

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (ICIAG)**

CAMILA RAMOS CRUVINEL

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NA
ADUBAÇÃO FOSFATADA**

**Uberlândia
2025**

CAMILA RAMOS CRUVINEL

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NA
ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Área de concentração: Ciências Agrárias

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

Uberlândia

2025

CAMILA RAMOS CRUVINEL

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NA
ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Área de concentração: Ciências Agrárias

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

Uberlândia, 09 de Maio de 2025.

Banca Examinadora:

Nome – Titulação (sigla da instituição)

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo estímulo,
carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus e Nossa Senhora Aparecida por sempre guiarem meus passos e me dar forças para superar cada etapa.

Aos meus pais, Honório Batista Cruvinel e Claudinete Batista Ramos, que sempre me apoiaram e incentivaram, torceram por mim, e fizeram o possível e impossível para que eu me formasse.

Aos meus irmãos, Hyago Fonseca Cruvinel e Heber Ramos Batista (in memoriam) que sempre me apoiaram em cada escolha. Vocês são a razão de tudo.

Agradeço ao professor Dr. Reginaldo pelo incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica.

A todos os professores que sempre me apoiaram e por todos os ensinamentos que somaram e contribuíram para o meu aprendizado, por todos os conselhos, oportunidades, confiança e carinho que sempre tiveram comigo.

Ao grupo de pesquisa GPFE- Grupo de Pesquisa em Fertilizantes Especiais pelos anos de aprendizado e incentivo, principalmente ao Júlio Eduardo Santana Maia por todo ensinamento ao longo da minha jornada, incentivo, por toda ajuda e oportunidades

Aos meus amigos por sempre estarem do meu lado em todos os momentos, sejam os bons ou os de dificuldade, sempre me apoando ao longo da minha jornada acadêmica, tornando a mais leve.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica concedida.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, e fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Sorte é o que acontece quando a preparação
encontra a oportunidade.”
(Séneca (4 a.C.-Roma, 65))

RESUMO

A baixa disponibilidade de fósforo em solos ácidos, como os do Cerrado, exige um manejo eficiente da adubação fosfatada. O uso de tecnologias que aumentem a eficiência de uso do fósforo é uma alternativa que pode ser adotada, desde que se considere a realidade dos solos brasileiros. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a fixação de fósforo (P) no solo com a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes fosfatados e em diferentes dosagens. O experimento foi conduzido em laboratório do campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial duplo 4×4, com 4 repetições. O primeiro fator com 4 fontes de fósforo: 1 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelados 05-26-00; 2 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulados 05-26-00; 3 - mineral revestido com polímero 10-52-00 e o 4 – mineral 10-52-00. O segundo fator correspondeu a 4 doses de P₂O₅ (0, 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Em todos os extractores utilizados, apresentam maiores teores de fósforo disponível nos tratamentos com fertilizante organomineral e o mineral polimerizado em relação ao com o fertilizante mineral convencional. Com o fósforo mais disponível na solução do solo, houve então uma menor fixação do fósforo quando foram utilizados os fertilizantes organominerais e o mineral polimerizado, que demonstram uma proteção física e química proporcionada por esses fertilizantes.

Palavras-chave: resíduos orgânicos; fertilizante organomineral; fertilizante fosfatado

ABSTRACT

The low availability of phosphorus in acidic soils, such as those in the Cerrado, requires efficient management of phosphate fertilizers. The use of technologies that increase the efficiency of phosphorus use is an alternative that can be adopted, as long as the reality of Brazilian soils is considered. Therefore, the objective of this work was to evaluate the fixation of phosphorus (P) in the soil with the application of different types of phosphate fertilizers and in different dosages. The experiment was conducted in a laboratory on the Umuarama campus of the Federal University of Uberlândia, in Uberlândia, Minas Gerais State, Brazil. The experimental design was completely randomized, in a 4x4 double factorial scheme, with 4 replications. The first factor consisted of 4 sources of phosphorus: 1 - organomineral fertilizer with an organic base on crumbled cellulose waste (05-26-00); 2 - organic-based organomineral fertilizer on granulated cellulose waste (05-26-00); 3 – mineral coated with polymer and 4 – mineral. The second factor corresponded to 4 doses of P_2O_5 (0, 200, 400 and 800 kg ha^{-1} of P_2O_5). The results showed that, independently of the extractor used, the available phosphorus was higher in the treatments with organomineral fertilizer and polymerized mineral compared to conventional mineral fertilizer. Consequently, with phosphorus more available in the soil solution, there was less phosphorus fixation when organomineral fertilizers and polymerized mineral were used, which demonstrate the physical and chemical protection provided by these fertilizers.

Keywords: organic waste; organomineral fertilizer; phosphate fertilizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1 - | Teores de fósforo (Resina) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa..... | 22 |
| Figura 2 - | Teores de fósforo (Mehlich-1) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa | 25 |
| Figura 3 - | Teores de fósforo (Remanescente) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa | 28 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo | 17 |
| Tabela 2 - Formulações e os valores de cada fonte em kg. ha ⁻¹ Uberlândia/MG, 2024..... | 18 |
| Tabela 3 - Formulações e os valores de cada fonte em g.vaso ⁻¹ . Uberlândia/MG, 2024 | 18 |
| Tabela 4 - Teores de Fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024..... | 21 |
| Tabela 5 - Teores de Fósforo ((Mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024. | 23 |
| Tabela 6 - Teores de Fósforo (Remanescente) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024. | 26 |

SUMÁRIO

| | |
|--|--------------------------------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| 2.1 Fixação do Fósforo | 13 |
| 2.2 Fertilizantes Organominerais | 14 |
| 2.3 Resíduo da indústria de celulose | 15 |
| 2.4 Polímeros | 16 |
| 3 METODOLOGIA..... | 13 |
| 3.1 Localização e Caracterização Experimental | 17 |
| 3.2 Delineamento experimental e tratamentos | 18 |
| 3.3 Instalação e condução do experimento | 19 |
| 3.4 Análises estatísticas | 19 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1 Fósforo (Extrator resina) | 20 |
| 4.2 Fósforo (Extrator mehlich 1) | 23 |
| 4.3 Fósforo (Extrator remanescente) | 25 |
| 5 CONCLUSÃO..... | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| REFERÊNCIAS..... | 30 |

1 INTRODUÇÃO

Entre todos os macronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, o fósforo (P) é, sem dúvida, o que demonstra a menor eficiência de uso em termos de produção de culturas. A disponibilidade deste elemento para as plantas é fortemente afetada por diversos aspectos, tais como textura do solo, mineralogia, estratégia e formas de aplicação e as fontes utilizadas (Vinha et al., 2021; Borges et al., 2019).

O fósforo é um macronutriente primário essencial no metabolismo das plantas, desempenhando papel de extrema importância na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese das plantas, uma vez que faz parte da composição do trifosfato de adenosina (ATP) e a adenosina bifosfato (ADP) são produtos finais da formação de açúcares, que têm função essencial no fornecimento de energia para o metabolismo vegetal (Castro, Kluge e Peres, 2005).

Também faz parte da composição estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. Assim, as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem gerar restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo que eleve o suprimento de P a níveis adequados (Reis, 2016).

Este elemento pode ser encontrado no solo nas formas orgânicas, principalmente ligado a matéria orgânica, e nas formas inorgânicas, como $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} . Quando na forma iônica, encontra-se ligado a óxidos ou aos coloides do solo (adsorvidos), sendo estes considerados os menos solúveis e disponíveis às plantas (Pantano et al., 2016; Malavolta, 2006).

