

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FRANCISCO MENDES DE OLIVEIRA NETO

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SOLO DO CERRADO SOB  
DIFERENTES MANEJOS**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FRANCISCO MENDES DE OLIVEIRA NETO

**FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SOLO DO CERRADO SOB  
DIFERENTES MANEJOS**

Orientador: Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023



## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE:** Francisco Mendes de Oliveira Neto

**ORIENTADOR:** Dr. Rafael Felipe Ratke

**TÍTULO:** Fracionamento de fósforo em solo do cerrado sob diferentes manejos

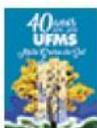
#### AVALIADORES:

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

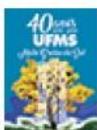
Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza

Prof. Dr. Fabricio Rainha Ribeiro

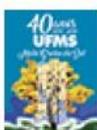
Chapadão do Sul, 28 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Felipe Ratke, Professor do Magisterio Superior**, em 28/02/2023, às 09:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edicarlos Damacena de Souza, Usuário Externo**, em 28/02/2023, às 14:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Rainha Ribeiro, Usuário Externo**, em 28/02/2023, às 15:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha família, em especial aos meus pais, Francileine Toscano e José Francisco, por todo incentivo, dedicação e paciência, me dando forças para continuar e contribuindo diretamente para que tudo se tornasse possível, meus sobrinhos Samuel, Sofia e Sara Gabriela, por serem o meu suporte e minha inspiração durante esta caminhada, minhas irmãs Karolainy Toscano e Kamila Toscano pelo apoio, incentivo e por todo amor e carinho a mim dedicados.

Ao meu orientador Dr. Rafael Felipe Ratke pelos ensinamentos, por ser um modelo de profissional a ser seguido. A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e a todos os colaboradores e professores que sempre tiveram dispostos a contribuir para um melhor aprendizado, em especial ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela excelência e oportunidade de ter aprendido com cada um com quem tive as disciplinas.

A minha banca examinadora, Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza e ao Prof. Dr. Fabricio Rainha, pelas considerações que serão realizadas a fim de enriquecer este trabalho.

A todos que contribuíram na condução de ambas as partes do experimento, desde o plantio dos sistemas, até as análises em laboratório, em especial a técnica do laboratório de solos da UFMS, Marileide Soares.

Aos meus amigos, Natã, Lysa e Nalu, pelo companheirismo e por sempre estarem ao meu lado nos momentos mais desafiadores dos últimos anos.

A todos que de alguma forma participaram comigo ao longo dessa experiência acadêmica, fica o meu muito obrigado.

## EPÍGRAFE

“O universo existe porque estamos cientes disso. Se estiver no fundo dos seus olhos, caminhe até o centro do seu coração e faça deste, o novo lugar em que seus pensamentos entrarão.”

Lana Del Rey

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Correlações canônicas e pares canônicos entre as frações de fósforo disponível e não disponível. ....	17
---	----

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Croqui da área experimental localizado no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), Rondonópolis-MT.....13
- Figura 2. Frações de fósforo e médias estimadas pelo teste de Tukey (0,05) no procedimento em Neossolo Quartzarênico. Fósforo sorvido (PSO), total de fósforo (PTO), fósforo solúvel (PSOL) e fósforo oxidável (POX). Os valores não apresentaram significância ao nível de probabilidade estudado.....15
- Figura 3. Frações de fósforo e médias estimadas pelo teste de Tukey (0,05) no procedimento em Neossolo Quartzarênico. Fósforo orgânico (POR), fósforo em cálcio (PCA), fósforo em Mehlich3 (PM3) e fósforo ocluso. (POC). Os valores não apresentaram significância ao nível de probabilidade estudado.....16
- Figura 4. Análise de correlações canônicas, biplot (CCA) das médias das variáveis comparando as variáveis com os diferentes tratamentos. Tratamentos: 1 – Soja na safra com pousio e manejo de plantas daninhas na safrinha; 2 – Soja na safra com pousio na entressafra; 3 – Soja na safra e entressafra de *Urochloa* cv. Piatã cultivada solteira por 8 meses; 4 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 8 meses; 5 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 20 meses; 6 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco com entrada de animais. Fósforo sorvido (PSO), Fósforo total (PTO), Fósforo solúvel (PSOL), Fósforo oxidável (POX), Fósforo orgânico (POR), Fósforo em Mehlich3 (PM3), Fósforo em cálcio (PCA) e Fósforo ocluso (POC).....18
- Figura 5. Rede de correlação entre as formas disponíveis de fósforo do solo na camada de 0-10. Fósforo sorvido (PSO), Fósforo total (PTO), Fósforo solúvel (PSOL), Fósforo oxidável (POX), Fósforo orgânico (POR) e Fósforo em cálcio (PCA)..... 20

# FRACIONAMENTO DE FÓSFORO EM SOLO DO CERRADO SOB DIFERENTES MANEJOS

**RESUMO:** Para aumentar a eficiência do uso de plantas de cobertura em ambiente do cerrado, é necessário que essas culturas possam promover uma ciclagem adequada de fósforo no sistema. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes manejos com coberturas vegetais, sob as frações de fósforo presentes em área de solo arenoso, correlacionando-os com os fatores que integraram cada manejo. O delineamento experimental em blocos ao acaso, consistiu em 6 tratamentos, com 3 repetições. Os tratamentos são: T1 – Soja na safra com pousio e manejo de plantas daninhas na safrinha; T2 – Soja na safra com pousio na entressafra; T3 – Soja na safra e entressafra de *Urochloa* cv. Piatã cultivada solteira por 8 meses; T4 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 8 meses; T5 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 20 meses; T6 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco com entrada de animais. As variáveis obtidas pelo fracionamento das amostras de solo foram: Fósforo sorvido (PSO), Fósforo total (PTO), Fósforo solúvel (PSOL), Fósforo oxidável (POX), Fósforo orgânico (POR), Fósforo ligado ao cálcio (PCA) e Fósforo ocluso (POC). A partir dos dados obtidos, realizou-se uma análise de variáveis canônicas e rede de correlações. De acordo com os resultados obtidos, os sistemas que apresentaram maior teor de fósforo solúvel foram os sistemas contendo cobertura na entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 20 meses e com a entrada de animais para o pastejo. A maior permanência de cobertura vegetal proporciona ao sistema maior teor de fósforo solúvel à cultura subsequente. Os maiores teores de P sorvido estão correlacionados ao sistema de rotação soja-algodão com pousio na safrinha, em Neossolo Quartzarênico.

