelas estavam no estágio fenológico V6, 41 dias após a semeadura (DAS), e a segunda, após 15 dias dessa.

Foram realizadas duas aplicações de Glifosato (2 kg ha⁻¹) para controle de plantas invasoras na área, 18 e 53 DAS, utilizado um trator com pulverizador montado. No 53º DAS ocorreu aplicação de 400 mL ha⁻¹ do fungicida FOX® (Trifloxistrobina 150 g L⁻¹; Protioconazol 175 g L⁻¹) com objetivo de controlar a Helmitosporiose do milho (*Exserohilum turcicum*) e 200 mL ha⁻¹ do inseticida EN GEO PLENO™ S (Tiametoxam 141 g L⁻¹; Lambda-cialotrina 106 g L⁻¹) para controle da Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e da Cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*).

3.6 COLETA DE DADOS

3.6.1 FASE FENOLÓGICA

A coleta de dados iniciou-se no estágio VE (Figura 5), dia 2 de dezembro de 2022, sendo determinada a fase fenológica da cultura numa frequência semanal.

Para a coleta dos dados foram demarcadas e numeradas 3 plantas em cada parcela experimental escolhidas aleatoriamente entre as três linhas centrais de plantio, sendo uma planta por linha. Utilizou-se a escala fenológica de Ritchie et al. (1993) para determinar a fase fenológica das plantas com a visualização e contagem do número de folhas totalmente desenvolvidas, ou seja, aquelas com o colar totalmente visível.

Figura 5 - Plantas de milho no estágio vegetativo de emergência (VE).



Fonte: autoria própria.

As aferições foram encerradas no dia 13 de fevereiro de 2023, quando as plantas entraram no estágio fenológico VT (Figura 6), caracterizado pela emissão do pendão com todos os seus ramos visíveis (COELHO, 2006).

Figura 6 - Plantas em VT, caracterizado pela emissão do pendão.



Fonte: autoria própria.

3.6.2 AMOSTRAGEM DE SOLO RIZOSFÉRICO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A coleta do solo rizosférico foi realizada durante o florescimento da cultura do milho. As coletas foram realizadas em condição de boa umidade (solo friável).

Para a coleta do solo rizosférico do milho, dentro de cada parcela foram selecionadas três plantas aleatórias para compor uma repetição. As raízes foram cuidadosamente removidas do solo com o auxílio de uma pá de corte até a camada de 10 cm. Em seguida, foram chacoalhadas para retirar o excesso de solo. O solo que permaneceu aderido ao sistema radicular após esse processo foi considerado solo rizosférico. O solo rizosférico foi separado das raízes e passado em peneira de malha 2 mm e armazenado em B.O.D a 4 °C até o momento da análise.

3.7 ANÁLISES DE SOLO

No solo úmido armazenado foi extraído o C microbiano (C-BIO), o P microbiano (P-BIO) e o N microbiano (N-BIO), pelo método de fumigação e extração (BROOKES et al., 1982; VANCE et al., 1987). A determinação do P dos extratos foi realizada pelo método colorimétrico proposto por Dick & Tabatabai (1977). O carbono foi determinado por digestão sulfocrômica e o extrato foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,033 \text{ mol L}^{-1}$, de acordo com De-Polli & Guerra (1997). O N foi determinado pela digestão sulfúrica, seguido de destilação pelo método de Silva et al. (2007).

As atividades das enzimas fosfatase ácida e B-glucosidade foram determinadas pelo método de colorimetria com p-nitrofenol, após a incubação com o substrato específico. A umidade do solo foi determinada segundo a metodologia proposta por Embrapa (1997), para a correção do volume de solo utilizado nas análises.

No solo seco foi determinado o pH e o fósforo lábil (P lábil) extraído por Mehlich-1 e determinado pelo método de colorimétrico de Murphy & Riley (1962).