Com o elevado acréscimo na população mundial há um reflexo também na demanda por alimentos, o que reflete em uma força motriz importante para que as taxas de adubação com fertilizantes fosfatados continuem a aumentar, tendo em vista esgotamento das reservas de P (Cordell e Neset, 2014). Com isso, a demanda por fertilizantes fosfatados na atualidade se torna uma grave problemática de preocupação mundial, principalmente em regiões de solos tropicais, nos quais apresentam alta capacidade de adsorção de P, sendo sua disponibilidade influenciada pela adsorção, que pode ser alterada por fatores como alguns atributos químicos e físicos do solo como o teor de argila, pH, CTC efetiva e matéria orgânica (Abdala et al., 2012, Abdala et al., 2018; Rodrigues et al., 2016).

Devido a crescente demanda por fósforo no Brasil, o alto custo dos fertilizantes fosfatados e a baixa disponibilidade natural de fósforo nos solos brasileiros se faz necessário a adoção de estratégias de manejo que buscam elevar a eficiência agronômica desses fertilizantes (Withers et al., 2018). Dessa forma, a avaliação de fertilizantes é uma premissa importante,

dada à necessidade de conhecer novas fontes alternativas para aumentar a eficiência do uso de nutrientes, principalmente fósforo. Dessa forma, o objetivo foi de avaliar a fixação de fósforo (P) pelos solos de textura argilosa e textura média com a aplicação de diferentes tipos de fertilizantes fosfatados e em diferentes dosagens.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fixação do Fósforo

O fósforo é o nutriente mais limitante para os sistemas produtivos em solos tropicais, uma vez que normalmente apresentam elevada capacidade de adsorção, sendo que estes solos possuem elevados níveis de óxidos de alumínio e ferro, os quais o fósforo tem elevada afinidade.

O fósforo é um macronutriente primário essencial para o desenvolvimento das plantas, influenciando em vários processos importantes, faz parte da constituição do ATP e enzimas. Contudo, a adsorção de P nos solos é um fator crucial para a disponibilidade desse nutriente para as plantas, podendo ser influenciada por atributos químicos e físicos do solo, como teor de argila, pH, CTC efetiva e matéria orgânica (Da Silva e Da Mota, 2021).

Com a adubação, o fósforo liberado dos fertilizantes passa para a solução do solo e posteriormente para a fase sólida, primeiro convertendo em fósforo lábil, e posteriormente passando a formas não lábeis, as quais não podem ser aproveitadas pelas plantas, ou seja, o P não disponível. Em casos de solos ácidos, o P pode ser retirado da solução so solo por meio do processo de adsorção, com ligações covalentes de elevada energia com as superfícies de argilas e óxidos de ferro e alumínio (Resende e Furtini Neto, 2007).

De acordo com o processo de intemperismo, um solo pode alterar sua função de fonte ou dreno de fósforo (P) para atender as necessidades das plantas ou competir com elas, fixando o P adicionado ao solo em sítios ativos. O aumento da capacidade de adsorção de ânions ocorre por meio de sítios ativos positivos, formados principalmente por hidróxidos de ferro e alumínio (Farias et al., 2009). Em solos altamente intemperizados a eficiência da adubação fosfatada é, geralmente, baixa, pois grande parte do P adicionado é imobilizada no solo, em virtude de reações de precipitação, adsorção e fixação em coloides minerais (Peluco et al., 2015).

Desse modo, se faz necessário a busca de outras alternativas para aumentar a eficiência das adubações fosfatadas, sendo que uma delas consiste no parcelamento das adubações. Outra seria usar fontes de fertilizantes de liberação mais gradual ou controlada dos nutrientes. Estes fertilizantes são chamados de fertilizantes de liberação lenta (*slow release*), como os

fertilizantes polimerizados (Machado e Souza, 2012). Uma das formas de se reduzir as perdas de P é a liberação gradual dos nutrientes contidos nos fertilizantes, daí a importância dos polímeros ou adubos revestidos.

2.2 Fertilizantes Organominerais

Os fertilizantes organominerais (FOMs) são materiais resultantes da combinação de componentes orgânicos, os quais podem ser resíduos orgânicos, como torta de filtro, bagaço da cana de açúcar, resíduos de celulose, com fontes minerais (Cânfora et al., 2024). Na agricultura, os organominerais geralmente são utilizados como fertilizantes ou condicionadores de solo, uma vez que combinam as vantagens dos materiais orgânicos, como matéria orgânica decomposta, com os minerais, como rochas moídas ou minerais sintéticos. A junção de componentes orgânicos e minerais possibilita a produção de fórmulas específicas para cada cultura, com maior disponibilidade de nutrientes e uniformidade nas concentrações (Zonta et al., 2021).

No Brasil, a Instrução Normativa Nº 61 de 8 de julho de 2020, estabelece alguns parâmetros de qualidade e especificações para fertilizantes organominerais. Segundo essa instrução normativa os FOMs sólidos devem apresentar ao menos 8% (oito porcento) de carbono orgânico, umidade máxima de 20% e capacidade de troca catiônica de 80 mmolc/kg. Há ainda parâmetros mínimos para a fração mineral, sendo que os nutrientes N, P e K devem representar ao menos 5% do fertilizante organomineral. Para fertilizantes fluídos a diferença refere-se quando ao teor de carbono orgânico que deve ser de ao menos 3% (MAPA, 2020). Esses requisitos são considerados mínimos para que haja o registro do produto e para que esse possa ser comercializado.

Os fertilizantes fosfatados tem grande atuação no setor de organominerais no país uma vez que o uso do fertilizante organomineral fosfatado influencia na disponibilidade de fósforo, reduzindo a fixação do nutriente pelos óxidos de ferro e alumínio, presentes no solo, que interfere no bloqueio dos sítios de fixação nesses minerais. Isso gera maior disponibilidade de P para as plantas, além de melhorar a qualidade do solo pelo efeito condicionador da matéria orgânica (Benites, 2012; Zonta et al., 2021).

Dependendo da reatividade desses fertilizantes, podem apresentar maior eficiência no uso de fósforo pelas plantas, em virtude dos ânions de ácidos orgânicos e outros ligantes que bloqueiam os sítios de adsorção de P ou complexam Fe^{3+} e Al^{3+} do solo (Carmo et al., 2014).

Os fertilizantes organominerais representam uma alternativa eficiente para reduzir custos e elevar a produtividade, além de promover um sistema de produção mais sustentável, uma vez que são projetados a partir da reciclagem de materiais orgânicos, que foram descartados, complementados por fontes minerais. Com isso, diminui-se a dependência da importação de minerais não renováveis, que possuem elevado custo no mercado. O maior uso de materiais orgânicos contribui para o aumento do teor de matéria orgânica no solo, melhora sua porosidade e aeração, eleva a capacidade de troca catiônica (CTC), beneficia a microbiota e torna os nutrientes essenciais mais disponíveis para as plantas (Costa, 2018; Ferreira, 2014; Cruciol et al., 2020).

Segundo EMBRAPA (2023), quanto à forma física, os fertilizantes podem ser classificados em: pó (fertilizantes simples ou misto sendo moídos na forma de pó), farelado (fertilizantes com grânulos desuniformes), granulado (fertilizantes na forma de grânulos) e líquido (fertilizantes na forma líquida).

2.3 Resíduo da indústria de celulose

De acordo com Sousa et al (2016) a indústria de papel e celulose contribui diretamente com a degradação do meio natural, fato que a torna uma das maiores geradoras da poluição ambiental, visto que o processo de produção dos insumos gerados por ela produzem elevados índices de resíduos. Dessa forma, a destinação correta dos resíduos é extremamente importante para mitigar essa problemática, sendo que a utilização de métodos alternativos de reaproveitamento destes rejeitos é, sem dúvida, a melhor solução a ser adotada (Dias, 2021).

