

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA INSTITUTO DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS CURSO DE
AGRONOMIA

ANDRÉ LUIZ FRANÇA GRUPIONI

MOBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO DE DIFERENTES FONTES

**UBERLÂNDIA –
MG 2025**

ANDRÉ LUIZ FRANÇA GRUPIONI

MOBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO DE DIFERENTES FONTES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA

MG 2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

G892 Grupioni, André Luiz França, 1999-
2025 MOBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO DE DIFERENTES FONTES
[recurso eletrônico] : MOBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO DE
DIFERENTES FONTES / André Luiz França Grupioni. - 2025.

Orientador: Hamilton Seron Pereira.

Coorientador: Hamilton Seron Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Pereira, Hamilton Seron, 1968-, (Orient.). II.
Pereira, Hamilton Seron, 1968-, (Coorient.). III. Universidade
Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

RESUMO

O fósforo (P) é um dos macronutrientes mais utilizados no país e necessário em níveis adequados a todas as culturas, para que essas possam ter seu desenvolvimento pleno. O fornecimento desse nutriente pode ser realizado por meio de diferentes fontes e cada fonte tem um comportamento diferente no solo. Diante disto, objetivou-se avaliar a movimentação do fósforo no solo de diferentes fontes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico e um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, com o delineamento experimental DIC, onde utilizou-se três tipos de fontes, sendo o MAP como fonte mineral e duas fontes líquidas sendo os fertilizantes Sollar e Sturdy. Os tratamentos foram aplicados com a dose de 1g por vaso de P_2O_5 . Para tal objetivo, utilizou-se um sistema de rizons, os quais possibilitaram a retirada diária de uma amostra diária da solução do solo em diferentes profundidades (5, 10, 15 e 20cm) e distâncias (1, 3, 5 e 10cm) a partir da fontes em um esquema fatorial 4x4 para profundidade e 4x4 para distância. Avaliou-se o teor de Fósforo no solo ao longo de 13 dias, em todas as localidades mencionadas, os dados foram submetidos ao teste de Scott-Knott. Os resultados indicaram que, no solo argiloso, a movimentação lateral e vertical foi restrita, concentrando-se nas camadas e distâncias mais próximas ao ponto de aplicação, com destaque para Sollar e Sturdy nos primeiros dias. No solo de textura média, observou-se maior mobilidade inicial, especialmente até 5 e 10 cm de profundidade, porém com redução acentuada nas camadas mais profundas em todos os tratamentos.

Palavras-chave: Mobilidade, líquido, fertilizantes, fontes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Importância do Fósforo na Agricultura.	6
2.2 Adsorção do Fósforo no solo.....	7
2.3 Movimentação do Fósforo.	8
2.4 Fontes de Fósforo	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Localização do Experimento e Delineamento experimental	10
3.2 Montagem do sistema de Rizon.....	11
3.3 Coletas	13
4. RESULTADOS E DISCURSÃO.....	14
4.1 Movimentação Horizontal do Fósforo no LVdt	14
4.2 Movimentação Vertical no LVdt	18
4.3 Movimentação Horizontal no LVAd	21
4.4 Movimentação Vertical no LVAd.....	25
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O Fósforo (P) é um dos macronutrientes mais requeridos pelas culturas sendo essencial níveis adequados do mesmo no solo para a produção de diversas culturas agrícolas, principalmente, por desempenhar diversas funções na planta. Atualmente, as principais fontes utilizadas para fornecer esse nutriente ao solo e as culturas, são as fontes minerais, sendo MAP, a mais utilizada.

Dentre os desafios enfrentados na busca por altas produtividades, a adsorção do Fosforo aos minerais de argila do solo, merece destaque, especialmente em solos intemperizados como os do Brasil, onde esse processo ocorre de forma mais acentuada (VILAR, et al.,2010). Esse processo é influenciado diretamente pelas características do ambiente, como minerais encontrados nos solos que apresentem os grupamentos Fe-OH e Al-OH, esses podem ser adsorvidos por meio de trocas ligantes que geram ligações covalentes. Além disso, a forma estrutural mineral e sua superfície específica podem potencializar o efeito de adsorção (MESQUITA FILHO E TORRENT ,1993).

Geralmente, o fósforo quase não tem movimentação e permanece onde é colocado pela intemperização dos minerais ou pela adubação, de forma a ficar retido nas camadas mais superficiais do solo. Mesmo havendo pouca perda de P por lixiviação, ainda se verifica que em solos com maiores teores de areia o fósforo pode se movimentar mais que em solos argilosos. A movimentação do fósforo no solo tem relação com a quantidade de argila presente nos solos, sendo aqueles que apresentam textura argilosa possuem movimentação reduzida e em solos de textura arenosa, tende-se a ter uma movimentação um pouco maior, porém, não se sabe quanto esse nutriente pode movimentar e o quanto a fonte utilizada pode interferir nessa movimentação e o quanto a adsorção influencia nessa movimentação (Sousa & Lobato, 2004; Novais et al., 2007).

Considerando esse comportamento restrito da mobilidade do fósforo no solo, surge a necessidade de explorar alternativas tecnológicas que possam ampliar sua disponibilidade e aproveitamento. Nesse contexto, a escolha da fonte fertilizante desempenha papel central e os fertilizantes líquidos se mostram promissores, apesar de ainda pouco conhecidos e utilizados no Brasil, seu uso é recente, mais de 90% das unidades produtoras de adubo iniciaram suas operações na década de oitenta (CACERES e KORNDORFER, 1988). Os fertilizantes líquidos apresentam algumas vantagens, como menor gasto com mão de obra, dosagens precisas, diversidade de formulações, permitindo uma adubação mais próxima da real necessidade do nutriente na área (SILVA e MALAVOLTA, 1982), além de que possibilitam menores custos nos quesitos operacionais como melhor controle de estoque no armazenamento, que por ser feito em tanques, dispensa a necessidade da construção de armazéns e a necessidade de sacos plásticos (TAMINI, 2008). Apesar disso, a eficiência, movimentação e qualidade desses fertilizantes líquidos ainda é pouco conhecida,

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a mobilidade horizontal e vertical do fósforo em solos de texturas contrastantes (argilosa e arenosa) a partir da aplicação de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, identificando padrões de liberação e distribuição do nutriente ao longo do tempo e em diferentes posições e profundidades em relação a fonte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do Fósforo na Agricultura

O Fósforo é um dos principais Macronutrientes necessários para o desenvolvimento pleno das culturas agrícolas, se a demanda da cultura por esse nutriente não for suprida corretamente, a perda de produtividade será grande, visto que, o fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos, assim, ele desempenha diversas funções metabólicas, fisiológicas e estruturais na planta (MALAVOLTA, 1996; HAMMOND; WHITE, 2008; OBERSTEINER et al., 2013).

Além disso, tem uma interação essencial com outros nutrientes, especialmente o nitrogênio. Há uma relação sinérgica entre ambos, onde o suprimento adequado de P potencializa a absorção e assimilação de nitrato, essencial para a síntese de proteínas. Em condições de deficiência de fósforo, observa-se diminuição na absorção e translocação de nitrato e acúmulo de aminoácidos, o que prejudica o desenvolvimento vegetal (FERNANDES, 2006). Isso se deve ao fato de que o transporte ativo de nitrato também depende de ATP, cuja produção está diretamente ligada ao suprimento de fósforo.

Caso as plantas enfrentem deficiência de fósforo estratégias adaptativas são desenvolvidas para aumentar a eficiência de uso e absorção. Sendo, redução no crescimento para conservar energia, maior produção de biomassa por unidade de P absorvido, remobilização de P_i interno, rotas metabólicas alternativas e alterações na respiração mitocondrial (VANCE et al., 2003; DANCER et al., 1990). Essas estratégias minimizam o impacto da escassez de fósforo e garantem o funcionamento básico das atividades metabólicas, mesmo sob restrição nutricional.

As plantas, precisam dispor de mecanismos eficientes para absorver esse nutriente

contra um forte gradiente de concentração, visto que ele é encontrado em baixas quantidades na solução do solo e a concentração de fósforo inorgânico (P_i) dentro das células vegetais pode ser até 100 vezes maior do que na solução do solo (Raghothama, 2000). Essa absorção exige energia e é mediada por um gradiente eletroquímico gerado por bombas de prótons ativadas por ATP, que acidificam o meio extracelular e tornam o interior celular negativo, favorecendo a entrada de P_i via simporte com H^+ (SMITH, 2002). A absorção do fósforo está relacionada ao pH do solo, sendo mais eficiente na faixa de 4,5 a 6,0, onde predomina a forma $H_2PO_4^-$ (FERNANDES, 2006; BIELESKI, 1973).

Portanto, compreender os mecanismos de movimentação do Fósforo e as particularidades desse elemento relacionados à seu melhor aproveitamento na agricultura é fundamental para a adoção de estratégias mais eficientes de manejo nutricional.

2.2 Adsorção do Fósforo no solo

Visto que, o fósforo é essencial às culturas, tem-se um fator importante a ser mencionado sobre esse nutriente, a adsorção do mesmo nas argilas do solo, o que o torna sua dinâmica no solo muito complexa, isso se dá pelo fato de que é um processo pelo qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de sólidos através de interações de natureza física e ou química. A substância ou o meio cuja superfície se processa a adsorção é chamado de adsorvente, enquanto adsorvato é a substância ou a partícula dissolvida ou fixada na superfície do adsorvente. (STAMFORD, 2006).

Desta forma, os fosfatos são os adsorvatos que são fixados às partículas sólidas do solo, os adsorventes como a fração argila. A adsorção de fosfato aos colóides do solo ocorre por ligação covalente (ligação química caracterizada pelo compartilhamento de elétron) também chamada de adsorção específica. Diferente da ligação iônica a ligação covalente é de baixa reversibilidade. De acordo com o grau de ligação entre os fosfatos e as partículas sólidas do solo, as ligações covalentes podem ser monodentadas, bidentadas ou binucleadas. Nas ligações monodentadas, um oxigênio do fosfato é ligado ao metal do coloide; nas ligações bidentadas, dois oxigênios do fosfato são ligados ao metal do coloide; e nas ligações binucleadas, dois oxigênios do fosfato são ligados a dois átomos do metal do coloide. (MARQUES, 2016).

Em relação à textura, quanto maior o teor de argila, maior a capacidade de adsorção do solo. Considerando as frações granulométricas do solo, a ordem de maior adsorção de P é a seguinte: argila > silte > areia fina > areia grossa. A argila proporciona maior capacidade de adsorção de fosfato, devido às suas cargas de superfície. Neste sentido, não só a quantidade,

como também o tipo e a qualidade da argila interferem na adsorção. As argilas silicatadas, como a caulinita, apresentam menor capacidade de adsorção em relação às argilas oxídicas. Dentre as oxídicas, os óxidos mal cristalizados apresentam maior capacidade de adsorção (PEREIRA, 2021).

De modo geral, o maior teor de matéria orgânica no solo reduz a adsorção de argila devido ao bloqueio dos sítios de adsorção por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como malato, oxalato e citrato (PEREIRA, 2021).