3.8 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE

No dia 14 de abril de 2023, quando as plantas estavam na fase fenológica R6, foi realizada a colheita para a determinação da produtividade das parcelas experimentais. Para a análise de produtividade das parcelas foram escolhidas dez plantas aleatoriamente e cortadas ao nível do solo. Posteriormente, as plantas foram agrupadas e identificadas para a pesagem, a qual ocorreu em 4 etapas. Na primeira, aferiu-se a massa (kg) da planta inteira. O próximo passo consistiu na pesagem da massa vegetal, desconsiderando as espigas. Em seguida, pesou-se apenas as espigas. Por fim, as espigas foram debulhadas utilizando um debulhador à combustão (Figura 7), colocados em sacos plásticos para aferir o peso apenas dos grãos.

Figura 7 – Debulhador à combustão utilizado para debulhar as espigas.



Fonte: autoria própria

Sucedendo as pesagens, os grãos, colmos e folhas foram colocados em sacos de papel, identificados e levados à estufa à 65 °C até atingirem peso constante para determinação da umidade, visando ajuste do peso seco de grãos para 13% de umidade e posterior cálculo de produtividade, calculada pela Equação 1.

$$Produtividade (t ha^{-1}) = \frac{\text{densidade de pl/ha} * \text{umidade dos grãos corrigida}}{N^{\circ} \text{ pl coletadas por parcela} * 1000} \quad (1)$$

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($\alpha=0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As doses de fósforo tiveram influência significativa nos níveis de pH, P lábil, C-BIO e N-BIO. Já a inoculação teve importância estatística nas médias de C-BIO, N-BIO e na atividade da fosfatase no solo rizosférico. A interação das doses de fósforo e inoculação teve efeito significativo sobre o P-BIO e a atividade da enzima B-Glicosidase, conforme observado na Tabela 3. Vale destacar que a área experimental, de acordo com a análise de solo prévia, já possuía concentrações elevadas de fósforo ($32,8 \text{ mg kg}^{-1}$) o que pode ter influenciado na eficiência do inoculante ROOTELLA® BR ULTRA e nas características do solo rizosférico.

Tabela 3 - Valores do p-valor da análise de variância.

FV	p-valor							
	pH	P-lábil	P-BIO	C-BIO	N-BIO	Fosfatase	B-Glicosidase	Produtividade
		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	µg p-nitrophenol g ⁻¹ solo h ⁻¹	p-nitrofenol g ⁻¹ solo h ⁻¹	ton h ⁻¹
Inoculação	0,22	0,72	0,31	<0,05*	<0,05*	<0,05*	0,45	0,27
Fósforo	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*	0,07	0,45	0,09
Interação	0,49	0,43	<0,05*	0,19	0,05	0,50	<0,05*	0,06
CV 1 (%)	3,98	25,71	17,08	16,72	15,60	13,66	14,67	36,60
CV 2 (%)	6,20	25,53	13,20	19,69	20,30	17,46	24,42	12,31

* Há diferença significativa à 5% de probabilidade.

4.1 pH

As doses de fósforo ($0, 30$ e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5) provocaram alteração significativa do pH do solo rizosférico. O pH mais ácido foi observado com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 , embora não tenha diferido significativamente da dose de 60 kg ha^{-1} (Tabela 4). Possivelmente, esse resultado deu-se em razão do maior consumo de cátions (Ca, Mg e K) pela cultura e a liberação de maior quantidade de ácidos orgânicos pelo milho com o objetivo de compensar a dose que foi abaixo do recomendado. Sabe-se que as plantas liberam ácidos orgânicos que ajudam na disponibilização de nutrientes. Os ácidos orgânicos ocupam os sítios de adsorção de fosfato do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ANDRADE et al., 2003). De acordo com Sposito (1989), esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, em várias faixas de pH, diminuindo a adsorção de P nesses oxihidróxidos de Fe e Al.

