



EULER DOS SANTOS SILVA

**TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS
NA SUCESSÃO SOJA MILHO**

LAVRAS - MG

2024

EULER DOS SANTOS SILVA

**TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS NA SUCESSÃO
SOJA MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

LAVRAS - MG
2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Euler Santos.
tecnologias para fertilizantes organominerais na sucessão soja
milho / Euler Santos Silva. - 2024.
76 p.

Orientador(a): Douglas Ramos Guelfi Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.
Bibliografia.

1. Organomineral. 2. Fertilizante. 3. Soja. I. Ramos Guelfi
Silva, Douglas. II. Título.

EULER DOS SANTOS SILVA

**TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS NA SUCESSÃO
SOJA MILHO**

**TECHNOLOGIES FOR ORGANOMINERAL FERTILIZERS IN SUCCESSION
SOYBEAN CORN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 04/03/2024

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva UFLA

Dr. Rodrigo Coqui da Silva ADELAIDE

Dr. Rilner Alves Flores UFG

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2024

AGRADECIMENTOS

Toda história tem um começo, e o tempo passa independentemente de onde estejamos. A coragem de seguir em frente e tomar decisões nos diferencia entre o hoje e o amanhã. A coragem de deixar para trás família e amigos é a mesma que me manteve forte e decidido a alcançar o que almejei dois anos depois. Com essas palavras, expresso minha gratidão ao Euler de dois anos atrás, que decidiu sair do Rio Grande do Norte para se especializar ainda mais como profissional em Minas Gerais.

Agradeço a todos que me apoiaram e estiveram ao meu lado, incentivando-me a buscar meus sonhos e progredir. À minha família, especialmente minha mãe, meu pai e meus irmãos, que torceram e comemoraram comigo, assim como aos meus tios, amigos (em especial Vinicius Belizário) e ex-professores que me apoiaram nessa trajetória, dedico estas palavras e meus sinceros agradecimentos por tudo.

Aos meus companheiros em Minas, às pessoas e às novidades que a vida me trouxe, só tenho sentimentos de gratidão e orgulho por ter compartilhado estes momentos com vocês. Vocês são aqueles que estiveram presentes comigo, descobrindo novas realidades, enfrentando novos desafios e superando adversidades juntos, tornando-se minha família em Lavras. Em especial à minha namorada, Maria Kely, obrigado por todos os momentos de alegria, apoio e dedicação, desde o suporte emocional até as atividades de campo. Ao meu amigo de casa, Bruno Araújo, à Sueliane e à Talita, deixo minhas eternas gratidões por fazerem parte dessa fase.

Aos meus amigos de laboratório e, em especial, ao meu professor orientador Douglas Guelfi, deixo este agradecimento escrito como uma forma de expressar o prazer e orgulho por ter sido instruído por um professor que hoje considero um amigo.

Por fim, agradeço aos professores e todos os funcionários do DCS/UFLA, pelo apoio e conhecimento

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo- DCS, pela oportunidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Portanto, ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida. Sou e serei eternamente grata. Muito obrigada!

Esses agradecimentos são um reflexo sincero de minha gratidão a todos que me acompanharam nessa jornada. Muito obrigado por tudo.

RESUMO

Os fertilizantes fosfatados são extensivamente empregados na agricultura global, e as rochas fosfáticas são consideradas um recurso limitado, potencialmente sujeito à escassez. O fósforo (P) apresenta uma dinâmica complexa em solos ácidos, sendo prontamente adsorvido, resultando na perda de quantidades significativas desse nutriente, as quais não podem ser aproveitadas pelas plantas. A presença de matéria orgânica exibe uma relação direta e indireta com o fósforo, podendo reduzir sua adsorção nos solos e melhorar a eficiência de uso do nutriente. A utilização associada da matéria orgânica com fertilizantes minerais, geram os adubos organominerais, que podem ser utilizados como uma fonte alternativa para a adubação mineral convencional, principalmente em solos do cerrado, buscando promover melhores resultados no uso do P e enriquecimento da comunidade microbiana do solo. O presente estudo objetivou avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes minerais e organominerais no rendimento de soja e milho bem como alterações em atributos químicos e biológicos do solo. O experimento foi realizado na cidade de Luminárias/Mg em condição de campo por duas safras, foram aplicados 6 tratamentos com o uso de OM18, OM30, OM18+Bacillus, OM30+Bacillus, MAP e SS, todos os tratamentos em doses crescentes (40, 70, 100, kg P₂O₅ ha⁻¹ para soja) e (32, 56 e 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ para o milho), foram realizadas cinco coletas de plantas para avaliação do estado nutricional, V4, V7, R2, R5 e R8 na soja, e no V7, V14, R2, R4 e R6 no milho. Em conjunto foram realizados testes de liberação para determinar a curva de liberação do fertilizante em campo e em laboratório. Com isso avaliou-se o rendimento de grãos e massa seca total das culturas, exportação de nutrientes, acúmulo de P, marcha de absorção e a atividade das enzimas arilsulfatase, b-glucosidase e fosfatase ácida. Para os índices de eficiência agronômica e recuperação do fósforo, não houve diferença estatística entre as doses e fontes aplicadas. Quanto ao acúmulo, observou-se diferença estatística com o aumento das doses, atingindo acúmulo máximo na maior dose de P₂O₅ tanto para soja, como para o milho. A produtividade não apresentou diferença estatística para as doses como para fontes no cultivo da soja, e no milho, apenas o tratamento controle se diferenciou dos demais no cultivo do milho. Em relação a atividade enzimáticas, não houve influência dos fertilizantes minerais e organominerais na atividade enzimática do solo. Quanto a redução de doses, os tratamentos minerais convencionais e organominerais apresentaram respostas semelhantes, sugerindo que, em solos de fertilidade construída a redução de doses em uma única safra não altera os parâmetros produtivos para ambas as fontes testadas. Em geral, tanto os organominerais como os fertilizantes convencionais apresentaram resultados fitotécnicos e produtivos semelhantes. Conclui-se que, quando comparados, os fertilizantes organominerais apresentam-se como uma tecnologia alternativa ou complementar aos fertilizantes minerais convencionais, quando aplicados em doses equivalentes.

Palavras chaves: Matéria orgânica. Eficiência de uso. Disponibilidade de fósforo.

ABSTRACT

Phosphate fertilizers are extensively employed in global agriculture, and phosphate rocks are considered a limited resource, potentially subject to scarcity. Phosphorus (P) presents a complex dynamic in acidic soils, being readily adsorbed, resulting in the loss of significant amounts of this nutrient, which cannot be used by plants. The presence of organic matter exhibits a direct and indirect relationship with phosphorus, which can reduce its adsorption in soils and improve the efficiency of nutrient use. The associated use of organic matter with mineral fertilizers generates organomineral fertilizers, which can be used as an alternative source for conventional mineral fertilization, mainly in cerrado soils, seeking to promote better results in the use of P and enrichment of the soil's microbial community. . The present study aimed to evaluate the agronomic efficiency of mineral and organomineral fertilizers on soybean and corn yield as well as changes in chemical and biological attributes of the soil. The experiment was carried out in the city of Luminárias/Mg under field conditions for two harvests, 6 treatments were applied using OM18, OM30, OM18+Bacillus, OM30+Bacillus, MAP and SS, all treatments in increasing doses (40 , 70, 100, kg P₂O₅ ha⁻¹ for soybeans) and (32, 56 and 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ for corn), five collections of plants were carried out to evaluate the nutritional status, V4, V7, R2, R5 and R8 in soybeans, and V7,V14,R2,R4 and R6 in corn. Release tests were carried out together to determine the fertilizer release curve in the field and in the laboratory. With this, grain yield and total dry mass of crops, nutrient export, P accumulation, absorption rate and the activity of the enzymes arylsulfatase, b-glucosidase and acid phosphatase were evaluated. For the agronomic efficiency and phosphorus recovery indices, there was no statistical difference between the doses and sources applied. Regarding accumulation, a statistical difference was observed with increasing doses, reaching maximum accumulation at the highest dose of P₂O₅ for both soybeans and corn. Productivity showed no statistical difference for doses or sources in soybean cultivation, and in corn, only the control treatment differed from the others in corn cultivation. In relation to enzymatic activity, there was no influence of mineral and organomineral fertilizers on the enzymatic activity of the soil. As for reducing doses, conventional mineral and organomineral treatments showed similar responses, suggesting that, in soils with constructed fertility, reducing doses in a single harvest does not change the productive parameters for both sources tested. In general, both organominerals and conventional fertilizers presented similar phytotechnical and productive results. It is concluded that, when compared, organomineral fertilizers present themselves as an alternative or complementary technology to conventional mineral fertilizers, when applied in equivalent doses.

Keywords: Organic matter. Efficiency of use. Phosphorus availability.

Impactos sociais, tecnológicos, econômicos e culturais

O objetivo do trabalho foi analisar a eficiência agronômica de fertilizantes organominerais em comparação com fertilizantes minerais convencionais em sistema de sucessão soja e milho. O estudo é de grande relevância devido à escassez crescente de rochas fosfáticas, matéria-prima essencial para a produção de fertilizantes fosfatados. A utilização de fertilizantes organominerais, que combinam matéria orgânica com fertilizantes minerais, mostrou-se uma alternativa viável para aumentar a eficiência do uso do fósforo, promovendo benefícios ambientais, econômicos e sociais. Em termos tecnológicos, o estudo destaca o potencial dos fertilizantes organominerais em reduzir as perdas por adsorção de fósforo, melhorando sua disponibilidade para as plantas e, consequentemente, a produtividade das culturas, além de proporcionar um maior aporte de matéria orgânica ao sistema. Economicamente, a adoção de fertilizantes organominerais pode reduzir a dependência de fertilizantes minerais importados, favorecendo uma agricultura mais sustentável e resiliente, especialmente em regiões como o Cerrado. Socialmente, o uso de fertilizantes organominerais contribui para a política nacional de resíduos sólidos, incentivando o reaproveitamento de resíduos orgânicos e promovendo uma economia circular no setor agrícola. O trabalho tem um caráter extensionista, envolvendo parcerias com produtores locais e promovendo a disseminação de práticas agrícolas mais sustentáveis, impactando diretamente a comunidade agrícola externa à UFLA. Este impacto se alinha com as áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, especialmente nas áreas de tecnologia e produção, meio ambiente e trabalho. O trabalho também está alinhado com o Plano Nacional de Fertilizantes, destacando-se como uma contribuição direta para o cumprimento das metas 6, 7 e 8, que visam aumentar significativamente a produção e oferta de fertilizantes organominerais, além de reaproveitar resíduos sólidos com potencial de uso agrícola, até 2050. O estudo também está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os objetivos 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 12 (Consumo e Produção Responsáveis), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 15 (Vida Terrestre), contribuindo para a agenda 2030 do Brasil. Assim, o trabalho oferece uma solução técnica para a melhoria da eficiência da fertilização, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e com impactos positivos para o meio ambiente e a sociedade.

Social, technological, economic and cultural impacts

The objective of this study was to analyze the agronomic efficiency of organomineral fertilizers compared to conventional mineral fertilizers in a soybean and corn succession system. This study is of great relevance due to the increasing scarcity of phosphate rocks, an essential raw material for the production of phosphate fertilizers. The use of organomineral fertilizers, which combine organic matter with mineral fertilizers, has proven to be a viable alternative to increase the efficiency of phosphorus use, promoting environmental, economic and social benefits. In technological terms, the study highlights the potential of organomineral fertilizers to reduce losses due to phosphorus adsorption, improving its availability to plants and, consequently, crop productivity, in addition to providing a greater contribution of organic matter to the system. Economically, the adoption of organomineral fertilizers can reduce dependence on imported mineral fertilizers, favoring a more sustainable and resilient agriculture, especially in regions such as the Cerrado. Socially, the use of organomineral fertilizers contributes to the national solid waste policy, encouraging the reuse of organic waste and promoting a circular economy in the agricultural sector. The work has an extensionist character, involving partnerships with local producers and promoting the dissemination of more sustainable agricultural practices, directly impacting the agricultural community outside UFLA. This impact aligns with the thematic areas of the National Extension Policy, especially in the areas of technology and production, environment and labor. The work is also aligned with the National Fertilizer Plan, standing out as a direct contribution to the fulfillment of goals 6, 7 and 8, which aim to significantly increase the production and supply of organomineral fertilizers, in addition to reusing solid waste with potential for agricultural use, by 2050. The study is also in line with the UN Sustainable Development Goals (SDGs), especially goals 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), 12 (Responsible Consumption and Production), 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) and 15 (Life on Land), contributing to Brazil's 2030 agenda. Thus, the work offers a technical solution for improving fertilization efficiency, promoting more sustainable agricultural practices with positive impacts for the environment and society.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	Cultura da soja.....	18
2.2.	Cultura do milho.....	19
2.3.	Fertilizantes fosfatados.....	21
2.4.	Matéria orgânica no solo	22
2.4.1.	Fração húmica do solo	24
2.5.	Fertilizantes organominerais.....	24
2.6.	Interface microbiológica do solo.....	26
3.	OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	28
3.1.	Objetivo geral	28
3.2.	Objetivos específicos	28
3.3.	Hipóteses.....	28
4.	MATERIAL E METODOS	29
4.1.	Caracterização da área experimental	29
4.2.	Delineamento experimental	31
4.3.	Preparo do solo e semeadura	35
4.4.	Teores, acúmulo de nutrientes, produtividade de grãos e Índices de Eficiência 35	
4.5.	Teste de liberação.....	37
4.5.1.	Teste de liberação em campo.....	37
4.5.2.	Teste de liberação em laboratório.....	38
4.6.	Análises microbiológicas	38
4.6.1.	Atividade enzimática.....	38
5.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	39
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6.1.	Análises fitométricas da soja	39
6.2.	Análise fitométrica do milho	44
6.3.	Acúmulo total de P na parte aérea e grãos da soja e milho.....	49
6.4.	Exportação de fósforo pelo sistema soja-milho	53
6.5.	Produtividade e Eficiência agrônômica.....	54
6.5.1.	Produtividade da soja.....	54
6.5.2.	Produtividade do milho.....	56
6.5.3.	Eficiência agrônômica.	57

6.6.	Análise enzimática	59
6.7.	Teste de liberação em campo e laboratório.....	61
7.	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais importadores da soja brasileira no mundo. Fonte: (Autor, 2023)	19
Figura 2 - Mapa dos principais importadores de milho brasileiro em 2022. Fonte: (Autor, 2023)	20
Figura 3 - Localização da área experimental na fazenda Palheta, situada no município de Luminárias/MG. Fonte: (Autor, 2023).	29
Figura 4 - Ilustração dos estádios de coleta da soja. Fonte: (Autor, 2023).	35
Figura 5 - Ilustração dos estádios de coleta do milho. Fonte: (Autor, 2023).	36
Figura 6 - Demonstração da disposição dos testes de liberação em campo. Fonte: (Autor, 2023).	38
Figura 7 - Massa seca das folhas de soja em relação as doses de P_2O_5 .	39
Figura 8 - Peso das vagens de soja em relação as fontes e doses.	41
Figura 9 - Massa seca dos caules de soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	42
Figura 10 - Altura das plantas de soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	43
Figura 11 - Massa seca das folhas do milho em relação as doses e fonte de P_2O_5 .	44
Figura 12 - Massa seca do colmo do milho em relação as doses e fonte de P_2O_5 .	45
Figura 13 - Matéria seca das espigas em relação as doses e fontes nos estádios R2 e R5.	47
Figura 14 - Altura das plantas de milho em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	48
Figura 15 - Acúmulo de P total na soja em função das doses de P_2O_5 e fontes aplicadas.	49
Figura 16 - Acúmulo de P total no milho em função das doses de P_2O_5 e fontes aplicadas.	50
Figura 17 - Acúmulo de P na safra de soja e milho.	53
Figura 18 - Produtividade da soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	54
Figura 19 - Produtividade do milho em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	56
Figura 20 - Eficiência agronômica do fósforo no cultivo de soja.	57
Figura 21 - Eficiência agronômica do fósforo no cultivo de milho.	58
Figura 22 - Atividade enzimática no solo em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .	60
Figura 23 - Testes de liberação em campo e laboratório nos cultivos de soja e milho ajustadas a um modelo quadrático.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química e física do solo.	30
Tabela 2 - Tratamentos do experimento de campo.	31
Tabela 3 - Doses de nutrientes adicionais aplicados pelos tratamentos em função da dose de P_2O_5	32
Tabela 4 - Manejo fitossanitário e foliar para a soja.	33
Tabela 5 - Manejo fitossanitário e foliar para o milho.	34

1. INTRODUÇÃO

Os fertilizantes minerais são fontes de nutrientes para as plantas, desempenhando um papel crucial na produção agrícola e no aumento da produtividade das culturas (MALAVOLTA et al., 1997; BRASIL, 2006). Esses insumos são considerados finitos, tornando-se necessário um melhor aproveitamento do seu uso diante da crescente demanda por alimentos promovida pelo crescimento populacional. Assim, o uso adequado dos fertilizantes torna-se um grande desafio para produzir alimentos visando garantir a segurança alimentar e evitar efeitos adversos ao meio ambiente (BRASIL 2020).

O fósforo (P) é um nutriente exigido em grandes quantidades na agricultura brasileira. Esse fato está relacionado às características dos solos tropicais que são muito intemperizados, apresentando grandes quantidades de argilas óxídicas, pH ácido, baixa disponibilidade de nutrientes e baixo teor de matéria orgânica em sua grande maioria (HUE, 1991). Tais características favorecem a forte adsorção do P nos colóides do solo, tornando-o indisponível para as culturas (HUE, 1994; BOLLAND, 1985).

Aumentar os níveis de matéria orgânica no solo é uma estratégia para minimizar as perdas de P por adsorção, estando diretamente ligada à disponibilidade desse nutriente. A matéria orgânica atua diretamente na competição dos sítios de ligação nos óxidos de Fe e Al, como também pela capacidade da M.O. de adsorver o P do solo. Promovendo uma disponibilidade gradativa de acordo com a ciclagem dos compostos orgânicos (SAYARA et al., 2020).

Fertilizantes organominerais são obtidos pela mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. A produção e uso de fertilizantes com eficiência aumentada aliados à reutilização de resíduos produzidos em larga escala é um fator importante para o melhor aproveitamento dos recursos e o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (SAYARA et al., 2020). Assim, os fertilizantes organominerais têm surgido como uma alternativa para aumentar a eficiência de aproveitamento do P e uma melhor destinação aos resíduos orgânicos enfatizada pela política nacional de resíduos sólidos que reitera a importância do reaproveitamento e agregação de valor aos resíduos sólidos (WOLSKI; GLINSKI, 1986; CORRÊA et al., 2011).

Além de fornecer nutrientes e melhorar as condições do solo, os fertilizantes organominerais podem ser inoculados com microrganismos benéficos que promovem um melhor desenvolvimento e maior sanidade das culturas. Esse tipo de organismo vem

sendo amplamente empregado na agricultura, incluindo a inoculação de bactérias promotoras de crescimento e o controle biológico de patógenos e nematoides (KLOEPPE, 1999; MIGUEL et al., 2021). Nesse contexto, o gênero *Bacillus* tem se destacado, sendo utilizado devido à produção de diversos metabólitos secundários com aplicações no campo agrícola (RADHAKRISHNAN et al., 2017; MILJAKOVIĆ et al., 2020).

Estudos com *Bacillus subtilis* demonstram a sua capacidade de sintetizar antibióticos, como iturina, e formar biofilmes. Aspecto que proporciona a colonização de forma preventiva e benéfica nas raízes das plantas, contra diversos patógenos, como os fungos do gênero *Fusarium* proporcionando proteção e maior sanidade de raiz (ARAUJO et al., 2005; MILJAKOVIĆ et al., 2020). Adicionalmente, essas bactérias têm sido associadas à indução de resistência e a mecanismos de promoção de crescimento em diversas culturas (RADHAKRISHNAN et al., 2017; MILJAKOVIĆ et al., 2020).

O sistema de sucessão soja-milho tem se tornado uma prática tradicional nas áreas de cultivos de cereais no Brasil, com o intuito de aumentar a renda do produtor com o melhor aproveitamento da terra em um menor intervalo de tempo. Na safra 2021-2022, o Brasil produziu 125,6 milhões de toneladas de soja e 113,3 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2022). A rentabilidade do sistema de sucessão está relacionada principalmente ao aporte de nitrogênio (N) fornecido ao solo por meio da fixação biológica no cultivo da soja, criando um residual do nutriente para o milho e promovendo um aumento dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) por meio da palhada. Diante da importância da Soja (*Glycine Max* L.) e do milho (*Zea mays* L.) para a economia brasileira, sendo o primeiro e o segundo grão mais produzido no Brasil, respectivamente (CONAB, 2022)C e para atender as demandas nutricionais dessas culturas para atingir altas produtividades é necessário a aplicação de fertilizantes.

Visando um sistema agrícola mais produtivo, sustentável e de maior eficiência agrônômica, é imprescindível a busca por métodos que aumentem a eficiência das adubações, sendo de extrema importância o estudo de fertilizantes fosfatados que promovam uma maior eficiência. Os fertilizantes organominerais são misturas físicas de fertilizantes químicos com matéria orgânica de alta atividade, que podem reduzir os efeitos da adsorção do P além do enriquecimento orgânico e microbiológico com a possibilidade de utilização de microrganismos nos fertilizantes que apresentam capacidade de solubilizar o P contido em minerais. Além de promover a liberação de fitohormônios, podendo ter assim a biodisponibilidade do nutriente para as plantas incrementada na presença de microrganismos solubilizadores de P, favorecem de forma

direta o crescimento e o desenvolvimento de plantas (GYANESHWAR et al., 2002; RICHARDSON, 2009; ALMEIDA., et al 2016; AIOUB et al., 2022).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi determinar a eficiência do P fornecido via organomineral nas culturas da soja e do milho em sucessão sob sistema de plantio direto, no município de Luminárias, MG, durante duas safras. Onde para isso foram realizadas amostragens de solo para determinação do teor de P inicial, além das coletas de fitomassa das plantas nos estádios indicados pela literatura, avaliação do teor de P acumulado e extraído pelos grãos e a quantificação das atividades enzimáticas no solo e sua relação com as fontes, doses.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura da soja

A soja (*Glycine max*) é uma planta da família das leguminosas, herbácea, ereta, autógama, conhecida cientificamente como *Glycine max* (SEDYAMA, 2009). É uma cultura com alto potencial produtivo, onde o país é o maior produtor mundial de soja (CONAB, 2022; EMBRAPA, 2023). O Brasil detém o recorde de maior produtividade por ha, chegando a 59,3 sacas de média, devido às condições favoráveis de clima, solo e manejo tecnológico (EMBRAPA, 2023). O ciclo da cultura varia de 100 a 140 dias de acordo com as cultivares e a região, que determina qual grupo de maturação será indicado para cada local. No Brasil existem diferentes sistemas de classificação dos grupos de maturação da soja, que podem variar de acordo com a região do país.