**Palavras-chave:** *Urochloa* *ssp.*, *Glycine* *Max*, *Gossypium* *hirsutum* L., Plantas de Cobertura pastejo.

**ABSTRACT:** To increase the efficiency of the use of cover crops in the Brazilian Cerrado environment, it is necessary that these cultures can promote an adequate cycling of phosphorus in the system. The objective of this work was to evaluate the effect of different managements with vegetation cover, on the phosphorus fractions present in a sandy soil area, correlating them

with the factors that integrated each management. The experimental design consists of 6 treatments, with 3 randomized blocks. The treatments are: T1 – Soybean in the off-season with fallow and weed management in the off-season; T2 – Soybean in the harvest with fallow in the off-season; T3 – Soybean in season and off season of *Urochloa* cv. Piatã cultivated single for 8 months; T4 - Soybean in the harvest and off-season of *U. Piatã*, niger, forage turnip, cowpea and buckwheat for 8 months; T5 - Soybean in the harvest and off-season of *U. Piatã*, niger, fodder turnip, cowpea and buckwheat for 20 months; T6 - Soybean in the harvest and off-season of *U. Piatã*, niger, fodder turnip, cowpea and buckwheat with entry of animals. The variables obtained by the fractionation of soil samples were: sorbed phosphorus (PSO), total phosphorus (PTO), soluble phosphorus (PSOL), oxidizable phosphorus (POX), organic phosphorus (POR), phosphorus in calcium (PCA) and occluded phosphorus (POC). From the data obtained, an analysis of canonical variables and network of correlations was carried out. According to the results obtained, the systems that presented the highest content of soluble phosphorus were the systems containing cover in the off-season of *U. Piatã*, niger, forage radish, cowpea and buckwheat for 20 months and with the entry of animals for grazing. The greater permanence of vegetation cover provides the system with a higher soluble phosphorus content for the subsequent crop. The highest levels of sorbed P are correlated to the soybean-cotton rotation system with fallow in the off-season, in Quartzarenic Neosol.

**Keywords:** *Urochloa* ssp., *Glycine Max*, *Gossypium hirsutum* L., cover crops, grazing.

## INTRODUÇÃO

Para aumentar a eficiência do uso de plantas de cobertura em ambiente do cerrado, é necessário condicionar a agricultura à busca por espécies mais eficientes em acumular matéria orgânica, disponibilizar nutrientes por meio das interações com o solo e apresentar boa convivência com as culturas graníferas, em cultivos sucessivos. Em adição, a rotação de culturas, prática predominante da região, promove melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, melhorando o perfil do solo e tornando-se uma alternativa ao monocultivo para aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais (QUEVEDO et al., 2022).

As regiões de cerrado podem apresentar como fator limitante o suprimento de fósforo (P), devido à alta adsorção de íons pelos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), por isso é feito a partir de fontes solúveis, porém escassas na natureza (OLIVEIRA et al., 2021). A formação de frações deste nutriente no solo é oriunda da transformação do mesmo com o complexo sistema

solo, o qual o retém em minerais de argila e outros compostos orgânicos, que nem sempre são aproveitados pelas culturas (DAMACENO et al., 2019).

Estudar as frações de fósforo é imprescindível para entender a dinâmica deste nutriente, e é através da quantificação que podem ser obtidas respostas sobre disponibilidade destas formas, desde as mais disponíveis até as mais recalcitrantes (PINTO et al., 2020). Em adição, temos o uso de metodologias que foram desenvolvidas no passado para estudar a ciclagem do P e que, nem sempre consideram a utilização de extratores específicos para cada composto o qual o fósforo é encontrado no solo (BARROW et al., 2021).

Para promover a transformação do fósforo em frações disponíveis às plantas, o uso de coberturas vegetais nos sistemas do cerrado, vem crescendo nas últimas safras. Representando mais de 70% das pastagens plantadas, o gênero *Urochloa*, apresenta boa adaptação a solos ácidos e com baixa fertilidade, destacando-se a espécie *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster, cv. Piatã que apresenta adaptação a ambientes com baixa disponibilidade de fósforo (CAMACHO et al., 2015).

Diversos trabalhos trazem resultados positivos da utilização desta gramínea em sucessão com a cultura da soja (PACHECO et al., 2013), promovendo aumento na produtividade de grãos e melhorando as condições de disponibilização de água, em situações de déficit hídrico (BALBINOT JUNIOR, et al., 2017). Uma outra vantagem da utilização desta pastagem é o incremento de matéria orgânica, pois nestas condições, reduzirá o contato dos colóides do solo com o fosfato, fazendo com que seja reduzida a adsorção e permitindo a mineralização gradual do P orgânico no sistema (PARIZ, 2017).

Aliado a isso, a utilização de Mix de plantas de cobertura tem sido muito recomendada, já que esta prática aumenta a imobilização de nutrientes, promove maior eficiência na utilização de água por explorarem diferentes profundidades do solo (RODRIGUES et al., 2012), promove aumento na biomassa de plantas e de microrganismos benéficos do solo, além de ser eficiente no controle de plantas daninhas (SILVA et al., 2021).

Por isso, a utilização de várias espécies que apresentam bom desempenho quanto a utilização do fósforo no solo, em consórcio, pode fazer com que a mobilização deste nutriente no sistema seja mais eficiente. Surve et al. (2013) observaram que a exportação do fósforo por plantas de níger [*Guizotia abyssinica* (L.) Cass] ocorreu de maneira eficiente para o seu reaproveitamento no ciclo em cultivos posteriores. Michelin et al. (2019) obtiveram

desempenho satisfatório na disponibilidade de fósforo por plantas de nabo forrageiro, quando consorciadas com outras culturas. Swain e Laxminarayana (2012) observaram ação de *Bacillus subtilis*, na solubilização de fósforo e biocontrole de patógenos, atuando na cultura do feijão-caupí (*Vigna unguiculata* L.). O trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) também se relaciona com o fósforo, aumentando a sua disponibilidade para a próxima rotação, principalmente, quando incorporado ao solo (TEBOH e FRANZEN, 2011).

O efeito de gramíneas na cultura sucessora, ainda deixa lacunas a serem preenchidas, principalmente aquelas relacionadas às mudanças a longo prazo, no complexo sistema nutriente-plantasolo. A partir disso, foi avaliado o efeito de diferentes manejos com coberturas vegetais em diferentes períodos de estabelecimento, sob as frações de fósforo presentes em área de Neossolo Quartzarênico, correlacionando-os com os fatores que integraram cada manejo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área experimental**

O experimento foi conduzido na área experimental do instituto Mato-grossense do algodão (IMA) em Rondonópolis-MT, com latitude de 16°33'22" Sul, longitude de 54°38'77" Oeste e altitude de 312 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação e temperatura média anual de 1500 mm e 25,3 °C. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa (SANTOS et al., 2018).