Tabela 4 - Médias* dos valores de pH em resposta às doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Dose de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	pH
0	5,46 a
30	4,99 b
60	5,33 ba

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.2 P lábil

Apenas nas subparcelas com 0 kg ha⁻¹ de P o fósforo lábil apresentou redução em relação aos resultados da análise de solo prévia. Os tratamentos com 60 kg ha⁻¹ de P obtiveram a maior média de P lábil, sendo de 160,7 mg kg⁻¹. Para as doses com 30 e 0kg ha⁻¹ de P as médias obtidas foram 87,45 mg kg⁻¹ e 13,71 mg kg⁻¹, respectivamente. Com isso, infere-se que o aumento das doses de fósforo aumentou também os níveis de fósforo disponível (p<0,05) conforme a Tabela 5. Insta salientar que as concentrações de P lábil encontradas nas parcelas em que foram aplicadas as doses de 30 e 60 kg ha⁻¹ de P estão muito elevadas, possivelmente, por ter vindo com a amostra restos de grânulos de fertilizante devido a coleta ter sido somente do solo rizosférico.

Tabela 5 - Médias* dos valores de P lábil (mg kg⁻¹) em resposta às doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Dose de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	P lábil (mg kg ⁻¹)
0	13,71 c
30	87,45 b
60	160,70 a

* Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 P-BIO

O fósforo imobilizado na biomassa microbiana constitui-se num reservatório dinâmico desse nutriente para as plantas, pois modera o processo de adsorção do P evitando sua imobilização pelos coloides do solo (MARTINAZZO et al., 2007), desde que em solos bem manejados, com alta deposição de resíduos vegetais, quando da adição de fosfatos solúveis ao sistema (GATIBONI et al., 2008).

No desdobramento do fósforo nas parcelas com inoculação, as médias de P-BIO para as diferentes doses do fertilizante apresentaram diferença estatística entre si, sendo 7,95 mg kg⁻¹ a maior média obtida, com 30 kg ha⁻¹ de P aplicados (Tabela 6). Esse resultado pode estar associado com um melhor desenvolvimento da micorrização nessas condições. As hifas dos fungos arbusculares apresentam alta afinidade pelos íons fosfatos e conseguem explorar um grande volume de solo (SILVEIRA; CARDOSO, 2004). Sendo assim, uma maior colonização pode promover índices mais elevados de P-BIO nas análises. A dose com 60 kg ha⁻¹ de P pode

ter inibido o desenvolvimento desses microrganismos e, conseqüentemente, diminuiu o fósforo microbiano. Bressan & Vasconcellos (2002) também constataram que doses elevadas de P reduzem a colonização micorrízica, apresentando semelhança com os resultados obtidos. Como constatado por Gatiboni et al. (2008), as áreas sem fósforo adicionado mostram que a biomassa microbiana não tem capacidade de imobilizar grandes quantidades de P quando há pouco fósforo disponível e tem menor interferência sobre a disponibilidade desse elemento para as plantas.

Nas parcelas sem inoculação ocorreu aumento crescente nas médias de P-BIO com o aumento da dose de P, no entanto, as subparcelas com 30 e 60 kg ha⁻¹ de P não diferiram significativamente (P<0,05) (Tabela 6). Martinazzo et al. (2007), também concluíram que a quantidade de fósforo microbiano aumenta com a adição de fertilizantes fosfatados, mostrando que parte do P adicionado na adubação fosfatada é imobilizado pela biomassa microbiana.

Já para o desdobramento da inoculação nas diferentes doses de fósforo, as parcelas com e sem a presença do inoculante diferiram significativamente (p<0,05) entre si somente nas subparcelas em que foram aplicadas as doses de P de 30 e 60 kg ha⁻¹.

Tabela 6 - Médias* dos valores de P-BIO (mg kg⁻¹) em resposta à interação doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅) e inoculação.