Os resíduos das indústrias de base florestal são definidos como os materiais descartados durante os processos mecânicos, físicos ou químicos que não são incorporados ao produto final. Na produção de celulose, exemplos comuns incluem cascas, lama de cal, lodo biológico, resíduos celulósicos e cinzas de caldeiras geradas pela queima de biomassa, todos genericamente classificados como resíduos ao longo do processo produtivo (Bellote, 1998).

Esses resíduos apresentam elevado percentual de matéria orgânica e a aplicação destes no solo geram efeitos benéficos, tais como a elevação do pH com consequente aumento na disponibilidade de determinados nutrientes, notadamente fósforo e micronutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions dos solos, incorporação de nutrientes minerais necessários às plantas, melhoria das propriedades físicas como a granulometria, a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Ademais, gera um aumento na atividade biológica do solo acelerando a decomposição da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (Bellote, 1998).

Os nutrientes presentes nos resíduos possibilitam seu aproveitamento como fertilizantes, além de servirem como corretivos da acidez do solo. Também, a reutilização desses resíduos auxilia na redução dos impactos econômicos e ambientais (Barretto, 2008). Como exemplo de um processo de tratamento de resíduos sólidos, a indústria de celulose e papel realiza a compostagem de resíduos orgânicos em instalações específicas, onde são feitos o empilhamento e a formação de camadas com materiais misturados, como lodo ativado proveniente de estações de tratamento de esgoto, além de outros resíduos que são incorporados posteriormente. Esse processo de compostagem ocorre por meio da ação de microrganismos, que transformam resíduos orgânicos com alta relação C/N em um composto estável, úmido e com baixa relação C/N, o qual pode ser aplicado diretamente no solo sem causar danos ao crescimento inicial das plantas (Nolasco, 2000).

2.4 Polímeros

Os polímeros são empregados na agricultura especialmente como revestimento de fertilizantes. Esses materiais são macromoléculas formadas pela repetição de pequenas e simples unidades químicas, os monômeros, ligadas covalentemente, que consistem em cadeias químicas orgânicas ou inorgânicas. Como exemplo dos diversos polímeros disponíveis no mercado, podemos citar os polímeros não biodegradáveis e os polímeros biodegradáveis (Calaby-Floody et al., 2018). Os polímeros não biodegradáveis podem apresentar um custo elevado e, podem apresentar potencial elevado de poluente e contaminação, sendo considerados tóxicos e um potencial fator para impacto ambiental de acordo com o grau de degradação deste polímero (Naz e Sulaiman, 2016).

De acordo com Figueiredo et al (2012), o uso de fósforo polimerizado tem se destacado como uma possível alternativa na redução da adsorção do P pelos colóides do solo, uma vez que o uso de fertilizantes fosfatados, revestidos por polímeros, pode permitir a redução de perdas que ocorrem no processo de fixação do fósforo no solo, disponibilizando, assim, esse elemento por um maior período de tempo.

Os fertilizantes revestidos por polímeros são mais eficientes quando comparados com fertilizantes convencionais pois fertilizantes com polímeros conferem uma redução na perda de nutrientes por fixação (Zahrani, 2000; Vieira e Teixeira 2004). Tal fato, se deve a estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros, os quais, ao absorver água do solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas e são gradativamente liberados por meio da

estrutura porosa na zona da raiz de acordo com a necessidade das plantas (Hanafi et al., 2000; Tomaszewska et al., 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Localização e Caracterização Experimental

O experimento foi conduzido no laboratório do campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, em Minas Gerais, nos dias 07 de dezembro de 2023 a 07 de fevereiro de 2024. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), com textura argilosa (Santos et al., 2018), e foi coletado na fazenda experimental do campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Após a coleta do solo, foi peneirado em uma malha de 4 mm e misturado com calcário dolomítico com PRNT de 90%, teor de CaO 46% e 8% de MgO na proporção de 1,4 g por vaso, sendo incubados em vasos de 18 L por 60 dias, para corrigir o pH e elevar a saturação de base para 69%.

Depois da incubação do solo, como parcela experimental, foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 500g, onde dentro destes foram colocados 400 g de solo e aplicados os tratamentos propostos.

A Tabela 1 apresenta as características químicas e físicas do solo usado no experimento após a incubação com calcário.

Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo.

| Características químicas | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|---|------------------|---------------------------|--------|---|------|--------|------|
| pH (H ₂ O) | pH (CaCl ₂) | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | P res. | K ⁺ | H+Al | CTC | SB |
| 1:2,5 | | ---- cmol _c dm ⁻³ --- | | -- mg dm ⁻³ -- | | ---- cmol _c dm ⁻³ --- | | | |
| 4,9 | 45,8 | 1,64 | 0,88 | 0,0 | 2,8 | 33,3 | 1,19 | 3,8 | 2,61 |
| t | M.O. | C.O. | B | Cu | Fe | Mn | Zn | V | m |
| cmol _c dm ⁻³ | --- dag kg ⁻¹ --- | | | mg dm ⁻³ | | | | % | --- |
| | 2,2 | 1,3 | 0,29 | 0,96 | 16 | 1,72 | 4,8 | 69 | 0 |
| Características física | | | | | | | | | |
| Areia total | | | | | Silte | | | Argila | |

| Solo | g kg ⁻¹ | | |
|------|--------------------|-----|--|
| 190 | 125 | 685 | |

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x4 com 4 repetições, totalizando 64 parcelas, cada uma representada por um pote plástico. O primeiro fator correspondeu a 4 fontes de fósforo: 1 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose farelado 05-26-00; 2 - fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulado 05-26-00; 3 - fertilizante mineral revestido com polímero 10-52-00 e o 4 – mineral 10-52-00. O segundo fator foi composto por quatro doses de P₂O₅ (0, 200 kg ha⁻¹, 400 kg ha⁻¹ e 800 kg ha⁻¹) (Tabela 2).

Tabela 1 - Formulações e os valores de cada fonte em kg. ha⁻¹. Uberlândia/MG, 2024.

| | kg.ha ⁻¹ P ₂ O ₅ | | | |
|---------------------------------|---|-----|------|------|
| FONTES | 0 | 200 | 400 | 800 |
| FOM celulose farelado 05-26-00 | 0 | 769 | 1538 | 3076 |
| FOM celulose granulado 05-26-00 | 0 | 769 | 1538 | 3076 |
| Mineral polimerizado 10-52-00 | 0 | 384 | 769 | 1538 |
| Mineral 10-52-00 | 0 | 384 | 769 | 1538 |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Tabela 3 - Formulações e os valores de cada fonte em g.vaso⁻¹. Uberlândia/MG, 2024.

| | kg.ha ⁻¹ P ₂ O ₅ | | | |
|---------------------------------|---|------|------|------|
| FONTES | 0 | 200 | 400 | 800 |
| FOM celulose farelado 05-26-00 | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,6 |
| FOM celulose granulado 05-26-00 | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,6 |
| Mineral polimerizado 10-52-00 | 0 | 0,08 | 0,16 | 0,32 |
| Mineral 10-52-00 | 0 | 0,08 | 0,16 | 0,32 |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Nos cálculos para adubações, considerou-se o volume de solo em um hectare a uma profundidade dada de 20 cm e calculou-se este valor em 2.000.000 dm³. Assim, considero cada pote contendo 0,4 kg ou 0,40 dm³ de solo, obtendo assim os valores demonstrados na Tabela 2.

