

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

ADUBAÇÃO FOSFATADA E FRAÇÕES INORGÂNICAS DE FÓSFORO EM
LATOSSOLO DO TRÓPICO ÚMIDO

PATRIK ONIAS MONTEIRO

MANAUS (AM)

2021

PATRIK ONIAS MONTEIRO

ADUBAÇÃO FOSFATADA E FRAÇÕES INORGÂNICAS DE FÓSFORO EM
LATOSSOLO DO TRÓPICO ÚMIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

ORIENTADOR:

DR. JOSÉ ZILTON LOPES SANTOS

MANAUS (AM)

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M775a Monteiro, Patrik Onias
Adubação fosfatada e frações de fósforo em um Latossolo do
trópico úmido / Patrik Onias Monteiro . 2021
53 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Jose Zilton Lopes Santos
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) – Universidade
Federal do Amazonas.

1. Disponibilidade de fósforo. 2. Fontes de fósforo. 3.
Aplicação parcelada. 4. Formas de P. I. Santos, Jose Zilton
Lopes. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

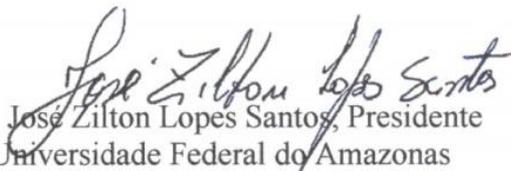
PATRIK ONIAS MONTEIRO

Adubação Fosfatada e Frações Inorgânicas de Fósforo em Latossolo do Trópico Úmido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisitos parciais para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

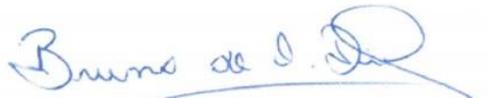
Aprovada em 29 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA


Dr. José Zilton Lopes Santos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas



Dr. Leandro Flávio Carneiro, Membro
Universidade Federal do Paraná


Dr. Bruno de Oliveira Dias, Membro
Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Especialmente ao Senhor Deus, por me dar a vida, a salvação, a oportunidade de glorificá-lo e o dom de poder aprender mais e mais todos os dias.

À minha noiva Leiliana Ramalho, pelo seu amor, carinho e incentivo em todos os momentos desta caminhada.

À minha amada mãe Rosa e aos meus queridos irmãos Patrícia, Henrique e Felipe, por serem o meu alicerce e sempre me apoiarem nos estudos.

Ao meu orientador, Dr. José Zilton, pelas valiosas orientações, incentivos e conselhos, e principalmente pelo apoio e paciência diante das dificuldades enfrentadas para realização deste trabalho, em especial durante o período de pandemia.

À equipe do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, especialmente ao Me. Marcelo Tavares, por todo o apoio durante a execução do experimento.

Aos parceiros de Iniciação Científica do Laboratório Thyago Freitas, Priscilla Marques e Milena Panza, por todo o apoio operacional durante a execução desse trabalho.

À bolsista de Iniciação Científica Lilian Garcia, pelo trabalho em equipe e pelo apoio e vontade de aprender.

À equipe do Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo, especialmente ao Dr. Hedinaldo Lima, por ceder o espaço do laboratório, seus equipamentos, e por todo o tempo e atenção dada durante as análises.

Aos professores das disciplinas, os quais de todos me orgulho muito por ter sido aluno, e pelos quais pude adquirir conhecimentos que utilizarei durante toda a carreira.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, representado pela Dra. Sônia Albertino, por todo o acompanhamento e orientações do curso.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à UFAM, por me proporcionarem a vaga no curso de Mestrado, assim como a bolsa de estudos.