Mesmo com os avanços tecnológicos e a melhoria significativa dos processos operacionais, o manejo nutricional das lavouras está intimamente ligado à utilização de fertilizantes, os quais representam aproximadamente 25% do custo total de produção por hectare de soja cultivada no país, (IMEA, 2018). Isso faz com que cultivos menos intensivos deem prioridade à aplicação de macronutrientes, principalmente fósforo (P), resultando em desequilíbrios nutricionais nas lavouras devido à deficiência de micronutrientes.

Os investimentos em programas de melhoramento têm sido fundamentais para o sucesso da sojicultura, possibilitando sua expansão para diferentes regiões do país, abrangendo desde o centro-oeste até o sul. O bioma Cerrado desempenha um papel crucial nesse contexto, concentrando 52% da produção e ocupando aproximadamente 15,6 milhões de hectares.

Os Estados de Mato Grosso e Goiás são os principais produtores (CONAB, 2022), seguidos pela crescente participação da nova fronteira agrícola conhecida como MATOPIBA, que engloba Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e atualmente contribui com cerca de 22% da produção de soja nessa região (QUERCI & MAZZARA., 2006; MORAIS & BORÉM, 2015; CARNEIRO FILHO & COSTA, 2016).

O mercado de importação e exportação de soja no Brasil é muito expressivo. O país é um grande exportador de soja em grão, óleo de soja e farelo de soja. O principal destino das exportações brasileiras de soja é a China, que é o maior importador mundial da cultura. Outros países importantes que importam soja do Brasil são os países da União Europeia, como Holanda, Espanha e Alemanha, além de países da Ásia e Oriente Médio, com um montante acumulado total exportado de US\$ 46,7 bi em 2022, que representa um crescimento de 20,8% (BRASIL, 2023; EMBRAPA, 2023) (Figura 1).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção nacional de soja no Brasil na safra 2021/2022 foi estimada em cerca de 144,4 milhões de toneladas, um aumento de 7,5% em relação à safra anterior. A área plantada também teve um aumento, chegando a 40,9 milhões de hectares (EMBRAPA, 2023).

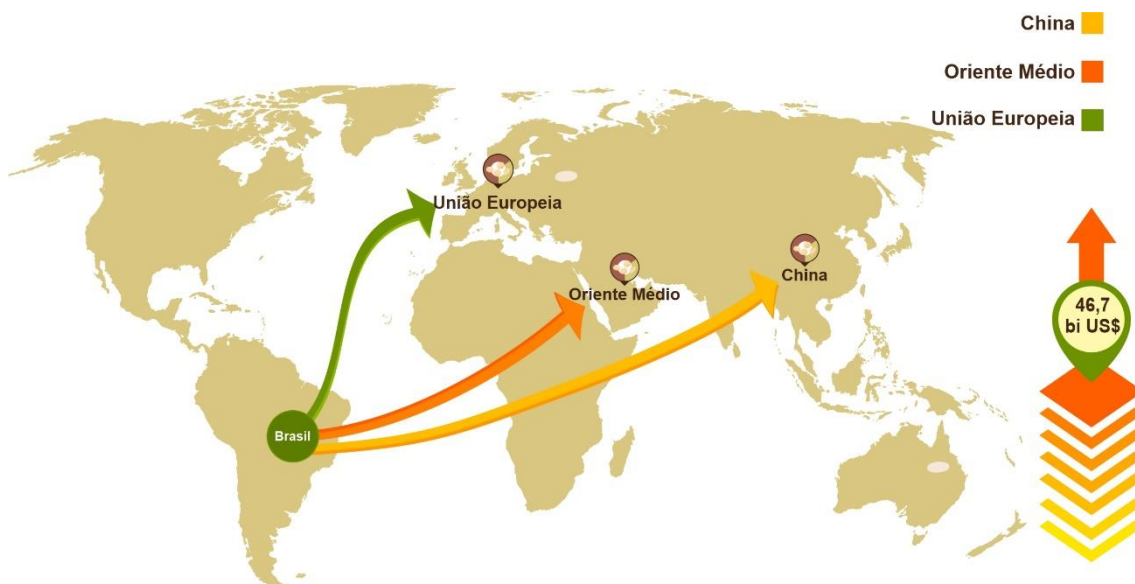


Figura 1 - Principais importadores da soja brasileira no mundo. Fonte: (Autor, 2023)

2.2. Cultura do milho

O milho (*Zea mays*) é um dos três cereais mais cultivados no mundo. Atualmente se conhece cerca de 150 espécies diferentes e, apesar de ser amplamente utilizado na culinária, a maior demanda vem da indústria de ração animal (53% da demanda total, em comparação com 2% para consumo humano) (ABIMILHO, 2021). Os Estados Unidos, a China e o Brasil produziram aproximadamente 69% do total de 1,21 bilhão de toneladas na safra (2021/22).

Trata-se de uma planta monocotiledônea pertencente à família Poaceae, cuja origem se encontra na América Central. É um dos cereais mais amplamente cultivados e consumidos em todo o mundo, graças ao seu alto potencial produtivo e sua composição química e alto valor nutricional. Além disso, sua versatilidade de uso é notável, podendo ser empregado tanto na alimentação humana quanto animal, bem como servir como matéria-prima em diversas indústrias agrícolas. Dessa forma, o cereal desempenha um papel socioeconômico importante (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; FAO, 2018)."

Em todo o mundo, o milho é cultivado em mais de 160 países e é uma das culturas mais produzidas, com mais de 1 bilhão de toneladas produzidas anualmente.

Os principais produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China, Brasil, México e Argentina (USDS, 2023). O milho é usado para alimentação humana e animal, além de ser uma importante matéria-prima para a indústria alimentícia, de biocombustíveis e de outros produtos.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de milho na safra 2021/2022 foi de aproximadamente 87,4 milhões de toneladas, em uma área plantada de cerca de 21.526 milhões de hectares de acordo com (CONAB, 2022). Dessa produção, cerca de 33,8 milhões de toneladas foram exportadas, com a maior parte indo para países como o Irã, o Egito e o Japão. A Figura 2, ilustra o mapa da exportação do milho no mundo:

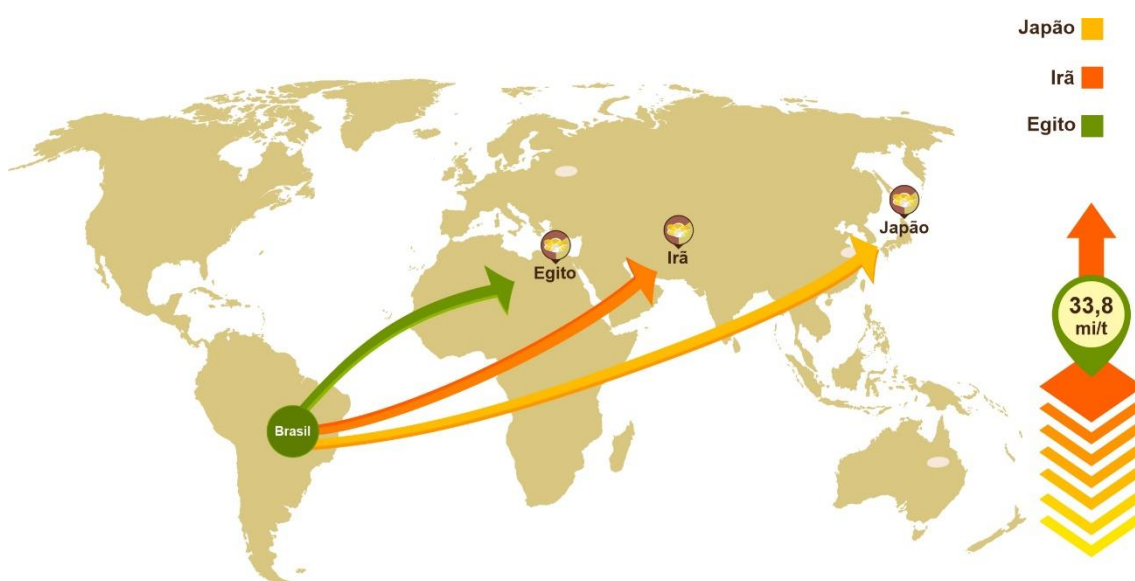


Figura 2 - Mapa dos principais importadores de milho brasileiro em 2022. Fonte: (Autor, 2023)

No Brasil, a produção de milho é dividida em duas épocas de semeadura, dentro do mesmo ano agrícola permitem que o milho seja cultivado em dois períodos diferentes, variando de região para região. Na primeira safra, que ocorre no verão, a semeadura é realizada durante o período chuvoso, o qual também varia em cada região: na região Sul do Brasil (GARCÍA-LARA e SERNASALDIVAR, 2019), ocorre geralmente no final de agosto e início de setembro; na região Sudeste e Centro-Oeste, no final de outubro e início de novembro; e na região Nordeste, no início de janeiro-fevereiro.

Já na segunda safra, conhecida como safrinha, a semeadura ocorre de fevereiro a março, e é geralmente cultivada em condições de sequeiro, com a soja precoce como cultura antecessora, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Mesmo sendo realizada em condições climáticas menos favoráveis, a semeadura da segunda safra

tem apresentado bons resultados, aumentando o rendimento das lavouras e contribuindo para o alto ganho de produção de milho no Brasil durante o ano (GARCÍA-LARA e SERNASALDIVAR, 2019).

2.3. Fertilizantes fosfatados

O Brasil no contexto mundial é responsável por consumir cerca de 8% mundial de fertilizantes, e contextualizando a demanda pelo fósforo, a alta demanda e a baixa produção interna fazem com que o país demande volumes de importação superiores a 50% do fósforo (P) utilizado (BRASIL, 2020; PAVINATO, 2020)

Na agricultura, o fósforo é amplamente utilizado na forma de fertilizantes fosfatados para atender às necessidades das plantas. Essa demanda tem aumentado ao longo da história, especialmente desde a revolução verde no período pós-segunda guerra mundial (ROSEMARIN et al., 2020). Atualmente, aproximadamente 90% da extração mundial de rocha fosfatada destina-se à produção de fertilizantes, com foco no uso agrícola. Em 2020, estima-se que tenham sido extraídas 223 milhões de toneladas de rocha fosfática (BRASIL, 2021).

O fósforo é essencial para o crescimento das plantas, visto que ele desempenha uma série de funções nutricionais em todas as fases do ciclo das plantas (ASHLEY et al., 2011), incluindo a participação na fotossíntese, no metabolismo energético e na formação de raízes, flores e frutos (HOPKINS, 2015). No entanto, a disponibilidade de fósforo no solo é frequentemente limitada, especialmente em solos ácidos e/ou com baixo teor de matéria orgânica no solo (MOS), o que pode afetar significativamente sua eficiência e o crescimento e a produção das plantas (MALAVOLTA, 2006; MOHAMMADI, 2012).

A relação P – Solo é dinâmica e de alta complexidade em solos ácidos e de baixa MOS, comumente encontrados em grande parte do Brasil, caracterizado como solos tropicais, em sua composição há a grande presença de óxidos de Fe e Al (FIGUEIREDO et al., 2012). Esses minerais possuem uma forte interação com o P, quando em contato com o elemento, promovendo a fixação do elemento, sendo retido através de ligações estáveis e em sua grande maioria permanentes, indisponibilizando o nutriente no solo (DOYDORA et al., 2020; GUEDES et al., 2016; PAVINATO et al., 2020).

A adsorção do fósforo ao solo pode ocorrer por meio de ligações eletrostáticas ou covalentes. Em solos com predomínio de carga variável, o fosfato é o ânion mais fortemente adsorvido através de complexos de esfera interna (POZZA et al., 2009). Os óxidos de alumínio são os principais responsáveis pela adsorção de grande parte do

fosfato aplicado nos solos oxídicos (POZZA et al., 2009; DOYDORA et al; GAZOLA et al. 2013).

O fósforo adsorvido pode permanecer no solo por muitos anos, reduzindo a disponibilidade de fósforo para as plantas, assim a fração orgânica tem sua influência no solo já que possui a capacidade de reter este nutriente e liberá-lo de forma gradativa de acordo com o processo de decomposição desta matéria orgânica

De acordo com Vilar e Vilar (2013), estima-se que de 80 a 95% do fósforo utilizado no solo não preparado para atividade agrícola seja fixado. Essa fixação ocorre de duas formas distintas. A primeira forma segundo as pesquisas de Sample et al. (1980) e Novais et al. (1999), os óxidos de ferro e alumínio ou o cálcio que se ligam ao fósforo durante a precipitação. Esse processo pode reduzir a disponibilidade do fósforo para as plantas, uma vez que os compostos formados são pouco solúveis em água. A adsorção específica, por sua vez, é um processo em que o fósforo é fixado nas superfícies de argilas Tiecher et al. (2012). A compreensão desses processos é fundamental para o manejo adequado do solo e para o uso eficiente de fertilizantes fosfatados na agricultura.

Devido a estas características, o P se torna o elemento mais limitante para produção agrícola no Brasil, a baixa fertilidade natural dos solos tropicais e a alta interação do solo com o íon fosfato fazem com que sejam aplicadas frequentemente quantidades elevadas de fertilizantes, para atender às demandas nutricionais das culturas, especialmente durante o início do desenvolvimento das plantas já que o P possui baixa mobilidade no solo. Por esta razão, são utilizados fertilizantes com alta solubilidade, devido à sua prontidão para disponibilizar os nutrientes necessários às plantas.

2.4. Matéria orgânica no solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é um sistema complexo composto por diversas fontes de carbono (C) que se deposita no solo e passa por processos de decomposição dos seus resíduos, liberando nutrientes ao solo (MUZILLI, 2002; PRIMO, 2011; COSTA, 2013; SALOMÃO et al., 2020). Esse carbono apresenta uma grande importância para a manutenção e sustentabilidade dos sistemas agrícolas visto que geralmente os maiores teores de C está na camada de 0 a 10 cm de profundidade do solo, que normalmente encontra-se a maior parte do sistema radicular das plantas. Além disso, a M.O é considerada uma importante fonte de nutrientes no solo, pois sua decomposição resulta em mineralização dos nutrientes contidos nos tecidos das plantas (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A agricultura em sua grande parte é responsável por promover alterações das áreas nativas, com a remoção da vegetação que é principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo, através de restos culturais e da rizodeposição no solo próximo às raízes, com isto, surgem os desafios de amenizar estes impactos com a adição de resíduos vegetais ao solo, que comumente promove a uma maior concentração de elementos essenciais (FRANCHINI et al., 1999).

A escolha por sistemas que contribuam para o aumento das concentrações da fração orgânica no solo promove melhoras a fertilidade, através da liberação gradativa de nutrientes como o fósforo (P) nitrogênio (N) dentre outros (OHLAND; LANA; FRANDOLOSO, 2018). Com o processo de decomposição do material orgânico, ocorre a liberação de compostos orgânicos, que apresentam tanto baixa como de alta massa molecular, que possui a capacidade influencia a disponibilidade de nutrientes no solo através da adsorção de íons competidores, inibindo assim a ação de grupos funcionais, principalmente os óxidos de Fe e Al, favorecendo a disponibilidade dos nutrientes na solução (SIBANDA; YOUNG, 1986).

Sistemas como o sistema de plantio direto quando comparado ao sistema de plantio convencional, minimiza a perda do perfil de solo em até cinco vezes mais (SALOMÃO et al., 2020). Conforme Adams (2016), o sistema de plantio direto promove uma cobertura contínua do solo na agricultura, utilizando os resíduos vegetais resultantes da rotação de culturas, deixando a palhada na parte superior do solo. O objetivo principal do plantio direto é minimizar a perturbação do solo, mantendo-o coberto com restos vegetais e incorporando adubação verde por meio de plantas leguminosas. Além disso, o sistema incorpora práticas conservacionistas de solo e água, que visam restaurar a fertilidade do solo como um todo.

Outro caminho para a o enriquecimento do teor de matéria orgânica no solo e o reaproveitamento do carbono é a utilização de lodo de esgotos, do lixo urbano e dos resíduos agropecuários, como dejetos de suínos, bovinos e aves, que podem ser processados e utilizados como fertilizantes (SAYARA et al., 2020; VAN DER KOOIJ et al., 2020). No Brasil, a legislação que regulamenta o reaproveitamento do esgoto para produção de fertilizantes é a Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2006).

Essa resolução estabelece as diretrizes e os critérios mínimos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto (ETEs) e de outros resíduos orgânicos. Além disto, estabelece que os fertilizantes produzidos a partir do esgoto devem ser registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MAPA) e devem atender às exigências de rotulagem e de qualidade estabelecidas pelo órgão.

2.4.1. Fração húmica do solo

No solo, a fração orgânica conhecida como “húmus” é subdivida em ácidos fúlvicos, húmicos e huminas, as quais podem ser particionadas segundo sua labilidade e funcionalidade no solo (PICCOLO, 2016). Outra opção é classificar a fração não húmica do solo em: resíduos vegetais em si, compondo o material depositado na superfície do solo; fração leve, a qual representa materiais orgânico de baixo peso molecular (BALDOCK; NELSON, 2000). Uma característica da fração lábil é a facilidade em ser afetada pelo manejo e ser facilmente mineralizada pelos microrganismos do (LEITE et al., 2003).

Constituindo a maior parte das substâncias húmicas, os ácidos húmicos (AH) são precipitados escuros, insolúveis em ácidos minerais e solventes orgânicos. Por outro lado, os ácidos fúlvicos (AF) são solúveis em água, soluções ácidas e alcalinas, além de possuírem uma capacidade de troca catiônica maior que os AH. A humina (HU) corresponde à fração menos humificada das substâncias húmicas, composta por materiais complexos, quimicamente heterogêneos, inativos e insolúveis em soluções ácidas e alcalinas (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015; MAPA, 2017).

As substâncias húmicas e fúlvicas têm a capacidade de imobilizar o alumínio (Al) e o Ferro (Fe), podendo reduzir as perdas por adsorção e precipitação do P (GARCIA et al., 2019). Efeito que se torna mais evidente principalmente nos solos que tem uma maior dependência da (MOS) para compor sua CTC que são os solos de textura arenosa, devido à baixa capacidade de retenção natural (ANDRADE et al., 2003).

Nardi et al. (2018) relatam que os efeitos das substâncias húmicas (SH) no crescimento das plantas podem depender da sua fonte, concentração, tamanho molecular e dos compostos nelas contidos. Ainda não se sabe se essa atividade se deve à estrutura química dessas substâncias ou se hormônios provenientes da atividade microbiana, como o ácido indolacético, que podem ficar aprisionados nesses espaços vazios nas substâncias húmicas, influenciam nos efeitos de crescimento e desenvolvimento das células vegetais.

2.5. Fertilizantes organominerais

Os fertilizantes organominerais são produtos que combinam por meio de mistura fontes de nutrientes minerais e orgânicos, podendo ser formulados através de granulação, peletização, dissolução em água ou apenas combinação física entre os

compostos (KOMINKO et al., 2017). Além disto, podem auxiliar na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo promovendo maiores acúmulos e produtividades (RODRIGUES et al. 2021).

Os principais compostos orgânicos utilizados na produção de fertilizantes organominerais são aqueles que apresentam alto teor de carbono orgânico, capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica e baixa relação carbono/nitrogênio. Esses compostos favorecem a atividade microbiana do solo, a disponibilidade de nutrientes, a retenção de água e a redução das perdas por lixiviação ou volatilização (CHIA et al., 2020; HETTIARACHCHI et al., 2019).

Uso de resíduos orgânicos que seriam passivos ambientais de outros sistemas de produção, como esterco de animais, restos de plantas e alimentos, extrato de algas, entre outras diversas fontes disponíveis (KOMINKO et al., 2017). Isso contribui para a sustentabilidade e a redução de custos da agricultura, uma vez que promove o aumento da atividade biológica do solo, favorecendo a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de fósforo, além de aumentar a capacidade de troca de cátions do solo, melhorando a retenção e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (BENITES., et al 2013).

Outros aspectos positivos ligado ao uso de compostos orgânicos na adubação é a proteção contra a salinidade causada pela adubação mineral excessiva ou inadequada, além dos efeitos antiestresse em algumas culturas, devido à presença de compostos bioativos extraídos de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*), que podem regular o metabolismo das plantas e aumentar sua resistência a fatores adversos como seca, frio, salinidade e pragas. (KOMINKO et al., 2017).

No Brasil, a produção e comercialização de fertilizantes, incluindo os organominerais, são regulamentadas pela Lei nº 7.802/1989 e pelo Decreto nº 4.954/2004, que estabelecem as normas e padrões de qualidade para os fertilizantes. Além disso, existe a Instrução Normativa nº 47/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece os requisitos para a produção, registro, fiscalização, controle e certificação de fertilizantes.

Os fertilizantes organominerais, que combinam nutrientes minerais e orgânicos, são considerados uma classe específica de fertilizantes e devem atender aos mesmos requisitos de qualidade e registro que os fertilizantes convencionais. A produção de fertilizantes organominerais é regulamentada pela Instrução Normativa nº 61 de 08 de julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que define os critérios e procedimentos para registro, fabricação, rotulagem, embalagem,

armazenamento e transporte dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura.