Inoculação	P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)		
	0	30	60
FMA	1,73 cA	7,95 aA	3,03 bB
S/FMA	2,60 bA	5,30 aB	5,83 aA

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.4 C-BIO

Os valores encontrados para o C-BIO estão abaixo dos encontrados por outros autores em solos do Cerrado, como Figueiredo et al. (2007) que encontraram 113 mg kg⁻¹ de C-BIO em latossolo vermelho 30 DAE em sistema de plantio direto. Mas em relação aos tratamentos, a inoculação influenciou positivamente no C-BIO, obtendo-se média de 95,82 mg kg⁻¹ para as parcelas com a presença do fungo com diferença significativa (p<0,05) das parcelas não inoculadas que obtiveram média de 61,08 mg kg⁻¹ (Tabela 7). A biomassa microbiana está diretamente relacionada aos teores de matéria orgânica do solo (MOS) e à sua fertilidade, respondendo rapidamente às práticas que levam ao decréscimo ou acréscimo da MOS, e, por isso, torna-se um componente importante para avaliar a qualidade do solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). O C-BIO é uma forma simples de quantificar essa biomassa e, conseqüentemente, as variações na MOS. Portanto, os resultados mostram que a inoculação

proporcionou valores maiores de MOS, uma vez que os solos infectados apresentaram maiores médias de C-BIO indicando uma melhor qualidade do solo.

Tabela 7 - Médias* dos valores de C-BIO (mg kg^{-1}) em resposta à inoculação.

Inoculação	C-BIO (mg kg^{-1})
FMA	95,82 a
Sem FMA	61,08 b

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A dose com 0 kg ha^{-1} de P resultou em concentração média de C-BIO significativamente maior ($p < 0,05$) em relação às doses com 30 e 60 kg ha^{-1} , indicando um melhor desenvolvimento da biomassa microbiana (Tabela 8). As doses com 30 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , por sua vez, não apresentaram diferença estatística entre si. Possivelmente, as elevadas concentrações do fertilizante fosfatado afetaram o desenvolvimento microbiano diminuindo o seu desenvolvimento ou favorecendo o desenvolvimento de populações que possuem menor quantidade de C na sua estrutura, como as bactérias.

Tabela 8 - Médias* dos valores de C-BIO (mg kg^{-1}) em resposta às doses de P (kg ha^{-1} de P_2O_5)

Dose de P (kg ha^{-1} de P_2O_5)	C-BIO (mg kg^{-1})
0	97,35 a
30	65,65 b
60	72,34 b

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.5 N-BIO

Já as concentrações de N-BIO encontradas estão acima das médias encontradas por Figueiredo et al. (2007) ($22,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-BIO no solo 30 DAE em sistema de plantio direto), podendo ser devido à metodologia utilizada, mais especificamente, à forma de obtenção dos extratos (caso tenham sido oriundos da mesma amostra), que pode ter favorecido o desenvolvimento de populações bacterianas nas amostras, ou pelo próprio desenvolvimento dessas populações no solo devido as condições edafoclimáticas no local do experimento. Isso, porque as populações bacterianas costumam ter relação C-BIO:N-BIO mais baixa, possuindo mais N em sua estrutura, enquanto que os fungos apresentam mais C, elevando o valor dessa relação (CAMPBELL et al., 1991). As médias de N-BIO registradas foram de $123,59 \text{ mg kg}^{-1}$ e $63,75 \text{ mg kg}^{-1}$, para as parcelas com e sem o inoculante, respectivamente, as quais diferiram significativamente ($p < 0,05$) (Tabela 9), indicando que há maior imobilização do nitrogênio com a presença do FMS. O N da MOS é importante fonte do elemento no solo. Em média, apenas 5% do N encontra-se na forma mineral no solo; a grande maioria apresenta-se na forma orgânica (95%). Estima-se que o N da matéria orgânica do solo varia entre $3 \cdot 10^{17}$ a $5,5 \cdot 10^{17}$ g de N; sendo $1,5 \cdot 10^{15}$ g de N na biomassa microbiana do solo e $1,0 \cdot 10^{15}$ g de N orgânico no solo. Para

que esse se torne disponível, é necessário que ocorra a mineralização, ou seja, a passagem do N-orgânico para N mineral. A passagem acontece com o auxílio de microrganismos que decompõem a matéria orgânica (BATISTA et al., 2018; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002), sendo a imobilização uma das etapas desse processo. Essa imobilização é temporária e o processo é dinâmico, a medida em que ocorre a morte dos microrganismos, há a mineralização destes pelo restante da biomassa, liberando os nutrientes imobilizados gradativamente, diminuindo as perdas, principalmente, por lixiviação e volatilização. A biomassa microbiana é um componente importante do N potencialmente mineralizável. Sendo assim, quanto maior o conteúdo de N-BIO, mais rápida será a sua reciclagem (COCHRAN et al., 1988; ANDERSON, 2003).