Por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com o planejamento e execução desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Gerais	16
2.2 Específicos	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Caracterização da Área Experimental.....	17
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	17
3.3 Procedimentos específicos	18
3.4 Análises dos Dados	22
4 RESULTADOS	23
4.1 Frações inorgânicas de P.....	25
4.2 Contribuição relativa das frações de fósforo	40
5 DISCUSSÃO.....	42
6 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados. _____ 18

Tabela 2. Principais atributos químicos, granulométrico (0-20 e 20-40 cm de profundidade) e mineralógicos do solo (0-20 cm de profundidade) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos. _____ 19

Tabela 3. Resumo das análises de variâncias para taxa de cobertura da copa na linha de plantio (TCCL), diâmetro do tronco 5 cm acima da enxertia (DAC), diâmetro do tronco 5 cm abaixo da enxertia (DAB); taxa de cobertura da copa na rua de plantio (TCCR) e volume médio da copa (VC) (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 12 meses de cultivo. _____ 23

Tabela 4. Resumo das análises de variâncias para taxa de cobertura da copa na linha de plantio (TCCL), diâmetro do tronco 5 cm acima da enxertia (DAC), diâmetro do tronco 5 cm abaixo da enxertia (DAB); taxa de cobertura da copa na rua de plantio (TCCR) e volume médio da copa (VC) (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 24 meses de cultivo. _____ 24

Tabela 5. Resumo das análises de variâncias dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha da laranjeira Pera Rio (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 12 meses de cultivo. _____ 24

Tabela 6. Resumo das análises de variâncias dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha da laranjeira Pera Rio (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad e, após 24 meses de cultivo. _____ 25

Tabela 7. Análise de variância do efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad sobre a disponibilidade de fósforo resina (P-resina) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. _____ 33

Tabela 8. Correlação entre a disponibilidade de P (P-resina) com as frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-A), a ferro (P-Fe) e a cálcio (P-Ca) (n=4), na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e, após 12 e 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. Em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad, aplicados na superfície do solo. _____ 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema operacional do fracionamento de fósforo, conforme método modificado de Chang e Jackson (1957). _____ 21

Figura 2. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), a ferro (P-Fe) (c, d) e a cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 12 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 27

Figura 3. Efeito do modo de aplicação (a) e de proporções da mistura (b) de superfosfato triplo (STF) com fosfato natural de Arad (FRA) na disponibilidade de fósforo resina (P-resina) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo. após 12 meses de aplicação dos tratamentos e cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 28

Figura 4. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), ferro (P-Fe) (c, d) e cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 10-20 cm de profundidade do solo e após 12 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 30

Figura 5. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), ferro (P-Fe) (c, d) e cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 32

Figura 6. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), ferro (P-Fe) (c, d) e cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 10-20 cm de profundidade do solo e após 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 35

Figura 7. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), ferro (P-Fe) (c, d) e cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 36 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras

dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 37

Figura 8. Efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), ferro (P-Fe) (c, d) e cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 10-20 cm de profundidade do solo e após 36 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. _____ 39

Figura 9. Distribuição percentual das frações de P ligado a alumínio (P-Al) (a1 e a2), a ferro (P-Fe) (b1 e b2) e a cálcio (P-Ca) (c1 e c2) (n=4) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad. Amostras coletadas aos 12 (a1, a2), 24 (b1, b2) e 36 (c1 e, c2) meses após aplicação dos tratamentos. ____ 40

MONTEIRO, Patrik Onias. **Adubação fosfatada e frações inorgânicas de fósforo em um Latossolo do Trópico Úmido**. 2021. 52 p. Dissertação (Mestrado Agronomia Tropical, área de concentração: Produção Vegetal) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.*