Os produtores e fornecedores de fertilizantes organominerais devem seguir esses requisitos para garantir a qualidade e a segurança desses produtos, além de atender às exigências legais para sua comercialização. Assim, caracterizou-se como parâmetros mínimos de qualidade para produção os teores deve conter em sua constituição química percentual mínimo de 8% de carbono orgânico; umidade máxima de 20%; CTC mínima de 80 mmolc kg⁻¹ (MAPA, 2020).

2.6. Interface microbiológica do solo

O solo é um sistema complexo, além dos componentes físicos e químicos, os processos biológicos são fundamentais para a saúde do solo e quando bem manejados podem ser auxiliares para reverter os processos de degradação do solo e elevar as produtividades das lavouras (LEHMAN et al., 2015). A importância do componente biológico no solo para manutenção das sanidades, resiliência e produção sustentável tem sido cada vez mais explorado e reconhecido pelos pesquisadores e produtores

Em geral o desenvolvimento das plantas depende da interação com o solo para obter seus nutrientes (BÜNEMANN et al., 2018). A atividade biológica tem um impacto direto no solo, podendo alterar seus aspectos químicos, físicos influenciam a relação solo-planta. No aspecto biológico, é importante destacar a importância dos micro-organismos, que desempenham papéis essenciais nos ciclos biogeoquímicos, disponibilização de nutrientes e interações ecológicas com outras formas de vida que são fundamentais para sustentação dos sistemas agrícolas (LOPES et al., 2013, 2018; MENDES et al., 2019). Esses organismos são representados por três grupos principais: fungos, bactérias e arqueias, cuja estrutura e dinâmica podem ser afetadas pelo manejo agrícola e teores de matéria orgânica no solo.

A análise da atividade enzimática do solo é uma abordagem valiosa para entender os ciclos de nutrientes e processos metabólicos do solo. A determinação da atividade enzimática permite avaliar a capacidade do solo de degradar compostos orgânicos, como lignina e celulose, bem como a disponibilidade de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e enxofre (MENDES et al., 2019). Esses parâmetros enzimáticos fornecem informações importantes sobre a funcionalidade do solo e sua resposta aos diferentes sistemas de manejo.

Entre as mais utilizadas em solos tropicais como indicadores da qualidade dos solos destacam-se as enzimas fosfatase ácida, β -glucosidase e arilsulfatase, envolvidas

respetivamente nos ciclos dos elementos P, C e S. A fosfatase ácida faz parte de um grupo de enzimas que participa da hidrólise de moléculas orgânicas (éster e anidridos de fosfato) em ácido fosfórico e é secretada pelas raízes das plantas em condições de estresse onde há baixa disponibilidade de P. Já a β -glucosidase é amplamente encontrada nos solos e é responsável por realizar a hidrólise da celobiose em glicose, fonte de C para a comunidade microbiana e pode auxiliar na compreensão da capacidade de um solo em estabilizar material orgânico. A arilsulfatase atua através da hidrólise de ésteres de sulfato resultando na liberação de SO_4^{2-} . Onde parte do sulfato liberado da fração orgânica do solo será utilizado no metabolismo microbiano e outra fração ficará disponível na solução do solo. (EIVAZI & TABATABAI, 1988; TABATABAI, 2003; CALDWELL, 2005; BALOTA et al., 2013; UTOBO & TEWARI, 2015).

Não há consenso em relação as implicações do uso de fertilizantes organominerais em atributos microbiológicos do solo, uma vez que a composição da matriz orgânica apresenta elevada variabilidade, além da participação da planta e sua capacidade em moldar a atividade microbiana diante dos mais diversos estímulos (SCHLOTER et al., 2018). Dessa forma, o monitoramento da atividade microbiológica dos solos através de indicadores biológicos pode fornecer subsídios para a compreensão do impacto gerado pelo uso de fertilizantes organominerais a partir de resíduos orgânicos (ZHANG et al., 2015; CORRÊA et al., 2016; PRADO et al., 2016; SUBRAMANIAN et al., 2016).

3. OBJETIVOS E HIPÓTESES

3.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes organominerais fosfatados no sistema de sucessão soja-milho.

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência agronômica dos fertilizantes organominerais com e sem inoculação;
- Avaliar os impactos do uso dos fertilizantes organominerais na atividade microbiana do solo;
- Determinar a eficiência agronômica dos fertilizantes organominerais em relação aos fertilizantes minerais fosfatados;
- Determinar o acúmulo e extração de P;
- Quantificar a marcha de liberação dos fertilizantes organominerais em campo e laboratório.

3.3. Hipóteses

- A associação entre fertilizantes organominerais e microorganismos resulta em maior eficiência agronômica em relação aos fertilizantes minerais convencionais;
- O uso de fertilizantes organominerais possibilita a redução de doses padrão quando comparado com os fertilizantes minerais.
- O uso de fertilizantes organominerais melhora a atividade enzimática dos solos;

4. MATERIAL E METODOS

4.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na fazenda Palheta, localizada em Luminárias-MG (21° 30' 40" S; 44° 54' 12" W), com altitude de 957 metros, precipitação anual média de 1470 mm e temperatura anual média de 19,3 °C. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb (clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado).

A área experimental apresenta sistema de plantio direto consolidado com quase 20 anos de rotação de culturas: soja/milho/trigo. Anterior à realização do experimento, houve a sucessão de cultura com o sistema soja-trigo. Para caracterização química e textural antes da implantação do experimento foi realizado a coleta de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 e 60-100 cm.

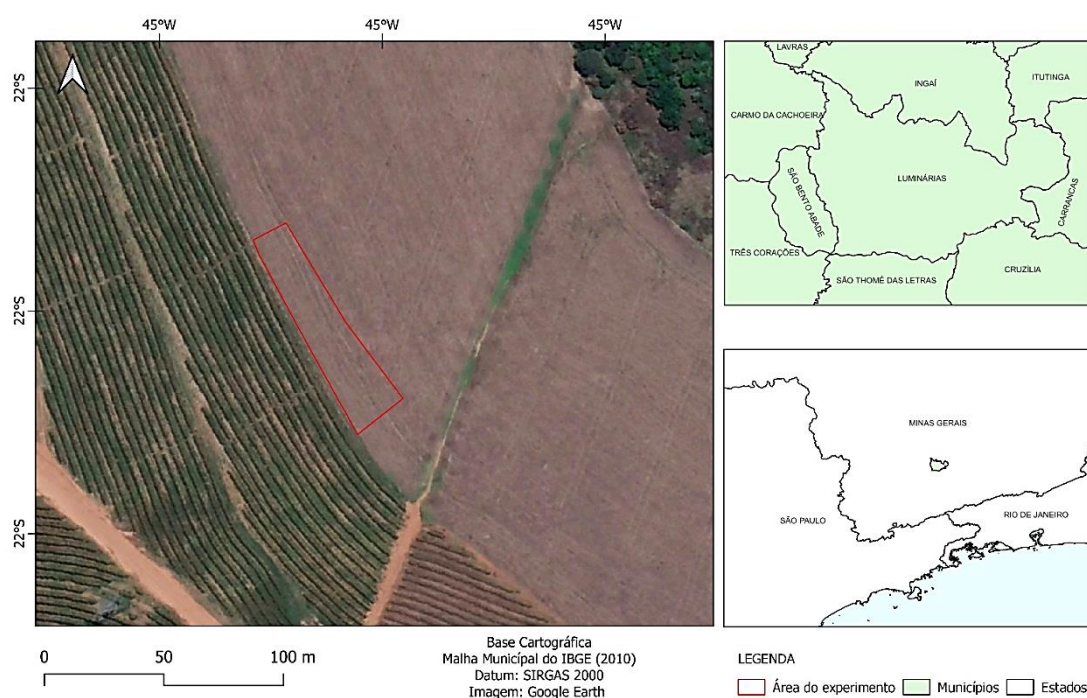


Figura 3 - Localização da área experimental na fazenda Palheta, situada no município de Luminárias/MG. Fonte: (Autor, 2023).

Tabela 1 - Resultados da análise química e física do solo.

Prof	Areia	Silte	Argila	pH água	Prem	P (resina)	P (Mehlich 3)	P (Mehlich 1)	K	Ca	Mg	t	T	Al	H+	H+AL	V	M.O.	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
cm	%				mg L ⁻¹		mg dm ⁻³										%	g dm ⁻³			mg dm ⁻³			
0 – 5	46	24	30	6,44	13,1	166	54,54	50,82	0,68	12,36	5,11	18,16	21,9	6,44	3,74	3,74	82,93	42,23	3,53	140,69	26,26	10,69	0,58	9,75
5 – 10	36	22	42	5,93	12,16	127	33,77	25,05	0,35	6,45	1,49	8,29	13,14	5,93	4,85	4,85	63,09	34,64	1,52	130,12	12,5	5,06	0,5	5,92
10 – 20,	22	26	52	5,97	7,3	36	3,59	3,4	0,24	4,45	0,68	5,37	10,52	5,97	5,15	5,15	51,04	25,27	1,03	114,3	3,87	1,06	0,58	5,4
20 – 40	16	24	60	5,92	4,94	11	0	0,98	0,17	3,23	0,49	3,89	9,08	5,92	5,19	5,19	42,84	21,59	1,18	87,05	8,3	0,43	0,54	33,07
40 – 60	24	22	54	5,67	4,84	9	0	0,98	0,1	2,12	0,21	2,53	7,21	5,67	4,68	4,78	33,7	20,11	0,76	72,95	6,84	0,35	0,25	119,23
60 – 100	14	20	66	5,87	5,35	6	0	1,77	0,17	2,26	0,49	2,92	6,89	5,87	3,97	3,97	42,38	15,37	1,25	65,44	21,52	0,41	0,08	151,61

4.2. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido com o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial $6 \times 3 + 1$ (seis tipos de fertilizantes, três doses e um controle), com três blocos, totalizando 57 parcelas. A área de cada parcela foi formada por 6 linhas espaçadas $5 \times 0,5$ metros, compondo uma área de 15 metros quadrados.

Para compor o experimento utilizou-se os seguintes tratamentos MAP (fosfato monoamônico), SS (super simples), OM 18% (organomineral 18%), OM 30% (organomineral 30%), OM 18% + B (organomineral + inoculação com *Bacillus subtilis*) e OM 30% + B (organomineral + inoculação com *Bacillus subtilis*), mais uma testemunha sem aplicação de fertilizante fosfatado, onde foram aplicados em três doses, sendo elas 100% da dose recomendada, que para o ciclo da soja, foi de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e no milho 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com duas reduções, uma redução de 30% e outra redução de 60%, caracterizando respectivamente (D1; D2; D3), as quantidades de N de cada fertilizante foram corrigidas e igualadas ao teor de N presente na adubação com MAP.

Tabela 2 - Tratamentos do experimento de campo.

Tratamentos	Descrição	Dose recomendada	Modo de aplicação
T0	Testemunha	-	-
T1	MAP ¹	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T2	MAP	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T3	MAP	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T4	SS	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T5	SS	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T6	SS	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T7	OM 06-30-00	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T8	OM 06-30-00	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T9	OM 06-30-00	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T10	OM 06-30-00 + B1 ²	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T11	OM 06-30-00 + B1	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T12	OM 06-30-00 + B1	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T14	OM 02-18-00	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T15	OM 02-18-00	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T16	OM 02-18-00	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T17	OM 02-18-00 + B1 ³	100% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T18	OM 02-18-00 + B1	70% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio
T19	OM 02-18-00 + B1	40% da dose de P_2O_5	Sulco de plantio

¹Monofosfato de amônio.

²Organomineral 06-30-00 **peletizado**.

³Organomineral 06-30-00 **peletizado** com matriz orgânica e enriquecido com isolado B1.

Os fertilizantes foram separados em sacos plásticos individuais para cada linha de cada parcela, totalizando 6 embalagens por parcela, garantindo maior uniformidade de aplicação em cada linha, haja visto que a quantidade em termos de volume é muito baixa e pode ocasionar desigualdade de aplicação caso não ocorra a separação. As doses de fertilizantes aplicados convertendo a quantidade de P_2O_5 para fertilizante estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Doses de nutrientes adicionais aplicados pelos tratamentos em função da dose de P_2O_5 .

Fertilizante	Soja ----- 100 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----		Milho ----- 80 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----	
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dose (%)	Doses de fertilizante (kg ha ⁻¹)	Dose (%)
MAP	217	100	174	100
MAP	152	70	122	70
MAP	87	40	70	40
SS	435	100	348	100
SS	435	70	348	70
SS	435	40	348	40
OM 06-30-00	435	100	348	100
OM 06-30-00	304	70	243	70
OM 06-30-00	174	40	139	40
OM 06-30-00 + B1	435	100	348	100
OM 06-30-00 + B1	304	70	243	70
OM 06-30-00 + B1	174	40	139	40
OM 02-18-00	333	100	267	100
OM 02-18-00	233	70	187	70
OM 02-18-00	133	40	107	40
OM 02-18-00 + B1	333	100	267	100
OM 02-18-00 + B1	233	70	187	70
OM 02-18-00 + B1	133	40	107	40

¹Monofosfato de amônio.

²Organomineral 06-30-00 peletizado.

³Organomineral 06-30-00 peletizado com matriz orgânica e enriquecido com isolado B1.

Na soja não foi aplicado fertilizante nitrogenado uma vez que a fixação biológica aporta todo o N necessário para o ciclo da cultura. Foi realizado a correção do N contido no MAP para os outros tratamentos com o uso de ureia convencional. O restante do aporte de nitrogênio necessário foi suprido pelo tratamento de sementes com a

inoculação de bactérias do gênero *Bradyrhizobiu*. As doses aplicadas de K (potássio) foi de 100 kg ha⁻¹ a lanço antes do plantio.

No milho foi realizado adubação semelhante ao manejo comercial da fazenda onde a adubação nitrogenada foi com 80 kg ha⁻¹ de N a base de nitrato de amônia a lanço, junto com 100 kg de cloreto de potássio pré-plantio. A complementação do manejo agrônômico para soja e milho foi aplicado de forma foliar junto do manejo fitossanitário adotado para o experimento, exposto nas tabelas 4 e 6 abaixo:

Tabela 4 - Manejo fitossanitário e foliar para a soja.

Manejo fitossanitário e nutrição foliar na soja		
----- Estádio - -----	----- Produto comercial -----	----- Dose l/ha -----
V3 Capina	Glifosatato	1,5 l/ha
	Verdite	0,2 l/ha
	Acadian	0,25 l/ha
	S de Magnésio	1,25 kg ha ⁻¹
	Co-Mo	0,15 l/ha
V5	Li700	0,05 l/ha
	Opera	0,5 l/ha
	S de Magnésio	1,25 l/ha
	Co-Mo	0,1 l/ha
	Xcellence	1,5 l/ha
	Assist	0,15 l/ha
	Abamectina 1,8%	1 l/ha
R1 DAS	Imidacloprid	0,2 l/ha
	Li700	0,05 l/ha
	Sulfato de Zinco	0,2 l/ha
	Startem Mn	1,5l /ha
	Fox Xpro	0,5/ha
	Mancozeb	1,25/ha
	Acadian	1/ha
	Abamectin Nortox	1/ha
	Spot	1/ha
	S de Magnésio	1,25/ha
R3	Co-Mo	0,1/ha
	Ativum	0,8l/ha
	Acadian	1l/ha
	Galil SC	0,3l/ha
	Parrudo BR	2l/ha
	Carbendazim Nortox	1l/ha
	Li 700	0,05l/ha
R5	Cronnos OD BR	2l/ha

	Expedition	0,3l/ha
	Exalt	0,1l/ha
	Li 700	0,05 l/ha
R8	Diquat	2,0 l/ha
	Ureia	2,0 kg ha ⁻¹

Tabela 5 - Manejo fitossanitário e foliar para o milho.

Manejo fitossanitário e nutrição foliar no milho		
----- Estádio -----	----- Produto comercial -----	----- Dose l/ha -----
V2 Capina	Atrazina	4
	Soberan	0,15
	Zero Espuma	0,03
	Perito	0,75
	Imidacloprid	0,15
	Assist	0,25
V5	Silwet	0,05
	Sulfato de Magnésio	1,25
	Úreia	1,25
	Cp Nutri	0,5
	Assist	0,15
	Metomil	1,5
	Imidacloprid	0,15
V8	Silwet	0,05
	Sulfato de Magnésio	1,25
	Map Purificado	1,25
	Úreia	1,25
	Assist	0,5
	Tebuconazole 430 gr/l	0,25
	PrioriXtra	0,35
	Clorotalonil	1
	Sperto	0,25
VT	Silwet	0,05
	Tebuconazole 430 gr/l	0,25
	PrioriXtra	1
	Mancozeb	1,5
	Metomil	1,5
	Assist	0,25

As aplicações de fungicida e inseticidas foram realizadas de forma preventivas nos estádios previsto para cada cultura. As aplicações iniciais feitas de forma manual, com pulverizador costal e posterior ao desenvolvimento da cultura, aplicadas via pulverizador do modelo autopropelido.

4.3. Preparo do solo e semeadura

A semeadura foi realizada de forma manual com o auxílio de enxada para abertura dos sulcos espaçados em 50 cm entre linhas e 10 cm de profundidade. A semente utilizada para soja foi a cultivar da Brevant B5710CE com uma população de 300.000 plantas ha^{-1} .

No milho se utilizou o híbrido da LG sementes LG36680 VTPRO4 a uma população de 60.000 mil plantas ha^{-1} , totalizando 3 plantas por metro linear espaçadas a 33 cm, com plantio manual com auxílio da plantadeira de rolo LF1100 da LiveFarm. Para os cultivos de soja e milho, a adubação fosfatada com os tratamentos foi realizada durante a semeadura, sendo aplicada manualmente ao lado das sementes. Além disso a adubação de cloreto de potássio e nitrato para o milho, que foi realizada a lanço no pré-plantio.

4.4. Teores, acúmulo de nutrientes, produtividade de grãos e Índices de Eficiência

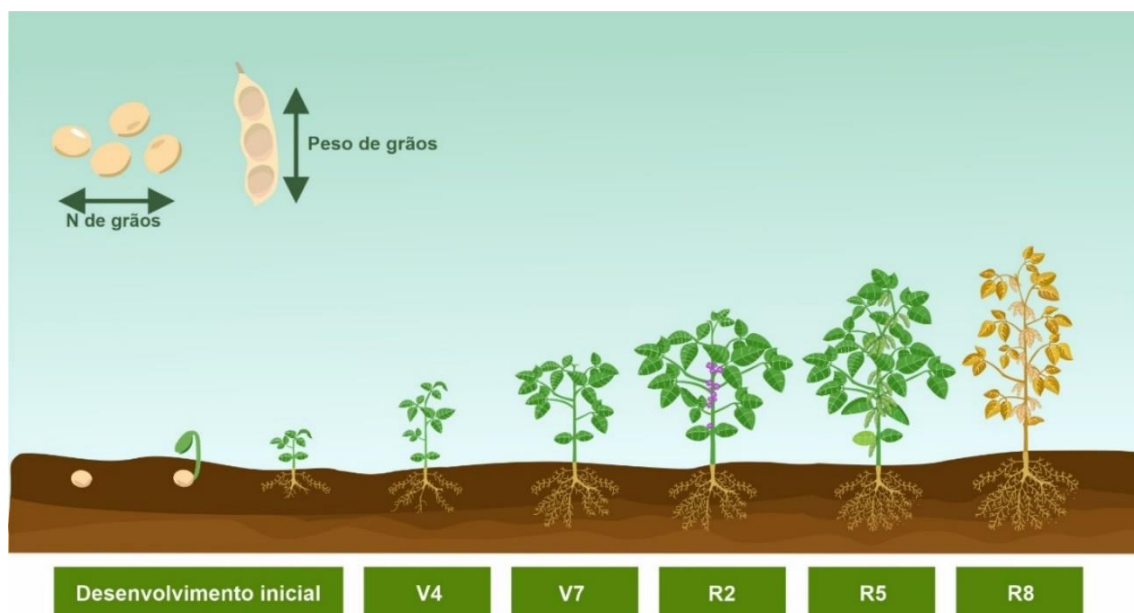


Figura 4 - Ilustração dos estádios de coleta da soja. Fonte: (Autor, 2023).

Para quantificação e análise dos acúmulos de nutrientes e biomassa no material vegetal da soja, foi realizado coletas repetidas com amostragem de 4 plantas nas duas linhas centrais de cada parcela, nos seguintes estádios desenvolvimento para a soja de

crescimento V4 (quarto trifoliolado), V7 (sétimo trifoliolado), R2 (florescimento pleno, R5 (início da formação de sementes), R6 (semente plena) e R8 (maturidade plena) quando pelo menos 50% do estande de plantas atingirem os determinados estádios (BENDER, 2015).

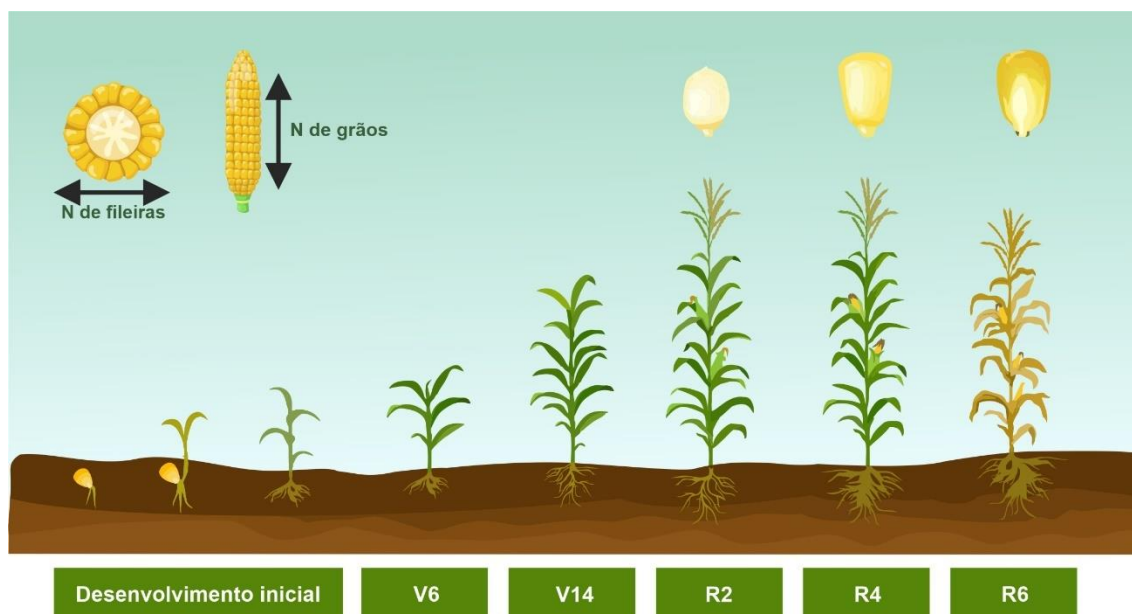


Figura 5 - Ilustração dos estádios de coleta do milho. Fonte: (Autor, 2023).