Tabela 9 - Médias* dos valores de N-BIO em resposta à inoculação.

Inoculação	N-BIO (mg kg ⁻¹)
FMA	123,59 a
Sem FMA	63,75 b

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As diferentes doses de fósforo também resultaram em efeito significativo sobre o teor de N-BIO no solo rizosférico com médias de 92,6, 65,55 e 122,86 mg kg⁻¹ para as subparcelas com dose de P de 0, 30 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Tabela 9). A aplicação da dose total recomendada acarretou em mais nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana e metade da dose resultou na menor média de N-BIO. Uma vez que são componentes da MOS, C e N têm sua dinâmica intimamente associada (NUNES et al., 2011). Logo, esse resultado pode estar associado com a concentração de C-BIO, que também apresentou menor média quando submetido a metade da dose de fósforo (30 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e, por sua vez, com a modificação e composição da população microbiana predominante na área. Acrescenta-se também a possibilidade da interferência nos resultados da metodologia utilizada, como mencionado anteriormente.

Tabela 10 - Médias* dos valores de N-BIO em resposta às doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Dose de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	N-BIO (mg kg ⁻¹)
0	92,6 b
30	65,55 c
60	122,86 a

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.6 Fosfatase

As fosfatases são enzimas do tipo hidrolases que promovem a transformação do P na forma orgânica para forma solúvel e podem ser secretadas pelas plantas e por microrganismos. Os fungos micorrízicos, além de colonizarem as raízes, também atuam na produção dessas enzimas fosfatases (SILVEIRA; CARDOSO, 2004). Isso pode explicar a diferença significativa

na atividade dessas enzimas entre a parcelas inoculadas e sem a presença do inoculante. A maior média de atividade foi de 704,61 $\mu\text{g p-nitrophenol g}^{-1}$ solo ha^{-1} , registrada nas parcelas com o fungo micorrízico (Tabela 10). Essa maior atividade também pode indicar que houve aumento da demanda de fósforo pelos organismos extrusores de fosfatases (biomassa microbiana e plantas). Gatiboni et al. (2008) destacam que em agroecossistemas com baixo uso de fertilizantes fosfatados, a alta atividade enzimática não é suficiente para atender à demanda por P das principais plantas cultivadas comercialmente. Quanto à influência das diferentes doses de fósforo na atividade dessa enzima não foi constatado efeito significativo. As parcelas com e sem a presença do inoculante diferiram significativamente

Tabela 11 - Médias* dos valores de fosfatase em resposta à inoculação.

Inoculação	Fosfatase ($\mu\text{g p-nitrophenol g}^{-1}$ solo ha^{-1})
FMA	704,61 a
Sem FMA	386,86 b

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.7 B-glicosidase

Houve interação significativa entre as doses de fósforo e a inoculação na atividade da enzima B-Glicosidase (Tabela 11). Essa é uma enzima do grupo das celulasas encontrada nos solos e é utilizada como um indicador da sua qualidade, pois está intimamente associada ao ciclo do carbono. A B-Glicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, formando açúcares mais simples, importantes fontes de energia imediata para os microrganismos (TABATABAI, 1994; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Sendo assim, uma maior atividade dessa enzima indica maior atividade dos microrganismos na transformação e formação da matéria orgânica (ADETUNJI et al., 2017).