RESUMO

A produção agrícola em solos tropicais depende do fornecimento de doses de fertilizantes fosfatados, porém a eficiência da adubação está associada com a escolha da fonte e ao modo de aplicação. Investigamos se diferentes proporções e modos de aplicação da mistura de FNR (Fostato Natural Reativo de Arad) com SFT (Super Fosfato Triplo) influenciam as frações inorgânicas e a disponibilidade de P em um Latossolo Amarelo Distrófico, cultivado com laranjeira Pera-Rio por três anos. Um fatorial 5 x 2, distribuído em blocos casualizados foi usado, combinando cinco proporções (00-100; 25-75; 50-50; 75-25 e 100-00%) da mistura de FNR com SFT na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e dois modos de aplicação (aplicação total da dose no primeiro ano e aplicação parcelada da dose, com 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ durante três anos). As amostras de solos foram retiradas após 12, 24 e 36 meses após a aplicação dos tratamentos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação modo de aplicação x proporções das misturas das fontes sobre as frações inorgânicas de P, em ambas as profundidades e em todos os anos, e efeito isolado desses fatores na disponibilidade de P-resina no primeiro ano após aplicação dos tratamentos. Os resultados indicam que o uso da aplicação total, combinada com proporções em maiores quantidades de SFT para o primeiro ano, ou aplicação parcelada combinada com maiores quantidades de FNR para o segundo e terceiro ano, proporcionaram maiores teores tanto de P resina como, em parte, das frações P-Al, P-Fe e P-Ca. Dessa forma, o efeito residual da fonte natural ajudou a manter o estoque no solo a longo prazo. Também identificamos que as maiores frações nestes solos se encontram na seguinte ordem de concentração: P-Fe > P-Ca > P-Al.

Palavras-chave: disponibilidade de fósforo, fontes de fósforo, aplicação parcelada, formas de P.

* Comitê Orientador: José Zilton Lopes Santos - UFAM (Orientador).

MONTEIRO, Patrik Onias. **Phosphate fertilization and inorganic phosphorus fractions on a Latosol in the Humid Tropics**. 2021. 52 p. Dissertation (Master of Tropical Agronomy, concentration area: Plant Production) - Federal University of Amazonas, Manaus, AM.*

ABSTRACT

Agricultural production in tropical soils depends on the supply of doses of phosphate fertilizers, but the efficiency of fertilization is associated with the choice of source and mode of application. We investigated whether different proportions and modes of application of the mixture of FNR (Arad Reactive Natural Fostatto) with SFT (Super Triple Phosphate) influence the inorganic fractions and the availability of P in a Dystrophic Yellow Latosol, cultivated with Pera-Rio orange for three years. A factorial 5 x 2, distributed in randomized blocks was used, combining five proportions (00-100; 25-75; 50-50; 75-25 and 100-00%) of the mixture of FNR with SFT at the dose of 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and two modes of application (total application of the dose in the first year and split dose application, with 50 kg of P₂O₅ ha⁻¹ year⁻¹ for three years). Soil samples were taken after 12, 24 and 36 months after application of the treatments, in layers 0-10 and 10-20 cm deep. There was a significant effect (P < 0.05) of the interaction mode of application x proportions of the mixtures of the sources on the inorganic fractions of P, at both depths and in all years, and isolated effect of these factors on the availability of P-resin in the first year after application of the treatments. The results indicate that the use of the total application combined with proportions with higher amounts of FTS for the first year, or split application combined with higher amounts of FNR for the second and third year, provided greater errors both of P-resin and, in part, of the P-Al, P-Fe and P-Ca fractions. Thus, the residual effect of the natural source helped to keep the stock in the soil in the long term. We also identified that the largest fractions in these soils are in the following order of concentration: P-Fe > P-Ca > P-Al.

Keywords: phosphorus availability, phosphorus sources, split application, P shapes.

* Advisory Committee: José Zilton Lopes Santos - UFAM (Advisor)

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia tropical possui dois agroecossistemas representativos, as várzeas e as terras firmes, esta última cobrindo mais de 75% da área agrícola do estado do Amazonas, possuindo alta relevância para a região (Moreira e Gonçalves, 2006). Cerca de 90% dos solos da Amazônia tropical possuem baixa fertilidade natural (Malavolta, 1987; Novais et al., 2007), sendo o fósforo (P) um dos nutrientes mais limitantes, pois encontra-se em baixas concentrações (Guedes et al., 2018) em mais de 80% dos solos da região ($<5,4 \text{ mg dm}^{-3}$) (Moreira e Fageria, 2009). Tais solos também possuem alta acidez ($\text{pH} < 5.4$), alto teor de alumínio (Al) e baixa saturação de bases (Rodrigues, 1996; Schaefer et al., 2008; Moreira e Fageria, 2009).