No milho foi amostrada duas plantas nas linhas centrais das parcelas em cada um dos cinco estádios de crescimento: V6 (estádio vegetativo com 6 folhas), V14 (estádio vegetativo com 14 folhas), R2 (estádio reprodutivo), R4 (estádio reprodutivo), e R6 (maturidade fisiológica) (HANWAY, 1963; RITCHIE, 1997; BENDER et al., 2013). A amostragem das plantas ocorrerá quando pelo menos 50% delas atingiram o estágio de crescimento correspondente.

Para a soja após a coleta, os materiais foram separados em folhas (lâminas foliares), caule (ramos e pecíolos) e tecidos reprodutivos (vagens), e para o milho, os tecidos das plantas serão separados em quatro componentes: caule (colmo e bainhas foliares), folhas (lâminas foliares), tecidos reprodutivos (pendão, espiga e palha) e tecidos dos grãos, cada componentes foram analisados de forma individual.

Assim, após separados foram secos a 65°C até atingirem uma concentração de umidade de 0% para determinação do peso seco e passar pelo processo de moagem em peneira de malha de 2 mm para análise da concentração de nutrientes (Tedesco et al 1995). Todas as amostras foram analisadas através da digestão nitro perclórica e o P total lido através do método de colorimetria do metavanadato (MALAVOLTA, 1989).

Os valores de produtividade foram feitos através da colheita semimecanizada com o uso de trilhadeira e debulhadeira para separação dos grãos da soja do milho, onde a umidade foi ajustada aos padrões comerciais e pesadas para a conversão em kg ha⁻¹. Para se obter os teores de nutrientes nos grãos foi realizada digestão nitro perclórica e quantificação do acúmulo e exportação de P.

Após a determinação da produtividade, foi calculado a eficiência agronômica (EA) dos fertilizantes fosfatados nos cultivos de soja e milho (SIDDIQI & GLASS, 1981; FAGERIA; SANTOS; MORAES, 2010).

(1)

Eficiência Agronômica (EA)

$$EA \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{(Produtividade fonte testada)} - \text{(Produtividade controle)}}{\text{(Dose de P aplicada)}}$$

4.5. Teste de liberação

4.5.1. Teste de liberação em campo

Para estimar a curva de liberação dos fertilizantes em campo foram preparados sacos de nylon com dimensões de 12,5 x 18 cm, feitos com uma rede de malha de 1,8 mm. Cada saco contendo quarenta gramas de fertilizante, e a abertura do saco posteriormente selada.

No ato do plantio, foram distribuídos os testes de liberação ao lado dos tratamentos de organomineral 18% + *Bacillus subtilis* e organomineral 30% inoculado. Esses sacos foram enterrados a uma profundidade de 5 cm no corredor entre blocos afastados 30 cm da bordadura como ilustrado na Figura 6.

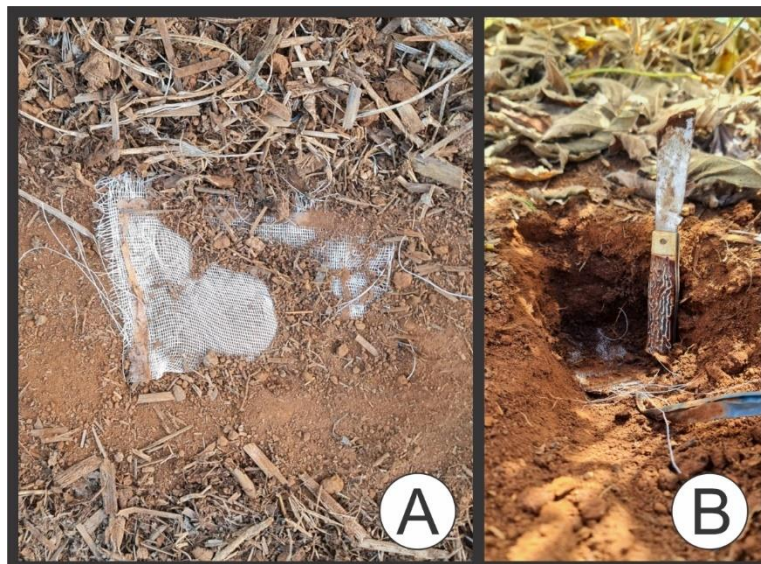


Figura 6 - Demonstração da disposição dos testes de liberação em campo. Fonte: (Autor, 2023).

4.5.2. Teste de liberação em laboratório

O teste de liberação em laboratório seguiu o seguinte procedimento: Os fertilizantes foram pesados em frações de 10 g e colocados em sacos de tecido "microtule". Esses sacos foram vedados para evitar a saída dos fertilizantes. Em seguida, cada saco foi inserido em potes de 500 ml contendo água destilada, com a temperatura mantida a 24°C. O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado, com um total de cinco repetições por tratamento, seguindo o mesmo intervalo de coleta de 1; 3; 7; 14; 21; dias após incubação.

Para a avaliação, foram coletados 50 ml do material retirado da solução em contato com os fertilizantes e descartando o restante. Após cada coleta, o volume de água destilada foi repostado integralmente. O teste em laboratório teve como objetivo correlacionar a dinâmica da liberação dos nutrientes entre as duas modalidades de teste.

4.6. Análises microbiológicas

4.6.1. Atividade enzimática

Foram determinadas as seguintes enzimas no solo: arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase de acordo com método descrito por Tabatabai (1994). Com o objetivo de descrever a qualidade do solo e de sua atividade biológica (MENDES et al., 2019). As coletas foram realizadas no florescimento plênuo da soja, estágio R2, com amostragem de solo na camada de 0-5 cm.

5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

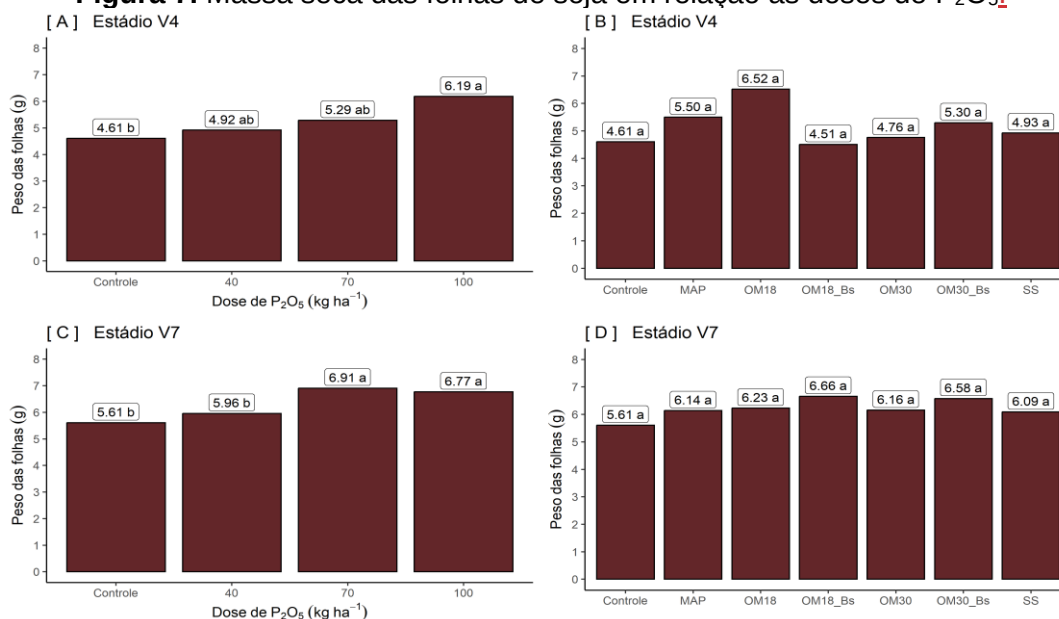
Inicialmente, foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett ($p \leq 0,05$). Em seguida, foi realizado a análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas por meio do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Além disso, foram conduzidas análises de regressão para as teste de liberação. Todas as análises foram realizadas com o software R (R core team, 2023).

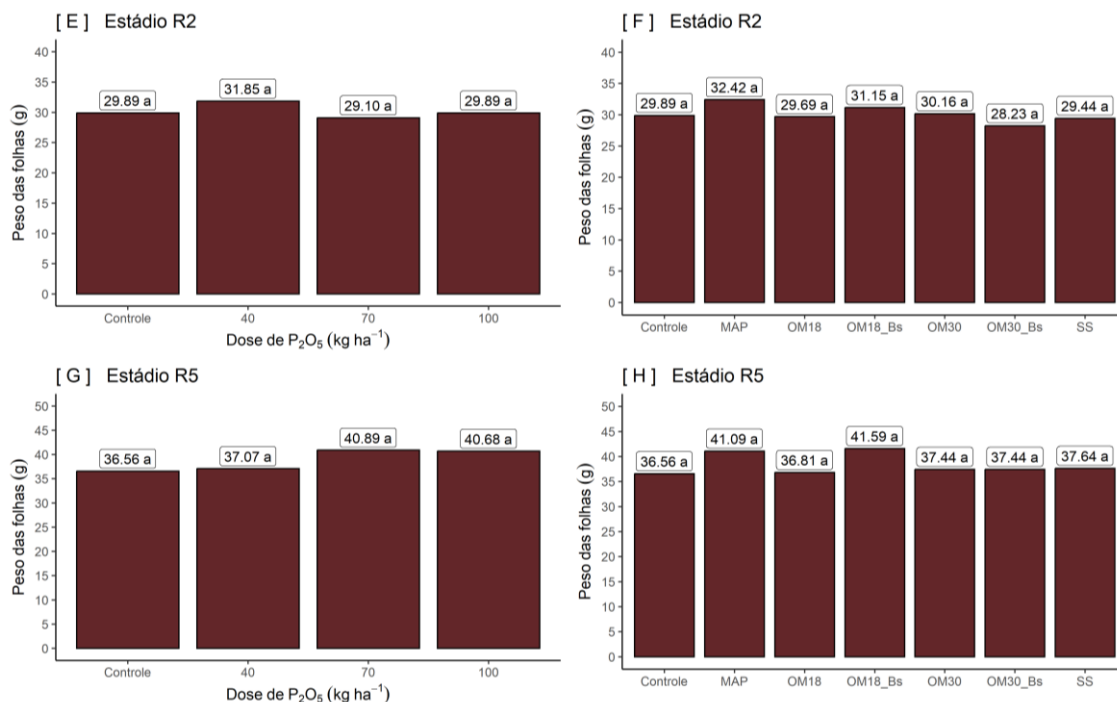
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Análises fitométricas da soja

Nas análises fitométricas, foram explorados os parâmetros de massa seca, sendo subdividido em folhas, ramos e colmo, e partes reprodutivas como vagem e espiga, além da altura das plantas amostradas. A Figura 7 apresenta a matéria seca dos diferentes órgãos da planta (caule, trifólios e vagens). Em geral, há diferença estatística ao analisar o acúmulo de massa seca nas folhas entre as diferentes doses nos estádios V4 com peso médio das folhas na dose de 40 kg ha⁻¹ de 4,61 g, na dose de 70 kg com peso de 5,29 e 6,19 na dose de 100 kg ha⁻¹ para o estágio V4, proporcionando um incremento de massa seca de folha respectivamente em 6,62%, 14,7% e 34,2%. No estágio V7 o incremento na parte aérea apresentou diferença estatística apenas na dose de 70% e 100% comparado ao controle. Com valores de 6,91 e 6,77 gramas de massa seca de folha, o que representa um incremento de 23,17 % e 20,67% sendo no V7 a dose de 70% com maior incremento, diferente do estágio V4 que apresentou um incremento linear com relação a peso e dose.

Figura 7. Massa seca das folhas de soja em relação as doses de P₂O₅.



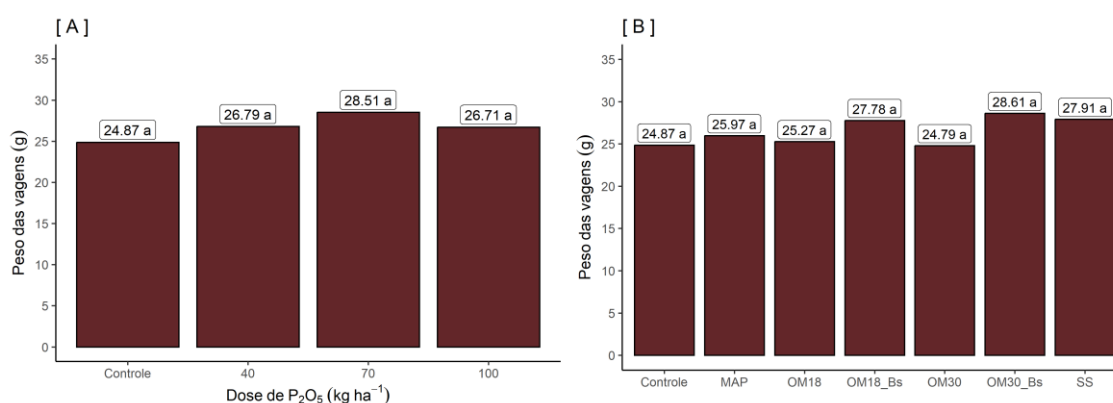


Nessa fase, a planta apresenta menor sistema radicular, o que reduz a área de absorção da planta, sendo favorecida pelas maiores concentrações iniciais na dose de 70 e 100 kg de P_2O_5 no sulco de plantio. Fator que tem seu efeito reduzido com o desenvolvimento da planta e consequentemente do sistema radicular, onde nos estádios R2 e R5 já não apresentam diferença estatística entre nenhuma dose, até mesmo o tratamento controle, que pode ser justificado pelo alto estoque de P do solo. Contrário ao encontrado por Ribeiro et al. (2020) observaram que a aplicação de fertilizante organominerais na cultura de soja resultou em diferenças significativas não apenas na produtividade de grãos, mas também em parâmetros vegetativos, como área foliar, número de folhas e produção de matéria seca na parte aérea.

Quanto as fontes, não houve diferença estatística no acúmulo de massa seca nas folhas das plantas de soja, fator previsível, visto, quando o solo apresenta altos teores de um elemento, existe uma resistência natural respostas com a alteração das fontes aplicadas.

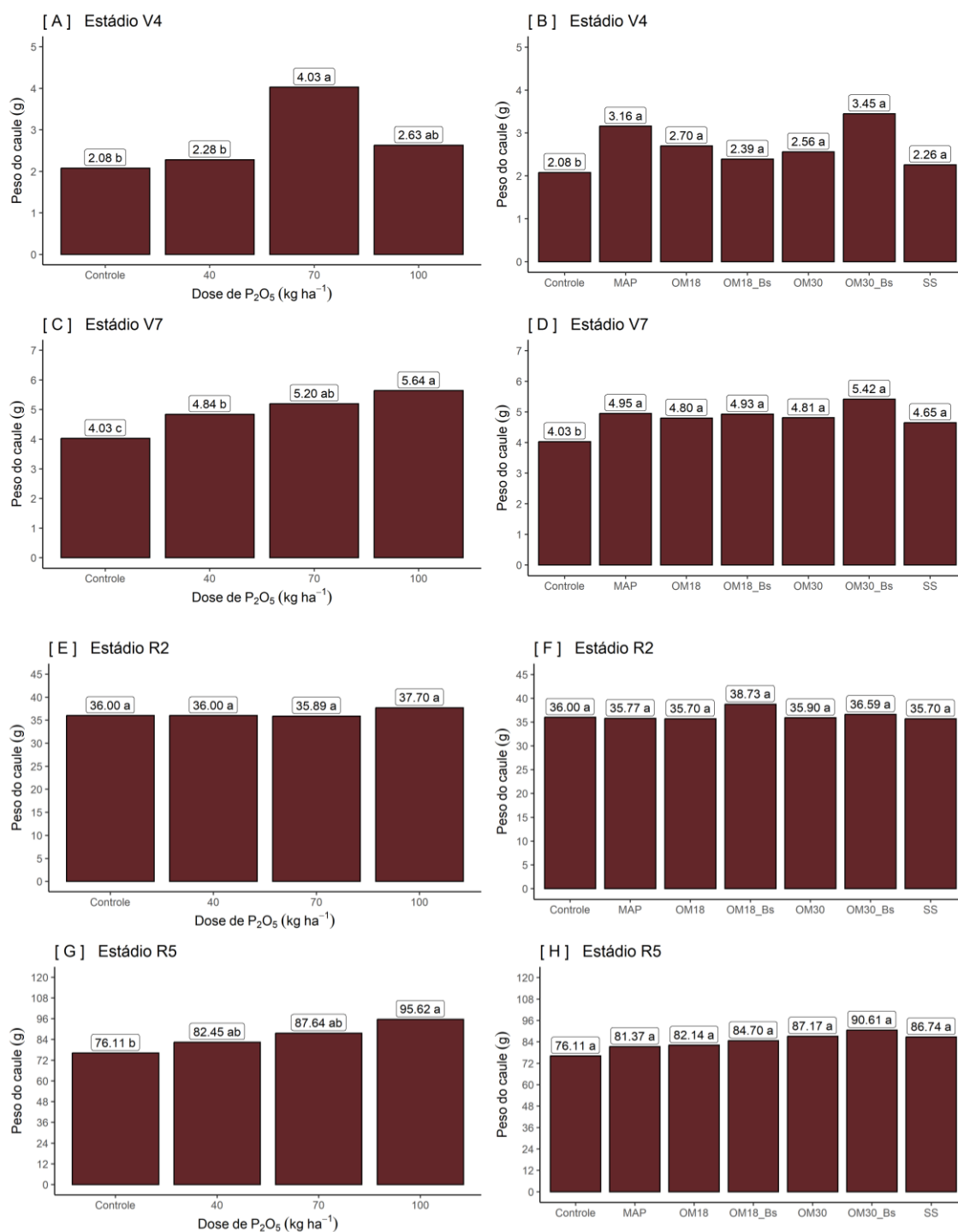
Para o peso das vagens de soja, Figura 8, não foram observadas diferenças estatísticas para a variável, o que se assemelha aos dados de produtividade, onde há ausência de diferença tanto para doses como para fontes se reflete no momento de formação das vagens e grãos, onde a igualdade entre todos os tratamentos pode ser justificada pelo alto teor de P no solo, promovendo uma resistência inicial aos tratamentos, aspecto que com conduzir das safras devem ir se alterando, mostrando maior resposta em relação as reduções de doses e a possíveis fontes com maior eficiência.

Figura 8 - Peso das vagens de soja em relação as fontes e doses.



Na Figura 9, são apresentados os dados de massa seca dos ramos da soja, onde o maior ganho de massa foi observado na maior dose, de 100 kg ha⁻¹. Com este efeito isolado de doses, nota-se a tendência de crescimento linear da matéria seca, conforme o aumento do P aplicado. Com exceção do peso de ramos no estágio V4 que apresentou maior acúmulo de matéria seca na dose de 54 kg ha⁻¹, que pode ter sido promovido por um efeito isolado na amostragem das plantas. Nos estádios seguintes continuam com a tendência de maior estruturação da planta com o aumento das doses.

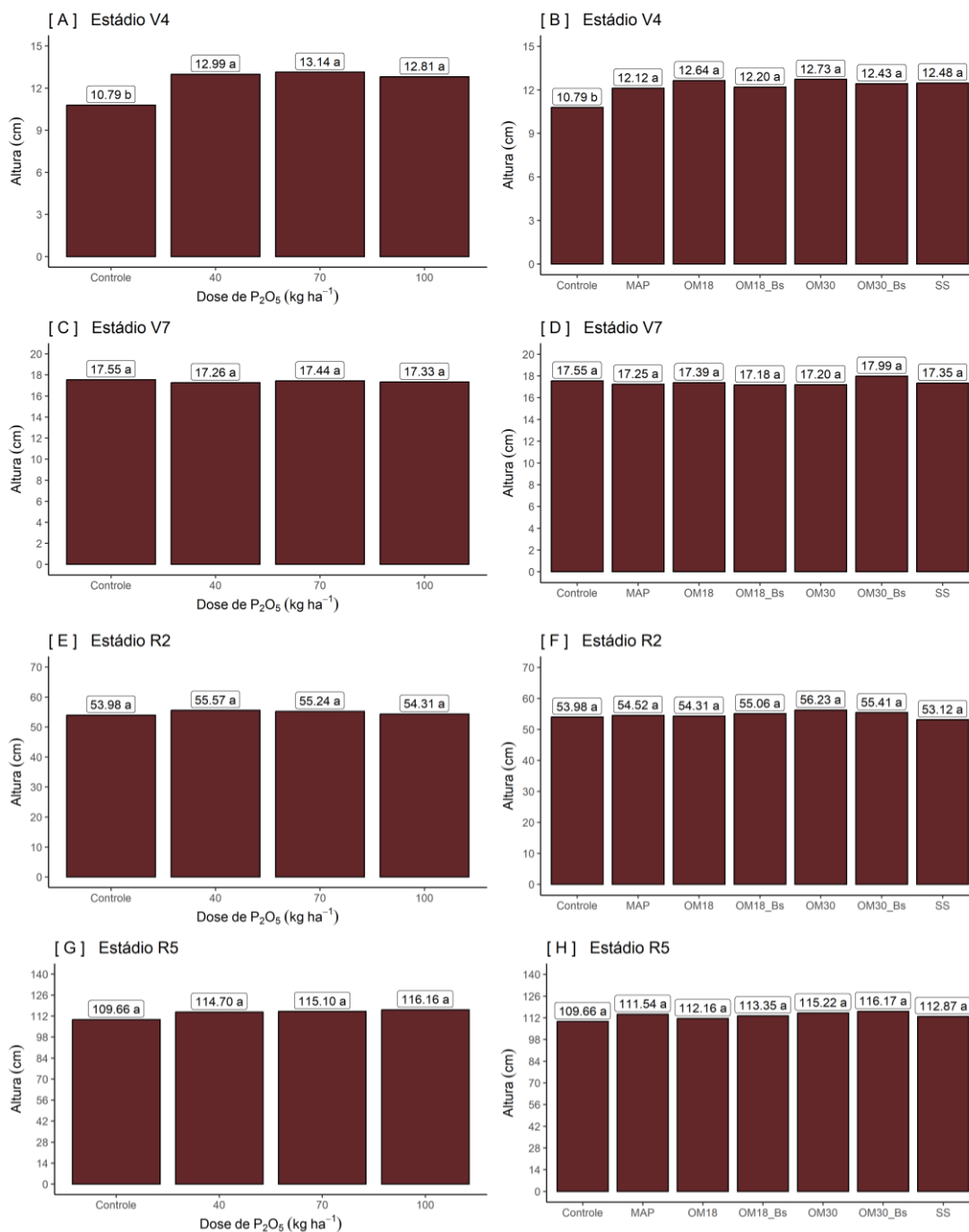
A presença de um maior desenvolvimento em caule e ramos pode promover uma melhora na arquitetura da planta, maior engalhamento e produção de nós, que se bem manejado, pode ser revertido em ramos com maior potencial produtivo (Reis, 2019).