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo para análise das características químicas e físicas na área experimental, a partir de amostras coletadas de 0,0-0,20 e 20-40 m de profundidade. Foram encontrados os resultados: M.O = 26,3 e 18,7; pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,5 e 5,3; P (Mehlich1) = 54,1 e 33,6 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3++</sup> e H<sup>+</sup> na saturação = (0%); K = 64,6 e 50,9 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg e H + Al = (2,6 e 1,8), (1,0 e 0,6) e (2,6 e 2,5) cmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Até outubro de 2014 a área experimental era utilizada como pastagem extensiva, quando então se iniciou a sucessão de soja na safra e pastagem no inverno até o ano de 2017. O experimento iniciou na safra 2017/2018 com soja e foi mantido até o ano de 2019, quando na safra 2019/2020 realizou-se o plantio do algodão em rotação à soja. A cultivar de soja foi selecionada de acordo com as recomendações para região e disponibilidade de mercado, sendo

cultivada com espaçamento entre linhas de 0,45 m entre setembro e outubro, após a dessecação da pastagem.

O algodão foi semeado com espaçamento entre linhas de 90 cm e 10 plantas m<sup>-1</sup>. A adubação de base utilizada foi de 250 kg ha<sup>-1</sup> de Monoamôniofosfato (MAP) e cobertura de 200 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, 10 dias após a semeadura e duas aplicações de 180 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, 5 e 32 dias após a semeadura, respectivamente. Herbicidas, fungicidas e inseticidas foram aplicados para controlar a ocorrência de pragas e doenças durante o ciclo da soja, seguindo as recomendações regionais para a cultura (MASCARENHAS e TANAKA, 1997).

Sob pleno florescimento do algodão, foram coletadas amostras de solo da camada de 0-10 cm, as quais foram armazenadas em sacos plásticos, posteriormente secas ao ar, peneiradas (> 1,00 mm) e enviadas ao laboratório para o fracionamento, onde foram homogeneizadas e divididas em três frações para a utilização nas diferentes metodologias propostas.

### **Delineamento experimental**

O delineamento utilizado foi de bloco ao acaso com 3 repetições, com 6 tratamentos. A área experimental consiste em 6.25 hectares, divididos em 18 parcelas para a distribuição dos 6 tratamentos. Os tratamentos foram definidos por combinações de manejo em diferentes níveis de diversidade funcional, sendo eles: T1 – Soja na safra com pousio e manejo de plantas daninhas na safrinha; T2 – Soja na safra com pousio na entressafra; T3 – Soja na safra e entressafra de *Urochloa* cv. Piatã cultivada solteira por 8 meses; T4 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 8 meses; T5 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 20 meses; T6 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco com entrada de animais (Figura 1).

Os sistemas de consórcio foram implantados sem adubação de base e cobertura. A mistura de sementes ocorreu em proporções estipuladas para cada consórcio (12 kg ha<sup>-1</sup> de *U. Piatã*, 3 kg ha<sup>-1</sup> de niger e nabo forrageiro, 6 kg ha<sup>-1</sup> de trigo mourisco e 2 kg ha<sup>-1</sup> de feijão-caupí). Para o tratamento com entrada de animais, foram alocadas em cada parcela cinco novilhas mestiças de cruzamento das raças Nelore com Holandês, com peso vivo médio de 196,4 kg, as quais entraram no sistema quando o pasto atingiu uma altura média de 50 cm (GONÇALVES, 2022).

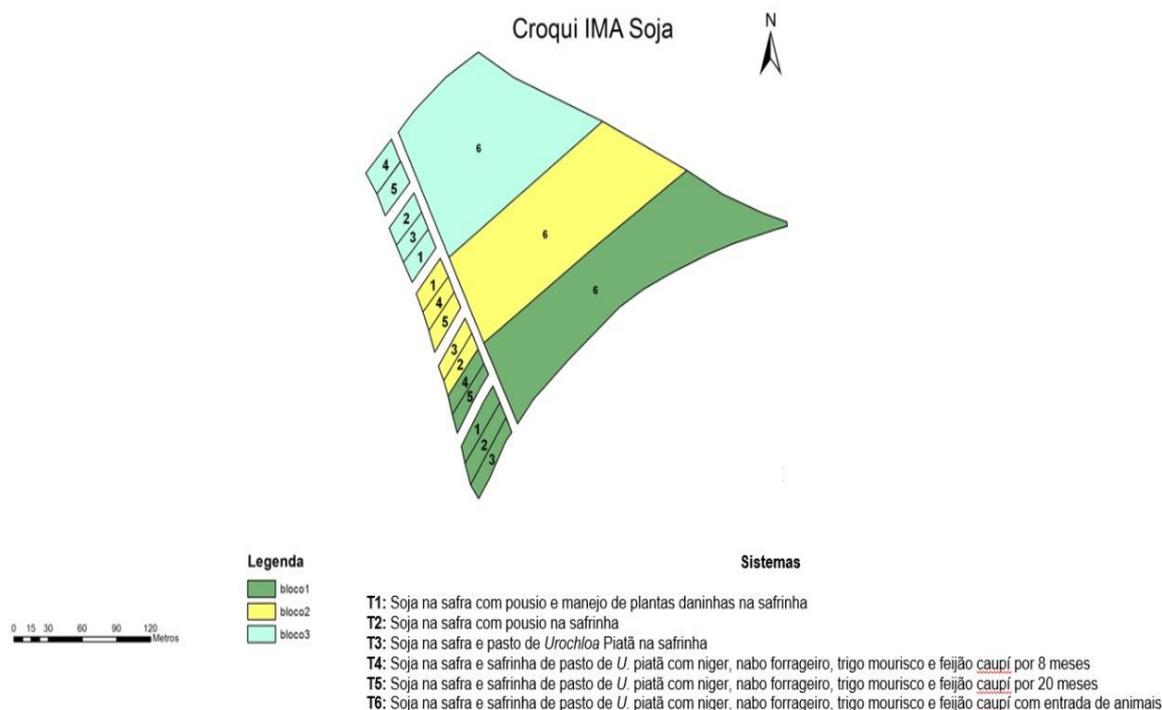


Figura 1. Croqui da área experimental localizado no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), Rondonópolis-MT.

Esta etapa do experimento foi conduzida no laboratório de solos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul (UFMS-CPCS). As amostras foram pesadas e divididas em 3 subamostras A, B e C, seguindo o método proposto por (GATIBONI e CONDRON, 2021).