São solos formados a partir de rochas cristalinas antigas como granitos, gnaisses ou sedimentos terciários que já possuíam baixo teor de P na sua composição, esta condição, aliada às condições climáticas e ao longo tempo de exposição do material parental, geraram solos deficientes nesse nutriente (Curi et al, 2017). Muitas vezes, a concentração de P total é até considerável, cerca de $200\text{-}3000 \text{ mg dm}^{-3}$, entretanto, a fração disponível na solução do solo não passa de 0,1% deste total (Falcão e Silva, 2004).

Os minerais predominantes na fração argila desses solos são a caulinita, ocorrendo ainda óxidos e hidróxidos de ferro (goethita e hematita) e alumínio (gibbsita) (Kitagawa e Moller, 1979; Cross e Schlesinger, 1995; Schaefer et al., 2008; Barbosa, 2017). Com esses minerais o P possui alta reatividade, formando compostos de baixa solubilidade (Neufeldt et al., 2000; Raij, 2011) que a longo prazo tornam este nutriente indisponível para as plantas (fixação) (Gatiboni, 2013; Yuan et al., 2017). Além disso, pode precipitar com íons de alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn) em condições de pH ácido (Chien et al., 2009). Devido a tais processos, cerca de 90% dos solos de terra firme da Amazônia possuem deficiência de P (Sanchez, 1989), sendo necessárias adubações fosfatadas em altas quantidades (Shen et al., 2011; Figueiredo et al., 2012).

Além disso, as adubações tem baixa eficiência nesses solos (Maranguit et al., 2017) e diversos fatores podem influenciar na eficiência da adubação fosfatada como pH, textura do solo, composição da argila, temperatura, histórico de uso, doses, fontes de fertilizante e modo de aplicação (Engelsjord et al., 1996; Silva et al., 2003; Singh et al., 2005; Fageria et al., 2011, Simpson et al., 2011).

A fonte do fertilizante é importante para entender a dinâmica do P no solo, pois interfere no seu comportamento a curto e longo prazo, principalmente quanto à solubilidade (Chien et al., 1987; Soares et al., 2000; Chien et al., 2011). Dentre as fontes mais utilizadas na agricultura encontram-se os fosfatos de alta solubilidade como o superfosfato simples - SFS (18% P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio - CNA), o superfosfato triplo - SFT (40,5% P_2O_5 solúvel em CNA) e os ortofosfatos de amônio (monoamônico fosfato - MAP - e diamônico fosfato - DAP, 48% e 45% P_2O_5 solúvel em CNA, respectivamente) (Novais et al., 2007).

A eficácia agronômica dessas fontes está intimamente relacionada à sua solubilidade (Chien et al., 1987; Aquino et al., 2014). O superfosfato triplo, por exemplo, possui 40% de fosfato monocálcico de alta solubilidade e rápida liberação no solo (IPNI, 1998), características que o faz uma das fontes mais difundidas para adubação fosfatada, principalmente para culturas de grãos e outras culturas de ciclo curto (Young et al., 1985).

Quanto às fontes com baixa solubilidade em água, possuem destaque os fosfatos naturais, que se dividem segundo sua origem em fosfatos oriundos de rochas ígneas (pouco reativos) que apresentam baixa eficiência a curto e médio prazo e, aqueles oriundos de rochas sedimentares (reativos), eficientes para culturas anuais e bianuais. Dentro dos fosfatos naturais reativos destacam-se o de Gafsa (12,3% P_2O_5 solúvel em ácido cítrico - A.C.), o da Carolina do Norte (5,1% P_2O_5 solúvel em A.C.) e o de ARAD - FNR_{AR} (4,1% P_2O_5 solúvel em A.C.) (IPNI, 1998).