Figura 9 - Massa seca dos caules de soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .

Dados que corroboram com os obtidos por (FLOSS, 2022). Que quanto mais cedo a planta ramificar, maior o número de axilas por ramo e maior é o rendimento. Possibilitando também o aumento da eficiência de uso da luz solar e melhor absorção de fungicidas e inseticidas no manejo fitossanitário, como fechamento mais precoce da rua, fatores que podem ser fundamentais para a determinação de um maior número de legumes no terço inferior da planta.

Na Figura 10, são apresentados os dados de altura para as plantas de soja. Para a variável estudada, não foi observado diferença estatística entre as doses testadas e as fontes, com exceção do tratamento controle.

Figura 10 - Altura das plantas de soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .



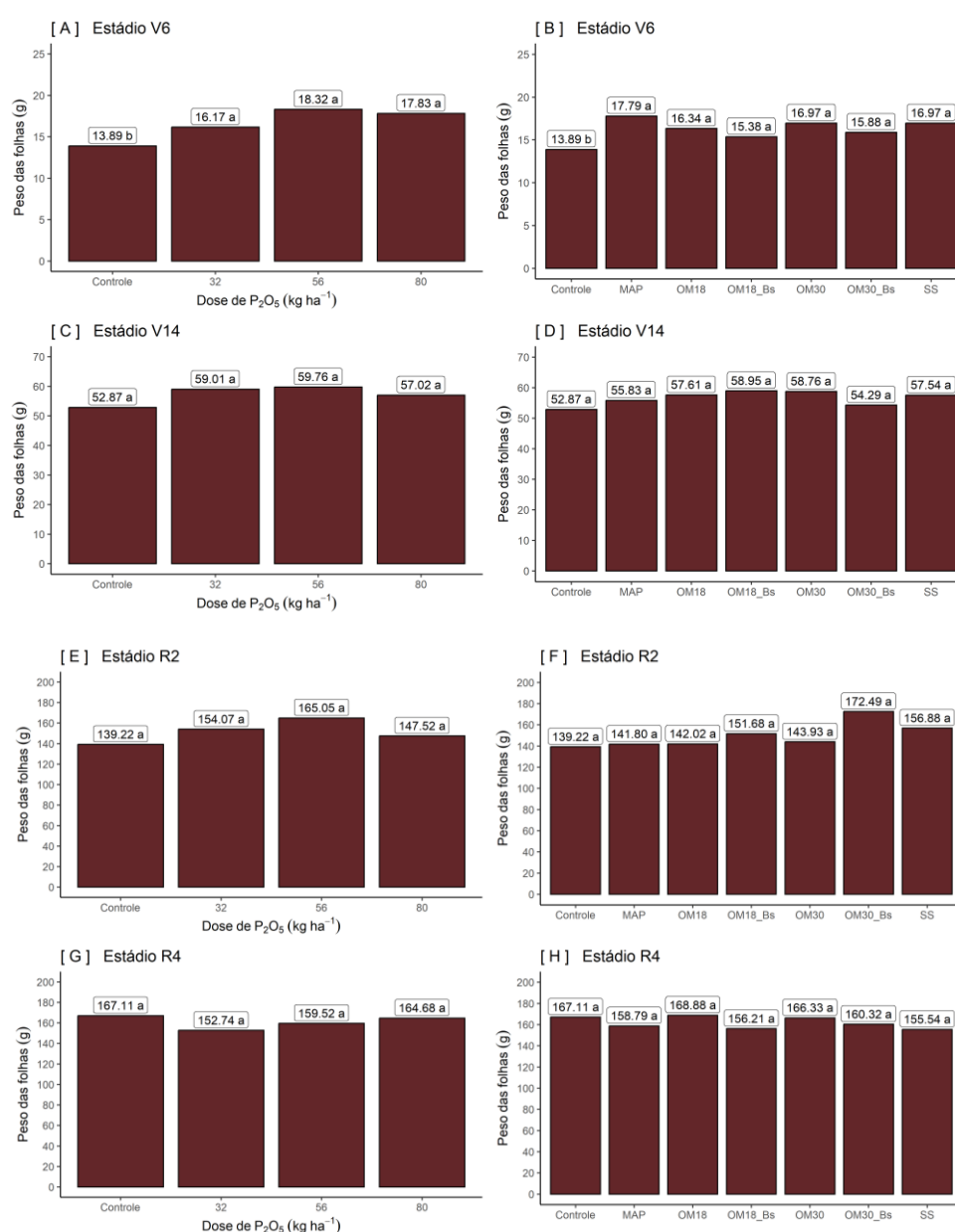
Há não diferença estatística tanto para fonte quanto para dose, com exceção do controle no estágio V4, indica não haver um crescimento mais rápido da soja adubado com organomineral, em comparação às demais fontes. Resultado semelhante ao encontrado por (SILVA, 2023) onde a adubação mineral e organomineral resultaram em

alturas de planta iguais. Por outro lado, em determinadas condições de baixa umidade no solo a maior solubilidade de fertilizantes minerais pode promover, maior crescimento inicial das plantas (LOURENÇO et al., 2013).

6.2. Análise fitométrica do milho

Os acúmulos de massa seca nas plantas foram positivo até o estágio R5, a partir deste ponto, observa-se a redução no peso das folhas (Figura 9) e do colmo (Figura 10), devido ao processo natural de redistribuição da parte aérea para os órgãos reprodutivos da planta.

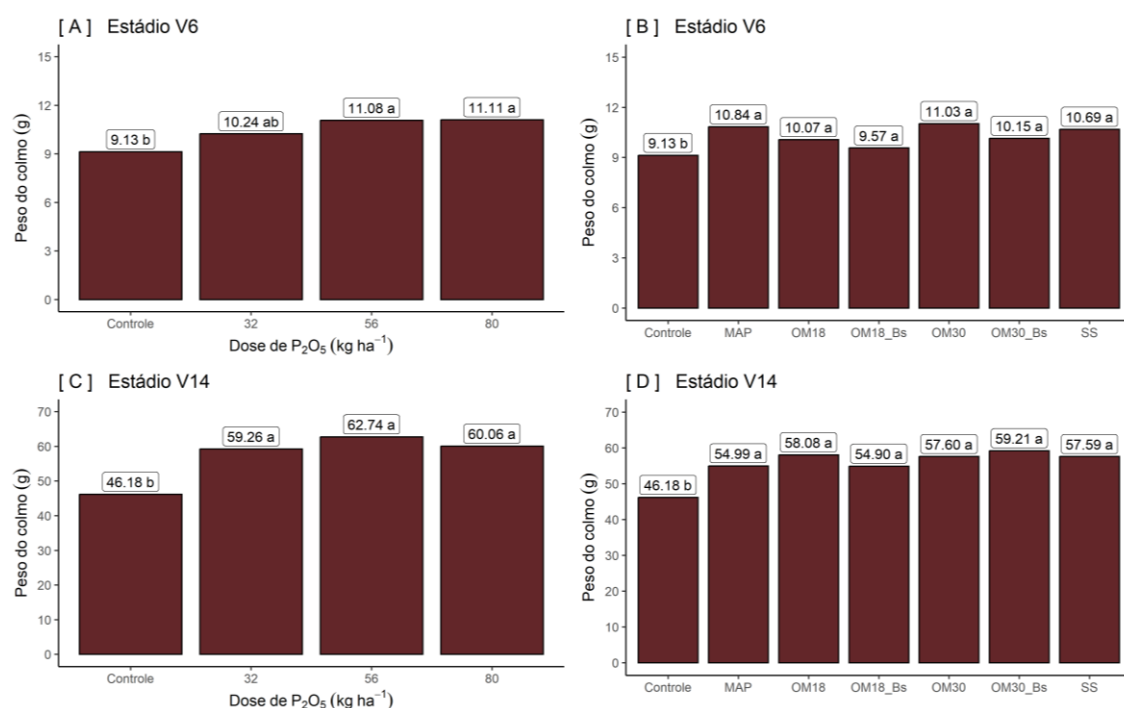
Figura 11 - Massa seca das folhas do milho em relação as doses e fonte de P_2O_5 .

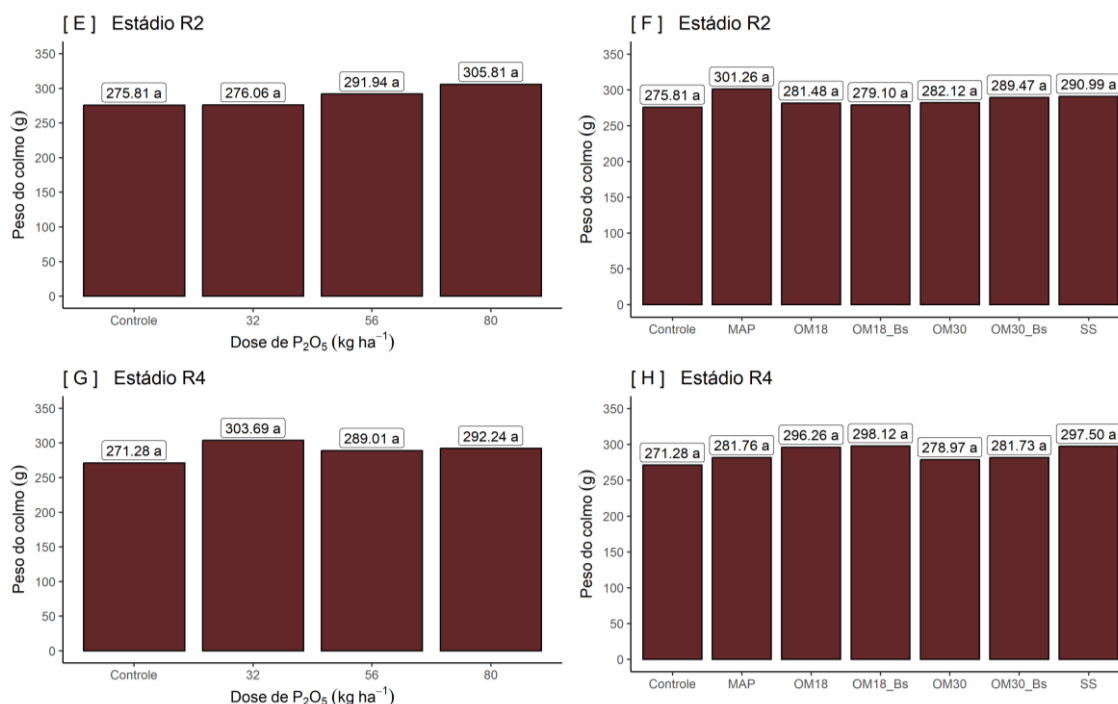


Na Figura 11, as folhas do milho não apresentaram diferença estatística para fonte quanto para dose, com exceção do tratamento controle, e não houve efeito de significância para a interação entre esses fatores. Compreendendo assim, que ambas as fontes atenderam as necessidades da cultura, independente da dose. Resultado que não traz embasamento para que se recomende uma redução das doses, visto que, ambas as fontes, minerais e organominerais não se diferenciaram estatisticamente mesmo com redução de 60% da dose. O que se leva a acreditar que as doses mais baixas estão extraindo o fósforo necessário para completar o ciclo e atender a demanda da cultura dos estoques do solo.

Estes resultados corroboram com os dados obtidos no cultivo de trigo e soja por (MUMBACH, 2017; RODRIGUES, 2019). Onde não houve efeito significativo das doses, como das fontes com o uso de fertilizante organomineral na matéria seca das plantas, com exceção do tratamento controle, sem aplicação de P.

Figura 12 - Massa seca do colmo do milho em relação as doses e fonte de P_2O_5 .





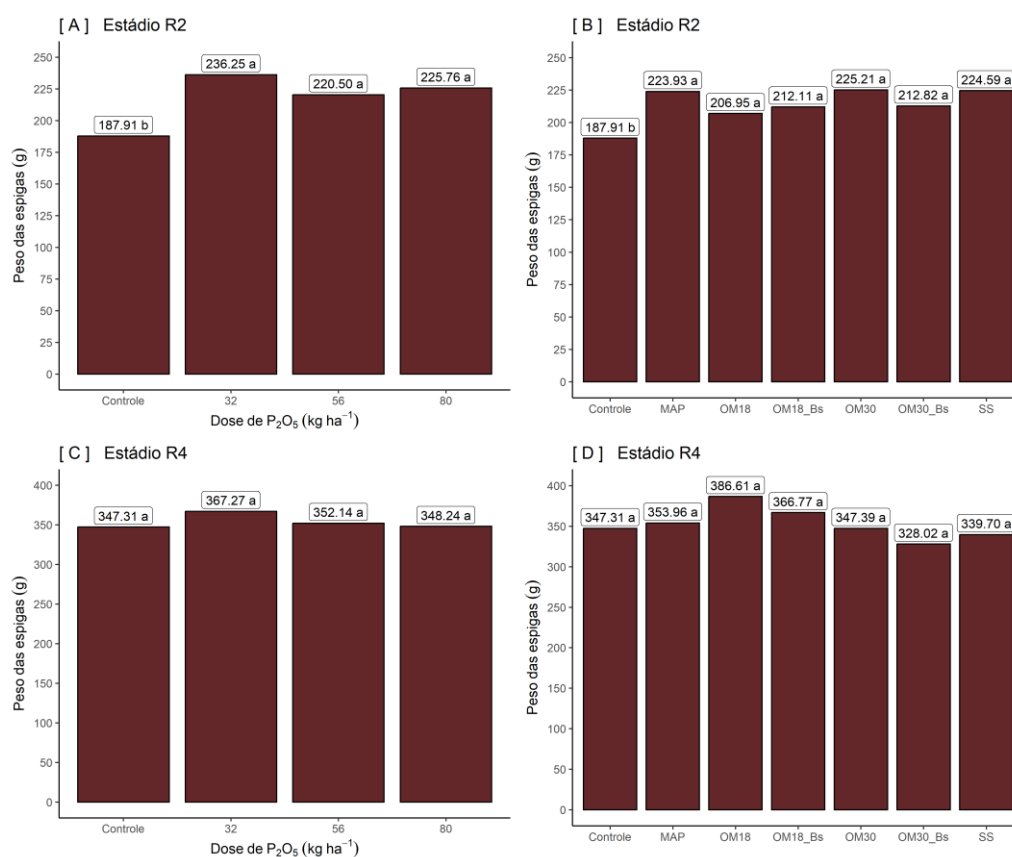
O peso do colmo (Figura 12) foi influenciado apenas pelo efeito isolado de dose, não havendo interação entre esses fatores analisados. Os tratamentos diferiram até o estágio V14, posteriormente ocorreu o equilíbrio entre os tratamentos, se diferenciando apenas do controle. Este efeito pode estar ligado a disponibilidade inicial de P para planta no estágio V6, onde houve diferença entre o controle, a dose de $32\ kg\ ha^{-1}$ e as demais doses. Já no V14 esta diferença apresenta-se apenas quando comparasse o tratamento controle, e posteriormente todos os tratamentos iguala-se estatisticamente.

Além disso, a maior disponibilidade de P próximo a semente promova um impulso inicial no crescimento, mas, a fertilidade natural, com o aumento do sistema radicular, iguala os tratamentos com o desenvolver das plantas. A partir do estágio R5 a planta começa a reduzir o acúmulo de massa seca, com exceção da dose de $32\ kg\ ha^{-1}$, os demais tratamentos reduzem os valores de massa devido a translocação de carboidratos e nutrientes para as estruturas reprodutivas, resultando na perda de material vegetal no campo devido à senescência das estruturas de cada órgão.

Esse aspecto corrobora com os trabalhos de outros autores quando se analisa a redução do acúmulo de massa seca a partir do estágio R5 (SAYRE 1948; ANDRADE ET AL. 1975; VASCONCELLOS ET AL. 1983; BENDER, 2013; FERREIRA 2023). Assim, pode-se concluir que não há diferença para ganho de massa seca entre as fontes organominerais e convencionais na formação de colmo e arquitetura da planta de milho. Este aspecto pode estar ligado também a genética das plantas, onde o uso de híbridos tende a ser mais resistentes a variações devido o melhor aproveitamento dos nutrientes em solos de fertilidade construída.

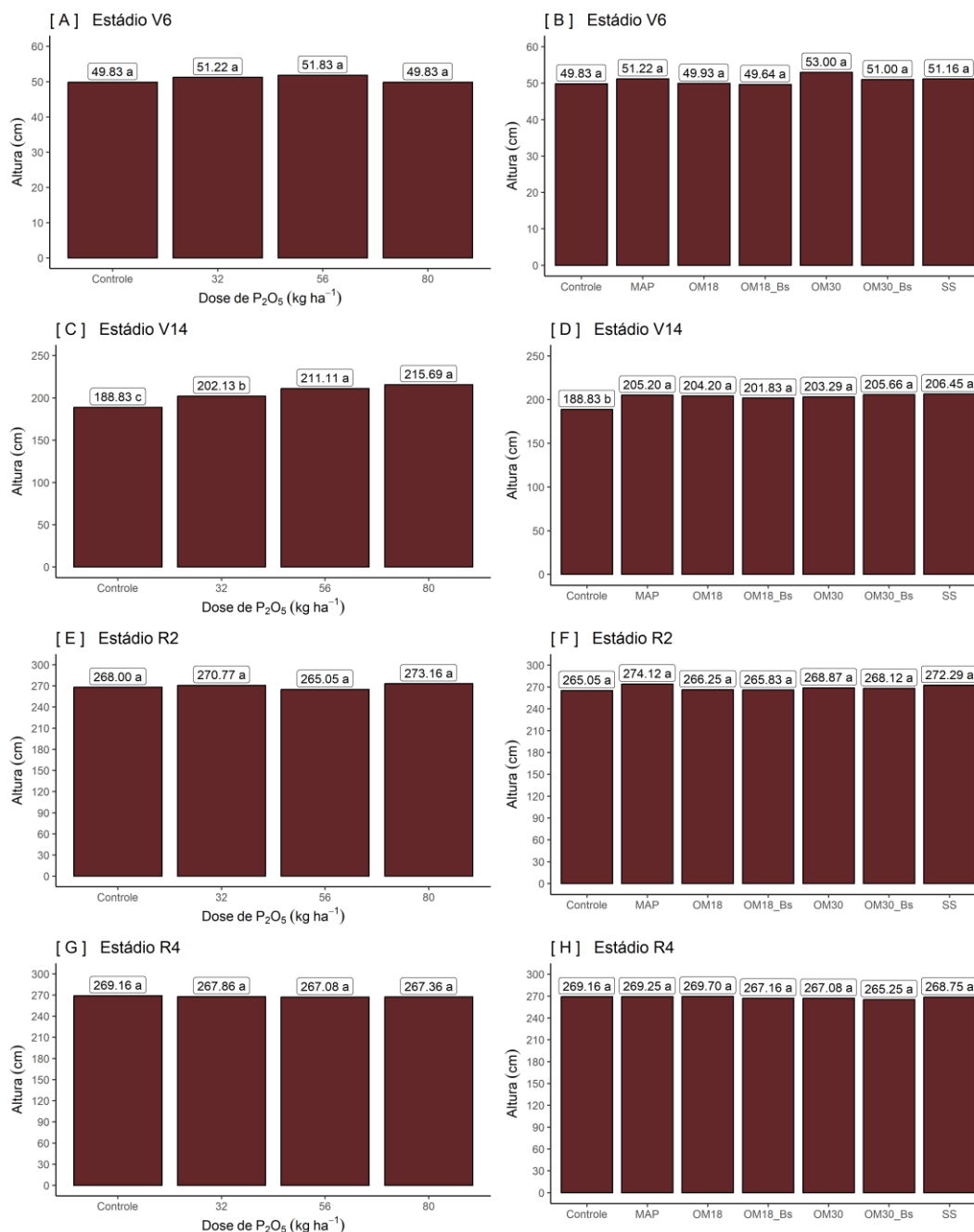
Na Figura 13, observa-se a matéria seca das espigas, que não foram influenciadas pelo efeito de dose nem de fontes, com exceção do tratamento controle, que para o estágio R2 diferenciou-se dos demais, fator que pode estar ligado apenas a uma variação nas unidades amostrais. A não variação no peso das espigas não reflete os dados de produtividade, que mesmo que só tenha sido observado diferença estatística para o tratamento controle, os demais tratamentos com o aumento das doses apresentaram crescimento linear.

Figura 13 - Matéria seca das espigas em relação as doses e fontes nos estádios R2 e R5.



Na Figura 14, são descritos os dados de altura das plantas foi influenciada pelo efeito isolado de dose, no estágio V14, o que pode ter sido ocasionado por uma variação nas unidades amostrais, visto que no demais estádios de coleta não apresenta interação estatística, entre as doses, como para as fontes.