3.3 Instalação e condução do experimento

Os fertilizantes foram misturados com 400 g de terra seca ao ar e peneirada. Depois disso, o solo foi colocado em recipientes de plástico e adicionado água destilada até atingir a capacidade de campo. Para avaliar a capacidade de campo, foram utilizados 200 g de solo, adicionados 200 ml de água, 95 ml de água perdida e 105 ml de água retida. Dessa forma, foi estabelecido que 105 ml de água são suficientes para atingir 100%, portanto, para calcular para 80%, foram obtidos 168 ml de água .

Sobre diferentes provetas, monte um sistema contendo um funil e o solo ou substrato a ser avaliado quanto à capacidade de campo. Adicione lentamente 200 mL de água a cada um dos solos ou substratos, coletando a água (solução) drenada nas provetas. Aguarde pelo menos duas horas para a completa drenagem da água do solo. Após a drenagem de toda a água do solo, faça a leitura do volume coletado em cada uma das provetas e calcule a capacidade de campo do solo, utilizando a seguinte fórmula:

$$CC\ (100\%) = \frac{\text{Água retida no solo (mL)} \times \text{Volume do solo do vaso (g)}}{\text{Volume do solo adicionado (g)}}$$

onde:

CC = 100% da Capacidade de Campo

V₁ = Volume do solo utilizado (g)

V₂ = Volume do solo do vaso (g)

Após isso, realiza regra de três para saber qual o volume de água para 80% da capacidade de campo.

Depois de 60 dias da incubação do solo, juntamente com os fertilizantes (tratamentos), foram realizadas as análises das áreas experimentais para determinar o fósforo presente no solo através dos extratores Mehlich-1, resina e remanescente.

As amostras de solo para análises e determinação do fósforo foram enviadas para o laboratório de análises de solos da Universidade Federal de Uberlândia e realizadas de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

3.4 Análises estatísticas

Inicialmente, foram testadas as pressuposições de normalidade de resíduos (KS-corrigido por Lilliefors), homogeneidade das variâncias (Levene) e utilização do programa SISVAR. Posteriormente, os dados obtidos foram submetidos a análises de variância. Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey com 5% de significância com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fósforo (Extrator resina)

A análise do fósforo pelo extrator resina (RTA) indica a quantidade de fósforo que está disponível para as plantas, simulando a absorção pelas raízes. Os resultados analisados mostraram que a variável fósforo disponível nesse extrator demonstrou os maiores valores para o tratamento com fertilizante mineral polimerizado nas doses de 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 3).

As resinas são materiais sintéticos de elevada massa molecular constituídas de uma matriz polimérica com grupos funcionais responsáveis pela troca de íons. O princípio da extração do fósforo pela RTA é a sua remoção contínua da solução pela troca com o bicarbonato ou cloreto da resina, criando um gradiente de concentração que força a saída da superfície dos colóides, até que seja alcançado um equilíbrio eletroquímico entre o solo e a RTA (Santos et. al., 2008). Silva e Raij 1999, consideram que o uso da resina como extrator de fósforo é adequado para a estimativa do fator quantidade e é melhor que outros extratores porque o processo de extração assemelha-se à ação das raízes das plantas.

Os fertilizantes minerais polimerizados elevam a disponibilidade de fósforo no solo, especialmente quando medidos pelo extrator de resina. Tal fato se deve ao mecanismo de liberação controlada desses produtos, que fornece fósforo de forma mais eficiente, disponibilizando, assim, esse elemento por um maior período de tempo. Esse processo ajuda a manter o fósforo disponível para as plantas por um período mais longo, dessa forma reduz a fixação do fósforo pelos colóides do solo e eleva a eficiência do uso do fertilizante (Gazola et al; 2013; Volf e Rosolem, 2020).

Segundo Figueiredo et al. (2012), o uso de fósforo polimerizado vem sendo apresentado como uma nova opção para a redução da adsorção do P pelos colóides do solo. Valderrama et al. (2009) relataram que o uso de fontes fosfatadas de liberação gradual pode trazer diminuição do custo de produção e menores impactos ambientais, reduzindo as perdas por fixação de P.

A Tabela 3 apresenta os menores teores que foram para o fertilizante mineral convencional nas doses de 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os baixos níveis de fósforo na resina indicam que grande parte do fósforo está fixada em formas insolúveis e não está disponível para as plantas.

Tabela 4 - Teores de Fósforo (Resina) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024.

| Fontes | Resina (mg/dm³) | | | |
|---|--|-----------|------------|------------|
| | P₂O₅ (kg ha⁻¹) | | | |
| | 0 | 200 | 400 | 800 |
| Fertilizante organomineral celulose farelado | 1,5 a | 4,9 d | 19,7 ab | 14,1 b |
| Fertilizante organomineral celulose granulado | 1,6 a | 18,6 b | 16,0 bc | 15,1 ab |
| Mineral polimerizado | 1,5 a | 26,1 a | 23,3 a | 19,5 a |
| Mineral convencional | 1,6 a | 11,1 c | 12,6 c | 8,8 c |

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

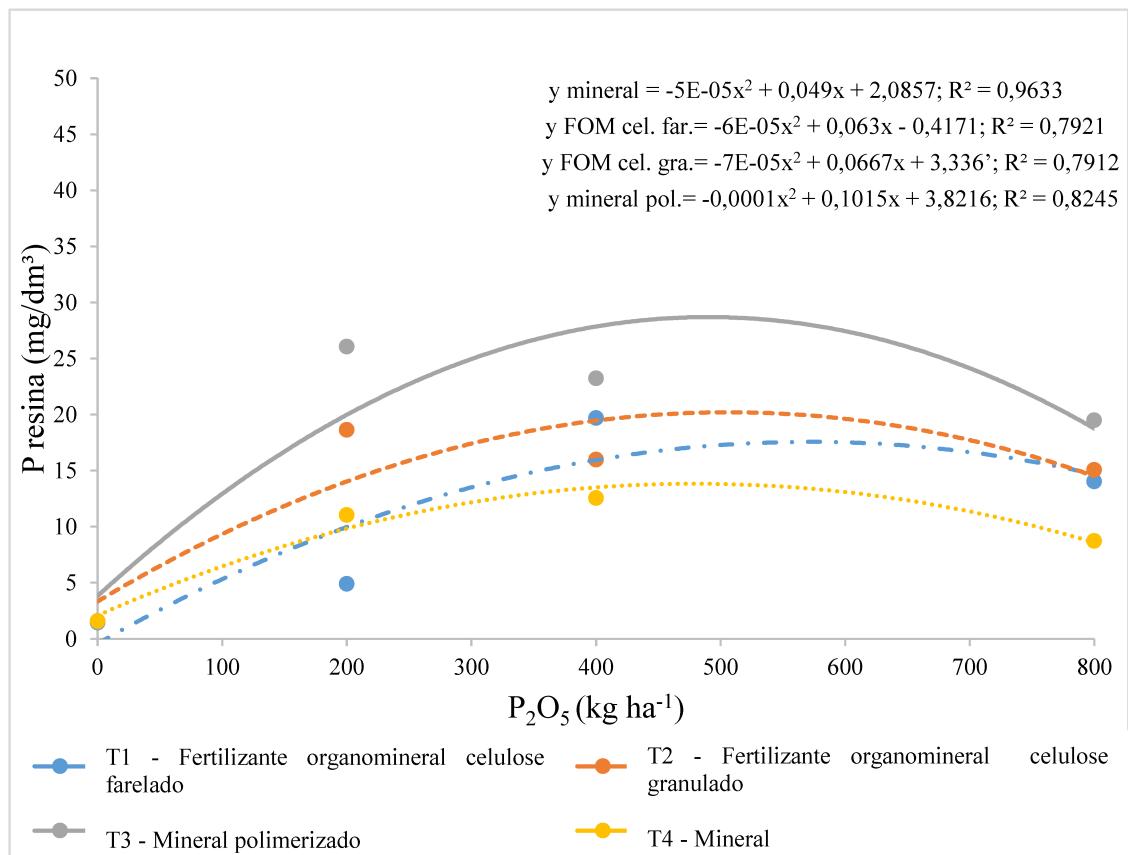
De acordo com Fageria (2016), a análise de fósforo pelo extrator resina é crucial para determinar a disponibilidade real de fósforo no solo, auxiliando na gestão eficiente da fertilização e na maximização da produtividade das culturas.