A adsorção de fosfato ocorre, principalmente, aos oxihidróxidos de Fe e Al, mas pode ocorrer também, em menor proporção, aos minerais silicatados e à matéria orgânica. A adsorção aos oxihidróxidos de Fe e Al ocorre, inicialmente, por uma atração eletrostática, seguida pela ligação covalente, por meio de trocas de ligante; as bordas das argilas silicatadas apresentam grupamentos OH e, ou, OH_2^+ , que, dependendo do pH do meio, proporcionam mecanismos de adsorção semelhante aos oxihidróxidos de Fe e Al; a matéria orgânica do solo pode apresentar pontes de cátions, como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} , conferindo o seu caráter aniônico, adsorvendo fosfato (PEREIRA, 2021).

2.3 Movimentação do Fósforo

A movimentação do fósforo no solo, ainda é pouco conhecida, apesar de ele ser um dos nutrientes mais estudados no país devido a sua dinâmica no solo, porém, em relação a movimentação tem se pouco conhecimento. É sabido que solos argilosos apresentam menor movimentação, visto que acumula mais cargas em sua superfície, enquanto solos arenosos demonstram uma maior movimentação e raramente perdido por lixiviação (KLEIN; AGNE, 2012)., devido a quantidade de argila e sua retenção na mesma, a movimentação fica restrita a camadas mais superficiais, próximo aonde o nutriente foi aplicado tendo uma baixa movimentação vertical e horizontal.

Ademais, os fertilizantes líquidos ainda são pouco estudados e utilizados no Brasil, na adubação via solo, visto que, a adubação foliar já é amplamente utilizada no país. Dessa forma, o estudo desses fertilizantes e sua aplicação no solo é essencial para se entender melhor sobre a mobilidade e outros fatores dessas fontes.

Pensando no fósforo e sua baixa mobilidade e alta capacidade de adsorção como citado anteriormente, a forma química do P se apresenta no solo tem uma relação direta com sua movimentação no, pois, as formas inorgânicas, como ortofosfatos (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), são mais solúveis, mas também altamente reativas, sendo rapidamente adsorvidas por minerais do solo,

o que restringe sua movimentação vertical no perfil. Em contrapartida, o P orgânico, que compreende monoésteres e diésteres de fosfato, apresenta menor afinidade por sítios de adsorção e, conseqüentemente, maior potencial de lixiviação, especialmente em solos arenosos ou com baixa capacidade de adsorção, (YANG et al., 2013), (TURNER et al., 2007).

Alguns fertilizantes líquidos minerais, podem apresentar compostos orgânicos na sua composição o que pode auxiliar em uma maior liberação do nutriente no solo. Adicionalmente, compostos orgânicos presentes em fertilizantes líquidos, como ácidos húmicos ou ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, láctico, fórmico), podem formar complexos com íons metálicos (Fe, Al, Ca), deslocando o Pi de seus sítios de adsorção e aumentando sua disponibilidade no solo (Gharu & Tarafdar, 2004). A competição desses compostos com o P por sítios de ligação reduz sua imobilização e favorece maior mobilidade.

3.4 Fontes de Fósforo

A eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados esta relacionada a características intrínsecas do solo, que diz respeito a capacidade de adsorção, quantidade e tipo de argila, pH, teor de matéria orgânica e teores totais e biodisponíveis de P (LARSEN, 1967; SANCHEZ; UEHARA, 1980. CHIEN, HAMMOND, 1989). Além disso, a mineralogia/cristalografia da rocha fosfática, grau de acidulação, solubilidade, granulometria dos fertilizantes, composição ou quaisquer outros fatores relacionados à natureza do fertilizante também influenciam em sua na eficiência. (SAMPLE, SOPER; RACZ, 1980). Há também que se levar em conta modos de aplicação e a cultura CHIEN; MENON, 1995).

No que diz respeito as fontes convencionais de P, existem basicamente duas rotas de solubilização do fósforo para a produção de fertilizantes: via úmida e via térmica. A primeira caracteriza-se pelo ataque com ácido sulfúrico ao concentrado fosfático que, dependendo das condições do processo e da reação estequiométrica, pode produzir diretamente superfosfato simples, fosfato parcialmente acidulado ou ainda ácido fosfórico. Este, por sua vez, pode originar o superfosfato triplo (obtido pelo ataque do ácido fosfórico ao concentrado). Os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP) são obtidos pela reação entre o ácido fosfórico e a amônia em proporções adequadas (IPT, 1990).

Novas tecnologias para produção de fertilizantes estão sendo desenvolvidas para suprir a demanda nacional quanto à redução de importação de nutrientes. Alternativas como o aproveitamento de nutrientes provenientes da pecuária, como a tecnologia de produção de fertilizantes orgânicos e organominerais estão sendo testadas e propostas para uso nos sistemas

de produção agrícola (Ferreira, 2014).

Outro exemplo são fontes minerais líquidas que por conterem substâncias orgânicas em sua formulação, apresentam uma menor afinidade com a fase sólida do solo, assim, é menos suscetível a adsorção nas argilas e, conseqüentemente, uma maior movimentação do fósforo pode ocorrer na solução do solo, fontes minerais como o MAP não apresentam qualquer tipo de forma orgânica (CARNEIRO et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento e delineamento experimental

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação localizada no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, campus glória, Uberlândia – MG. Utilizou-se delineamento inteiramente causalizado (DIC), esquema fatorial 4x4, com quatro repetições por fonte, sendo: MAP com 52% de P_2O_5 , fertilizante líquido Sollar com 20% de P_2O_5 em sua composição e o fertilizante líquido Sturdy com 30% de P_2O_5 em sua composição e uma testemunha absoluta.

A dose aplicada do nutriente é de 1 mgdm^3 para todos os vasos, escolheu-se um Latossolo Vermelho distrófico e um solo de textura média, sendo um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Tabela 1). Cada um dos vasos foram corrigidos com carbonato de cálcio contendo 36,6% de Ca e carbonato de magnésio contendo 21,7 de Mg na dose de 15 mg/dm^3 em que houve a incorporação no solo desse corretivo e os vasos foram regados até a capacidade de campo. Após 15 dias sendo o período para que a correção do solo ocorra, iniciou-se a instalação do experimento.

Utilizou-se vasos de PVC de 30cm de diâmetro e 30cm de altura, preenchidos com 20 dm^3 de solo (Figura 1 e 2) como parcela experimental.



Figura 1. Vastos com solo de textura argilosa



Figura 2. Vastos com solo de textura média.

Tabela 1. Caracterização física do solo utilizado neste experimento.

Solos	Areia	Silte	Argila
	Total	g kg ⁻¹	
LVdt – Latossolo Vermelho Distrófico Típico	173	209	617
LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	358	292	350

Análise textural pelo Método da Pipeta (SILVA, 2009).

3.2 Montagem do sistema de Rizon

Em seguida, após o prazo para a correção dos vasos, foram posicionados os rizons (Figura 3), o qual se comporta como um extrator de solução do solo e consiste em um tubo de plástico que em sua extremidade tem uma membrana porosa responsável por coletar a solução do solo, em cima uma conexão apropriada para encaixar a seringa. Ao encaixar a seringa e puxá-la um vácuo será criado, para manter esse vácuo trava-se essa seringa com pequeno pedaço de madeira, mostrado na (Figura 5). Os rizons foram posicionados em órbita em relação ao outro (Figura 4).



Figura 3. Demonstração Rizon.



Figura 4. Rizons instalados no vaso.



Figura 5. Rizons com seringa.

Dessa forma, quatro rizons foram posicionados horizontalmente e três rizons posicionados verticalmente no solo, sendo o rizon um posicionado a um cm da fonte, o rizon dois a três cm da fonte, o rizon três a cinco cm da fonte e o quarto rizon a 10 cm da fonte horizontalmente. No caso dos verticais, posicinou-se o rizon cinco a cinco cm de profundidade da fonte o rizon seis a 15 cm de profundidade da fonte e o rizon sete a 20 cm de profundidade da fonte, sendo a fonte posicionada ao centro do vaso em 5 cm de profundidade em todas as parcelas. Totalizando sete Rizons em cada vaso (Figura 6).

Em seguida os espaços no centro do vaso foram abertos, e os fertilizantes devidamente posicionados, MAP com o auxílio de um copo plástico e o Sollar e o Sturdy com uma seringa de 10 ml em seguida, cobriu-se com terra, todos com sua respectiva dose e na profundidade de 5cm, em seguida foi realizada a rega para o vaso ficar na capacidade de campo, e assim, foi feito diariamente.

O regime hídrico adotado baseou-se na pesagem dos vasos previamente levados à capacidade de campo, ou seja, ao ponto em que o solo retém a quantidade ideal de água após o excesso ter drenado. Cada vaso foi pesado nesse estado, e esse valor foi registrado como referência. A irrigação foi realizada manualmente todos os dias, utilizando regadores e aplicando a água diretamente e com cuidado sobre o solo. A quantidade de água a ser reposta foi determinada com base na perda de peso do vaso: para cada grama perdida em relação ao peso de referência, adicionava-se 1 mL de água. Após essa etapa, os rizons foram colocados para gerar o vácuo e coletar essa solução nas seringas.

3.3 Coletas

As coletas se iniciaram um dia após a instalação do experimento, os rizos foram identificados por etiquetas com sua numeração, a solução das seringas foi armazenada em flaconetes de 10 ml identificados com seus respectivos tratamentos e repetições. Posteriormente, eram armazenados em sacos plásticos, também identificados (Figura 6). Assim, foi realizado diariamente por 8 dias, no entanto, visto que, foi quando houve estabilização dos teores de fósforo.

Posteriormente, realizou-se a análise em laboratório, pelo método de Melich, utilizando o espectrofotômetro de luz para determinar o valor em mg dm^3 do nutriente em cada amostra, mostrando aonde se tem ou não a presença do fósforo na solução do solo. Assim, demonstrando a sua movimentação e os teores de P liberados na solução do solo por cada fonte.

Ao final do experimento, os dados coletados foram submetidos a análise estatística utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2000). A fim de comparar os diferentes tratamentos, avaliando - os ao longo dos dias e comparando as posições. Para isso, aplicou-se a análise de variância. Quando os resultados foram significativos, foi utilizado o teste de Scott Knott para a significância de 5%.



Figura 6. Rizos instalados.



Figura 7. Coletas realizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Movimentação horizontal do Fósforo no LVdt

Tabela 3. Análise da variância do Teor de P para posições horizontais no LVdt.