Figura 14 - Altura das plantas de milho em relação as doses e as fontes de P_2O_5 :



Aspecto que pode estar ligado também a genética dos materiais atuais, que possuem alta uniformidade. Assim em áreas de fertilidade construída como a do presente trabalho, é de se esperar que não apresente variação em alguns aspectos fitotécnicos, como a altura.

Apesar disto, (ADEOLA, 2023) apresentou em seu trabalho que na comparação do organomineral com a adubação mineral convencional, os tratamentos adubados com organomineral apresentaram maiores altura de planta, porém, o autor enfatiza que o organomineral devido sua fração orgânica pode atuar auxiliando na retenção de água, aspecto que, em condições de estresse hídrico como a do estudo apresentado, pode favorecer o desenvolvimento e reduzir o estresse, (MENŠÍK et al., 2019; LAL, 2020) também relata o efeito significativo do desempenho das culturas quando adubadas com materiais orgânicos sob condições de limitação de água no sistema produtivo

6.3. Acúmulo total de P na parte aérea e grãos da soja e milho.

Para o cultivo da soja, o modelo apresentou um ajuste quadrático, com acúmulo máximo de 77,04 kg ha⁻¹ de P, na dose de 100 kg ha⁻¹. Para o cultivo do milho safrinha o acúmulo apresentou ajuste linear, com acúmulo máximo de P foi de 77,04 kg ha⁻¹. Para todos os tratamentos foi observada diferença estatística significativa entre as doses utilizadas no cultivo da soja, e no cultivo do milho teve interação para doses e fontes. Para o cultivo da soja, o acúmulo máximo obtido foi na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com 77,04 kg ha⁻¹. Para o milho este valor também foi na dose máxima, de 80 kg ha⁻¹, com 59,69 kg ha⁻¹.

Figura 15 - Acúmulo de P total na soja em função das doses de P₂O₅ e fontes aplicadas.

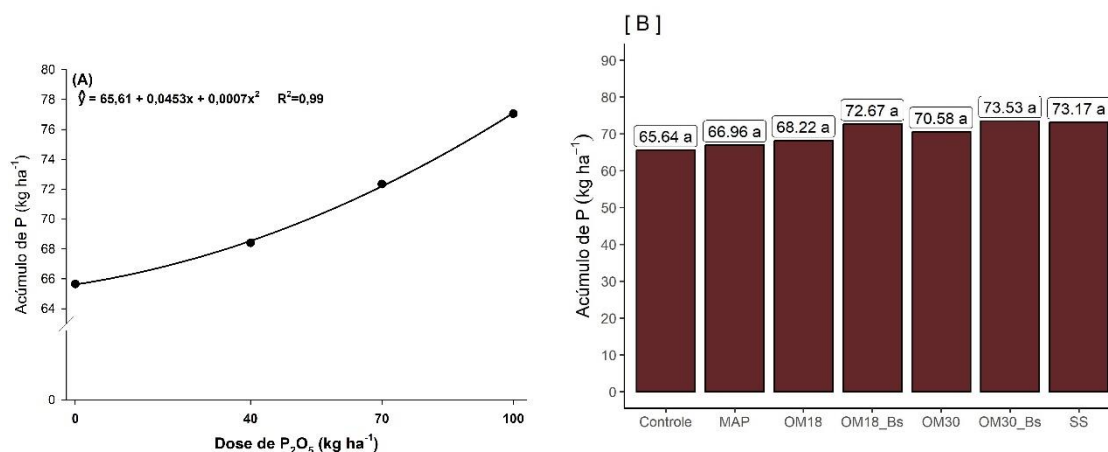
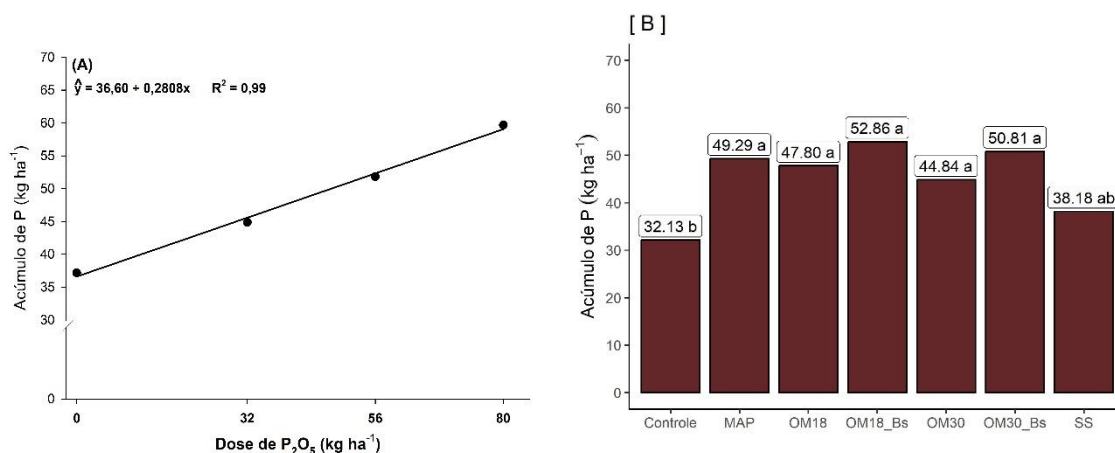


Figura 16 - Acúmulo de P total no milho em função das doses de P_2O_5 e fontes aplicadas



Para o cultivo da soja, o modelo de regressão apresentou ajuste quadrático para o acúmulo de P. O tratamento com dose máxima 100 kg ha⁻¹ de P_2O_5 em comparação com o tratamento controle, apresenta incremento 0,11 kg ha⁻¹ de P na matéria seca, para cada kg de P_2O_5 aplicado. O acúmulo dos tratamentos, controle, dose de 40%, dose 70% e dose de 100%, representam respectivamente, 65,64 kg ha⁻¹, 68,40 kg ha⁻¹, 72,33 kg ha⁻¹ e 74,04 kg ha⁻¹ de P na massa seca, que quando convertidos para P_2O_5 representam um acúmulo de, (Controle = 150,31; Dose 40% 156,63; Dose 70%= 165,63; Dose 100%=169,55) kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

A baixa variação entre os valores acumulados quando comparado o tratamento controle com a adubação de 100 kg ha⁻¹, (19,24 kg ha⁻¹ de P_2O_5) a mais de incremento reflete a baixa eficiência de resposta adubação de solos de fertilidade construída, onde a fertilidade natural atua como um tampão, reduzindo os efeitos das diversas fontes e doses aplicadas, o que explica a baixa variabilidade. Porém este fator se torna mais evidente, quando se compara com os dados obtidos no milho, que variam de (85,18 kg ha⁻¹ de P_2O_5 a 136,70 kg ha⁻¹ de P_2O_5). Acumulando a mais no tratamento de dose máxima 51,52 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , efeito este, ligado a menor disponibilidade de P devido a exportação e redução dos teores de P pelo sistema na safra da soja.

Com o modelo de regressão linear para o acúmulo no milho, o comparativo entre tratamento submetido a dose máxima de 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 com o tratamento controle sem adubação fosfatada, apresenta para cada kg de P_2O_5 aplicado, um incremento no acúmulo no teor de P na matéria seca de 0,28 kg ha⁻¹. O acúmulo dos tratamentos, controle, dose de 40%, dose 70% e dose de 100%, representam respectivamente, 37,20 kg ha⁻¹, 44,86 kg ha⁻¹, 52,50 kg ha⁻¹, 59,69 kg ha⁻¹ de P na massa seca, que quando convertidos para P_2O_5 representam um acúmulo de, (Controle = 85,18; Dose 40% 102,72; Dose 70%= 120,00; Dose 100%=136,70) kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Valores semelhante

foi encontrado por (FERREIRA, 2023), onde o acúmulo total de P para as plantas de milho foi de $42,79 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que, destes, $34,89 \text{ kg ha}^{-1}$ está presente nos grãos. O que indica um efeito residual de P de $7,9 \text{ kg ha}^{-1}$ na área para próxima safra, valor semelhante ao encontrado neste estudo, com valores de $8,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de P ou $18,86 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 retornando para o solo em forma de palhada na cultura do milho.

A taxa de acúmulo mais elevada, quando comparada com o aporte fornecido via fertilizante, resulta em um saldo negativo nas reservas de fósforo (P) no solo. Esse cenário induz a uma redução nos estoques de P disponíveis para as safras subsequentes nos sistemas de sucessão, mesmo quando aplicada a dose máxima de 80 kg/ha^{-1} de P_2O_5 . Essa observação sugere que, para manter os teores de P acima do nível crítico no solo, poderiam ser consideradas aplicações de doses mais elevadas, mesmo que não resultem em respostas significativas em termos de produtividade e eficiência agrônômica na adubação (Figura 18A e Figura 20A). Isto ocorre porque, de acordo com os dados de exportação, aproximadamente 77% a 86% desse P acumulado é redistribuído para os grãos e exportado da lavoura.

No acúmulo de P nos grãos, para a soja, os teores de P no encontraram-se abaixo dos teores apropriados, para a soja os teores variaram de $2,86$, a $5,38 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com MARIN (2012), os teores de P ideal para soja variam de 6 a 9 g kg^{-1} nos grãos. A diferença pode estar ligada a genética do material, população e aos possíveis níveis de P no solo. Para o milho, os teores variaram de $1,01$ a $3,48 \text{ g kg}^{-1}$, semelhantes ao encontrado por (BENDER et al., 2013), podendo ser considerado adequado. Porém os dados de Raij (1996) apresentam um outro ponto de vista, onde em seus estudos, ele afirma que a quantidade apropriada de fósforo nos grãos de milho situa-se entre 4 e 5 g kg^{-1} , valor que contrasta com os resultados.

Tal discrepância, pode ser associada ao cultivo de milho na segunda safra, onde a absorção de fósforo pelas plantas é influenciada pela menor disponibilidade de água, dependendo em grande parte do processo de difusão, além do material genético, população e nível tecnológico do plantio. Além disso o processo de absorção e acúmulo de P nos grãos, ocorre principalmente nos estádios reprodutivos, com mais de 50% da absorção total sendo realizada nessa fase, durante o processo de remobilização, cerca de 57% a 86% dos teores máximos de P anteriormente acumulados nas folhas e colmos são transportados para os grãos. Este alto índice de translocação de P podem estar ligados a fatores como aplicações foliares de P, que promovem a melhoria das concentrações desse nutriente nos grãos e nos tecidos (GIRMA et al., 2007; BENDER, 2013).

Como previsto, a aplicação de fertilizantes, sejam eles minerais ou organominerais, resultou em um aumento na absorção de fósforo em comparação com

o tratamento controle. Apesar da alta fertilidade natural da área, o aumento das doses diferiu estatisticamente quando comparadas entre si, tanto para a soja, como para o milho (Figura 15A e 16A). Aspecto que fica mais acentuado no progredir das safras quando comparasse a variação entre o teor acumulado da soja e do milho em sucessão. Visto que, a redução de doses promove um decréscimo dos níveis de fertilidade natural da área.

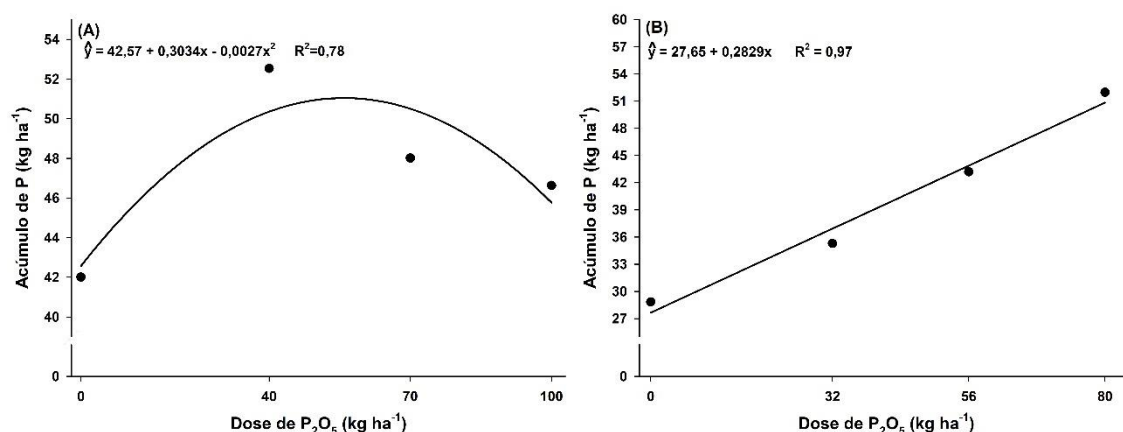
Em relação as fontes, apenas o supersimples e o controle diferiu estatisticamente do restante dos tratamentos no cultivo do milho (Figura 16B), aspecto que pode estar ligado ao baixo regime de chuvas, a menor solubilidade do fertilizante e menor disponibilidade natural após o cultivo de soja com redução de doses. Além disto, na safra de soja, as fontes não apresentaram diferença estatística entre si e com o tratamento controle, que mostra o potencial produtivo de uma área de fertilidade construída na sustentação de um cultivo sem adubação, apenas com as reservas naturais do solo.

A absorção de fósforo se estendeu até as fases avançadas do desenvolvimento das plantas, atingindo níveis máximos entre os estágios R6 e R8 para a soja e R5 e R6 para o milho. Houve uma significativa redução nas quantidades acumuladas de fósforo nas partes vegetativas, motivada pela redistribuição para os grãos durante período de maturação. Informação que corrobora com (VILAR E VILAR 2013), mostra que o maior acúmulo P, ocorre após o pendramento do milho, e maior parte deste P absorvido e direcionado para os grãos para composição de compostos que transferem energia no processo de transformação do açúcar em amido nos grãos de milho. Dados que condiz com o encontrado por (DUARTE e CANTARELLA, 2007; FERREIRA, 2023) que afirma também que até 86% de P absorvido pode ser translocado para os grãos de milho.

6.4. Exportação de fósforo pelo sistema soja-milho

A exportação de grãos apresenta comportamentos diferentes para cada safra. Na safra de soja, (Figura 17A), a regressão se ajusta a um modelo quadrático, com pouco efeito das doses, atingindo ponto de exportação máxima de 52,53 kg ha⁻¹ de P na dose de 40 kg ha⁻¹. Para o milho (Figura 17B), a curva de regressão apresenta ajuste linear, com crescimento de acordo com o aumento das doses, apresentando exportação máxima de 51,97 kg ha⁻¹ de P.

Figura 17 - Acúmulo de P na safra de soja e milho.



O balanço entre o acumulado e o exportado pelos grãos indica o percentual de fósforo (P) residual que irá ser disponibilizado via palhada. Para a soja, os valores variaram de 15,87 a 30,41 kg ha⁻¹, conforme o aumento da dose P. Este remanescente na palhada de fósforo orgânico fica de estoque no solo, que posteriormente será mineralizado e fornecido para cultura seguinte. No milho o balanço entre acúmulo e exportação foi de aproximadamente 8,24 kg ha⁻¹ de P que retorna para a área, mostrando maior potencial de exportação deste fósforo, uma vez que, aproximadamente 86% do P absorvido e redistribuído para os grãos e exportado na colheita.

Analisando os números de exportação máxima em cada safra em comparação com o fornecimento via fertilizante, observa-se que, para a soja, foram exportados 120,00 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto para o milho, a exportação atingiu 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Isso resulta em um déficit de 140 kg ha⁻¹ nas reservas de fósforo no solo. Em áreas sujeitas à redução de doses ou ausência de adubação, esse déficit potencializa-se, impactando diretamente o sistema de sucessão nas próximas safras e sugerindo uma tendência de redução do potencial produtivo, especialmente na terceira safra.

O balanço negativo observado entre as safras está intrinsecamente vinculado ao efeito das variáveis na produção de milho. A análise comparativa da exportação e produtividade do milho com a da soja em relação ao incremento de doses evidencia uma resposta mais significativa dessas variáveis ao aumento das doses. Tal fenômeno

indica uma menor disponibilidade natural de fósforo no solo, resultando em uma maior exigência por fontes externas para atender a demanda nutricional plantas, sendo necessário uma maior complementação com a aplicação de fertilizantes.

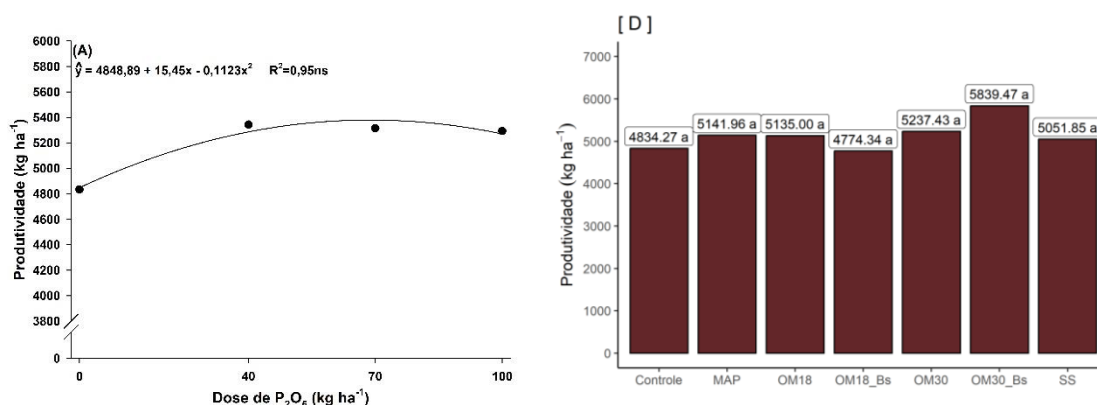
Diversos estudos na literatura indicam valores distintos para a extração de nutrientes na cultura do milho. Padilha (2014) identificou uma média de exportação de 55 kg de P_2O_5 ha^{-1} para uma produtividade de 13 t ha^{-1} de grãos. Já o presente estudo apresentou uma exportação de 42,67 kg de P_2O_5 ha^{-1} para uma produtividade média de 8.606,47 kg/ ha^{-1} de grãos de milho. Já, Ritchie et al. (2003) constataram que aproximadamente 9 kg ha^{-1} de P_2O_5 são exportados para cada tonelada de grãos produzida.

6.5. Produtividade e Eficiência agrônômica

6.5.1. Produtividade da soja

Para a média de produtividade da soja a análise de regressão foi não significativa e não houve efeito isolado de fonte Diferente dos dados obtidos no presente trabalho, GUARESCHI et al. (2008), VALADÃO et al. (2008) e NETO et al. (2010) relataram incrementos na produtividade de soja em relação às doses crescentes de P_2O_5 . Ressalta-se que a produtividade média observada com o fornecimento de 100 kg/ ha^{-1} de P_2O_5 (5.293,49 kg/ ha^{-1}) foi 66,78 % maior que a média nacional de (3.535 kg/ ha^{-1}) (CONAB, 2023).

Figura 18 - Produtividade da soja em relação as doses e as fontes de P_2O_5 :



A ausência de incremento na produtividade com o aumento das doses pode ser justificada pelos altos teores de P do solo com cerca de 37,5 mg/ dm^3 de P na camada de 0-10 cm (Mehlich-1) confirmando a existência de um estoque substancial de nutrientes no solo. Em termos absolutos, a produtividade da soja no ano agrícola

2022/2023 variou entre (4.834,27 e 5.343,95 kg ha⁻¹). Assim, pode-se afirmar que para ambos os tratamentos minerais e os organominerais, independente da dose, os mesmos foram capazes de fornecer os mesmos incrementos em relação a produtividade, sendo superiores ao tratamento controle (Figura 8). Contrapondo os dados obtidos por (CARVALHO et al., 2011; MARIANO et al., 2017; BELAN, 2022), indicam que para a soja os fertilizantes orgânicos costumam ser superiores aos minerais em relação à produção de grãos.

Outros autores também demonstraram em seus trabalhos que as doses de organominerais puderam ser reduzidas em 18,8% na cultura da cana-de-açúcar (TEIXEIRA et al. (2014). Teoricamente esta redução na dose dos nutrientes pode contribuir para compensação dos custos mais elevados do fertilizante, trazendo uma viabilidade econômica na aplicação e uma otimização desse recurso agrícola de forma mais sustentável, quanto ao meio ambiente.

Diante disto, supõe-se que em solos de fertilidade construída, como o do local do atual experimento, a redução das doses proporcionou produtividade semelhantes ao adubado, indicando que doses menores ou a ausência dela, pode ser adotada sem comprometer o rendimento da cultura em uma única safra. Esse resultado oferece uma perspectiva, em momentos de instabilidade econômica e aumento dos preços globais de fertilizantes sendo uma alternativa que pode ser adotada, mas com ressalvas, visto que, quando repete-se a redução das doses, é possível ver nos dados obtidos no cultivo do milho safrinha, crescimento quadrático na produtividade. Onde tratamento sem adubação apresentou potencial produtivo menor em termos percentuais de (33 %, 44% 45%) menor, quando comparados aos tratamentos com 32, 56 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente.

Portanto, nota-se uma precocidade dos resultados em relação ao efeito que a redução de dose pode promover, e seu impacto no potencial produtivo das culturas e ao estoque de nutriente no solo ao longo do tempo. Com isso, este efeito pode ser melhor explicado nas safras seguintes, trazendo maior segurança no posicionamento técnico para recomendação da redução de doses com ou sem tecnologia aplicada ao fertilizante, já que não houve efeito significativo para fontes, trazendo uma equiparidade entre as fontes convencionais e as fontes a base de organomineral.

É importante compreender que o potencial de produção da soja é influenciado pela interação de mais de cinquenta fatores e processos, com destaque para a genética das cultivares, a qualidade das sementes, as condições ambientais, a disponibilidade de nutrientes, o manejo e as práticas culturais, entre outros aspectos (FLOSS, 2022).