Os resultados obtidos mostram complexidade, principalmente quando na presença do fungo micorrízico. A maior atividade foi de 103,00 $\text{p-nitrofenol g}^{-1}$ solo ha^{-1} , registrada na subparcela sem P aplicado e com a presença do inoculante, indicando maior atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, ciclagem da matéria orgânica. No entanto, quando aplicado 30 kg ha^{-1} de P, também em parcelas inoculadas, observou-se a menor média de atividade enzimática (64,58 $\text{p-nitrofenol g}^{-1}$ solo ha^{-1}).

Sem a presença do inoculante a atividade da B-Glicosidase aumenta conforme aumenta-se a porcentagem de fósforo aplicado. Possivelmente, como observaram Nunes et al. (2011), a dose com 60 kg ha^{-1} de P proporcionou maior produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, maior incorporação de carbono no solo, o que estimulou a atuação dessa enzima.

Tanto nas parcelas com inoculação quanto nas parcelas sem o inoculante as doses de P não diferiram entre si, estatisticamente, com relação a atividade da B-Glicosidase, como pode ser observado na Tabela 12. As parcelas com e sem a presença do inoculante diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre si somente nas subparcelas com 0 e 30 kg ha⁻¹ de P aplicados (Tabela 12).

Tabela 12 - Médias* dos valores de B-glicosidase ($\mu\text{g p-nitrophenol g}^{-1}$ solo ha⁻¹) em resposta à interação doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅) e inoculação.

Inoculação	P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)		
	0	30	60
FMA	103,00 aA	64,58 aB	91,33 aA
S/FMA	71,68 aB	99,50 aA	100,53 aA

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.8 Produtividade

Embora as doses de fósforo, a inoculação ou a interação entre esses dois fatores não tenham influenciado significativamente ao nível de 5% de probabilidade a produtividade do milho, a interação teve p-valor igual 0,0645, sendo bem próximo de α (0,05). Estatisticamente não houve diferença, mas na prática essa interação pode resultar em economia ao produtor e, portanto, é importante analisar os seus resultados.

Com a inoculação houve diferença significativa apenas entre as subparcelas com 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados, as quais obtiveram produtividade de 9,65 e 12,40 t ha⁻¹, respectivamente. Nas parcelas sem inoculação não houve diferença estatística entre as doses de fósforo, obtendo-se produtividades de 9,71, 8,32 e 9,53 t ha⁻¹ para as subparcelas com as doses de P de 0, 30 e 60 kg ha⁻¹, nessa ordem. Entre as parcelas com o *R. intraradices* e sem, não houve diferença estatística entre nenhuma das doses de fósforo (Tabela 13).

Os resultados demonstram que, por um lado, a micorrização não foi responsiva em altos níveis de fósforo, contudo, em ambientes com menor disponibilidade, foi capaz de manter a produtividade do milho próximo às observadas em condições de disponibilidade ideal do nutriente. Destaca-se a produtividade com a dose de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 11,00 t ha⁻¹, na presença do inoculante que foi próxima à produtividade quando aplicado 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (12,40 t ha⁻¹). Portanto, na prática faz-se necessário um estudo econômico para saber se, mesmo com menor produtividade, haveria maior ganho real, utilizando-se o inoculante com metade da quantidade de fertilizante fosfatado.

Além desses fatores, conforme constatado por Reis et al. (2008), em ambiente com restrição de fósforo, a micorrização foi capaz de aumentar a razão matéria seca raiz/matéria seca parte aérea, o que pode proporcionar uma maior resistência da planta ao acamamento e ao

estresse de água e nutrientes, além de permitir o cultivo em condições de maior densidade. Acrescenta-se ainda o fato que esses fungos podem atuar como agentes potenciais de controle biológico, amenizando os efeitos ou danos causados por fitopatógenos, provavelmente por meios indiretos, pois promovem melhor nutrição das plantas e aumento da resistência do sistema radicular (FOLLI-PEREIRA, et al. 2012).

Tabela 13 - Médias* dos valores de produtividades (t ha⁻¹) em resposta à interação doses de P (kg ha⁻¹ de P₂O₅) e inoculação.