Dia	Tratamento	Distância Horizontal (cm)			
		1	3	5	10
1	Testemunha	0,30 Ab	2,10 Aa	0,30 Aa	0,20 Aa
	MAP	0,52 Ab	0,25 Aa	0,25 Aa	0,30 Aa
	Sollar	99,70 Aa	1,67 Ba	0,78 Ba	0,38 Ba
	Sturdy	36,73 Ab	8,87 Aa	0,43 Aa	0,40 Aa
2	Testemunha	0,20 Ad	0,40 Aa	0,20 Aa	0,20 Aa
	MAP	114,42 Ac	0,72 Ba	0,13 Ba	0,225 Ba
	Sollar	671,90 Aa	22,97 Ba	1,85 Ba	0,95 Ba
	Sturdy	366,10 Ab	2,55 Ba	1,98 Ba	0,175 Ba
3	Testemunha	0,20 Ad	0,40 Aa	0,20 Aa	0,20 Aa
	MAP	154,07 Ac	4,25 Ba	1,45 Ba	0,52 Ba
	Sollar	398,28 Aa	23,15 Ba	1,05 Ba	0,45 Ba
	Sturdy	248,15 Ab	4,45 Ba	1,83 Ba	1,65 Ba
4	Testemunha	0,20 Ac	0,20 Aa	0,20 Aa	0,20 Aa
	MAP	63,43 Ac	3,65 Aa	0,53 Aa	0,30 Aa
	Sollar	304,00 Aa	24,85 Ba	1,38 Ba	1,30 Ba
	Sturdy	179,25 Ab	4,20 Ba	0,93 Ba	0,32 Ba
5	Testemunha	0,20 Ab	0,10 Aa	0,10 Aa	0,10 Aa
	MAP	72,47 Aa	1,00 Aa	0,93 Aa	0,22 Aa
	Sollar	132,97 Aa	41,85 Ba	0,43 Ba	0,42 Ba
	Sturdy	79,40 Aa	1,85 Aa	0,40 Aa	0,10 Aa
6	Testemunha	0,20 Ab	0,10 Aa	0,10 Aa	0,10 Aa
	MAP	109,80 Aa	1,90 Ba	0,65 Ba	0,30 Ba
	Sollar	123,75 Aa	2,58 Ba	0,48 Ba	0,32 Ba
	Sturdy	45,97 Ab	0,75 Aa	0,30 Aa	0,02 Aa
7	Testemunha	0,20 Ac	0,10 Aa	0,10 Aa	0,10 Aa
	MAP	283,75 Aa	20,45 Ba	0,65 Ba	0,30 Ba
	Sollar	217,75 Aa	20,05 Ba	0,48 Ba	0,32 Ba
	Sturdy	148,57 Ab	0,75 Ba	0,30 Ba	0,02 Ba
8	Testemunha	0,20 Aa	0,10 Ad	0,10 Aa	0,1 Aa
	MAP	42,40 Aa	9,37 Ad	0,45 Aa	0,2 Aa
	Sollar	96,87 Aa	2,45 Bd	0,68 Ba	0,325 Ba
	Sturdy	74,05 Aa	0,95 Ad	0,45 Aa	0,275 Aa

Médias seguidas por letra minúscula iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

No LVdt (Tabela 3), observa-se que o fósforo permaneceu majoritariamente concentrado a 1 cm da fonte em todos os tratamentos, corroborando a baixa mobilidade característica desse nutriente em função da elevada capacidade de adsorção de solos argilosos (Novais et al., 2007; Sousa & Lobato, 2011).

O MAP apresentou teores elevados apenas na posição de 1 cm no dia 1, sem diferenças estatísticas em maiores distâncias, comportamento típico de fertilizantes inorgânicos solúveis cuja difusão é rapidamente limitada pela fixação em óxidos de Fe e Al (Kang et al., 2011; Castro et al., 2015). O Sturdy seguiu padrão semelhante, registrando valores expressivos a 1 cm, mas sem indícios consistentes de movimentação horizontal.

Já a fonte Sollar destacou-se pelo maior teor absoluto de P nos primeiros dias, diferentemente das demais, apresentou valores detectáveis a 3 cm. Embora esses teores sejam menores em comparação ao ponto de aplicação, eles sugerem maior difusão lateral inicial, possivelmente associada à sua elevada solubilidade e rápida liberação (Eissa, 2014; Azevedo et al., 2018).

Entretanto, em 5 e 10 cm não se observaram diferenças estatísticas em nenhum tratamento, indicando que mesmo fontes de maior solubilidade não foram capazes de promover movimentação substancial do P em distâncias maiores. Esses resultados confirmam a hipótese de mobilidade restrita do fósforo no solo, mas apontam que a fonte Sollar pode ter potencial para difusão lateral ligeiramente superior em condições específicas de solo e tempo.

Gráfico 1. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Horizontal a 1 cm da fonte.

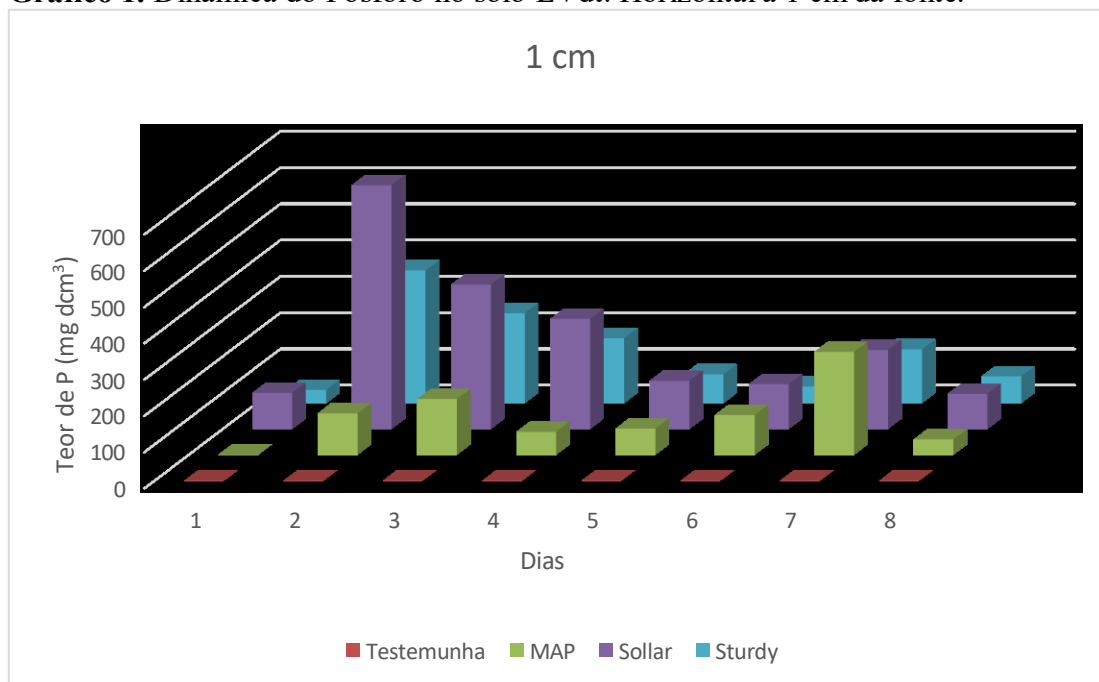


Gráfico 2. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Horizontal a 3 cm da fonte.

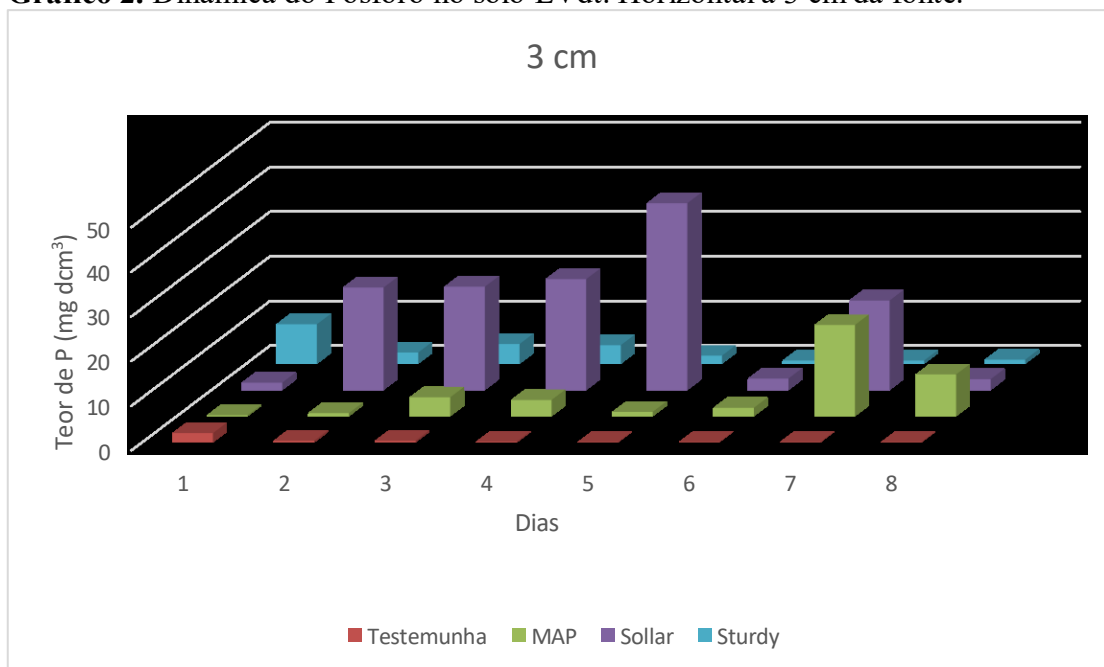


Gráfico 3. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Horizontal a 5 cm da fonte.

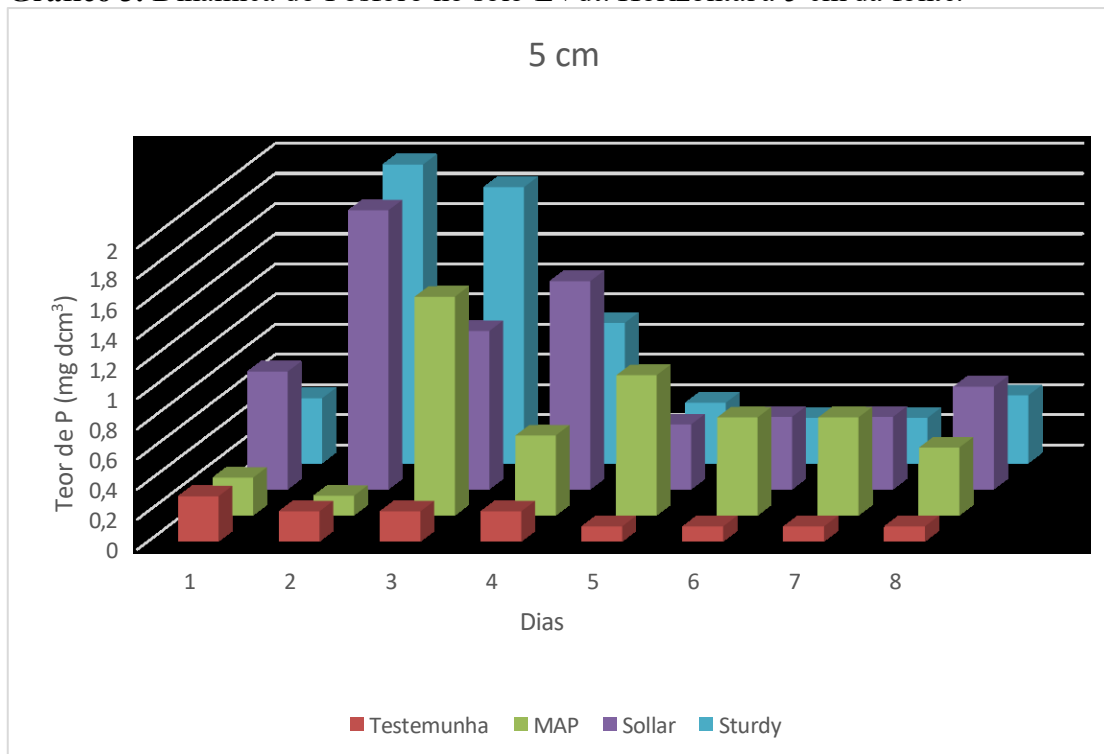
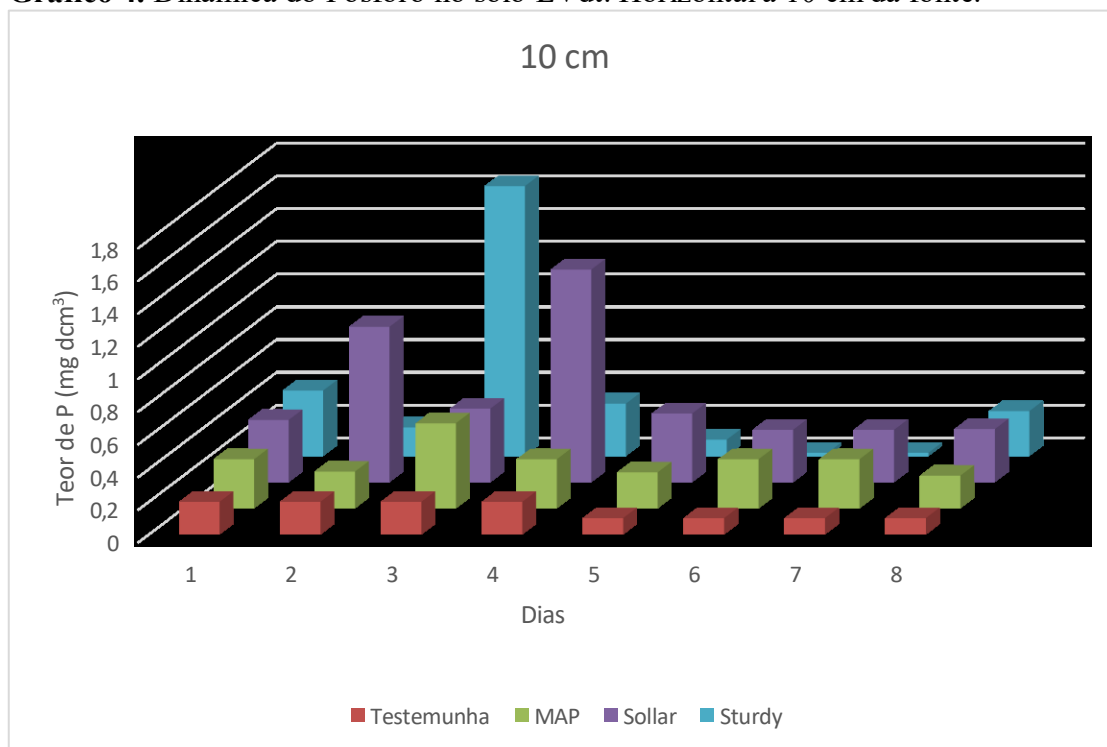