Na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulado ficou igual ao mineral protegido. Nesta mesma dose de P₂O₅ estudada, verificou-se que o fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose granulado resultou em teores de fósforo superiores ao mineral (Figura 1).

Os fertilizantes organominerais apresentam resultados semelhantes ao mineral polimerizado, mostrando uma média proveniente da matriz orgânica que está envolvida no grânulo de fósforo (Figura 1). De acordo com Kiehl 2008, o fertilizante organomineral se caracteriza por apresentar potencial químico reativo relativamente inferior ao

fertilizante mineral, porém sua solubilização é gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, assim, sua eficiência agronômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais.

Figura 1 - Teores de fósforo (Resina) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A análise do fósforo pelo extrator de resina é importante pois estima a quantidade de fósforo disponível no solo para as plantas em condições próximas aos naturais. A baixa fixação de fósforo é benéfica, pois significa que mais fósforo permanece disponível para a absorção pelas plantas, elevando a eficiência do fertilizante aplicado (Nanzyo; Kuroski e Yamasaki, 1997).

O método da Resina Trocadora de Íons apesar de ser mais trabalhoso, traz melhor correlação com respostas à adubação fosfatada, pois faz uma analogia com extração da planta com valores que sobressaem aos outros métodos, além do ponto positivo de não incluir nenhum agente químico de ação específica sobre os fosfatos do solo (Silva, 1997).

Em estudos similares, Mariotto (2009) afirma que o extrator resina apresenta maior capacidade de extração quando comparado com o Mehlich 1. Arruda, Lana e Pereira, (2015), avaliaram a disponibilidade de Fósforo em solos do cerrado com os métodos Mehlich e Resina de Troca Aniônica e observaram superioridade do método de Resina, mesmo em doses elevadas de calcário o método da Resina foi mais eficiente em avaliar a quantidade de fósforo disponível que o Mehlich 1.

4.2 Fósforo (Extractor mehlich-1)

No presente estudo, os valores da variável correspondem ao extrator Mehlich 1, não foi observada variação significativa em nenhuma das 4 doses de P_2O_5 e entre as fontes (Tabela 4). O extrator de Mehlich-1 é composto de uma mistura de ácidos fortes em baixas concentrações (H_2SO_4 0,0125mol L^{-1} e HCl 0,05mol L^{-1}), com pH entre 2 e 3. A extração do fósforo ocorre pela dissolução ácida dos compostos fosfatados de fraca energia, sendo maior para fosfatos de cálcio, seguida daqueles ligados ao alumínio e, por último, daqueles ligados ao ferro. O princípio do método é a dissolução ácida, porém um efeito secundário de troca iônica nos sítios de adsorção também ocorre, no caso, do íon sulfato pelo fosfato (Santos et al.; 2008).

Os extractores ácidos (como o Mehlich-1) quando submetidos a solos que receberam fosfatos naturais de baixa reatividade, e pelo fato de dissolverem resíduos de fosfatos, que não estão prontamente disponíveis para as plantas, apresentam teores mais elevados de fósforo (Silva, 1997).

Conforme relatado por Raij (1999), a análise do solo usando Mehlich-1 fornece uma base científica para a recomendação de fertilizantes, garantindo uma aplicação eficiente e econômica. Os laboratórios de análises de solo na maior parte do Brasil utilizam o extrator M1 para determinar a disponibilidade de P para as culturas (Gonçalves et al., 2012), pela tradição e menor custo.

Tabela 5 – Teores de Fósforo ((Mehlich-1) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024.

| | Mehlich-1 (mg/dm ³) | | | |
|--------|---------------------------------|-----|-----|-----|
| | P_2O_5 (kg ha ⁻¹) | | | |
| Fontes | 0 | 200 | 400 | 800 |
| | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|-----|---|------|---|------|---|------|---|
| Fertilizante organomineral celulose farelado | 1,5 | a | 17,4 | a | 49,4 | a | 84,2 | a |
| Fertilizante organomineral celulose granulado | 1,7 | a | 26,7 | a | 46,9 | a | 93,3 | a |
| Mineral polimerizado | 1,2 | a | 43,3 | a | 33,1 | a | 76,6 | a |
| Mineral | 2,7 | a | 30,9 | a | 41,3 | a | 63,3 | a |

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

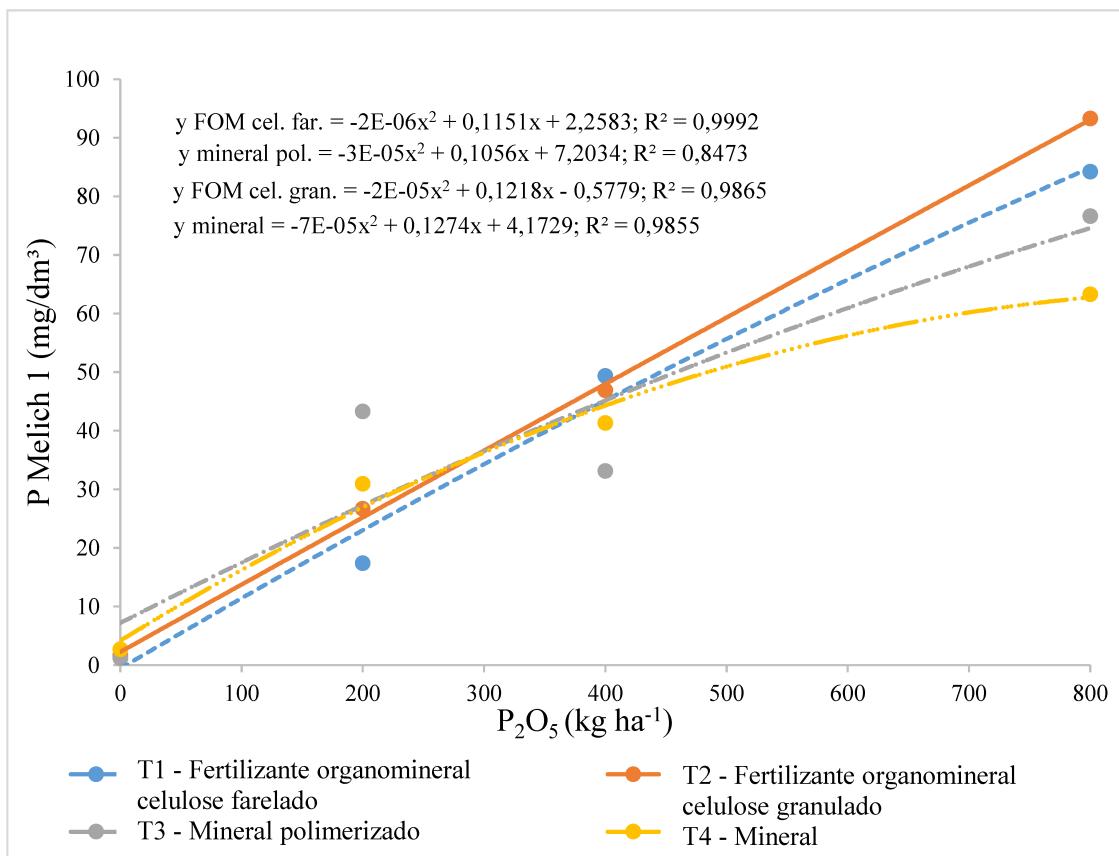
O elevado teor de fósforos medidos pelo extrator Mehlich-1 indica uma quantidade significativa de fósforos disponível no solo para as plantas. Isso pode ocorrer pois o Mehlich-1 solubiliza o fósforo que está em formas facilmente disponíveis para a absorção pelas plantas, permitindo que essa quantidade seja medida diretamente (Gatiboni et al., 2003).