Inoculação	P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)		
	0	30	60
FMA	9,65 bA	11,00 baA	12,40 aA
S/FMA	9,71 aA	8,32 aA	9,53 aA

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que a inoculação com *R. intraradices* tem impactos positivos na bioquímica do solo rizosférico, especialmente quanto a atividade da enzima fosfatase ácida e aos teores de C-BIO e N-BIO no solo rizosférico, enquanto as doses de fósforo influenciam no pH, P lábil, C-BIO e N-BIO, indicando a sensibilidade do solo a alterações na adubação fosfatada. A interação entre esses fatores mostra complexidade, e apesar das mudanças no solo, a produtividade do milho não foi significativamente alterada no contexto deste experimento.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MILHO. **O cereal que enriquece a alimentação humana.** Disponível em: <https://www.abimilho.com.br/milho/cereal>. Acesso em: 11 set. 2023.

ABIMILHO. **Estatísticas de milho.** Disponível em: <https://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 15 set. 2023.

ADETUNJI, A.T.; LEWU, F.B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2017, 17 (3), 794-807.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.98, p.285- 293, 2003.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1003-1011, 2003.

BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., & MUNIZ, A.S. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral.** In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L.,

BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0.

BENTO, R.U.; PELÁ, A.; RIBEIRO, M.A.; SILVA, J.A.G.; CRUZ, S.J.S. Contribuição de bioestimulantes contendo microrganismos rizosféricos na absorção de fósforo pelo milho, **Revista brasileira de milho e sorgo**, v.15, n.3, p. 573-582, 2016.

BORÉM, A.; GALVÃO, J.C.C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio, à colheita**. 2^a.ed. atual. e aum. [S. l.]: UFV, 2017. 376 p.

BRESSAN, W.; VASCONCELLOS, C.A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo, **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 509-517, abr. 2002.

BROOKES, P. C., POWLSON, D. S., & JENKINSON, D. S. (1982). Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 14(4), 319–329. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(82\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(82)90001-3).

CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P. & LAFOND, G.P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.*, 71:363-376, 1991.

CARDOSO, E. J.B.N.; ANDREOTE, F.D. **Microbiologia do solo**. 2^a.ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221p.

CARDOSO, E.J.B.N.; NOGUEIRA, M.A. Fungos micorrízicos mantêm sustentabilidade do SPD. **Visão Agrícola**, v. 6, n. 9, p. 67-69, 2009. Acesso em: 15 set. 2023.

COCHRAN, V.L.; HORTON, K.A.; COLE, C.V. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, v.20, p.293-298, 1988

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Atlas do Distrito Federal. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>. Acesso: set. 2023.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. 2.ed.aum. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995 Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set., 1995. Encarte.

COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Circular técnica 78. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v.10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023.

CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**, Brasília, DF, v.10, safra 2023/24, p. 1-137, ago. 2023, ISSN 2318-3241.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J.; SOUZA, S.K. de S.; SILVA, G.B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 218-224, 2008.

CZERNIAK, M.J.; STURMER, S.L. Produção de inoculante micorrízico on farm utilizando resíduos da indústria florestal, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1712-1721, 2014.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. (1997). Ministério da Agricultura e do Abastecimento Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia-CNPAB DETERMINAÇÃO DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO: MÉTODO DA FUMIGAÇÃO-EXTRAÇÃO

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. (1977). Determination of Orthophosphate in Aqueous Solutions Containing Labile Organic and Inorganic Phosphorus Compounds1. **Journal of Environment Quality**, 6(1), 82. <https://doi.org/10.2134/jeq1977.00472425000600010018x>

EBERHARDT, D.N.; VENDRAME, P.R.S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M.F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1009-1016, 2008.

EMBRAPA. (1997). Manual de Métodos de Análise de Solo. In *Centro Nacional de Pesquisa de Solos* (Vol. 2). <https://doi.org/1517-2627>

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; MONIZ, E.A.L.; OLIVEIRA, A.L.F. Avaliação da maturação de grãos de milho através da linha do leite para aplicação de dessecantes químicos. **Bragantia**, v. 53, p. 209-218, 1994.