Gráfico 4. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Horizontal a 10 cm da fonte.

4.3 Movimentação Vertical do Fósforo no LVdt

Tabela 4. Análise da variância do Teor de P para posições verticais no LVdt.

Dia	Tratamento	Distância Vertical (cm)			
		5	10	15	20
1	Testemunha	0,10 Ab	0,30 Aa	0,10 Aa	0,10 Aa
	MAP	31,00 Ab	0,52 Aa	0,72 Aa	0,45 Aa
	Sollar	398,00 Aa	99,70 Ba	18,45 Ba	0,57 Ba
	Sturdy	346,45 Aa	36,73 Ba	12,07 Ba	2,50 Ba
2	Testemunha	0,00 Ac	0,20 Ac	0,10 Aa	0,10 Aa
	MAP	692,57 Aa	114,42 Bc	2,15 Ba	0,45 Ba
	Sollar	347,30 Bb	671,90 Aa	2,32 Ca	0,57 Ca
	Sturdy	511,27 Ab	366,10 Ab	30,20 Ba	2,50 Ba
3	Testemunha	0,00 Ab	0,20 Ab	0,30 Aa	0,10 Aa
	MAP	190,87 Aa	154,07 Ab	8,42 Ba	1,45 Ba
	Sollar	334,82 Aa	398,28 Aa	1,85 Ba	0,40 Ba
	Sturdy	153,35 Aa	248,15 Aa	47,55 Ba	2,47 Ba
4	Testemunha	0,00 Ab	0,20 Ac	0,10 Aa	0,00 Aa
	MAP	365,40 Aa	63,43 Bc	7,65 Ba	3,62 Ba
	Sollar	179,55 Ab	304,00 Aa	3,65 Ba	0,82 Ba
	Sturdy	76,20 Ab	179,25 Ab	34,50 Aa	1,50 Aa

5	Testemunha	0,00 Aa	0,20 Aa	0,10 Aa	0,00 Aa
	MAP	146,90 Aa	72,47 Aa	3,62 Aa	2,00 Aa
	Sollar	133,97 Aa	132,97 Aa	1,25 Ba	1,47 Ba
	Sturdy	56,62 Aa	79,40 Aa	2,75 Aa	1,05 Aa
6	Testemunha	0,00 Aa	0,20 Aa	0,10 Aa	0,00 Aa
	MAP	55,80 Aa	109,80 Aa	1,32 Aa	0,92 Aa
	Sollar	107,10 Aa	123,75 Aa	0,80 Aa	0,40 Aa
	Sturdy	88,70 Aa	45,97 Aa	2,10 Aa	1,15 Aa
7	Testemunha	0,00 Ab	0,20 Ab	0,10 Aa	0,00 Aa
	MAP	128,70 Ba	283,75 Aa	1,32 Ba	1,27 Ba
	Sollar	209,95 Aa	217,75 Aa	0,80 Ba	0,40 Ba
	Sturdy	126,67 Aa	148,57 Aa	1,72 Aa	0,40 Aa
8	Testemunha	0,10 Aa	0,20 Aa	0,10 Aa	0,1 Aa
	MAP	105,30 Aa	42,40 Aa	2,15 Aa	0,52 Aa
	Sollar	71,42 Aa	96,87 Aa	1,82 Aa	0,39 Aa
	Sturdy	31,45 Aa	74,05 Aa	1,75 Aa	0,42 Aa

Médias seguidas por letra minúscula iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar a Tabela 4, nota-se que a testemunha apresentou teores baixíssimos e estáveis em todos os dias e profundidades. Isso confirma que o solo possui baixo P disponível naturalmente, o que é comum em Latossolos distróficos altamente intemperizados, devido à forte adsorção do fósforo aos óxidos de Fe e Al (Novais et al., 2007; Sousa & Lobato, 2011). Com relação ao MAP, as maiores concentrações de P se encontram próximo à superfície (5 cm), principalmente nos primeiros dias (até o 4º dia, chegando a 692 mg/dm³ no dia 2).

Com o tempo, há redução expressiva e baixa mobilidade vertical, com teores <10 mg/dm³ abaixo de 15 cm. Isso mostra que o MAP libera o P rapidamente, mas o nutriente fica retido nas camadas superficiais, comportamento típico de fontes altamente solúveis, que sofrem fixação por adsorção em óxidos de Fe e Al. (Novais et al., 2007; Condron et al., 2005).

Nos primeiros dias, o Sollar apresentou os maiores teores superficiais, com maior movimentação vertical (até 15 cm em pequenas quantidades). O Sturdy também mostrou alta concentração inicial, mas distribuição mais gradual em profundidade. Esses resultados indicam que ambas as fontes líquidas têm maior mobilidade vertical do que o MAP, especialmente, nos primeiros dias, possivelmente devido à sua formulação fluida e presença de complexantes que reduzem a adsorção de P (Gatiboni et al., 2007; Corrêa et al., 2018).

O teor de P diminui em todos os tratamentos a partir do 4º dia, indicando rápida fixação do fósforo no solo. Nos últimos dias (6º a 8º), os valores tendem a estabilizar, com pequenas diferenças entre os extratores, mostrando que a maior parte do P aplicado já havia sido adsorvida ou precipitada. (Fink et al., 2016; Roy et al., 2016).

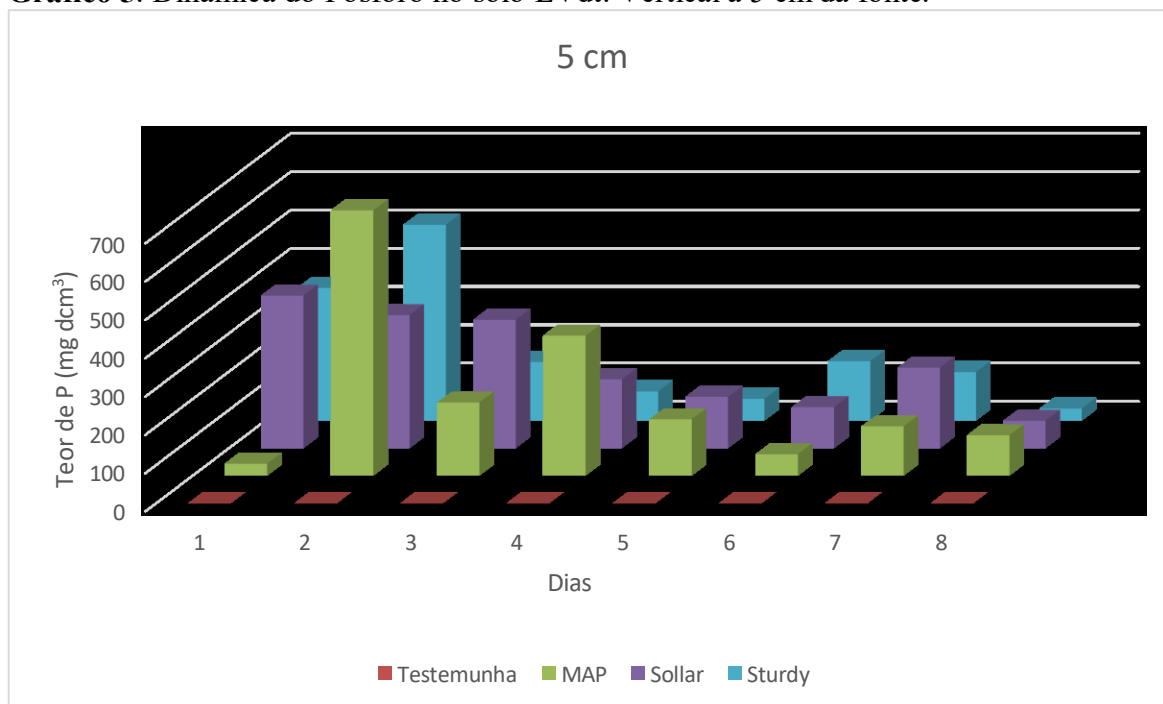
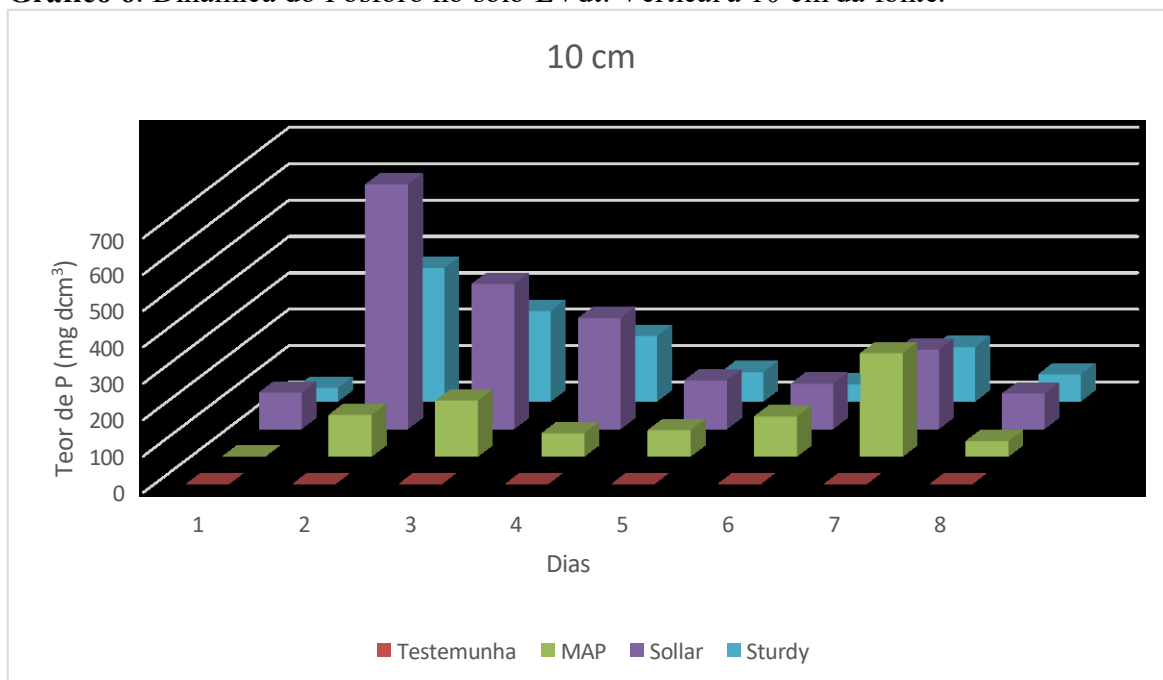
Gráfico 5. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Vertical a 5 cm da fonte.**Gráfico 6.** Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Vertical a 10 cm da fonte.