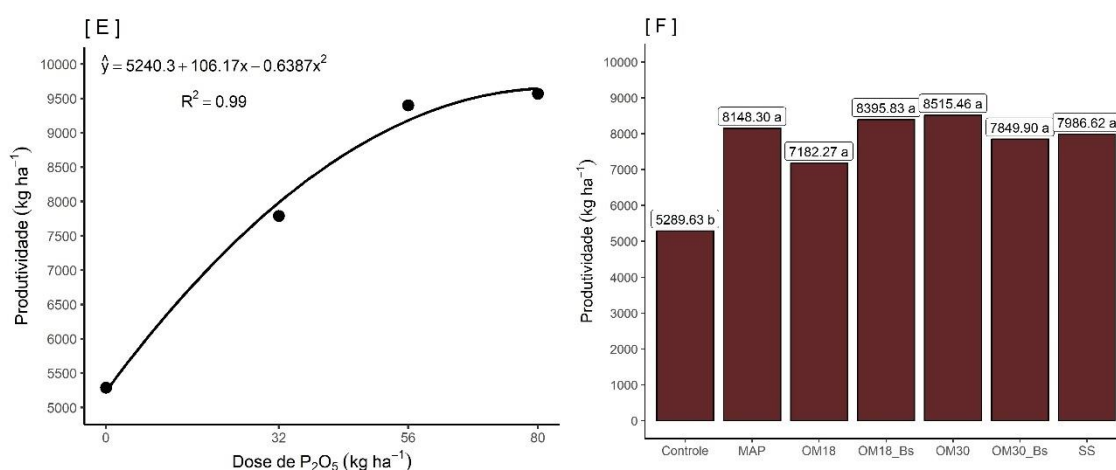
Para além dos resultados agrônômicos que demonstram a eficiência dos fertilizantes organominerais, em fornecer nutrientes para as plantas, é indispensável

dirigir nossa atenção à questão da sustentabilidade. Não devemos apenas considerar o benefício agrícola, mas também reconhecer que a utilização de resíduos e subprodutos desempenha um papel fundamental na redução dos passivos ambientais inerentes às atividades antrópicas. Como (GURGUEL, 2022) apresenta o potencial de uso dos resíduos da indústria sucroalcooleira, para produção de biofertilizantes organominerais, minimizando o risco de poluição de aquíferos e do solo pela lavagem dos resíduos.

6.5.2. Produtividade do milho

A análise de regressão apresentou um ajuste quadrático, com ponto de máxima produção de grãos. Para a produtividade de grãos de milho houve influencia apenas pelo efeito isolado de dose ($P < 0,05$). A dose que promoveu maior produtividade média foi de 80 kg ha^{-1} de P com produtividade média de 9.569 kg ha^{-1} de grãos, o equivalente a $159 \text{ sacas ha}^{-1}$ valor superior em 58,06 % a média nacional para milho segunda safra, que é de (5.557 kg ha^{-1}) (CONAB, 2023).

Figura 19 - Produtividade do milho em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .



O efeito crescente da produtividade de acordo o aumento da dose na (Figura 19E), é semelhante a encontrada por (NUNES, 2019). Ao comparar os tratamentos adubados a ao controle, o tratamento sem adubação apresentou diferença estatística dos demais, expondo o efeito do cultivo em sucessão com redução de doses, o que pode indicar uma redução da disponibilidade de P-lábio na camada 0-10 cm, fazendo com que a redução dos níveis de fósforo aumente a resposta a adubação.

Quando comparada as curvas de regressão da soja e do milho em sucessão, é possível observar que o efeito da resposta a adubação foi mais acentuado, o que se reflete também nos dados de acúmulo e exportação do milho (Figura 16A e 17B). A redução da disponibilidade natural deste fósforo com o prosseguir das safras com redução das doses deve se tornar cada vez mais marcante, uma vez que, os cultivos

estão exportando mais P do que está sendo introduzido no sistema, promovendo um delta negativo no estoque do solo.

A produtividade de grãos não foi influenciada pela aplicação de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados. Sendo assim, estima-se que mesmo com a redução dos níveis de fertilidade natural do solo e baixa nos estoques de P-lábio, o organomineral e as fontes convencionais apresentaram a mesma eficiência. Aspecto semelhante ao encontrado por (ADEOLA, 2023), que em termos gerais, as respostas observadas do organomineral assemelharam-se aos fertilizantes convencionais no que diz respeito ao desenvolvimento e absorção em cultivos de milho e soja, não resultando em diferenças significativas.

As crescentes doses com dose máxima de 80 kg ha^{-1} de P aumentou linearmente a produtividade de grãos com acréscimo de $64,81 \text{ kg}$ de grãos para cada unidade de P_2O_5 , quando comparado com o tratamento controle. Apesar de a produtividade de grãos aumentar de forma linear com o acréscimo nas doses de P_2O_5 , a eficiência agrônômica atinge o ponto máximo com uma dose de $48,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . Isso sugere que, embora não seja a dose que resulta na maior produtividade, é a que proporciona a melhor eficiência na adubação fosfatada.

Assim, entende-se que mesmo que não haja resposta em produtividade, a adubação é fundamental, com enfoque para os efeitos de manutenção da fertilidade do solo e dos teores de nutriente disponível, tentando manter sempre os valores próximos ou superior aos teores de nível crítico do solo, com as adubações de manutenção.

6.5.3. Eficiência agrônômica.

Os índices de eficiência agrônômica servem para estimar a quantidade de quilogramas de grãos produzidos por unidade de P aplicado.

Figura 20 - Eficiência agrônômica do fósforo no cultivo de soja.

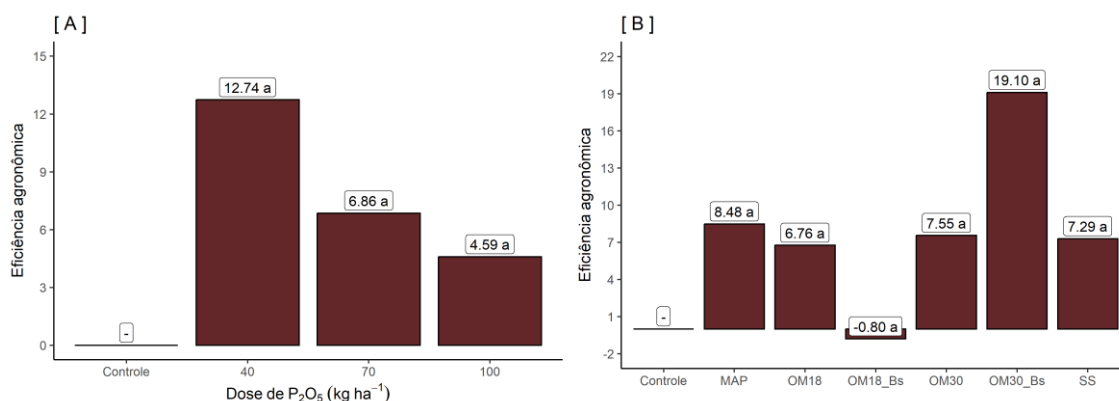
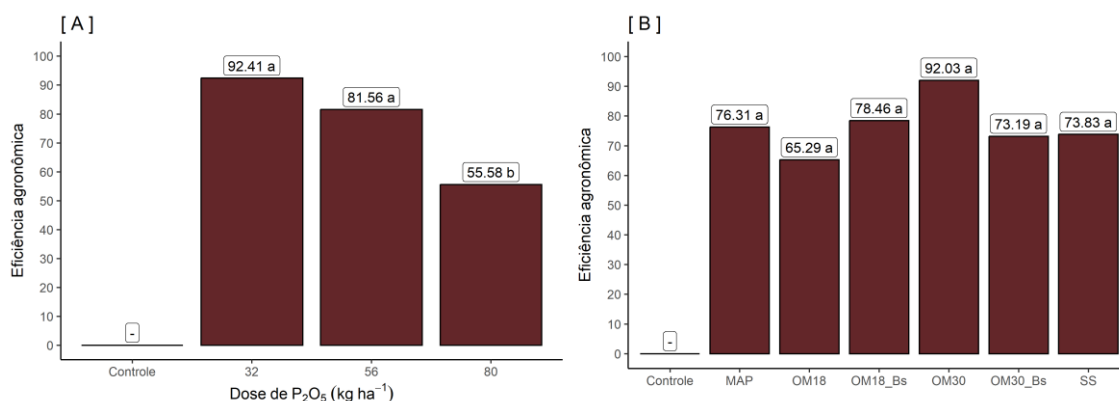


Figura 21 - Eficiência agrônômica do fósforo no cultivo de milho.

Com o incremento das quantidades de P_2O_5 na adubação para o cultivo da soja e do milho, observa-se uma significativa redução na eficiência Agrônômica (Figura 12A e 13A). A diminuição em relação ao aumento das doses indica uma menor eficácia na utilização de P_2O_5 pelas culturas.

Na soja não foi observada diferença estatística, tanto para dose, como para as fontes aplicadas, porém é nítido a redução da EA quando aplicadas doses superiores a $32\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , ainda assim, o valor de maior eficiência agrônômica para o cultivo foi de $54,8\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 valor diferente ao encontrado por, KANEKO et al. (2020), mostrou em seu trabalho que a dose de maior eficiência agrônômica foi de $63\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Estes dados demonstram a dose mais indicada para a cultura nas condições de solo atual, porém, é importante resaltar que a eficiência agrônômica pode estar sendo subestimado pela alta fertilidade natural do solo, podendo assim não ser um padrão de referência para indicar a dose específica para cultivo e recomendar a redução das doses aplicadas. Fator que pode consequentemente acarretar em uma redução da fertilidade do solo ao exaurir o estoque natural

Na Figura 21A, é evidenciada a diferença estatística nas eficiências agrônômicas para as doses, destacando-se que a aplicação de $80\ kg\ ha^{-1}$ resultou na maior redução da eficiência agrônômica. Nas condições de fertilidade do solo investigado, a dose que apresentou a melhor eficiência agrônômica foi de aproximadamente $56\ kg\ ha^{-1}$. BENTO et al. (2015) observaram que o aumento na dosagem de adubação fosfatada na cultura do milho provocou uma diminuição na eficiência agrônômica (EA), corroborando com as constatações apresentadas neste estudo, semelhante também ao mencionado por NUNES (2019).

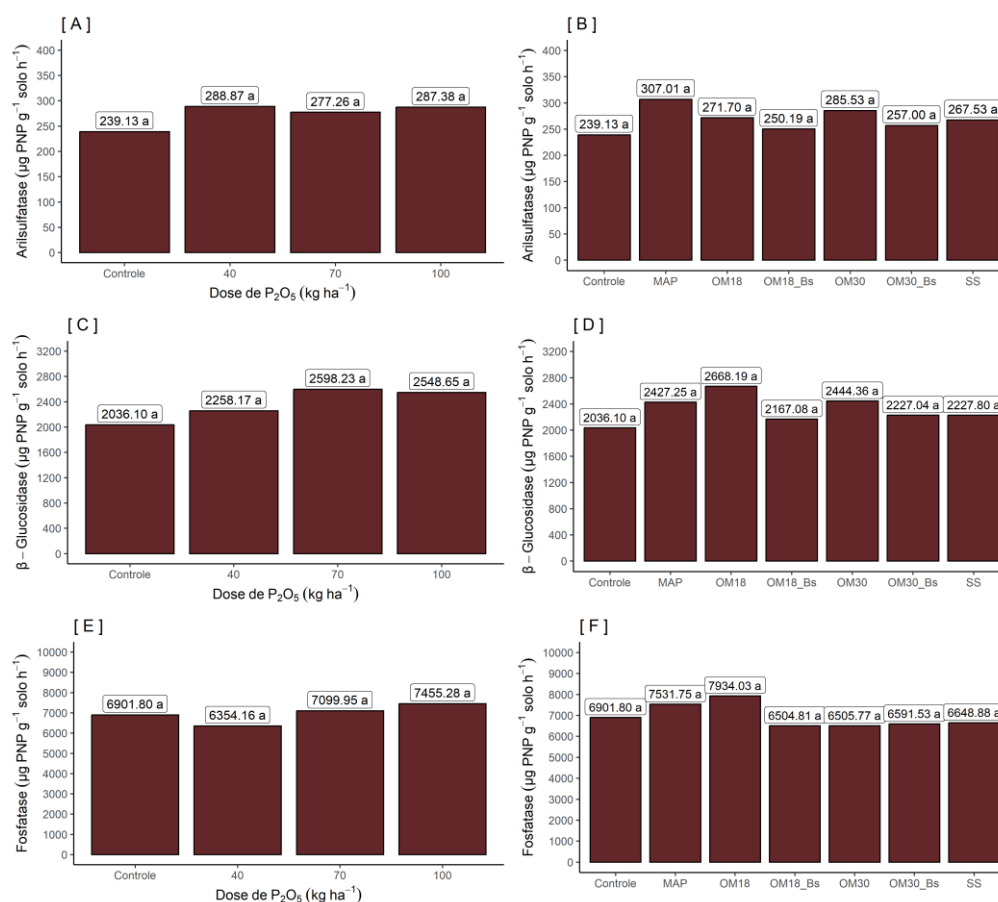
Conclui-se que a aplicação de doses mais elevadas não se traduz em ganhos de EA, corroborando a perspectiva de que, para diversas culturas no Brasil, a eficiência

da adubação fosfatada é considerada baixa. No caso da cultura do milho safra, esse valor é estimado em 37 kg de grãos por kg de P aplicado, conforme informações da CONAB (2011).

Com relação as fontes, a pouca variação entre os tratamentos pode estar relacionada a influência das condições naturais do solo. E ainda, devido ser a primeira sucessão testada na área e essa apresentar teores alto de matéria orgânica e fósforo, o que atua como efeito tampão para as variações iniciais em doses e fontes aplicadas ao solo. Então, espera-se que nas próximas safras, os valores possam apresentar maior variabilidade entre as fontes presentes no estudo já que o fósforo presente no solo se encontra em tendência de diminuição com as altas taxas de exportação.

6.6. Análise enzimática

A avaliação enzimática do solo serve como parâmetro importante como indicador da qualidade do solo e da atividade microbiana. Porém no presente estudo este fator apresenta-se questionável, visto que não se consegue evidenciar os efeitos dos tratamentos, como demonstra as atividades enzimáticas relativamente altas nos tratamentos de controle, fator que não justificam a menor produção de biomassa nas plantas deste tratamento.

Figura 22 - Atividade enzimática no solo em relação as doses e as fontes de P_2O_5 .

Apesar disso, numerosos estudos conduzidos em ambientes temperados e tropicais sugerem que enzimas do solo, tais como a b-glucosidase, apresentam-se como candidatas promissoras para a avaliação de respostas precoces as mudanças do solo (PEIXOTO et al., 1996; LOPES et al., 2013). Já que, as alterações na atividade da b-glucosidase estariam relacionadas à capacidade do solo de estabilizar a matéria orgânica e atuar na etapa final de degradação, onde a depender da origem deste material, pode ocorrer variações devido à qualidade e quantidade dos resíduos vegetais devolvidos, conforme (TABATABAI, 1994)

Os dados obtidos no trabalho mostram que, os teores de atividade enzimática encontram-se todos acima da faixa de considerada alta conforme classificação proposta por (MENDES, et al., 2019). Para b-glucosidase, valores de acima de $210 \mu\text{g PNP g}^{-1}$, para fosfatase ácida, valores acima de $1057 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ e para arilsulfatase $\mu\text{g PNP g}^{-1}$, valores acima de 71, são considerados adequados. Onde no presente estudo foram obtidos valores $288,87 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ na dose de 40 kg ha^{-1} e $239,13 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ no tratamento controle para arilsulfatase. Para b-glucosidase foram obtidos valores de $2036,10 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ no tratamento controle a $2598,23 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ na dose de 70 kg ha^{-1} . Para a fosfatase ácida, foram obtidos valores de $6901,80 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ para o

tratamento controle e $7455,28 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ para dose de 100 kg ha^{-1} . Vale ressaltar que, os parâmetros enzimáticos podem apresentar alta variabilidade, a depender do solo, histórico de cultivo, adubação e qualidade da matéria orgânica presente.

Esses dados foram quantificados no ambiente com a presença de plantas e, ao que parece, são as plantas que influenciam a comunidade e a atividade microbiana do solo (ANDREOTE et al., 2014). A expressividade dos valores das atividades enzimáticas no tratamento controle, próximos aos observados nos outros tratamentos, respalda essa hipótese. Por outro lado, o tratamento controle resultou em menor biomassa de plantas, um fenômeno atribuído exclusivamente a aspectos relacionados ao estado nutricional das plantas.

Além disso, pesquisas recentes indicam diferenças notáveis nos padrões enzimáticos em tecidos de plantas atribuídos aos fertilizantes organominerais (MANDAL et al., 2007; SILVA et al., 2020). As descobertas de Silva et al. (2020) destacam alterações quantitativas na atividade de enzimas como peroxidase, catalase e urease, bem como na peroxidação lipídica nos tecidos das plantas. Esses resultados possibilitam uma investigação mais aprofundada, a nível bioquímico, dos efeitos dos fertilizantes organominerais sobre a fisiologia das plantas e seu potencial para promotores de crescimento e redutor de estresse.

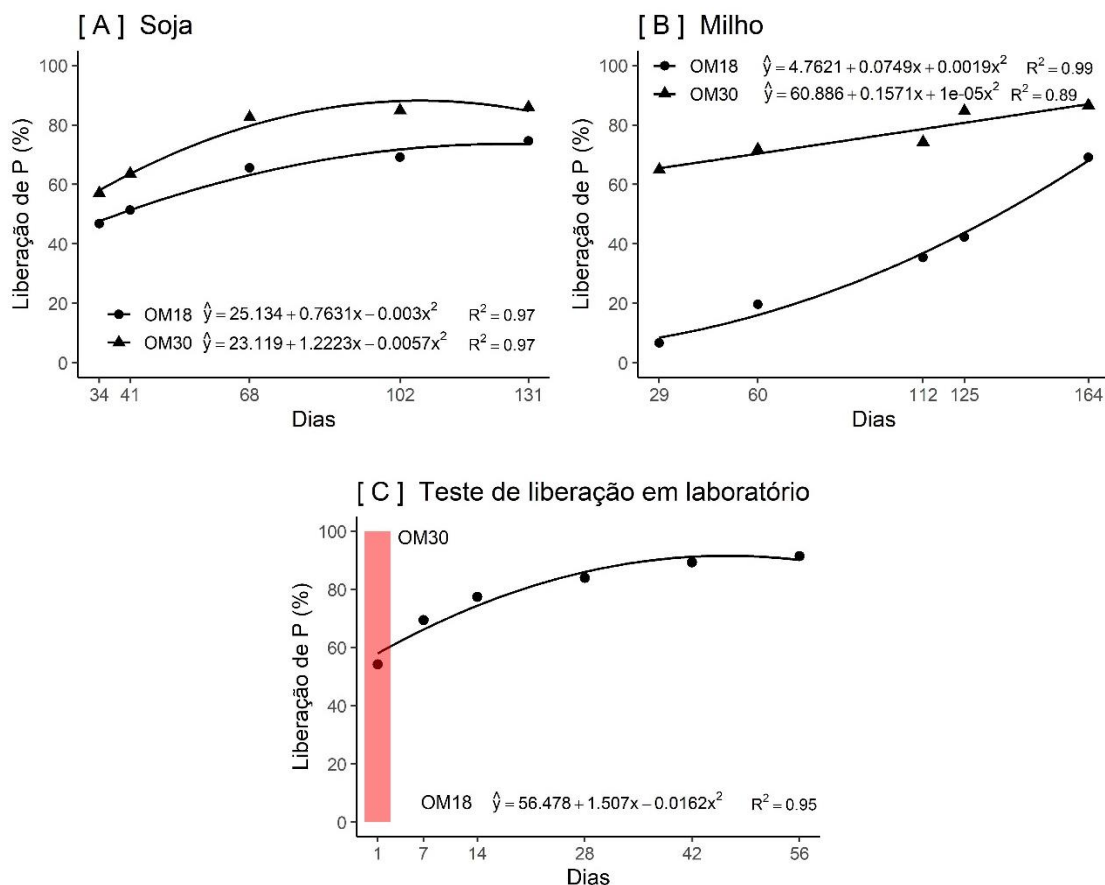
É importante ressaltar também que, com o uso de organomineral utilizado no experimento a base de turfa, não promoveu redução da β -glucosidase em relação a fosfatase ácida, diferente dos resultados encontrados por, ARMENTA et al (2012), mostrou que, com um aumento na atividade da fosfatase ácida há uma diminuição na β -glucosidase com o aumento das doses de lodo de esgoto como matriz orgânica aplicada; semelhantemente encontrado por enquanto TRANNIN et al (2007) que observaram aumento nas atividades da β -glucosidase, com redução da fosfatase ácida, utilizando doses semelhantes de lodo de esgoto. Fator este, que pode estar ligado a origem da matriz orgânica, sua composição e microbiota presente.

6.7. Teste de liberação em campo e laboratório

Ao analisar a Figura 23A e 23B, dos testes de liberação em campo da soja e do milho, observa-se maior porcentagem de liberação do fertilizante no tratamento T4 (OM 06-30), atingindo valores de 86% até o fim do ciclo do milho, já no T6 (OM 02-18) a liberação máxima aos 131 dias de incorporação, no ciclo da soja, atingiu apenas 74,63%. De forma nítida a menor taxa de liberação do T6 (OM 02-18) em ambas as safras, pode estar ligado a solubilidade da fração química, onde o T4 é peletizado a

Figura 23 - Testes de liberação em campo e laboratório nos cultivos de soja e milho ajustadas a um modelo quadrático.

base de MAP + fração orgânica, já o tratamento T6 é formulado a base de supersimples, sendo um fosfatomonocálcio, que apresenta naturalmente menor solubilidade, com cerca de 85-90% solúvel em água e 10 a 15% solúvel em CNA + Água (INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27 08/07/2020).



A semelhança entre as curvas de liberação para o T4 (OM 06-30) nas duas safras, (Soja¹ e Milho²) mostram a padronização do fertilizante quanto a sua solubilidade, onde a leve divergência dos dados está relacionado as diferenças climáticas de pluviosidade e umidade do solo, além dos dias de incubação no solo.