Na determinação da capacidade de sorção do solo (PSO), foi determinado através do contato do solo com uma solução estoque de P ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  125 mg l<sup>-1</sup>), o teor de P foi determinado pelo método de determinação de fósforo em extratos ácidos do solo descrito por Murphy e Riley (1962). A partir do valor obtido, o teor de fósforo solúvel foi determinado pela fórmula:

$$\text{PSO (\%)} = \frac{125 - \text{Valor de P}}{125} * 100$$

Os valores de P total (PTO) na subamostra B, foram obtidos por meio da digestão com  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ , e o fósforo do sobrenadante determinado pelo método de Murphy e Riley também.

Para a subamostra C, a concentração de P solúvel (PSOL) foi obtida através da extração do solo com uma solução de sal não-tampão em baixa concentração ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>), o teor de fósforo foi obtido pelo de Murphy e Riley (1962). De forma sequencial, o valor de P

oxidável (POX) foi obtido através da extração com NaOH (0,5 mol L<sup>-1</sup>) e após a extração o valor de P foi determinado pelo método de determinação de fósforo inorgânico em extratos alcalinos por Dick e Tabatabai (1977) para evitar a mineralização do fósforo orgânico. Em seguida, extraiu-se o P orgânico (POR) através do método da digestão em autoclave com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 121 °C e 103 kPa, os valores de P foram determinados por Murphy e Riley (1962). As formas associadas ao cálcio (PCA) foram extraídas com HCl (1,0 mol L<sup>-1</sup>) e determinadas pelo método de Murphy e Riley (1962).

Os valores de P ocluso (POC) foram obtidos pela subtração do conteúdo de P de todas as frações que foram obtidas pela subamostra C do total de P obtido pela subamostra B. Sendo assim:

$$POC = PTO - PSOL - POX - POR - PCA - PM3$$

As leituras das absorbâncias foram realizadas em 882 nm de comprimento de onda para a determinação por Murphy e Riley (1962) e 700 nm para a determinação de Dick e Tabatabai (1977). Os valores das leituras foram convertidos em mg.kg<sup>-1</sup>, e corrigidos pelo fator de diluição utilizado na curva de calibração das absorbâncias, obtidas pelas soluções padrões do espectrofotômetro nos dois comprimentos de onda estudados.

Para estudar a inter-relação entre as variáveis com os tratamentos, foi feita uma análise de correlações canônicas (CCA), e posteriormente, as correlações de rede foram feitas entre as variáveis, ambas utilizando o software Rbio (Bhering, 2017)

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados das extrações mostram uma grande variabilidade dentro das diferentes frações de P. O fósforo sorvido corresponde a cerca de 5% do fósforo total em Neossolo Quartzarênico, contudo, mesmo que este tipo de solo apresente menor força coloidal para retenção de fósforo, este parâmetro é superestimado ao não considerar a retenção do elemento em cálcio (Figura 1).

Vale ressaltar que a utilização de extratores neutros ou com propriedades tamponantes é a mais adequada para solos menos intemperizados que, normalmente possuem pH mais elevado, menor teor de argila e elevado teor de P ligado a Ca, fazendo então com que esse valor não seja subestimado na análise (Calheiros et al., 2012).

A fração solúvel do fósforo é responsável por cerca de apenas 1% do total. Para este parâmetro é necessário o conhecimento das frações fosfatadas também nas plantas de cobertura utilizadas durante o pousio, pois isso permite que prever a quantidade de P potencialmente liberado no solo por essas espécies.