Gráfico 7. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Vertical a 15 cm da fonte.

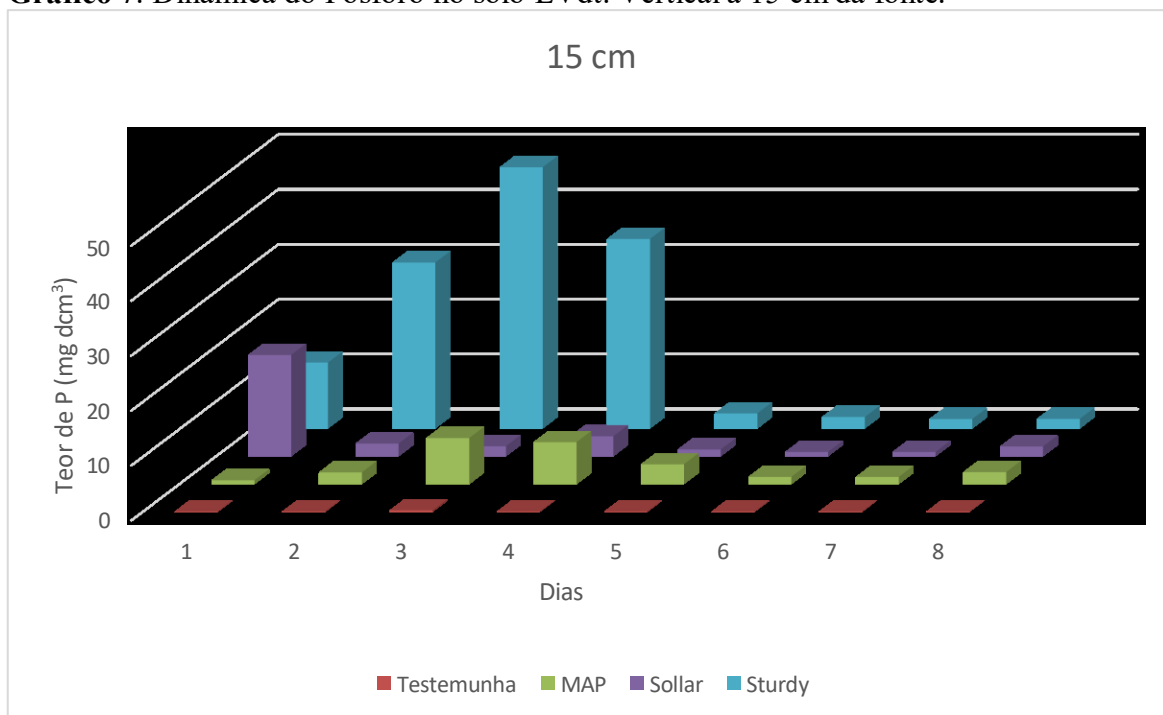
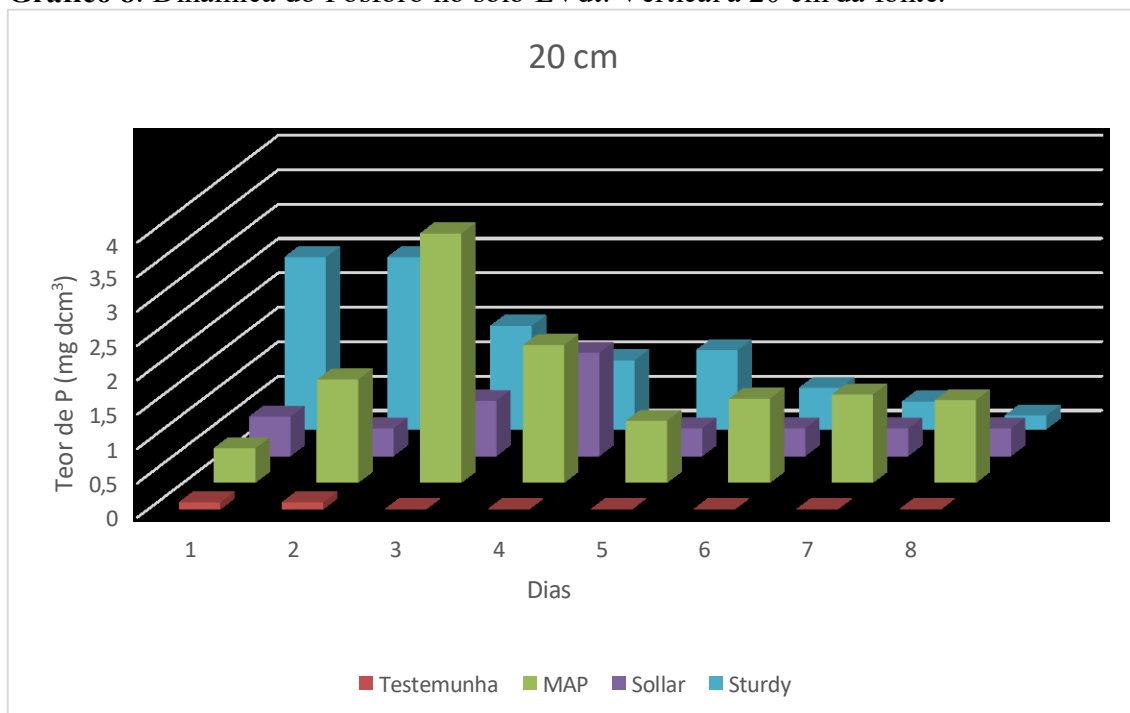


Gráfico 8. Dinâmica do Fósforo no solo LVdt. Vertical a 20 cm da fonte.



4.4 Movimentação Horizontal no LVAd.

Tabela 5. Análise da variância do Teor de P para posições horizontais no LVAd.

Dia	Tratamento	Distância horizontal (cm)			
		1	3	5	10
1	Testemunha	0,15 Aa	0,23 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	2,28 Aa	0,9 Aa	2,17 Aa	1,09 Aa
	Sollar	10,49 Aa	7,90 Aa	1,93 Aa	1,63 Aa
	Sturdy	9,82 Aa	10,51 Aa	5,27 Aa	1,15 Aa
2	Testemunha	0,15 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	35,63 Ab	1,37 Aa	2,89 Aa	1,47 Aa
	Sollar	161,23 Aa	7,18 Ba	0,73 Ba	1,82 Ba
	Sturdy	258,43 Aa	79,84 Ba	2,70 Ca	2,83 Aa
3	Testemunha	0,05 Ac	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	7,09 Ac	1,41 Aa	1,20 Aa	0,55 Aa
	Sollar	181,89 Ab	2,10 Ba	0,38 Ba	0,39 Ba
	Study	269,24 Aa	2,65 Ba	0,83 Ba	0,31 Ba
4	Testemunha	0,05 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	131,75 Aa	1,70 Ba	1,62 Ba	0,18 Ba
	Sollar	135,81 Aa	2,67 Ba	0,54 Ba	0,25 Ba
	Study	194,94 Aa	3,46 Ba	0,96 Ba	0,27 Ba
5	Testemunha	0,05 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	161,07 Aa	1,48 Ba	0,36 Ba	0,18 Ba
	Sollar	166,37 Aa	1,53 Ba	0,33 Ba	0,06 Ba
	Study	149,15 Aa	0,96 Ba	0,40 Ba	0,14 Ba
6	Testemunha	0,05 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	117,30 Ab	10,66 Ba	0,12 Ba	0,18 Ba
	Sollar	81,92 Aa	0,59 Aa	0,20 Aa	0,06 Aa
	Study	45,39 Aa	0,31 Aa	0,23 Aa	0,12 Aa
7	Testemunha	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	8,06 Aa	10,60 Aa	1,39 Aa	0,22 Aa
	Sollar	22,72 Aa	1,25 Aa	2,36 Aa	0,87 Aa
	Study	24,23 Aa	0,31 Aa	0,46 Aa	0,25 Aa
8	Testemunha	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	8,06 Aa	0,11 Aa	0,41 Aa	0,22 Aa
	Sollar	22,72 Aa	0,81 Aa	1,34 Aa	0,78 Aa
	Study	21,73 Aa	2,39 Aa	0,40 Aa	0,25 Aa

Médias seguidas por letra minúscula iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar a Tabela 5, nota-se que para o MAP, a concentração de P foi elevada apenas a 1 cm da fonte, especialmente, nos dias 4 e 5. Porém, à medida que a distância aumenta, os teores diminuem drasticamente, e nas posições de 5 e 10 cm não diferiram estatisticamente da testemunha em nenhum dos dias. Demonstrando que o MAP apresentou baixa difusão lateral,

com efeito concentrado exclusivamente no ponto de aplicação. Isso evidencia que, mesmo em solo de textura média, onde a retenção de P tende a ser menor, o MAP mantém comportamento de baixa mobilidade lateral, sendo rapidamente adsorvido pelos poucos sítios disponíveis ou precipitado com cátions presentes (Novais et al., 2007; Sousa & Lobato, 2011). Castro et al. (2015) destacam que em solos com maiores teores de areia apenas 20–30% do P aplicado via MAP se desloca além de 2 cm da fonte, confirmando o padrão restritivo observado.

O Sollar apresentou comportamento distinto, com altos valores a 1 cm nos dias iniciais, mas também com presença de P a 3 e até 5 cm em determinados momentos. No dia 1, por exemplo, o teor médio foi de 10,49 mg/kg a 1 cm e 7,90 mg/kg a 3 cm, indicando um gradiente menos abrupto que o observado no MAP. Ainda que as diferenças estatísticas entre distâncias nem sempre tenham sido significativas, as médias sugerem que o Sollar promoveu maior deslocamento lateral do fósforo em comparação às demais fontes. Nascimento et al. (2018) mostraram que, em solos de textura média e arenosa, fertilizantes com alta solubilidade apresentaram difusão até 5 cm, principalmente nos primeiros dias.