Neste experimento, na dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o fertilizante mineral polimerizado apresentou o maior teor para o fósforo avaliado pelo extrator Mehlich-1 (Figura 2). Mesmo que esses fertilizantes revestidos por polímeros apresentem alta solubilidade em água, a maior disponibilidade de P , é devido à liberação gradual do P promovida pelo revestimento do nutriente e retardando, consequentemente o contato deste com os óxidos de Fe e Al e a argila aumentando sua disponibilidade comparada aos fertilizantes convencionais (Figueiredo et al., 2012; Gazola et al., 2013; Pizzatto, 2021).

Na Figura 2, uma dose de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 o fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose farelado foi apresentada como a sua máxima. Devido a presença desse resíduo no fertilizante pode melhorar a estrutura do solo e elevar a capacidade de retenção de nutrientes, o que justifica um aumento na disponibilidade de fósforo para as plantas (Zhao et al., 2021).

O fertilizante organomineral com base em resíduos de celulose granulada apresentou seu maior valor na dose de 800 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 2). Na Figura 2, é possível observar que houve tendência de regressão linear para quase todas as doses e fontes, explicando os resultados do presente trabalho, no qual foi utilizado o método Mehlich-1 de remoção.

Figura 2 - Teores de fósforo (Mehlich-1) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), textura argilosa.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em solos argilosos, a quantidade de P extraída por Mehlich-1 é menor, pois pode ocorrer a exaustão da capacidade de extração com o aumento dos teores de argila e do grau de intemperização do solo, a capacidade extrativa diminui pelo consumo de íons H⁺ e sulfato do extrator, pelos grupos funcionais não ocupados pelo P nos coloides inorgânicos e pela fixação de P aos coloides durante a limpeza. Nos resultados, o teor de argila pode ter liberado mais íons H⁺ (Novais e Smyth, 1999; Bahia Filho et al., 1983).

A solução de Mehlich-1, é originada a partir da solubilização pelos íons H⁺, de fosfatos de cálcio e pequenas porções de fosfatos de alumínio. O M1 é eficiente na extração de P ligado ao Ca, enquanto, para a maioria das culturas, essa forma de P é absorvida parcialmente ou não é absorvida. Aliada a isso, os solos brasileiros são altamente intemperizados, em sua maioria, com altos teores de óxidos de Fe e Al predominantes na fração argila, assim, ocorre diminuição da capacidade extrativa do método (Bortolon; Gianello e Schlindwein, 2009).

4.3 Fósforo (Extrator remanescente)

Nesta pesquisa, foi constatado que, na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os maiores níveis de fósforo remanescente foram encontrados para o tratamento com fertilizante organomineral de base orgânica em resíduos de celulose granulada. Para o tratamento com fertilizante mineral polimerizado, os maiores valores foram verificados na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, foi destacado o uso de fertilizante mineral (Tabela 5). Esses níveis elevados de fósforo que ainda permanecem indicam baixa fixação, mostrando que o fósforo permanece solúvel e disponível para as plantas.

A combinação de componentes orgânicos e minerais no fertilizante organomineral promove a liberação lenta e contínua de fósforo no solo, resultando em uma maior quantidade de fósforo disponível para as plantas por um período mais prolongado e reduzindo a fixação nos colóides do solo. Essa liberação gradual melhora a eficiência agronômica do fósforo aplicado. Os resíduos de celulose granulada enriqueceram a matéria orgânica do solo, promovendo a atividade microbiana que ajuda na mineralização e disponibilização do fósforo (Machado e Souza, 2012; Almeida; 2018).

O fertilizante organomineral que utiliza resíduos de celulose granulada pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo ao reduzir a fixação desse nutriente nos colóides do solo. Isso ocorre porque a combinação de matéria orgânica e fertilizantes minerais proporciona uma liberação gradual e sustentada de fósforo, aprimorando sua eficiência agronômica e prolongando sua disponibilidade para as plantas por mais tempo (Sousa, 2014).

Os fertilizantes minerais polimerizados são projetados para liberar nutrientes de forma controlada e gradual, o que reduziu a taxa de fixação do fósforo pelos colóides do solo. Essa liberação lenta e sustentada mantém o fósforo disponível por mais tempo, aumentando a eficiência do uso do fertilizante e a quantidade de fósforo extraível pelo método do extrator remanescente. A camada polimérica minimiza as interações imediatas entre o fósforo e os componentes fixadores do solo, como os óxidos de ferro e alumínio, resultando em uma menor fixação inicial e em uma elevada disponibilidade de fósforo para as plantas (Figueiredo et al., 2012; Hanafi et al., 2000; Vieira e Teixeira 2004).

De acordo com Alvarez et al (2000), o P-rem é a quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio após um certo tempo de contato entre solo e solução.

Tabela 6 - Teores de Fósforo (Remanescente) no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd),
textura argilosa, após 60 dias de incubação. Uberlândia/MG, 2024.

| Remanescente (mg/dm ³) |
|------------------------------------|
|------------------------------------|

| Tratamentos | P₂O₅ (kg ha⁻¹) | | | | |
|----------------------------|--|--------|---------|---------|---|
| | 0 | 200 | 400 | 800 | |
| Fertilizante organomineral | | | | | |
| celulose farelado | 20,5 | b 42,9 | a 39,8 | ab 43,4 | a |
| Fertilizante organomineral | | | | | |
| celulose granulado | 25,4 | a 44,8 | a 41,1 | a 43,1 | a |
| Mineral polimerizado | 22,8 | b 42,9 | ab 45,8 | a 45,6 | a |
| Mineral | 19,7 | b 33,4 | ab 36,0 | ab 49,5 | a |