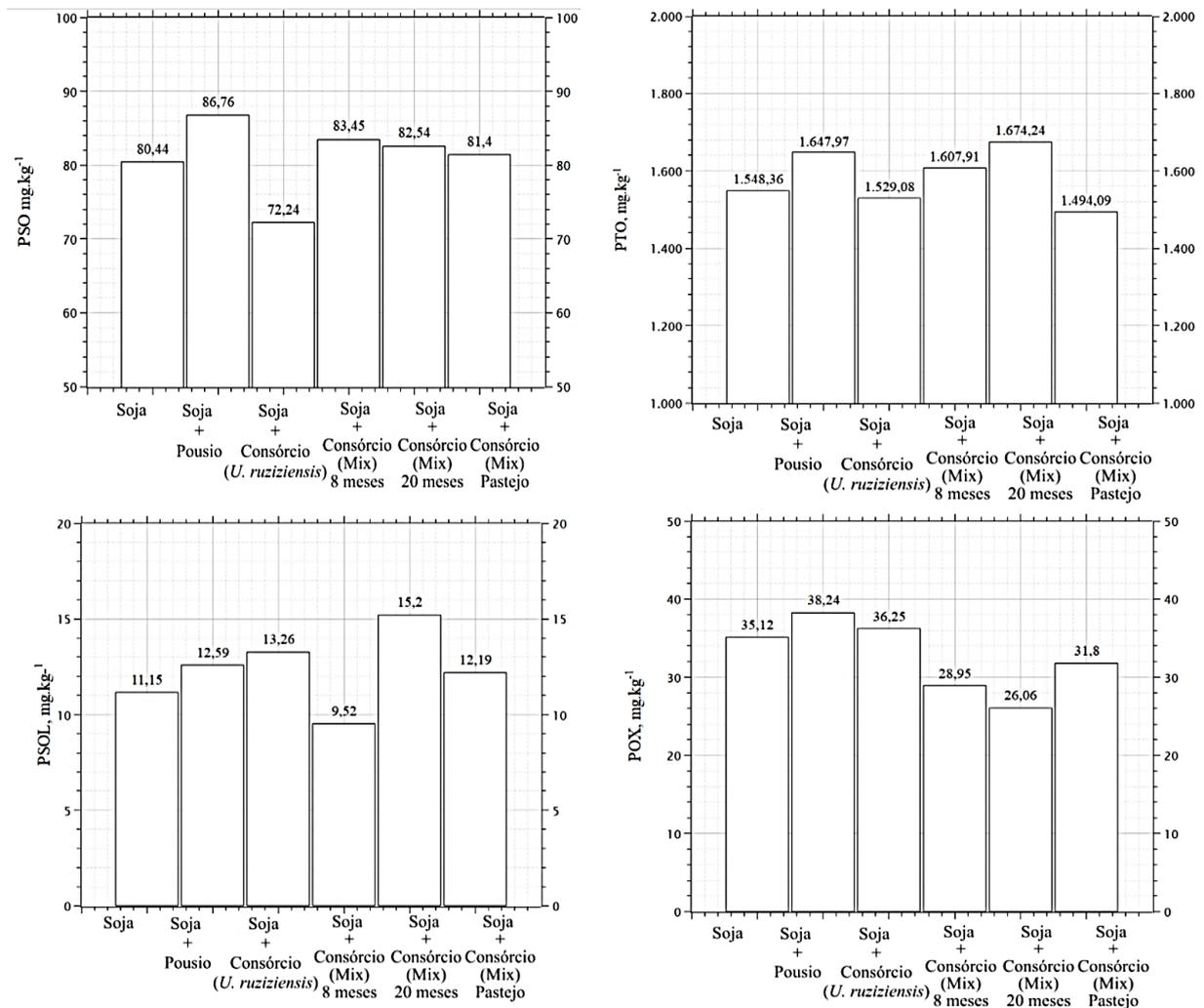


Figura 2. Frações de fósforo e médias estimadas pelo teste de Tukey (0,05) no procedimento em Neossolo Quartzarênico. Fósforo sorvido (PSO), total de fósforo (PTO), fósforo solúvel (PSOL) e fósforo oxidável (POX). Os valores não apresentaram significância ao nível de probabilidade estudado.

O fósforo orgânico também foi uma variável expressiva, cerca de 3% do fósforo total extraído. Um fator que deve ser considerado na quantificação de fósforo é quanto ao poder de solubilidade do fertilizante utilizado.

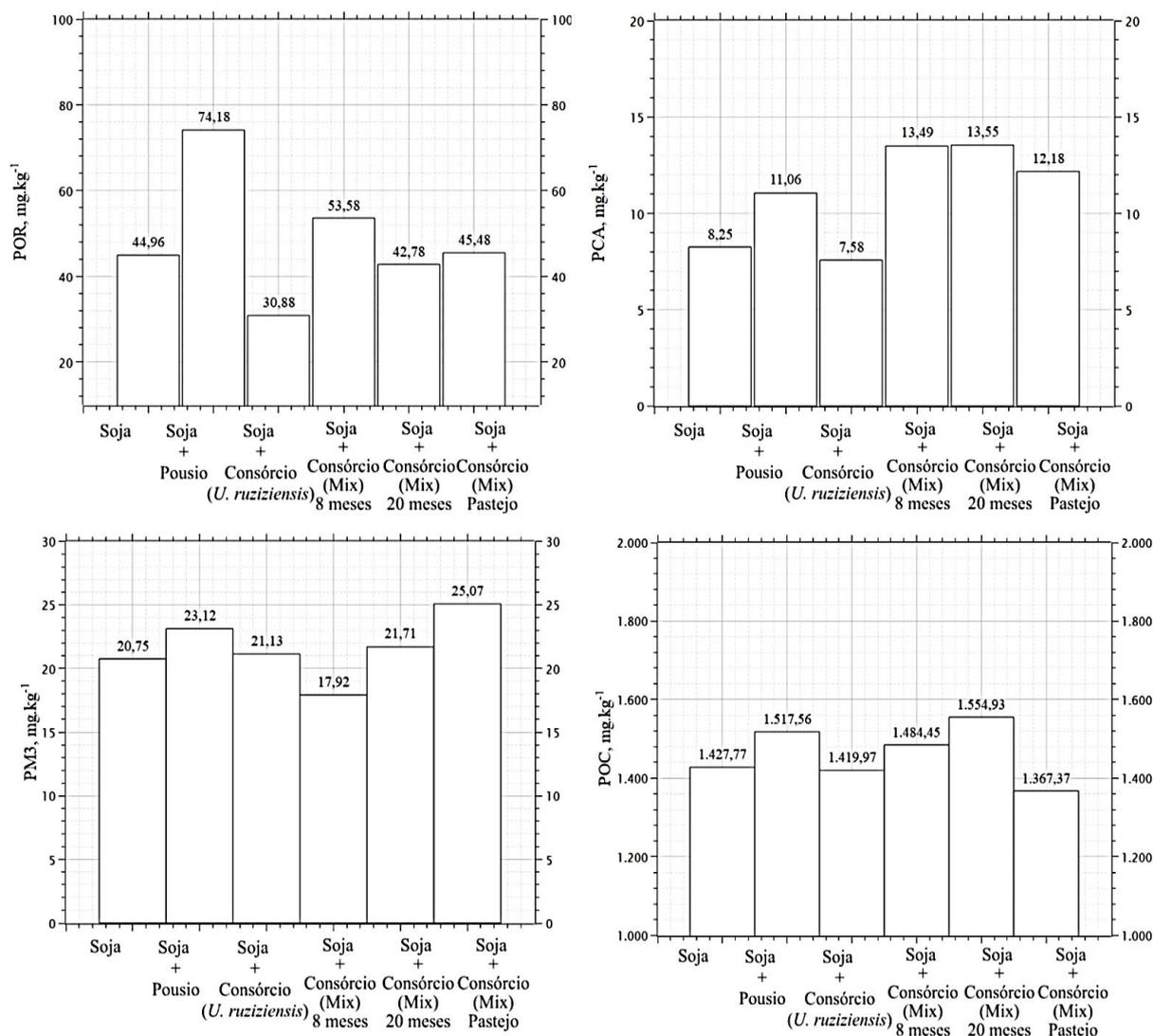


Figura 3. Frações de fósforo e médias estimadas pelo teste de Tukey (0,05) no procedimento em Neossolo Quartzarênico. Fósforo orgânico (POR), fósforo em cálcio (PCA), fósforo em Mehlich3 (PM3) e fósforo ocluso (POC). Os valores não apresentaram significância ao nível de probabilidade estudado.

A tabela 1 apresenta as correlações canônicas estimadas entre as formas disponíveis de fósforo nas amostras de solo avaliadas. O primeiro par de variáveis canônicas explica 99,40% da variação total, e sua relação canônica é significativa a 5% de probabilidade. É possível observar associação entre os teores de fósforo sorvido, fósforo em Mehlich3 e fósforo oxidável, com a baixa concentração de fósforo em cálcio e em formas solúveis e orgânicas.

Os demais pares canônicos possuem baixa influência na variação e não atingem o nível de significância mínimo, indicando independência desses grupos com os demais. Deve-se

considerar a presença de variáveis classificadas como supressoras, pois mesmo com a presença de coeficientes de correlação positivos, a correlação canônica observada no primeiro par de dados é negativa.

Tabela 2. Correlações canônicas e pares canônicos entre as frações de fósforo disponível e não disponível.