Apesar do efeito isolado dessas fontes, sua mistura considerando diferentes solubilidades pode melhorar a eficiência da adubação, por permitirem o suprimento de P nas épocas de maior demanda pela planta e durante um maior período de tempo (Chien et al., 2009; Franzini et al., 2009). Oliveira Junior et al. (2011) mostraram produtividades da soja próximas da média nacional brasileira (2.500 kg ha⁻¹ em 2007) em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso do Cerrado do Maranhão, sob efeito da mistura de fosfato solúvel com FNR_{AR}. A aplicação total de P solúvel associado ao FNR Bayovar promoveu aumento no volume de madeira, com produtividades de até 15,6 m³ ha⁻¹ de *Eucalyptus benthamii*, cultivado em Cambissolo húmico do Planalto de Santa Catarina (Rosa Dias et al., 2014).

Quanto ao modo de aplicação, é notável que a aplicação parcelada aumenta a disponibilidade de P a longo prazo pois reduz o seu tempo de contato com o solo, diminuindo a fixação (Aquino et al., 2012; Aquino et al., 2014). Aumento na nodulação,

crescimento e rendimento das vagens de soja foram observados em um cultivo em casa de vegetação com Latossolo Vermelho-Amarelo, em função da aplicação parcelada de P no 3º estágio vegetativo (Soares et al., 2016) comparado com aplicação da dose total. Resende et al. (2006) alcançaram produtividades superiores de milho, cultivado em Argissolo Vermelho distrófico típico de textura argilosa, no Cerrado de Minas Gerais, sob aplicação parcelada de FNR_{AR} no sulco, em relação à aplicação total no sulco e a lanço.

Uma das maneiras de caracterizar as formas do P no solo é através do fracionamento, sendo a metodologia proposta por Chang e Jackson (1957) a mais conhecida e utilizada para as frações inorgânicas (Silva et al., 2003). O procedimento consiste na extração sucessiva com NH_4Cl (P solúvel), NH_4F (P-Al), $NaOH$ (P-Fe) e H_2SO_4 (P-Ca) (Gatiboni et al., 2013), sendo vantajoso pela simplicidade na extração e no fornecimento de informações sobre a disponibilidade do elemento em curto e longo prazo. Possibilita também prever causas de deficiência e resposta das culturas à adubação fosfatada (Silva et al., 2003).

De uma forma geral, considerando as quantidades das três frações inorgânicas mais determinadas, tem-se: $P-Fe > P-Al > P-Ca$ em solos tropicais (Raij, 2004). De acordo com as pressuposições do fracionamento de Chang & Jackson (1957), existe uma diminuição na labilidade das frações inorgânicas de P na seguinte sequência: frações lábeis ($P-Al > P-Fe > P-Ca$) Novais & Kamprath, 1978. Neste método, observa-se uma predominância de P-Fe e de P-Al sobre P-Ca em solos mais intemperizados, como os de cerrado em geral. Avaliando as formas de P mais lábil em solos da Carolina do Norte (EUA), Novais & Kamprath (1978), verificaram que a maior liberação é proporcionada por P-Al, seguida de longe pelo P-Fe e finalmente P-Ca, no entanto, em função da variação do tipo de solo, qualquer uma dessas formas de P pode ser importante (Novais & Smyth, 1999). A labilidade dessas frações em extrator Mehlich 1 segue a seguinte ordem: $P-Fe < P-Al < P-Ca$ (Thomas e Peaslee, 1973).

A distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a classe (Souza Junior et al., 2012; Ao et al., 2014) e mineralogia do solo (Rheinheimer e Anghinoni, 2001). Solos muito intemperizados com baixo valor de pH e maior capacidade tampão (alto teor de argila), tendem a apresentar maiores teores de P nas frações menos lábeis (P-Fe e P-Al) (Souza Júnior et al., 2012), enquanto que solos pouco intemperizados, com alto valor de pH e pouco tamponados possuem maiores teores na fração P-Ca (Raij, 2011).

Silva et al. (2003) demonstraram que adubações fosfatadas causam aumento nas frações menos lábeis (P-Fe e P-Al) em solos muito intemperizados, devido ao tempo de contato entre fosfato com sesquióxidos e minerais de argila. Nessa situação, formam-se vários complexos que indisponibilizam o P (Shen et al., 2011). Avaliando a adubação convencional em Latossolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho, na região do Cerrado de Goiás, Pavinato et al., (2009) constataram que o P se acumulou nas frações menos lábeis após anos de adubação com superfosfato simples.

Bahia Filho et al. (1982), avaliando as formas de P inorgânico e P disponível em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa fertilizados com diferentes fosfatos, verificaram que o SFT causou maior aumento no P-Al, P-Fe e P-Ca, já o fosfato de Araxá de Patos, um fosfato natural pouco reativo, causou aumentos significativos apenas no P-Ca e o termofosfato Yoorin apenas no P-Fe. Santos et al. (2008) encontraram um maior teor de P nas frações inorgânicas lábeis (P-resina e P inorgânico bicarbonato), proporcionado pela adubação parcelada com fontes de diferentes solubilidades (SFT, FNR, Termofosfato Magnesiano), em comparação com a aplicação total a lanço e total em sulco, mostrando que, além da fonte, a forma de aplicação também afeta as frações de P.

Nesse sentido é provável que haja uma combinação ideal das fontes de fosfato natural reativo com fontes solúveis convencionais, e que tal combinação associada ao parcelamento da aplicação provoque aumento nas frações mais lábeis de P, por reduzir o tempo de contato do ortofosfato com o solo e favorecer a sua dinâmica (Shaviv et al., 2003; Franzini et al., 2009; Jin et al., 2011; Oliveira Junior et al., 2011; Rosa Dias et al., 2014). Diante do exposto, a realização deste estudo poderá dar subsídio para a implementação de boas práticas no uso de fertilizantes fosfatados, focadas na fonte, dose, época e local de aplicação, em solos tropicais.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAIS

a) Avaliar o efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad nas frações inorgânicas e disponibilidade de fósforo em um Latossolo Amarelo Distrófico de textura muito argilosa, cultivado com laranjeira pera-rio por três anos consecutivos.

2.2 ESPECÍFICOS

a) Investigar se há efeito interativo entre o modo de aplicação e a substituição parcial do superfosfato triplo por fosfato natural reativo de Arad, na disponibilidade de P (P-resina) e nas concentrações de P-Al, P-Fe e P-Ca, no solo;

b) Avaliar se a aplicação parcelada e a substituição parcial do superfosfato triplo por fosfato natural reativo de Arad proporcionam maior teor de P-Al no solo;

c) Testar se a aplicação total do fertilizante fosfatado contribui para um aumento no teor de frações P-Fe e P-Ca, no solo;

d) Testar se há correlação entre a diminuição da proporção do superfosfato triplo na mistura das fontes com as frações P-Al e P-resina;

e) Determinar percentualmente as frações inorgânicas de fósforo que predominam no solo após adubação fosfatada;

f) Identificar qual o melhor modo de aplicação e a melhor combinação para o manejo da mistura do superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Arad, no manejo da adubação fosfatada em um Latossolo do Trópico Úmido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), utilizando-se amostras de solo provenientes de um experimento comparando proporções de uma mistura de fontes e modos de aplicação de P para a cultura da laranjeira “Pera Rio”.