O Sturdy apresentou um perfil intermediário. Nos dias 2 e 3, exibiu valores elevados a 1 cm, mas com destaque para o dia 2, quando se observou um valor superior ao MAP e Sollar na distância de 3 cm, superior ao registrado para MAP e Sollar nesta mesma distância. Esse resultado sugere que, embora o Sturdy tenha comportamento semelhante ao Sollar na proximidade da fonte, ele pode apresentar, maiores teores laterais, possivelmente devido à sua liberação mais lenta ou à interação com a matriz do solo. Quintero (2022) destaca que fertilizantes de solubilidade intermediária podem reduzir perdas por fixação imediata, permitindo uma mobilidade mais consistente no tempo.

Gráfico 9. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Horizontal a 1 cm da fonte.

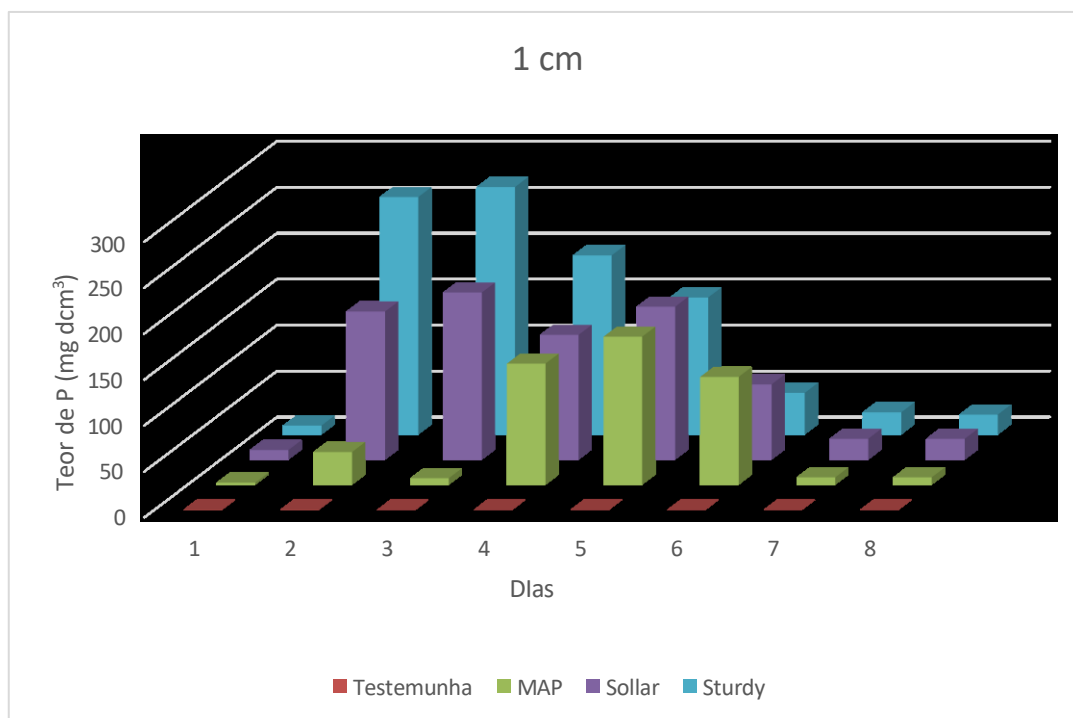


Gráfico 10. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Horizontal a 3 cm da fonte.

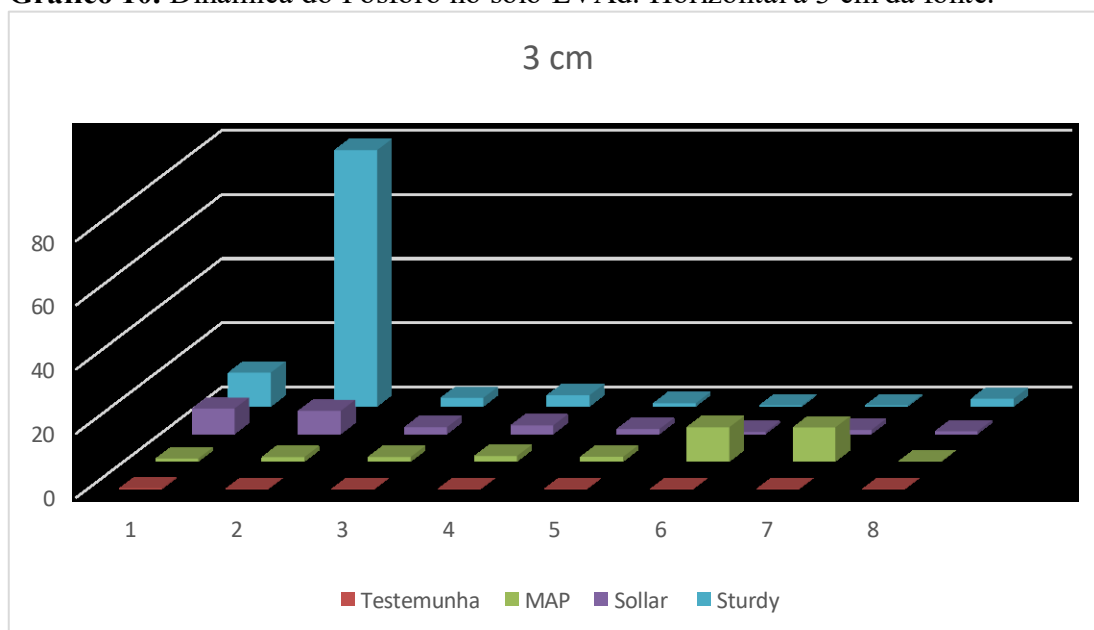


Gráfico 11. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Horizontal a 3 cm da fonte.

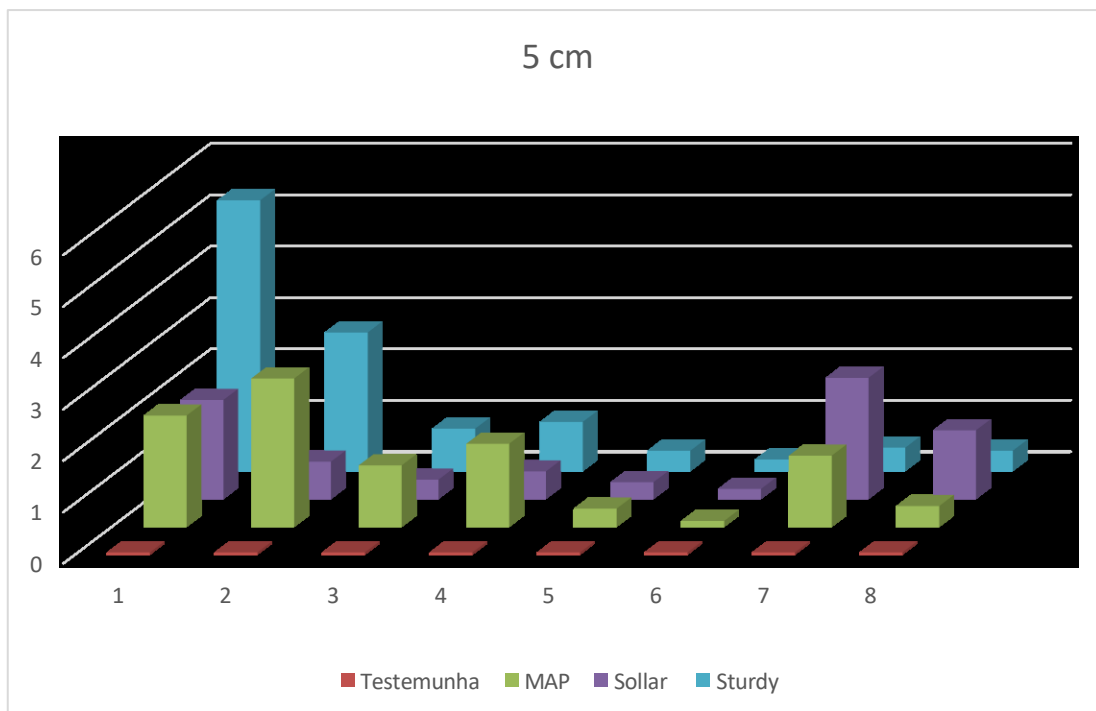
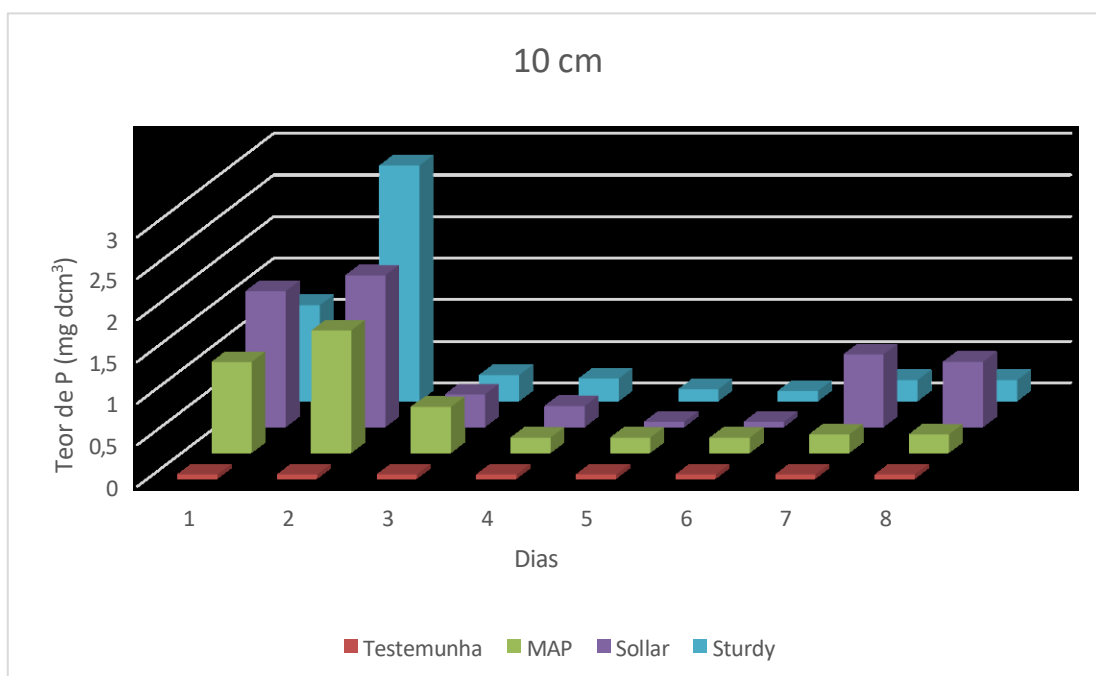


Gráfico 12. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Horizontal a 10 cm da fonte.



4,5 Movimentação vertical para o LVAd.

Tabela 6. Análise da variância do Teor de P para posições verticais no LVAd.