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

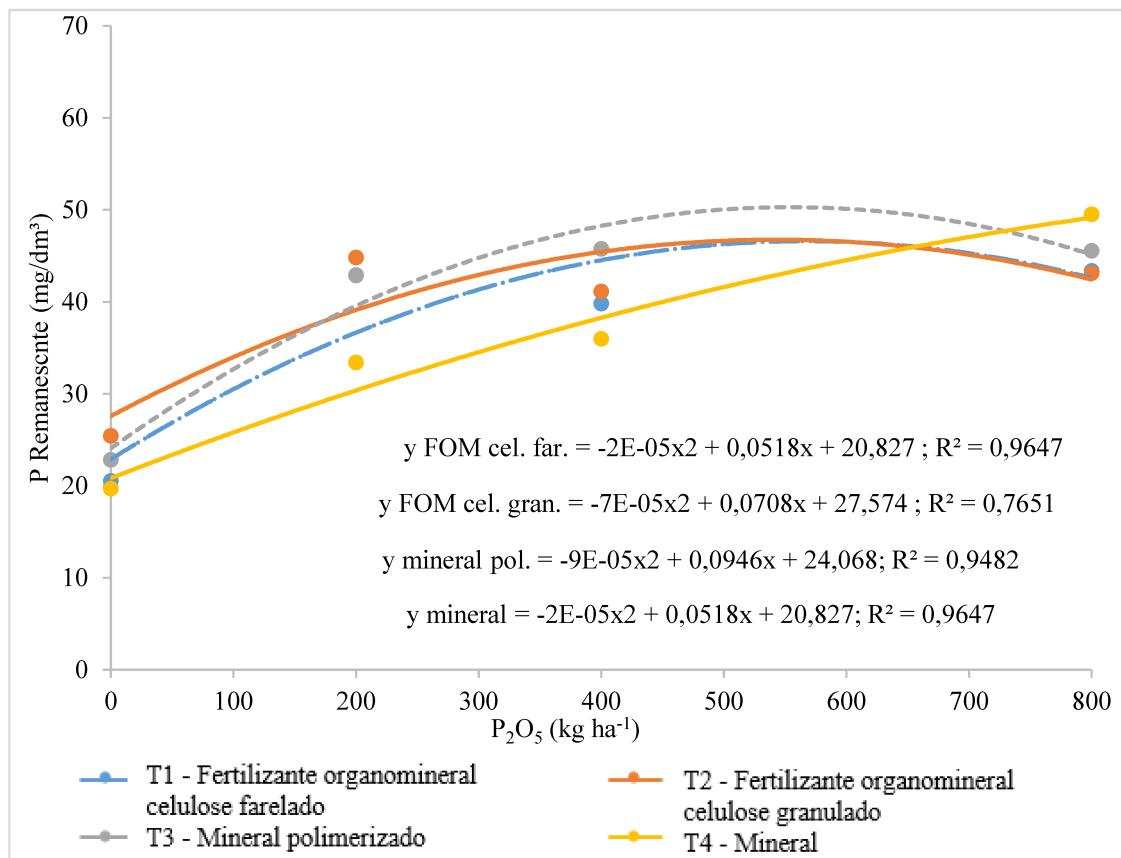
Na Tabela 5, o fertilizante mineral apresentou os menores valores para as doses com 200, 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o valor menor foi para o fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada. Os resultados baixos de fósforo remanescente são indicativos de uma alta fixação de fósforo no solo. Isso ocorre porque o fósforo aplicado é rapidamente adsorvido e retido pelos colóides do solo, como óxidos de ferro e alumínio, tornando-se indisponível para as plantas (Garcia et al., 2022).

De acordo Novais e Smyth (2007), essa condição é frequente em solos tropicais, nos quais a reatividade dos minerais do solo beneficia a formação de compostos de fósforo de baixa solubilidade. A redução do fósforo na análise para o mineral convencional, pode se justificar pelo fato de que em solos com elevada capacidade de fixação, como os tropicais, o fósforo aplicado pode ser fixado por óxidos de ferro e alumínio, diminuindo assim a sua disponibilidade. Essa interação, do fósforo com os óxidos presentes no solo pode gerar compostos insolúveis, reduzindo a quantidade de fósforo extraído pelo método do extrator remanescente (Abdala et al., 2018; Rodrigues et al., 2016).

O fertilizante organomineral com base orgânica em resíduos de celulose granulada apresentou maiores valores de fósforo, provavelmente porque os resíduos de celulose granulada podem ter interagido com componentes do solo, formando complexos que reduzem a disponibilidade de fósforo. A matéria orgânica presente nesses fertilizantes estimula a atividade microbiana do solo, a quantidade de fósforo na biomassa microbiana do solo pode ser aumentada pela adição de fertilizantes, pois ela atua como dreno de P no solo (Souza Júnior et al., 2018).

Como efeitos positivos da presença de matéria orgânica pode-se citar a liberação gradativa dos nutrientes, melhoria no desenvolvimento radicular das plantas, maior retenção de água, melhora nas propriedades bio-físico-químicas do solo, redução das perdas dos nutrientes e diminuição da taxa de mineralização (Almeida Júnior, 2021; Bouhia et al., 2022).

Figura 3 - Teores de fósforo (Remanescente) em função de doses e fontes em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura argilosa.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

De maneira geral, foi constatado que os tratamentos com fertilizantes organominerais e mineral com polímero apresentaram os melhores resultados de P-remanescente em comparação ao fertilizante mineral, com exceção da dose de $800\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , na qual o fertilizante mineral se sobressaiu sobre os outros (Figura 3). Dessa maneira, pode-se concluir que o uso de polímeros nos fertilizantes e o recobrimento com matrizes orgânicas podem diminuir a fixação de fósforo nos fertilizantes fosfatados.

O P-remanescente (P-rem) foi estudado para identificar as propriedades químicas do solo, ou seja, para enquadrar os níveis de P presentes no solo. O gráfico P-rem mostra o percentual remanescente de P na solução do solo após a adição e agitação de uma concentração

conhecida de P, estando fortemente ligado à capacidade tampão de P e à capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) desses solos (Alvarez et al., 2000).

5 CONCLUSÕES

Os fertilizantes organominerais e o mineral polimerizado comparado com o tratamento com fertilizante mineral convencional, apresentaram maiores porcentagens de fósforo disponível na solução do solo, para o extrator resina.

Indicando que houve redução na fixação do fósforo quando foram utilizados os fertilizantes organominerais e o mineral revestido com polímeros evidenciando a proteção física e química proporcionada por essas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, D. B.; GHOSHA, A. K.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; VENEGA, V. H. A. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 162, p. 15–23, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.004>
- ABDALA, D.B.; MOORE, P.A.; RODRIGUES, M.; HERRERA, W.F.; PAVINATO, P.s.. Long-term effects of alum-treated litter, untreated litter and NH₄NO₃ application on phosphorus speciation, distribution and reactivity in soils using K-edge XANES and chemical fractionation. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 213, p. 206-216, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.007>.
- ALMEIDA, A. A. **Produção de fertilizante organomineral a partir de resíduos orgânicos.** 2018. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018.
- ALMEIDA-JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; NETTO, A. M. L.; LIMA, L. I. O.; PINTO, L. S.; SILVA, R. F.; VERONEZ, R. V. S.; PIRES, D. E.; ALVES, R. P.; DUTRA, J. M.; SANTOS, L. J. S. **Utilização de adubação organomineral na cultura da soja.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 73971-73988, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-531>
- ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E, OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n.1, p. 27-32, 2000. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000070&pid=S1413-7054201000010000700002&lng=en. Acesso em: 20 jan. 2025.
- ARRUDA, E. M.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S.; **Fósforo extraído por mehlich-1 e resina de troca aniônica Em solos submetidos á calagem.** Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, v. 31, n. 4, p. 1107-1117, 2015.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extractores químicos à capacidade tampão de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 7, p. 243-249, 1983. Disponível em <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/471632/1/Sensibilidadeextratores.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2025.

BARRETO, V. C.M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto** - Jaboticabal - Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

BELLOTE, A. F. J. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 37, p. 99-106, 1998.

BENITES, V. M. Fontes de nutrientes e novas tecnologias em fertilizantes para a produção de soja no Brasil. IN: Congresso Brasileiro de Soja, 6., Cuiabá, 2012. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2012.

BORGES, B. M. M. N.; ABDALA, D. B.; SOUZA, M. F. DE; VIGLIA, L. M.; COELHO, M. J. A.; PAVINATO, P. S.; FRANCO, H. C. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, v.339, p.20-30, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>

BORTOLON, L; GIANELLO, C; SCHLINDWEIN, J. A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 305-312, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i4.14728>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/14728>. Acesso em: 17 jan. 2025.