A diferença dos dados do T6 (OM 02-18) para as curvas de liberação nas duas safras, fica nítida principalmente na primeira coleta, realizada aos 29 dias, atingindo pouco mais de 6% do total solubilizado, quando comparados ao T4 (OM 06-30) que atingiu aproximadamente 65% do total liberado. Este aspecto pode influenciar diretamente na nutrição da cultura, onde, nesta fase inicial de formação de sistema radicular, a menor liberação dos tratamentos com uso de fosfatomonocálcio na fração química do organomineral pode ocasionar baixa disponibilidade de P, para formação de raiz e estruturação da lavoura, com menor área de exploração das raízes para nutrição e água, acarretando maior estresse em condições de déficit hídrico.

Assim, é possível prever que a menor liberação do fertilizante está correlacionada as condições climáticas da época de plantio do milho safrinha, onde o

menor regime de chuvas ocasiona menor estoque de água no solo e solubilização do fertilizante. Contudo, este aspecto apresenta informações de grande contribuição científica, visto que, existe uma grande dificuldade para obtenção de dados acerca da marcha de liberação destes fertilizantes organominerais. De tal modo essa informação pode ser explorada de forma a buscar uma menor liberação visando o efeito residual para as próximas culturas, visto que, quando se analisa o período de incubação no solo total de 164 dias no cultivo do milho safrinha, o tratamento T4 apresenta aproximadamente 69% de liberação, sendo assim um residual de 31% ou 31 kg de P_2O_5 a cada 100 kg aplicados para a próxima safra. Podendo ser uma estratégia para redução de custos operacionais no manejo do P.

A não liberação completa dos fertilizantes em campo pode estar ligada ao fato de que a rede de microtule contendo o material, estava enterrada aproximadamente 5 - 8 cm de profundidade (Figura 6), o que pode ter atuado na redução da umidade na região de dissolução do grânulo, além do que, a matéria orgânica da peletização do grânulo pode ter promovido um impedimento físico para dissolução completa. Visto que, no teste de liberação em água, (Tabela 10), o tratamento organomineral a base de fosfato monoamônico (MAP) apresentou completa liberação aos com horas de incubado na água.

No teste de laboratório (Figura 23C), o T4 (OM 06-30), apresentou 100% de liberação em 24 horas, já o tratamento à base de fosfatomonocálcio apresentou uma menor solubilidade, com apenas 50% liberado nas primeiras 24 horas e mantendo um efeito residual até próximo dos 56 dias de incubado, onde já não houve mais liberação, deixando um residual de 8,53% que não solubilizou, fator que está ligado ao fato do super simples, comumente conhecido, possuir uma fração solúvel apenas em meio ácido, expressa como fração solúvel em CNA (citrato neutro amônio) (INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27 08/07/2020).

A liberação gradual do fertilizante se correlaciona com resultados obtidos por outros autores, onde a matéria orgânica pode atuar como um impedimento físico, possibilita uma liberação gradual dos nutrientes, chegando assim ao final do ciclo com um efeito residual, (GUERGUEL, 2012; MACHADO, 2012; RODRIGUES, 2019). Porém, não um consenso na literatura em relação a capacidade residual destes fertilizantes, visto que, esse resultado pode variar de acordo com os teores de nutrientes relativos a matriz orgânica que compõe o fertilizante, a estrutura física do fertilizante, como também a capacidade de retenção de água e solubilização destes compostos.

7. CONCLUSÃO

Os fertilizantes organominerais mostrar-se como uma promissora tecnologia para fertilizantes. Quando aplicados em doses iguais, ambas as fontes demonstraram produtividade e eficiência agrônômica semelhantes entre si e maior que o tratamento controle, podendo ser recomendadas para a adubação fosfatada da cultura da soja e do milho. Não é possível prever as curvas de liberação dos fertilizantes em condições de campo, uma vez que, para cada safra, foram obtidos valores diferentes, mas, entende-se que a matriz orgânica proporciona uma redução na velocidade de liberação dos fertilizantes, provendo um efeito residual no final da safra.

A associação entre fertilizantes organomineral e micro-organismos não resultou em um fertilizante organomineral com maior eficiência agrônômica nem alterou a atividade enzimática local. Além disso, a diminuição das doses de fósforo aplicada em uma única safra não resultou em perdas de produtividade, mas acentuou os efeitos no acúmulo de fósforo na safra seguinte. Com isso, ressalta-se que, em solos de fertilidade construída, a alta fertilidade do solo pode funcionar como um efeito tampão, reduzindo o efeito da aplicação de tecnologias, sendo necessários, safras adicionais para melhor exploração destes efeitos em campo.

REFERÊNCIAS

- ABIMILHO. **O Cereal que enriquece a alimentação humana**. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- Adams, G. A. (2016). **Influência de diferentes tipos de plantas sobre a estrutura do solo em plantio direto**. UFFS. Cerro Largo, RS.
- ADEOLA, Richard Olafimihan, Tajudeen Bamidele AKINRINOLA, and Olajire Fagbola. **"Performances of maize and soybean as influenced by intercropping and fertilizer sources in the Northern Guinea Savanna agro-ecology of Nigeria."**Journal of Central European Agriculture 24.3 (2023): 667-680.
- Ahmed, Shoaib, et al. **"Responses of soybean dry matter production, phosphorus accumulation, and seed yield to sowing time under relay intercropping with maize."**Agronomy8.12 (2018): 282.
- Aioub, Ahmed AA, Ahmed E. Elesawy, and Esraa E. Ammar. **"Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and their role in plant-parasitic nematodes control: a fresh look at an old issue."**Journal of Plant Diseases and Protection 129.6 (2022): 1305-1321.
- ALCÂNTARA NETO, F.; AMARAL GRAVINA, G.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. C. **Adubação fosfata na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, n. 2, p.266-271, 2010.
- Almeida, C. N. S., et al. **"Adubação organomineral em associação com microrganismos solubilizadores de fósforo no milheto."** (2016).
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. **Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state**. Biology and Fertility of Soils, v.1, p. 81-89, 1985.
- Andrade, A. G., H. P. Haag, G. D. Oliveira, and J. R. Sarruge. 1975. **Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho (Zea mays)**. Crescimento. Anais Da Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz 32 (0): 115–49. doi:10.1590/S0071-12761975000100011.
- ANDRADE, F. et al. **Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 6, 1003-1011, Viçosa 2003.

Ashley, K., Cordell, D., Mavinic, D., 2011. **A brief history of phosphorus: From the philosopher's stone to nutrient recovery and reuse**. Chemosphere 84, 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.001>.

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil organic matter. In: SUMNER, M. E. (Eds.) **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000, p. 25–84.

Belan, Helen Carla. "Fertilizante organomineral inoculado com microrganismos na cultura da soja." (2022).

Bender, R.R., J.W. Haegerle, M.L. Ruffo, and F.E. Below. 2013. **Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids**. Agron. J. 105: 161– 170. doi:<https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>

Bender, R.R., J.W. Haegerle, M.L. Ruffo, and F.E. Below. 2015. **Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties hybrids**. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0435>

BENITES, V. de M., et al. "**Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil**." (2013).

BOLLAND, M. D. A. **Residual value for wheat of phosphors from calciphos, Duchess rock phosphate and triple superphosphate on a lateritic soil in south-western Australia**. Australian Journal of Experimental Agriculture; v. 25(1), p. 198-208. 1985.

Brasil, 2020. **Produção nacional de fertilizantes: Estudos estratégicos**. Secretaria especial de assuntos Estratégicos 26.

Brasil, 2021. **Plano nacional de fertilizantes**: Estudo estratégico. Secretaria especial de assuntos estratégicos 1, 195.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jul. 2020. Seção 1, p. 16-18.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Resultados da Balança Comercial Brasileira de 2022**. Secretaria de Comércio Exterior, Brasília, DF, 02 jan. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 375. **Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos**

derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

Brasília, DF, 2017. NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; ERTANI A. **Hormone-like activity of the soil organic matter.** Applied Soil Ecology, v. 123, p. 517-520, 2018

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality - **A critical review.** Soil Biology and Biochemistry, v. 120, n. September 2017, p. 105-125, 2018

Canellas LP, Olivares FL. **Physiological responses to humic substances as plant growth promoter.** Chemical And Biological Technologies In Agriculture, v.1, p. 3, (2014).

Caron, V. C., Graças, J. P., & Castro, P. R. C. (2015). **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos.** Piracicaba: ESALQ/USP.

Carvalho, Everson Reis, et al. **"Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo."** Revista Ciência Agronômica 42 (2011): 930-939.

Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). (2022). **Levantamento de Safra 2021/2022 - Grãos.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Recuperado em 26 de março de 2023, de https://www.gov.br/fazenda/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2022/2022-08-10_levantamento-de-safras_conab-9.pdf.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 3 terceiro levantamento, dezembro 2023.

CONAB – companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, v.9 – Safra 2021/22, n.12 - Décimo segundo levantamento, p. 1-88, setembro 2022.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Estabelece critérios e diretrizes para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) no Brasil, e dá outras providências.** Brasília, DF: CONAMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=500>. Acesso em: 26 de março de 2023.

CORRÊA, J. C.; BENITES, V. de M.; REBELLATTO, A. **O uso dos resíduos animais como fertilizantes.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE

RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais. Concórdia: SBERA, 2011.

Costa, Elaine, Helane Silva, and Paula Rose Ribeiro. "Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas." *Enciclopédia biosfera* 9.17 (2013).

DA SILVA, MAYRA CAJUEIRO. "**FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS COMO ALTERNATIVA A ADUBAÇÃO CONVENCIONAL DA SOJA.**" (2023).

DEGRYSE, F.; McLAUGHLIN, M.J. **Phosphorus Diffusion from Fertilizer: Visualization, Chemical Measurements, and Modeling.** Soil Science Society of America Journal, v. 78, n. 3, p. 832-842, 2014.

Doydora, S., Gatiboni, L., Grieger, K., Hesterberg, D., Jones, J.L., McLamore, E.S., Peters, R., Sozzani, R., Van den Broeck, L., Duckworth, O.W., 2020. **Accessing legacy phosphorus in soils.** Soil Syst. 4, 1–22. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040074>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p

EMBRAPA. Características da Soja. Disponível em: <**Características da soja - Portal Embrapa**>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

EMBRAPA. Dados Econômicos da Soja. Disponível em: <**<https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>**>. Acesso em: 06 de junho de 2023.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; MORAES, M. F. **Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, London, v. 41, n. 22, p. 2676-2684, 2010.

Floss, Elmar Luiz, and Luiz Gustavo Floss. "**MAXIMIZANDO A PRODUTIVIDADE DA SOJA.**" Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja (2022): 227.

FRANCHINI, J. C. et al. **Alterações químicas em solos após a aplicação de resíduos vegetais.** Revista brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 3, pg. 533-542, Viçosa/MG, 1999.

García AC, Castro TAVT, Berbara RLL, Tavares OCH, Elias SS, Amaral SNMB, Zonta E (2019) **Revisão Sobre a Relação Estrutura-Função das Substâncias Húmicas e a**

sua Regulação do Metabolismo Oxidativo em Plantas. Revista Virtual de química 11:754-770.

García-Lara, S., Serna-Saldivar, S.O. (2019). **Corn History and Culture**. In Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), **Corn** (Third Edition). AACC International Press.

GAZOLA, R. N. et al. **Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura do milho**. Revista Ceres, v. 60, n.6, p. 876-884, 2013.

Gianfreda, L., Rao, M.A., Sannino, F., Saccomandi, F., Violante, A., 2002. **Enzymes in soil: properties, behavior and potential applications**. Developments in Soil Science. 301–327. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(02\)80027-7](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(02)80027-7).

Girma, K., KL Martin e KW Freeman. 2007. **Determinação da taxa ótima e estágio de crescimento para fósforo aplicado foliar em milho**. Comum. Ciência do Solo. Planta Anal. 38:1137–1154. doi:10.1080/00103620701328016

Goedert, Wenceslau J.Princípios. **Metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fosforo**, por Wenceslau J. Goedert, Djalma M. Gomes de Sousa e Thomaz A. Rein. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1986.

GREENLAND, D. J.; HAYES, M. H. B. (Ed.). **The chemistry of soil constituents**. Chichester: J. Wiley, 1978. 469 p

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. **Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 4, p.769-774, 2008

Guedes, R.S., Melo, L.C.A., Vergütz, L., Rodríguez-Vila, A., Covelo, E.F., Fernandes, A.R., 2016. **Adsorption and desorption kinetics and phosphorus hysteresis in highly weathered soil by stirred flow chamber experiments**. Soil Tillage Res. 162, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.018>

GURGEL, MN do A. **"Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulado."** Revista de Engenharia Agrícola (2012).

GYANESHWAR, P.; KUMAR, G. N.; PAREKH, L. J.; POOLE, P. S. **Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants**. Plant and Soil, The Hague, v. 245, p. 83-93, 2002.

Hanway, J.J. 1963. **Growth stages of corn.** *Agron. J.* 55:487–492. doi:10.2134/agronj1963.00021962005500050024x.

HUE, N. V.; IKAWA, H.; SILVA, J. A. **Increasing plant-available phosphorus in an Ultisol with a yard-waste compost.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 25, n. 19-20, p. 3291-3303, 1994.

HUE, N.V. **Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies.** *Soil Science*, Oxford, v.152, p. 463-471, 1991

IMEA. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Custo de produção da soja – Safra 2019/20.** Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R410_CPMensal_Soja_Out_18.pdf> Acesso em: 6 de dez. de 2018.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. **The effects of biocidal treatments on metabolism in soil** - 1. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry* v 8,p. 167-177. 1976b

Kaneko, Flávio Hiroshi, et al. **"Doses e fontes de fósforo na cultura da soja."** *Revista Cultura Agronômica* 29.4 (2020): 400.

Kominko, Halyna, Katarzyna Gorazda, and Zbigniew Wzorek. **"The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge."***Waste and Biomass Valorization* 8 (2017): 1781-1791.

LEITE, L. F. C. et al. **Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 821-832, 2003.

LEITE, L. F. C. et al. **Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 821-832, 2003.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES I. C. **Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon.** *Soil Science Society of America*, v. 77, p. 461-472, 2013.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; dos REIS, F. B.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. C. **Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil.** *Geoderma Regional*, v. 12, p. 72-82, 2018.

LOURENÇO, K.S. et al. **Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, p. 462-471, 2013.

Lourenço, Késia Silva, et al. **"Addition of urease inhibitor has no effect on ammonia volatilization following soil application of poultry litter or organomineral fertilizer, unlike urea."***Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40 (2016).

Lourenço, Késia Silva, et al. **"Addition of urease inhibitor has no effect on ammonia volatilization following soil application of poultry litter or organomineral fertilizer, unlike urea."***Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40 (2016).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. POTAFOS. 1989. 201p

MANDAL, A.; PATRA, A. K.; SINGH, D.; SWARUP, A.; EBHIN-MASTO, R. **Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages**. Bioresource Technology, v. 98, n. 18, p. 35853592, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.027>

MAO, J.; MAO, Q.; ZHENG, M.; MO, J. **Responses of foliar nutrient status and stoichiometry to nitrogen addition in different ecosystems: A meta-analysis**. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 125, e2019JG005347, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019JG005347>

MARIANO, S. C. et al. **Qualidade no desenvolvimento fisiológico da soja sob efeito da adubação química e orgânica**. Anais da XI SEAGRO, Agronomia, FAG. 2017

Marin, Rosidelma da Silva Felício. **Fósforo na qualidade de sementes de soja e consequente desempenho na produção de grãos**. MS thesis. Universidade Federal de Pelotas, 2012.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. **Bioanálise de solo: Aspectos teóricos e práticos**. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. X, p. 399-462, 2019

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Manual de métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2020.

MOÇO, M. K. S. **Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 555-564, 2005.

MOHAMMADI, K. **Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production**. Resources and Environment, v. 2, n. 1, p. 80–85, 2012

Monda, H., Cozzolino, V., Vinci, G., Spaccini, R., Piccolo, A. 2017. **Molecular characteristics of water-extractable organic matter from different composted biomasses and their effects on seed germination and early growth of maize**. Sci. Total Environ. 590-591: 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.026>

Mounissamy, V.C., Kundu, S., Selladurai, R., Saha, J.K., Biswas, A.K., Adhikari, T., Patra, A.K., 2017. **Effect of soil amendments on microbial resilience capacity of acid soil under copper stress**. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 99, 625–632. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2173-8>.

NOVAIS R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e em plantas em condições tropicais Viçosa**, Brasil- Universidade Federal de Viçosa. 1999.

OHLAND, T.; do CARMO LANA, M. FRANDOLOSO, J. F. **Fracionamento químico da matéria orgânica do solo após sistemas de manejo no inverno**. Scientia Agraria Paranaensis, v. 18, n. 1, p. 53-64, 2018

OLIVEIRA, A. P.; BARBOSA, A. H. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. N. P. **Produção da batata-doce adubada com esterco bovino e biofertilizantes**. Ciência Agrotécnica, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600018>

PADILHA, F. A. **Desempenho de híbridos de milho e dois níveis de investimento tecnológico na região de Sete Lagoas – MG**. Tese. 72p, 2014.

PAVINATO, P., ROSOLEM, C. **Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais**. Revista brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 3, pg. 911-920, Viçosa 2008.

Pavinato, P.S., Cherubin, M.R., Soltangheisi, A., Rocha, G.C., Chadwick, D.R., Jones, D.L. 2020. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil** Sci. Rep. 10, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>

POZZA, Adélia AA et al. **Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética**. Química Nova, v. 32, p. 99-105, 2009.

Primo, Dário Costa, Rômulo Cezar Menezes, and Tácio Oliveira Silva. "Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro." *Scientia Plena* 7.5 (2011).

R Core Team (2023). **_R: A Language and Environment for Statistical Computing_**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Reis, Thais Gonçalves. **"Avaliação da produtividade de soja em diferentes populações."** (2019).

RIBEIRO, M. E. G.; PEREIRA, C. S.; FIORINI, I. V. A.; RESENDE, F. R.; SILVA, A. A.; PEREIRA, H. D. **Doses of organomineral fertilizer in soybean**. Scientific Electronic Archives, v. 13, n. 6, p. 31–35, 2020. <https://doi.org/10.36560/13620201072>

RICHARDSON, E. A. **Regulating the phosphorus nutrition of plants: molecular biology meeting agronomic needs**. Plant and Soil, The Hague, v. 322, p. 17-24, 2009.

Ritchie, S.W., J.J. Hanway, and G.O. Benson. 1997. **How a corn plant develops**. Spec. Publ. 48. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba, Potafos. Informações Agronômicas, v. 103, 20 p., 2003.

Rodrigues, M.M., Viana, D.G., Oliveira, F.C., Alves, M.C., Regitano, J.B., 2021. **Sewage sludge as organic matrix in the manufacture of organomineral fertilizers: Physical forms, environmental risks, and nutrients recycling**. J. Clean. Prod. 313. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127774>

Rodrigues, Mayra Maniero. **Lodo de esgoto como matriz orgânica na formulação de fertilizante organomineral para a cultura da soja**. Diss. Universidade de São Paulo, 2019.

Salomão, Pedro Emílio Amador, et al. "A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica." *Research, Society and Development* 9.1 (2020): e154911870-e154911870.

SAMPLE, E. C; SOPER R. J.; RACZ G. J.. **Reactions of phosphate fertilizers in soils**. In F. E. Khasawneh, E. C. Sample & E. J. Kamprath (eds.). The role of phosphorus in agriculture. Am. Soc. Agronomy, Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin: p.263–310, 1980.

Sayara, T, Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., Sánchez, A., 2020. **Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture**. Agronomy 10, 23. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>

Sayre, JD 1948. **Acumulação mineral no milho**. Fisiologia Vegetal 23 (3):267–81. doi:10.1104/pp.23.3.267

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Viçosa: Mecenias, v. 1, 2009.314 p.

SIBANDA, H. YOUNG, S. D. **Competitive adsorption of humus acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils**. Journal of Soil Science, v. 37, n. 2, pg. 197-204, Reading 1986

SIBANDA, H. YOUNG, S. D. **Competitive adsorption of humus acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils**. Journal of Soil Science, v. 37, n. 2, pg. 197-204, Reading 1986.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A. D. M. **Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants**. Journal of Plant Nutrition, v.4, p.289-302, 1981.

TABATABAI, M. A. **Soil Enzymes**. In: **Methods of Soil Analysis: Part 2 - Microbiological and Biochemical Properties**. Madison: Soil Science Society of America book series, 1994. p. 775–833.

Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). **Análises de solo, plantas e outros materiais** (Vol. 5, p. 174). Porto Alegre: Ufrgs.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. **Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral**. Bioscience Journal, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; CALEGARI, A. **Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment**. Soil and Tillage Research, v. 124, p. 57–67, 2012

USDA. World Agricultural Production. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSIO, L. R.; SCHLINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia**. Scientia Agraria, Curitiba, v. 9, n. 3, p.369-375, 2008

VAN DER KOOIJ, S., van Vliet, B.J.M., Stomph, T.J., Sutton, N.B., Anten, N.P.R., Hoffland, E., 2020. **Phosphorus recovered from human excreta: A socio-ecological-**

technical approach to phosphorus recycling. Resour. Conserv. Recycl. 157. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104744>

Vasconcellos, C. A., J. V. A. Barbosa, H. L. D. Santos, and G. E. D. Franca. 1983. **Acumulação de massa seca e de nutrientes por dois híbridos de milho com e sem irrigação suplementar.** Pesquisa Agropecuária Brasileira 18: 887–901.

VELOSO, C. A. C; EL-HUSNY, J. C; CORRÊA, J. R. V; CARVALHO, E. J. M; SOUZA, F. R. S. DE; MARTINEZ, G. B., RODRIGUES, A. L. N; **Adubação fosfatada e potássica na cultura da soja em latossolo amarelo do Estado do Para.** XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Gramado RS, 2007.

VILAR, C.; VILAR, F. C. M. **Phosphorus Behavior in Soil and Plant.** Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias, v. 8, p. 37–44, 2013.

Wang, Y., Shi, J., Wang, H., Lin, Q., Chen, X., Chen, Y., 2007. **The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter.** Ecotoxicol. Environ. Saf. 67, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.03.007>.

WOLSKI, T.; GLINSKI, J. **Utilization of environment polluting industrial wastes for agriculture and the fertilizer industry.** Studies in Environmental Science, v. 29, p. 599-607, 1986.