Dia	Tratamento	Distância vertical (cm)			
		5	10	15	20
1	Testemunha	0,07 Aa	0,15 Aa	0,10 Aa	0,06 Aa
	MAP	19,41 Aa	2,28 Aa	3,20 Aa	1,09 Aa
	Sollar	78,90 Aa	10,49 Aa	8,72 Aa	2,92 Aa
	Sturdy	7,58 Aa	9,82 Aa	0,10 Aa	8,47 Aa
2	Testemunha	0,07 Ad	0,15 Ac	0,07 Aa	0,06 Aa
	MAP	322,55 Aa	35,63 Bc	52,78 Ba	2,12 Ba
	Sollar	234,57 Ab	161,23 Ab	38,91 Ba	4,85 Ba
	Sturdy	100,85 Bc	258,43 Aa	209,29 Aa	94,82 Ba
3	Testemunha	0,07 Ac	0,05 Ac	0,07 Aa	0,06 Aa
	MAP	228,71 Aa	7,09 Bc	31,43 Ba	3,12 Ba
	Sollar	137,82 Ab	181,89 Ab	7,89 Ba	1,44 Ba
	Study	73,10 Bc	269,24 Aa	56,11 Ba	2,61 Ba
4	Testemunha	0,07 Ab	0,05 Ab	0,07 Aa	0,06 Aa
	MAP	140,00 Aa	135,75 Aa	26,91 Ba	2,55 Ba
	Sollar	127,39 Aa	135,81 Aa	42,67 Ba	0,88 Ba
	Study	72,19 Ba	194,94 Aa	95,56 Ba	22,46 Ba
5	Testemunha	0,07 Ab	0,05 Ab	0,05 Aa	0,06 Aa
	MAP	197,31 Aa	161,07 Aa	34,38 Ba	2,97 Ba
	Sollar	151,17 Aa	166,37 Aa	61,47 Ba	1,68 Ba
	Study	57,85 Bb	149,15 Aa	89,36 Ba	32,71 Ba
6	Testemunha	0,07 Aa	0,05 Ab	0,05 Aa	0,06 Aa
	MAP	56,78 Ba	117,30 Aa	6,86 Ba	2,27 Ba
	Sollar	56,25 Aa	81,92 Aa	7,09 Aa	0,61 Aa
	Study	50,16 Aa	45,39 Ab	22,21 Aa	7,72 Aa
7	Testemunha	0,07 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	40,78 Aa	8,06 Aa	5,14 Aa	0,23 Aa
	Sollar	18,85 Aa	22,72 Aa	11,72 Aa	0,30 Aa
	Study	13,08 Aa	24,23 Aa	22,70 Aa	3,93 Aa
8	Testemunha	0,10 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
	MAP	40,78 Aa	8,06 Aa	5,14 Aa	0,23 Aa
	Sollar	7,56 Aa	22,72 Aa	11,72 Aa	0,30 Aa
	Study	13,08 Aa	21,73 Aa	22,70 Aa	3,93 Aa

Médias seguidas por letra minúscula iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A análise da movimentação vertical do fósforo no solo LVAd (Tabela 6) mostra que os maiores teores de P concentram-se a 5 e 10 cm da fonte, especialmente nos primeiros dias do dia 1 ao 4 após a aplicação, independentemente do tratamento. Esse padrão confirma o

comportamento clássico do fósforo em solos, Segundo Novais et al. (2007), essa limitação se deve à rápida fixação do P em formas pouco disponíveis, mesmo em solos de baixa CTC, o que faz com que o nutriente se acumule nas camadas mais próximas ao ponto de aplicação. De forma complementar, Sousa & Lobato (2011) destacam que, embora a textura mais arenosa favoreça a movimentação de cátions e ânions móveis, o fósforo constitui exceção devido à sua elevada reatividade química com óxidos de Fe, Al e Ca, o que explica sua permanência restrita às camadas superficiais logo após a aplicação.

O MAP, por ser altamente solúvel, apresentou médias expressivas em 5 e 10 cm, como do segundo ao quinto dia. Entretanto, nas profundidades de 15 e 20 cm, os valores, sem diferenças estatísticas relevantes em grande parte das avaliações. Esse comportamento sugere uma rápida liberação e adsorção superficial, com baixa difusão vertical no perfil arenoso. Kang et al. (2011) relatam que, mesmo em solos de baixa capacidade de retenção, o P aplicado via MAP permanece restrito às camadas mais próximas da aplicação.

O Sollar também exibiu valores elevados a 5 e 10 cm, sobretudo do segundo ao quinto dia, diferindo da testemunha e, em alguns casos, do MAP. Entretanto, em 15 e 20 cm, os teores foram reduzidos e raramente apresentaram diferenças estatísticas. Isso indica que, apesar de sua alta solubilidade e rápida disponibilização inicial, a mobilidade vertical foi limitada. Resultados semelhantes foram encontrados por Azevedo et al. (2018) e Eissa (2014), que destacam que fertilizantes solúveis podem liberar grandes quantidades de P em superfície, mas sua movimentação no perfil permanece restrita.

O Sturdy apresentou teores elevados nas duas primeiras posições nos dias iniciais, e também mostrou valores expressivos a 15 cm, até o quinto dia, sendo esses superiores aos observados com MAP e Sollar. Embora nem sempre estatisticamente diferentes, a consistência desses valores em camadas mais profundas sugere maior capacidade de difusão vertical. Esse padrão pode estar associado à liberação mais lenta e gradual do fertilizante, permitindo que parte do P percorra o perfil antes de ser retido. Walker (2004) e Quintero (2022), relatam que fertilizantes de solubilidade intermediária podem promover mobilidade mais prolongada em solos leves, reduzindo perdas superficiais e aumentando a disponibilidade em profundidade.

Gráfico 13. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Vertical a 5 cm da fonte.

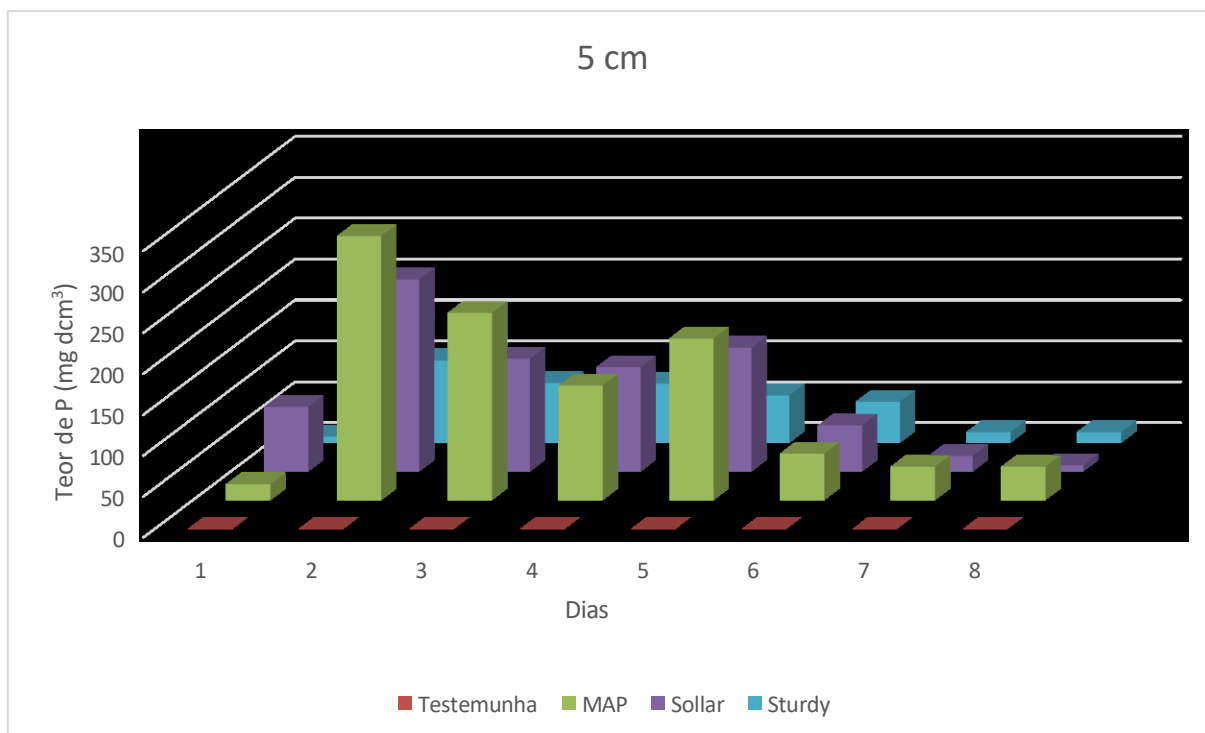


Gráfico 14. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Vertical a 10 cm da fonte.

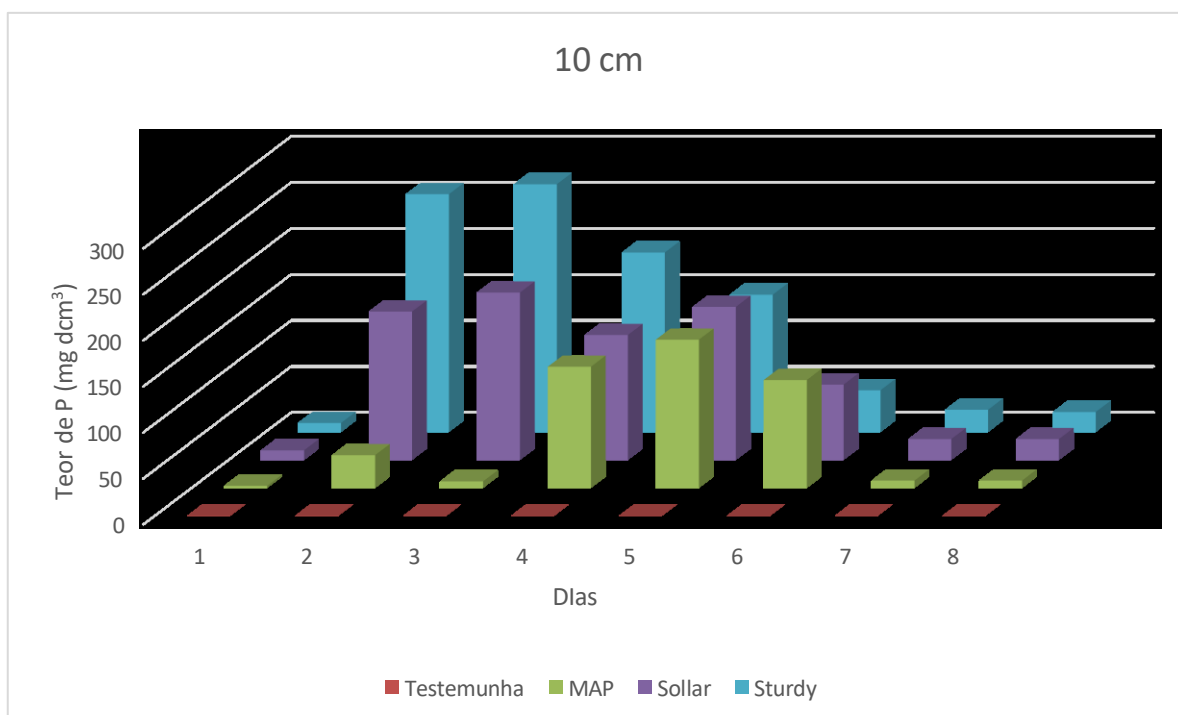


Gráfico 15. Dinâmica do Fósforo no solo LVAd. Vertical a 15 cm da fonte.