BOUHIA, Y.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; BOUKHARI, M. E. M. E.; MPHATSO, C.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K. **Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects**. Reviews in Environmental Science and BioTechnology, v. 21, p. 425-446, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y>

CALABY-FLOODY, M.; MEDINA, J.; RUMPEL, C.; CONDRON, L.M.; HERNANDEZ, M.; DUMONT, M.; LUZ MORA, M. "Chapter three-Smart fertilizers as a strategy for sustainable agriculture". Advances in Agronomy, **Basel**, v.147, p. 119-157, 2018. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.003>

CÂNFORA, S. M. T.; DE LIMA, A. D.; FERNANDES, A. L. T.; FINZER, J. R. D. Formulação de fertilizante organomineral constituído por subprodutos de processos industriais. **Journal Of Humanities And Social Science**, [s. l.], v. 29, n. 1, 49-55, 2024. DOI: 10.9790/0837-2901064955. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jhss/papers/Vol.29-Issue1/Ser-6/J2901064955.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CARMO, D. L.; TAKAHASHI, H. Y. U.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Crescimento de mudas de cafeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, v. 9, p. 196-206, 2014.

CASTRO, P.; KLUGE, R. A.; PERES, L. **Manual de fisiologia vegetal**. São Paulo: Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA

COSTA, F. K. D. et al. Agronomic performance of conventional soybean cultivated with organomineral and mineral fertilizers. **Nucleus**, v. 15, n. 2, p.301-309, out. 2018.

CORDELL, D., NESET, T. Vulnerabilidade ao fósforo: **Uma estrutura qualitativa para avaliar a vulnerabilidade dos sistemas alimentares nacionais e regionais aos estressores multidimensionais da escassez de fósforo**. Em Mudanças Ambientais Globais (Vol. 24, pp. 108–122), 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.00>

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M. D.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. D. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 5398. p. 1- 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>.

DA SILVA, G. L; DA MOTA, D. H. Adubação organomineral e mineral na disponibilização de fósforo em feijoeiro. **Perquirere**, v. 2, n. 18, p. 10-22, 2021. <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere>

DIAS, W. A. **Avanços para o desenvolvimento sustentável da indústria de papel e celulose através do gerenciamento de seus resíduos**. 2021. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

EMBRAPA. **Fertilizante organomineral**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-eaves/biogasfert/fertilizantes/fertilizante-organomineral>

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2^a ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. 628 f.

FAGERIA, N. K. **Use of nutrients in crop plants**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: Isotermas de

adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 623-632, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300015>

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium*, Lavras. v.6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielff/meusarquivospdf/art63.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FERREIRA, N. R. **Eficiência agronômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação à disponibilidade de fósforo.** 2014. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

FIGUEIREDO, C. C; BARBOSA, D.V; DE OLIVEIRA, S. A; SATO, J. H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 446-452, jul./set. 2012. Centro de Ciências Agrárias Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br>. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300005>

GAZOLA, R. N., BUZZETTI, S., DINALLI, R. P., TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CELESTRINO, T. de S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. *Revista Ceres*, 60(6), 876–884, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600016>

FIGUEIREDO, C. C. D., BARBOSA, D. V., OLIVEIRA, S. A. D., FAGIOLI, M., & SATO, J. H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 446-452, 2012.

GARCIA, J. C. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. *Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research*, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 2003-2013, 12 maio 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv5n2-044>.

GATIBONI, L.C. et al. Superphosphate and rock phosphates as Phosphorus sources for grass-clover pasture on a limed acid soil in Southern Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, n.17/18, p.2503-2514, 2003.

GAZOLA, R. D. N., BUZETTI, S., DINALLI, R. P., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., & CELESTRINO, T. D. S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, v. 60, p. 876-884, 2013.

GONÇALVES, G. K.; BORTOLON, L.; MEURER, E. J.; GONÇALVES, D. R. N; SOUSA, R. O.; FAGUNDES, S. M. Extratores de fósforo para o arroz irrigado em solos adubados com fósforo natural reativo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages v. 11, n. 3, p. 196-204, 2012. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5254>. Acesso em: 13 fev. 2025.

HANAFI, M. M.; Eltaib, S. M.; Ahmad, M. B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer. **European Polymer Journal**, v.36, p.2081-2088, 2000.

KIEHL, Edmar José. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** . Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Acesso em: 15 fev. 2025. , 2008.

MACHADO V.J e Souza C.H.E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, 28:1-7, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2006.

MARIOTTO, James Rodrigues. **Fósforo microbiano e extraível em latossolo com adição de dejeto suíno sob plantio direto de milho**. 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

NANZYO, Masami; KUROSAKI, Hidetada; YAMASAKI, Shin-Ichi. **Plant nutrition for sustainable food production and environment [Internet]**. Dordrecht: Springer Netherlands; 1997. p. 625-30. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-0047-9_198

NAZ, M.Y., SULAIMAN, S.A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, [s.l.], v. 225, p.109-120, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais** Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 276-374. 2007. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/14671/1/12.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PELUCO, R. R.JÚNIOR, J. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T.; BARBOSA, R. S.; TEIXEIRA, D. B. Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 259-266, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300010>

PIZZATTO, I. F. **Fontes e profundidades de aplicação de fósforo na cultura do milho**. 87p. Tese de doutorado (Programa de Pós graduação em Agronomia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

RESENDE, A. V. de, A. E. FURTINI NETO. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado. **EMBRAPA**, 2007. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/572251>

REIS L. V. **Potencial do Extrator Mehlich-3 na Avaliação da Disponibilidade de Fósforo de Diferentes Solos**. [Dissertação]. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2016.

RODRIGUES, Marcos; PAVINATO, Paulo Sergio; WITHERS, Paul John Anthony; TELES, Ana Paula Bettoni; HERRERA, Wilfrand Ferney Bejarano. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 542, p. 1050-1061, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>

SILVA, F.C.; RAIJ, B.V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extractores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.267-288, 1999.

SILVA, W.M. **Avaliação de extractores de fósforo disponível em dois latossolos do Mato Grosso do Sul**. Dourados: UFMS, 1997. Xv, 74p. ilust. Tese MestradoAgronomia.

SOUSA, D.C.G., MATOS, L. L., ARAUJO, M. K. S., LIMA, E. V., A Importância da Reciclagem do Papel na Melhoria da Qualidade do Meio Ambiente. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, João Pessoa – PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

SOUZA JÚNIOR, A.A.; DALL'ORSOLETTA, D.J. BONFADA, E.B.; GATIBONI, L.C. A disponibilidade do fósforo adicionado é dependente do teor de argila do solo e tempo de reação. **XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo**, Xanerê, 2018

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia; Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, 2014.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo & Negócios**, v.41, p.4-8, 2004.

VINHA, A. P. C., CARRARA, B. H., SOUZA, E. F. S., SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE REGIÕES TROPICAIS. *Nativa*, 9(1), 30–35, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>

VOLF, M. R.; ROSOLEM, C. A. Soil P diffusion and availability modified by controlled-release P fertilizers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], v. 21, p. 162-172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00350-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00350-7>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PANTANO, G.; GROSSELI, GM; MOZETO, AA; FADINI, PS Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v.39, 2016. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>

TOMASZEWSKA, M.; JARPOEWICZ, A.; KARAKKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, v.146, p.319-323, 2002.

VALDERRAMA, M; BUZETTI S.; BENETT C. G. S.; ANDREOTTI M. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 39:191-196, 2009.

WITHERS, P. J. A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports, London*, v. 8, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v.39, p.367- 371, 2000. <https://doi.org/10.1021/ie980683f>

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. In: BORGES, Ana Lúcia (ed.). Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa**, 2021. cap. 14, p. 263-303. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/226951/1/livroRecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ZHAO, D. et al. Enhanced adsorption of phosphorus in soil by lanthanum-modified biochar: improving phosphorus retention and storage capacity. *Environmental Science and Pollution Research*, 20 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15364-6>. Acesso em: 15 jan. 2024.