Este experimento foi realizado nos anos agrícolas 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019 (Silva Júnior, 2019), na Fazenda Experimental da UFAM, município de Manaus-AM, situado a 2°39'17.20"; 2°39'17.29"; 2°39'18.91"; 2°39'18.81" de latitude sul e 60°3'16.62"; 60°3'12.22"; 60°3'12.28" e 60°3'16.68" de longitude oeste, respectivamente, a uma altitude média de 94 m. O clima da região é de Zona tropical, Af, sem estação seca, com difícil distinção entre estações e alternância a cada seis meses de períodos secos e períodos chuvosos (Alvares et al., 2013). A região também possui precipitação pluviométrica de 2400 mm por ano (Marques Filho et al., 1981; Alvares et al., 2013; Karger et al., 2017;), temperatura de 26,7 °C (Villa Nova et al., 1976; Alvares et al., 2013); e umidade relativa do ar de 83% (Villa Nova et al., 1976).

A área experimental, onde foram coletadas as amostras de solo apresenta Latossolo Amarelo distrófico de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). A área foi previamente cultivada com coqueiro (*Cocos nucifera* L.) por 12 anos, neste período a área não foi corrigida quanto à acidez e nem adubada, encontrando-se no momento da implantação do experimento coberta por vegetação espontânea, dominada por várias espécies de plantas daninhas.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos consistiram de um fatorial (5 x 2), combinando cinco proporções (00-100; 25-75; 50-50; 75-25 e 100-00%) da mistura de superfosfato triplo - SFT com na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e dois modos de aplicação (aplicação da dose total no primeiro ano e aplicação parcelada (50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ no primeiro, segundo e terceiro ano, respectivamente).

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e três plantas por unidade experimental, totalizando 120 plantas úteis.

A quantidade a aplicar de cada fonte foi calculada com base no teor de P_2O_5 total dos fertilizantes (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.

Características	FNR	SFT
	%	
P_2O_5 total	32,5	46
P_2O_5 solúvel em H_2O	-	36
P_2O_5 solúvel em ácido cítrico	9,75	5
Granulometria	Pó	Granulado

SFT – superfosfato triplo; FNR – fosfato natural reativo de Arad

3.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

Caracterização do solo: 120 dias antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, as quais foram secas à temperatura ambiente e passadas em peneiras de 2mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA), sendo em seguida foram armazenadas até o momento das análises. As amostras foram caracterizadas quimicamente, granulometricamente e mineralogicamente.

A análise química quanto a fertilidade foi realizada de acordo com EMBRAPA (1997) e englobou pH em água, determinação de Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl $1\ mol\ L^{-1}$ e P e K pelo extrator Mehlich-1. Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos com DTPA e B com água quente. A acidez potencial (H+Al) foi determinada conforme Rajj et al., (1987).

A análise granulométrica foi feita na TFSA pelo método Bouyoucos, (1927), modificado por Carvalho, (1985), utilizando $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ como dispersante químico e agitação durante 16 h e a 30 rpm em agitador rotatório tipo Wagner, sendo a fração areia (2 - 0,053 mm) separada através de tamisagem.

Os minerais da fração argila hematita (Hm), goethita (Gt), caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) foram caracterizados por difratometria de raio-X (DRX) pelo método do pó após a concentração dos óxidos de ferro fervendo a fração argila com $NaOH$ (Norrish e Taylor, 1961) e desferrificação da fração argila pelo método de Mehra e Jackson, (1960). As amostras foram difratadas com velocidade de varredura de $1^\circ\ 2\theta\ min^{-1}$ utilizando Mini-Flex Rigaku II (20mA, 30 kV), equipado com radiação $Cu\ K\alpha$.

A caracterização química, granulométrica e mineralógica do solo, previamente à implantação do experimento, é apresentada na Tabela 2. Onde constata-se a baixa disponibilidade de P pelo extrator Mehlich 1 (Ribeiro, Guimarães e Alvarez, 1999).

Tabela 2. Principais atributos químicos, granulométrico (0-20 e 20-40 cm de profundidade) e mineralógicos do solo (0-20 cm de profundidade) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.