FANCELLI, A.L. Manejo baseado na fenologia aumenta eficiência de insumos e produtividade. **Visão agrícola**, USP ESALQ, nº 13, p. 24-29, dez. 2015.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 17 out. 2023.

FIGUEIREDO, C.C; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B. & RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:551-562, 2007.

FLORENCIO, C.; SANTOS, R.B.; FAVARO, C.P.; BRONDI, M.G.; VELLOSO, C.C.V.; KLAIC, R.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C.S.; MATTOSO, L.H.C. Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável, **Química Nova**, Vol. 45, No. 9, 1133-1145, 2022.

FOLLI-PEREIRA, M.S.; MEIRA-HADDAD, L.S.; BAZZOLLI, S.D.M.; KASUYA, M.C.M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1663-1679.

FORBES. **O mercado de bioinsumos vai para onde no Brasil?**. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2023/01/o-mercado-de-bioinsumos-vai-para-onde-no-brasil/>. Acesso em: 17 set. 2023.

GALLI, F. Microrganismos do solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 21, p. 247-252, 1964.

GATIBONI, L.C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.8, p.1085-1091, ago. 2008.

GOMES, K.R; AMORIM, A.V.; FERREIRA; F.J.; FILHO, F.L.A.; LACERDA, C.F.; FILHO, E.G. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.4, p.365–370, 2011.

GROUNDWORK BIOAG. **Rootella® BR ULTRA**. Disponível em: Rootella® BR ULTRA - Groundwork BioAg. Acesso em: 24 set. 2023.

KOZLOWSKI, L.A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.365-372, 2002.

LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA; I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo, **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.334-337, 2000.

MAGALHÃES, P. C; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Circular técnica 76. Disponível em: infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf. Acesso em: 17 set. 2023.

MAGALHÃES, P.C. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J.C.; MAGALHÃES, P.C; FILHO, I.A.P.; MOREIRA, J.A.A. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. BRASÍLIA: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 28-36.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. PORTARIA SPA/MAPA Nº 311, de 20 de junho de 2023. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 jun. 2023. Seção 1, p. 1.

MAPA. **Publicado zoneamento agrícola do milho de primeira safra para 2021/2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/publicado-zoneamento-agricola-do-milho-de-primeira-safra-para-2021-2022>. Acesso em: 18 set. 2023.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 563-570, 2007.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 31, 27(27), 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5).

NUNES, R.S, LOPES, A.A.C; SOUSA, D.M.G; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1407-1419, 2011.

PINHO, R.G.V.; BORGES; I.D.; ANDRADE, J.L.; PEREIRA, R.; REIS; M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p. 157-173, 2009.

REIS, E.F; CARNEIRO, M.A.C.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; ROTTA, D.A.; SOUSA, M.Y. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, v.38, n.9, dez, 2008.

RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:453-466, 2006.

REZENDE, C.C., SILVA, M. A.; FRASCA, L.L.M., FARIA, D.R.; FILIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; NASCENTE, A.S. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e50810212725-e50810212725, 2021.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1989. 21 p. (Special Report n. 48).

RODOLFO Júnior, F. et al. Relações solo-paisagem em topossequências na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop-MT, jan./mar, 2015. V. 03, n. 01, p. 27-35. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/2158/1683>. Acesso em 5 de maio de 2023.

SEMENTES BIOMATRIX. **BM990**. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/produtos>. Acesso em: 24 set. 2023.

SICHOCKI, D.; GOTT, R.M.; FUGA, C.A.G.; AQUINO, L.A.; RUAS, R.A.A.; NUNES, P.H.M.P. Resposta do milho safrinha a doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 48-58, 2014.

SILVEIRA, A.P.D. CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.61, n.2, p.203-209, Mar./Apr. 2004.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2ª. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 420p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 304p.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties*, v. 5, p. 775-833, 1994.

USDA - U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Produção mundial de milho 2023**. Disponível em: Corn Explorer ([usda.gov](https://www.usda.gov)). Acesso em: 11 set. 2023.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19(6), 703–707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).