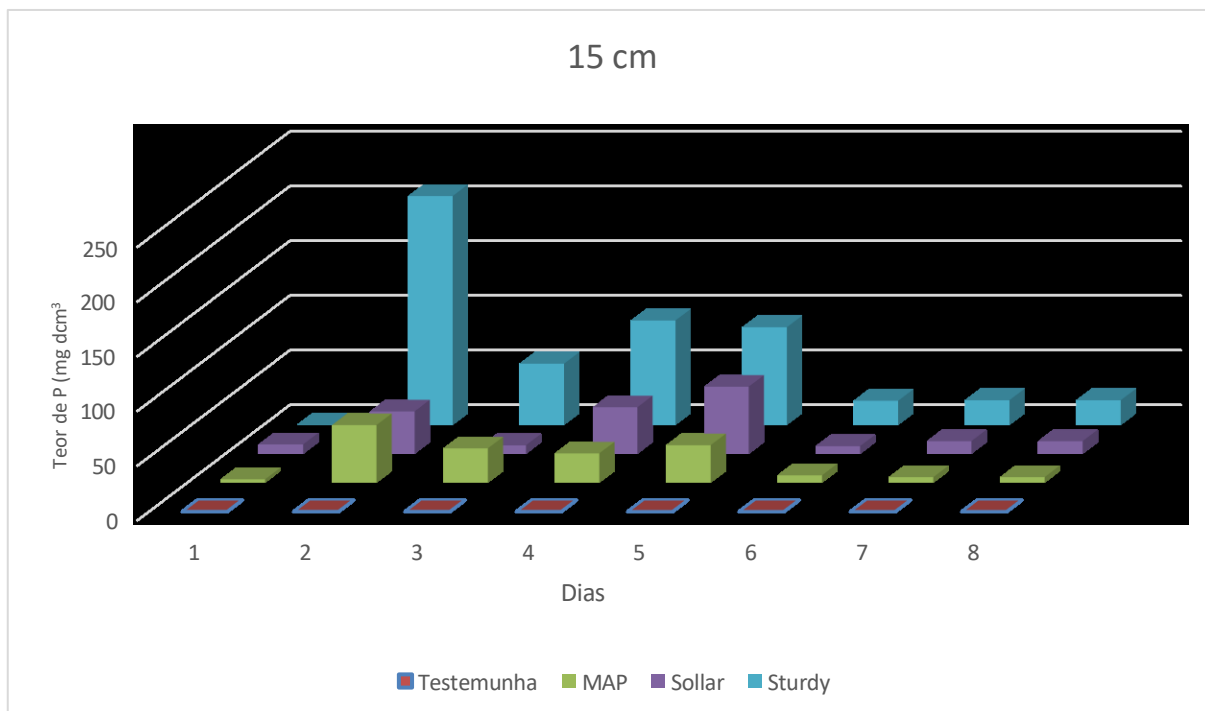
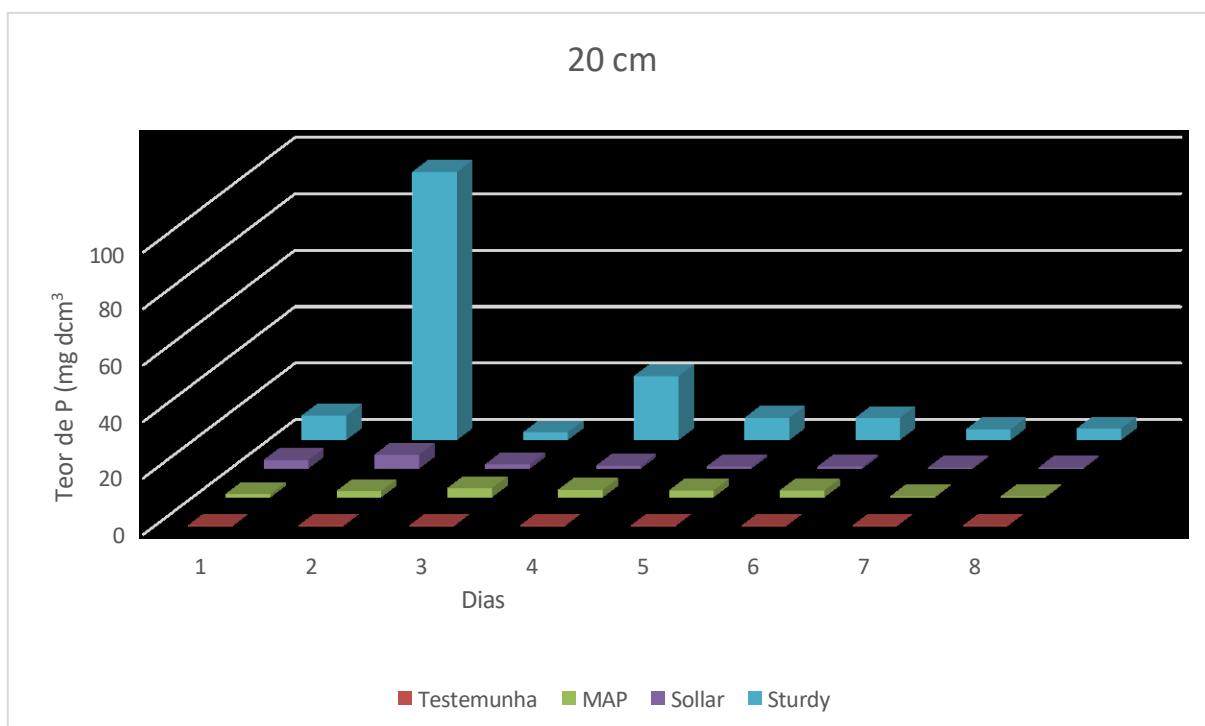


Gráfico 16. Dinâmica do ósforo no solo LVAd. Vertical a 20 cm da fonte



5 CONCLUSÕES

A mobilidade do fósforo foi limitada em ambos os solos, ainda que com diferenças entre texturas e fontes. No solo argiloso, o nutriente concentrou-se próximo à fonte, com maiores teores para Sollar e Sturdy e baixa difusão lateral e vertical além de 5 cm, evidenciando forte retenção. No solo de textura média, a mobilidade lateral foi ligeiramente maior, especialmente para Sollar nas primeiras distâncias, enquanto o MAP apresentou baixa difusão e o Sturdy comportamento intermediário, com presença ocasional em profundidades de até 15 cm.

Em ambos os solos, a movimentação vertical foi restrita às camadas superficiais, reduzindo-se significativamente em profundidades maiores, mesmo para fontes solúveis. Esses resultados demonstram que a textura do solo e as características das fontes influenciam a distribuição do fósforo, mas não superam as limitações impostas pelo meio, reforçando a importância de estratégias de aplicação localizada para maximizar a eficiência e reduzir perdas ambientais.

Comparando as fontes líquidas em relação ao MAP, houve uma movimentação levemente maior para as fontes líquidas Sollar e Sturdy, horizontalmente e verticalmente, porém, o que se destaca são os maiores teores de P liberados na solução do solo em relação a fonte mineral sólida, evidenciando, uma maior quantidade de nutriente disponível para as culturas. Sendo uma alternativa em relação a fonte mineral sólida para o solo muito argiloso e para o solo de textura média.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, B. L. *et al.* Phosphorus Lateral Movement through Subsoil to Subsurface Tile Drains. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 710–717, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2011.0150>

AZEVEDO, R. P. *et al.* Mobility of phosphorus from organic and inorganic source materials in a sandy soil. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 153–163, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S40093-018-0201-2>

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, v. 24, p. 225-252, 1973.

CACERES, N. T.; KORNDORFER, G. H. Situação da adubação fluida das Usinas Cooperadas. **BOLETIM TECNICO. COPERSUCAR. São Paulo.(42): p31-37**, 1988.

CASTRO, Robson Costa de et al. Comparação da difusão de fósforo em solos brasileiros para diferentes fertilizantes granulados usando fluorescência de raios X por reflexão total por radiação síncroton (SR-TXRF). 2015.

CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by soil phosphorus-fixing capacity. *Plant and Soil*, v.120, p.159-164, 1989.

DANCER, J. et al. Independent changes of inorganic pyrophosphate and the ATP/ADP or UTP/UDP ratios in plant suspension cultures. *Plant Science*, v. 66, p. 59–63, 1990.

EISSA, M. A. Effect of Low and High Frequency of Phosphorus Fertigation on Movement of Different Forms of Phosphorus Fertilizers in Sandy Calcareous Soils. [s. l.], 2014. Disponível em: [http://www.idosi.org/wasj/wasj31\(12\)14/6.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj31(12)14/6.pdf)

FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

FERREIRA, Natália Rodrigues. Eficiência agrônômica de fertilizantes Organominerais sólidos e fluidos em relação à Disponibilidade de fósforo. 2014.

GEBRIM, G. S. A. et al. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 5524–5530, 2010.

GHARU, A.; TARAFDAR, J. C. Influence of organic acids on mobilization of inorganic and organic phosphorus in soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 248–253, 2004. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jiss&volume=52&issue=3&article=008&type=pdf>

HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J. Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. *Journal of Experimental Botany*, v.59, n.1, p.93-109, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo, 1990. 237p.

KANG, J., Amoozegar, A., Hesterberg, D., & Osmond, D. L. (2011). Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. *Geoderma*, 161(3), 194–201. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2010.12.019>

MALAVOLTA, E. Ele é essencial - sem fósforo as plantas não vivem. Arquivo do Agrônomo Nº 10 (tradução). POTAFOS, Piracicaba - SP, 2p, 1996.

MARQUES, JÚLIO DE SOUZA. Adsorção de fósforo em latossolo e argissolo misturado com carbono pirolisado. **Rio Branco: Universidade Federal do Acre**, v. 42, 2016.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). *Geoderma*, Amsterdam, v. 58, p. 107-123, 1993.

NASCIMENTO, C. A. C. do *et al.* Phosphorus Mobility and Behavior in Soils Treated with Calcium, Ammonium, and Magnesium Phosphates. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 82, n. 3, p. 622–631, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2017.06.0211>

PEREIRA, D. S. O elemento P: formas e dinâmica em solos tropicais. *Revista Agroomia Brasileira*, v. 5, 2021 <http://www.fcav.unesp.br/rab> e-ISSN 2594-6781. Disponível em <https://doi.org/10.29372/rab202124>

QUINTERO, C. E. Dynamic of Phosphorus in Soils Fertilized with different Phosphorus Sources and Phosphorus Acquisition by Lotus Corniculatus. [*s. l.*], v. 6, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.23880/jenr-16000307>

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate in soils. In.: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. chap. 11, p. 263-310.

SIMMS, T.; BRYE, K. R.; ROBERTS, T. L.; GREENLEE, L. F. Soil Profile Distribution of Nutrients in Contrasting Soils Amended with Struvite and Other Conventional Phosphorus Fertilizers. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, v. 7, n. 2, p. e20524, 2024. DOI:10.1002/agg2.20524.

SMITH, F. W. The phosphate uptake mechanism. *Plant Soil*, v. 245, p.105-114, 2002.

STAMFORD, Newton P. et al. Propriedades físicas e químicas dos solos. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, p. 41, 2006.

TAMINI J. 2008. Tendência da Adubação Fluida na América Do Sul. En: *Informações Agronômicas* N°123. Setembro. IPNI Brazil. 32 p

VANCE, C. P. et al. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.*, v. 157, p. 423-447, 2003.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JÚNIOR, I. G. **Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400006.

WALKER, L. C. Vertical mobility and dynamics of phosphorus from fertilizer and manure in sandy soils. [*s. l.*], 2004. Disponível em: https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/00/49/17/00001/walker_1.pdf.