Variáveis	Pares canônicos			
	1°	2°	3°	4°
PSO	0,0103	0,3730	0,1045	1,0752
PCA	-0,0070	0,7960	-0,3317	-0,7427
PM3	0,0233	0,1872	0,9108	-0,5073
POC	1,0003	-0,1947	-0,0122	-0,3242
PSOL	-0,0113	-0,5558	0,8819	-0,1409
POX	0,0485	-0,6981	0,0022	0,7821
POR	-0,0888	0,6993	0,5757	0,6590
PTO	1,0296	-0,0213	-0,3662	-0,4054
$\hat{\rho}$	-0,0735	0,2522	0,3826	0,9954
F	99,40	0,5738	0,0111	0,0090
GL	16	9	4	1
$\alpha$ (%)	0,0000*	0,3841	0,9753	0,6451

$\hat{\rho}$ = correlação canônica, F = Teste F, GL = graus de liberdade,  $\alpha$  = nível de significância em 5%.

O gráfico biplot (CCA) de correlações canônicas apresentado na Figura 4, resultou em 2 dimensões (Can1 e Can2), representando 92,1% da variância total. A CCA da distribuição das variáveis mostra que os tratamentos que se situam em Can1 pela esquerda inferior, tratamentos 5 e 6, são mais semelhantes quanto ao parâmetro de PSOL. Esses resultados mostram que a cobertura vegetal mantida por mais meses, consegue influenciar nos teores de fósforo solúvel do solo.

### Correlações canônicas entre as variáveis

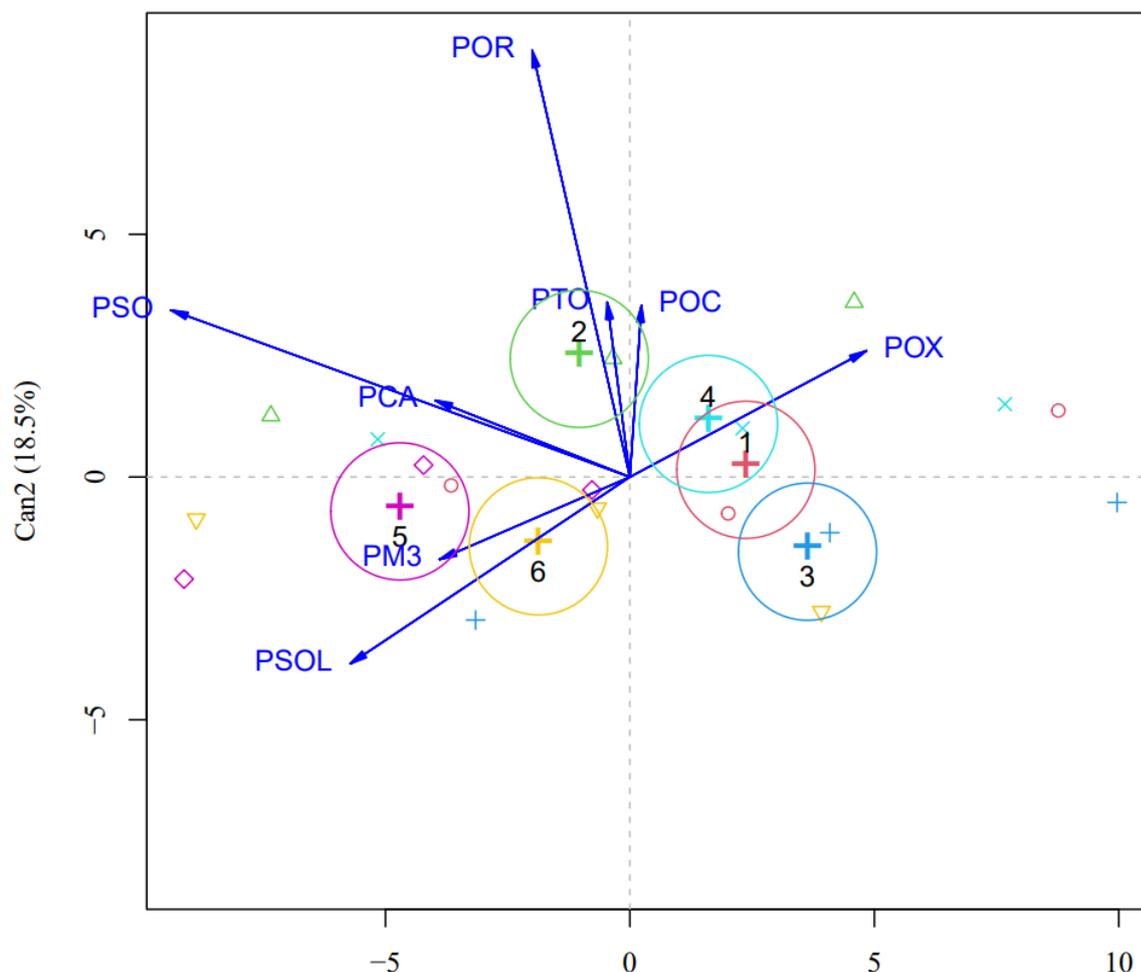


Figura 4. Análise de correlações canônicas, biplot (CCA) das médias das variáveis comparando as variáveis com os diferentes tratamentos. Tratamentos: 1 – Soja na safra com pousio e manejo de plantas daninhas na safrinha; 2 – Soja na safra com pousio na entressafra; 3 – Soja na safra e entressafra de *Urochloa* cv. Piatã cultivada solteira por 8 meses; 4 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 8 meses; 5 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco por 20 meses; 6 - Soja na safra e entressafra de *U. Piatã*, niger, nabo forrageiro, feijão caupí e trigo mourisco com entrada de animais. Fósforo sorvido (PSO), Fósforo total (PTO), Fósforo solúvel (PSOL), Fósforo oxidável (POX), Fósforo orgânico (POR), Fósforo em Mehlich3 (PM3), Fósforo em cálcio (PCA) e Fósforo ocluso (POC).

A relação entre o fósforo solúvel com os tratamentos onde houve maior tempo de pastagem pode ser explicada, possivelmente, em razão da disponibilidade de biomassa microbiana ser proporcional à biomassa radicular de espécies forrageiras como *U. brizantha* cv. Piatã, já que o ciclo do fósforo está intimamente relacionado com os processos de

mineralização e imobilização (Gichangi et al., 2016). Então logicamente, plantas com maior porte terão maior possibilidade de promover condições à microrganismos solubilizadores do nutriente.

É possível observar também que, o consórcio com plantas com potencial de solubilizar o fósforo proporcionou contraste à essa variável, na medida em que plantas como o Feijão-caupí, possuem capacidade de se associar com bactérias que favorecem o processo. Deepa et al. (2010) observaram alta capacidade de associação para esta cultura com bactérias do gênero *Enterobacter*, estas por sua vez, promovem a transformação de formas insolúveis de fósforo. Outras espécies, como o trigo-mourisco, possuem capacidade de liberar flavonoides que estimulam a hidrólise de compostos fosfatados, principalmente daqueles relacionados com o cálcio, elevando então, o potencial de mobilização do nutriente em plantios subsequentes (TEBOH e FRANZEN, 2011).

Para os tratamentos 1 e 4, o fósforo ligado a óxidos apresenta maior expressividade. Essa característica pode ser explicada, possivelmente, em decorrência dos óxidos de Fe e Al<sup>3+</sup> que, mesmo em baixas concentrações, estão presentes na fração argila do solo, estes por sua vez, sofrem menor competição pelos sítios de adsorção nas áreas de pousio. Bezerra et al. (2015) explicam que as áreas de pousio, quando comparadas à sistemas de rotação/sucessão de culturas, possuem maior carência quanto ao teor de ácidos fúlvicos, os quais competem pelos sítios de adsorção, resultando em maiores frações de fósforo ligadas aos óxidos.

Devido à grande complexidade de fatores que podem estar relacionados com o comportamento das variáveis obtidas, o histórico de adubações também deve ser considerado à critério de análise. Wan et al. (2020) observou que os regimes de fertilização a longo prazo também podem afetar o fracionamento das formas disponíveis de fósforo, afetando a sua abundância e ciclagem por bactérias que participam do ciclo do nutriente. Também deve ser considerado, que a própria acidez do solo pode ter influenciado a solubilidade do fósforo, já que os fosfatos ligados ao Fe e ao Al<sup>3+</sup> possuem influência no controle da solubilidade do fósforo inorgânico (Tian et al., 2017). Segundo Roboredo et al. (2012) a acidificação de solos arenosos promove aumentos na fração inorgânica do fósforo, devido a redistribuição antecipada da disponibilidade dele.

A figura 5 mostra a rede de correlações, resultante da matriz de correlação de Pearson, entre as frações de fósforo obtidas pelo método sequencial. Observou-se alta correlação positiva

entre a fração de fósforo sorvida (PSO) com a fração de fósforo orgânica (POR) e com o fósforo em cálcio (PCA). O aumento nessas frações, deve-se possivelmente, ao fator quantidade, pois na medida em que são incrementadas parte das formas disponíveis às plantas, aumenta-se a taxa de adsorção, que por meio do incremento no reservatório de POR, houve tamponamento das formas mais lábeis de fósforo inorgânico, devido ao aumento também da mineralização (LEITE et al., 2016).

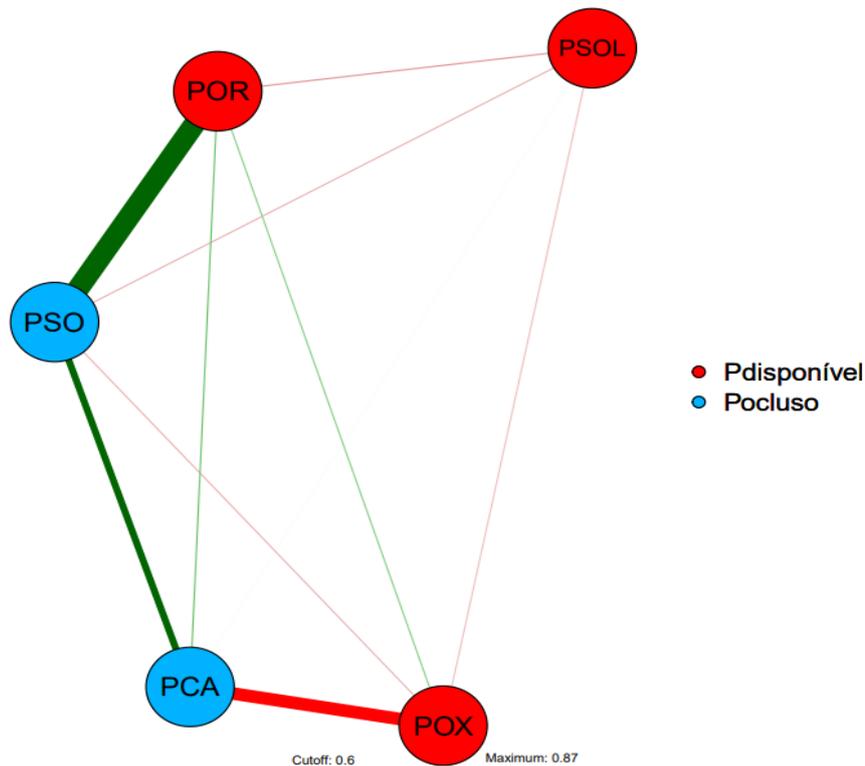


Figura 5. Rede de correlação entre as formas disponíveis de fósforo do solo na camada de 0-10. Fósforo sorvido (PSO), Fósforo total (PTO), Fósforo solúvel (PSOL), Fósforo oxidável (POX), Fósforo orgânico (POR) e Fósforo em cálcio (PCA).

A presença de fertilizantes fosfatados, provenientes da adubação do algodão, na camada superficial também deve ser discutida, pois como o solo sendo arenoso, dificilmente proporcionará condições de pH à solubilização de fosfatos de cálcio presentes no meio (INÁCIO et al., 2020). Vale ressaltar também que estes resultados ainda podem estar subestimados na camada de 0-10 cm, devido ao teor de óxidos de Fe serem insuficientes para interagirem com o P incrementado na última adubação, fazendo com que o fósforo flua na solução do solo, e por percolação e precipitação, encontre-se nas camadas mais profundas (SCHMITT et al., 2013).

Um outro fator que acarreta a adsorção do fósforo e a sua relação com a presença de fósforo ligado a formas de cálcio é que, diferente da aplicação sucessiva de adubação fosfatada, como é realizada em cultivos sucessivos, os carbonatos de cálcio possuem menor influência na saturação dos sítios de sorção de P, e quando saturados, apresentam aumento de cargas negativas semipermanentes, que diminuem o potencial elétrico das partículas coloidais (VINHA et al., 2021).

Verifica-se também que o aumento do teor de fósforo ligado às formas de cálcio promove decréscimo na quantidade de fósforo oxidável. Isso se dá por causa da capacidade de íons de  $\text{Ca}^{+2}$  aumentarem o pH e promover deslocamento de íons de  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{H}^+$  e  $\text{Fe}^{+3}$ , resultando em diminuição da capacidade, a qual esses íons tinham antes, de se ligar ao P (KISINYO et al., 2013).

## **CONCLUSÕES**

A maior permanência de cobertura vegetal proporciona ao sistema maior teor de fósforo solúvel à cultura subsequente, em solo arenoso.

Os maiores teores de P sorvido estão correlacionados ao sistema de rotação soja-algodão com pousio na safrinha.

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## **REFERÊNCIAS**

- BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.
- BARROW, N. J.; SEN, A.; ROY, N.; DEBNATH, N. The soil phosphate fractionation fallacy. **Plant and Soil**, v. 459, n. 1, p. 1-11, 2021.

BEZERRA, R. P.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1287-1306, 2015.

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, L. P. O.; SILVEIRA, M. V. Eficiência de genótipos de *Brachiaria brizantha* Stapf. (Syn: *Urochloa brizantha*) na produção de biomassa sob aplicação de fósforo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 4, p. 1133-1140, 2015.

CALHEIROS, A. S.; SILVA, J. P. S.; OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Nível crítico de fósforo por diferentes extratores químicos em Neossolo Flúvico alcalino cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n.4, p. 590-596, 2012.

DAMACENO, J. B. D.; LOBATO, A. C. N.; GAMA, R. T.; SILVA, C. A.; MARTINS, J. K. D.; OLIVEIRA, D. M.; TUCCI, C. A. F.; FALCÃO, N. P. S.; FERREIRA, E. Agronomic efficiency of bone meal under acidification in *Brachiaria ruziziensis* dry matter production in Western Amazon. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 34, n. 4, p. 1-7, 2019.

DEEPA, C. K.; DASTAGER, S. G.; PANDEY, A. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria from non-rhizospheric soil and their effect on cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seedling growth. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 26, n. 1, p. 1233-1240, 2010.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **J. Environ. Qual.**, v. 6, p. 82-85, 1977.

GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems. **Geoderma**, v. 385, n. 1, 2021.

GICHANGI, E. M.; NJUARI, D. M. G.; GATHERU, M.; MAGIROI, K. W. N.; GHIMIRE, S. R. Effects of *Brachiaria* grasses on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in soils of the semi-arid tropics of Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 19, n. 1, p. 193-203, 2016.

GONÇALVES, E. C. Qualidade do solo em diferentes sistemas de produção sob solo arenoso no cerrado. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, p. 57, 2022.

INÁCIO, A. C. F.; HARA, F. A. S.; VENDRUSCOLO, J.; COSTA NETO, P. Q.; SOUZA, L. C. C. Caracterização morfofisiológica de bactérias solubilizadoras de fosfatos provenientes da rizosfera de plantas alimentícias não convencionais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24567-24585, 2020.

KISINYO, P. O.; OTHIENO, C. O.; GUDU, S. O.; OKALEBO, J. R.; OPALA, P. A.; MAGHANGA, J. K.; NG'ETICH, W. K.; AGALO, J. J.; OPILE, R. W.; KISINYO, J. A.; OGOLA, B. O. Phosphorus Sorption and Lime Requirements of Maize Growing Acid Soils of Kenya. **Sustainable Agriculture Research**, v. 2, n. 2, p. 116-123, 2013.

LEITE, J. N. F.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; ANDRIOLI, I.; BRAOS, L. B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 11, p. 1880-1889, 2016.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T., 1997. In: RAIJI, B. V.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.; (Eds). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, 2. Ed. Fundação IAC, Campinas, 285p.

MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; ROSA NETO, L.; OLIVEIRA, Z. B.; OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, p.31- 36, 1962.

OLIVEIRA, L. C. A.; CARNEIRO, M. A.; LITTER, F. A.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; CAIONE, G. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, 2021.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e

produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CASTILHOS, A. M.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; MARTELLO, J. M.; SOUZA, D. M.; PROTES, V. M.; LONGHINI, V. Z.; FRANZLUEBBERS, A. J. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 35-54, 2017.

PINTO, L. A. S. R.; BEUTLER, S. J.; ASSUNÇÃO, S. A.; ROSSI, C. Q.; GUARESCHI, R. F.; ZANDONÁ, S. R.; SANTOS, O. A. Q. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, p. 34260-34278, 2020.

QUEVEDO, M. G.; CANEVER, M. D.; JANSEN, A. C.; SELAU, F. Ganhos comerciais na rotação das culturas de arroz e soja no Rio Grande do Sul. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 24, n. 2, 2022.

REBOREDO, M.; FANGUEIRO, D.; LAGE, S.; COUTINHO, J. Phosphorus dynamics in soils amended with acidified pig slurry and derived solid fraction. **Geoderma**, v. 18, n. 1, p. 328-333, 2012.

RODRIGUES, G. B.; SÁ, M. E. D.; VALÉRIO FILHO, W. W.; BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C.; PINA, T. P.; Matéria e nutrientes da parte de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 380-385, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

SCHMITT, D. E.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; TIECHER, T.; LORENSINI, F.; MELO, G. W. B.; GIROTTO, E.; GUARDINI, R.; HEINZEN, J.; BRUNETTO, G. Phosphorus fractions in sandy soils of vineyards in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 472-487, 2013.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de

cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

SURVE, V. H.; PATEL, C. L.; PATIL, P. L.; PISAL, R. R.; PATEL, R. D.; PATEL, D. A. Performance of Rabi niger [*Guizotia abyssinica* (L.) Cass] influenced by phosphorus management. **International Journal of Forestry and Crop Improvement**, v. 4, n. 1, p. 40-43, 2013.

SWAIN, M.; LAXMINARAYANA, K.; RAY, R. Phosphorus Solubilization by Thermotolerant *Bacillus subtilis* Isolated from Cow Dung Microflora. **Agricultural Research**, v. 1, p. 273-279, 2012.

TEBOH, J. M.; FRANZEN, D. W. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Potential to Contribute Solubilized Soil Phosphorus to Subsequent Crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 13, p. 1-7, 2011.

TIAN, J.; BOITT, G.; BLACK, A.; WAKELIN, S.; CONDRON, L. M.; CHEN, L. Accumulation and distribution of phosphorus in the soil profile under fertilized grazed pasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 239, n. 1, p. 228-235, 2017.

WAN, W.; LI, X.; HAN, S.; WANG, L.; LUO, X.; CHEN, W.; HUANG, Q. Soil aggregate fractionation and phosphorus fraction driven by long-term fertilization regimes affect the abundance and composition of P-cycling related bacteria. **Soil & Tillage Research**, v. 196, n. 1, 2020.