	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H ₂ O)	4,70	4,70
P - Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	2,00	1,13
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,30	0,20
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,10	1,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,64	5,05
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,44	0,32
t (cmol _c dm ⁻³)	1,54	1,32
T (cmol _c dm ⁻³)	6,08	5,37
V (%)	7,17	5,97
m (%)	71,43	75,76
Fe (mg dm ⁻³)	123,87	89,38
P-Remanescente (mg L ⁻¹)	15,93	14,22
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	1,87	1,07
Areia (g kg ⁻¹)	13,00	10,00
Silte (g kg ⁻¹)	6,00	6,00
Argila (g kg ⁻¹)	81,00	84,00
Goethita (g kg ⁻¹)		3,62
Hematita (g kg ⁻¹)		26,39
Caulinita	Mineral de argila predominante com picos de 0,732 nm	
Gibssita	Não identificado	

Análises químicas conforme EMBRAPA (1997) e Raj et al., (1987); Análises granulométricas conforme Bouyoucos (1927), modificado por Carvalho (1985); Análises mineralógicas conforme Norrish e Taylor (1961).

Correção do solo e aplicação dos tratamentos: Três meses antes do transplante das mudas, foi aplicado calcário dolomítico [2,44 t ha⁻¹, (≈14% de Mg, 32% de CaO e PRNT = 90%)]. A dosagem foi determinada pelo método da curva de incubação em laboratório (Dunn, 1943), visando elevar o valor do pH próximo de 5,5. A aplicação do calcário foi feita misturando o corretivo (78 g cova⁻¹) na terra da cova, com posterior devolução desta para a cova. 12 meses após o transplante das mudas e antes da aplicação dos tratamentos foi realizada uma nova calagem, utilizando uma dose equivalente a 1580 g planta⁻¹ de calcário dolomítico. Nesta etapa o calcário foi distribuído na superfície do solo sem incorporação, procurando cobrir um diâmetro de

2,5 metros ao redor da planta, de modo a não sobrepor a área da cova, corrigida antes do transplanto.

Em seguida, foi feita a aplicação da mistura dos fertilizantes fosfatados, estes foram distribuídos manualmente na superfície da cova, a uma distância de 10 a 15 cm do tronco e, cobrindo um raio de 50 cm de largura. No modo de aplicação total, a mistura de fertilizantes fosfatados foi fornecida apenas no primeiro ano de cultivo, sendo as respostas subsequentes dependentes do efeito residual dos tratamentos. No modo de aplicação parcelado, a dose de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi dividida em três aplicações anuais, de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 em cada ano, na superfície da cova.

Obtenção das amostras de solo para o fracionamento de fósforo: A cada 12, 24 e 36 meses após aplicação dos tratamentos, foram retiradas amostras de solo para o fracionamento de P, seguindo o delineamento experimental. A coleta das amostras foi feita na profundidade de 0-10 e 10-20 cm, utilizando um trado do tipo holandês.

A amostragem foi feita na região de aplicação dos tratamentos, retirando-se duas amostras simples em lados opostos e, em cada uma das plantas que constituía a unidade experimental. Com as seis amostras simples, fez-se uma amostra composta para cada profundidade. Dessa forma, os 10 tratamentos, nas duas profundidades, em quatro repetições, totalizaram 80 amostras compostas. Todas as amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e armazenadas até o momento da extração e determinação das diferentes frações de P.

Avaliação do experimento: Foi feita por meio da determinação das frações inorgânicas de P no solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, em amostras de solo coletadas aos 12, 24 e 36 meses após aplicação dos tratamentos. Além disso, foram avaliadas a disponibilidade de P pelo extrator resina na camada de 0-10 cm de profundidade, aos 12 e 24 meses após aplicação dos tratamentos.

Fracionamento do fósforo: A extração e determinação das frações inorgânicas de P no solo foi realizada conforme metodologia de Chang e Jackson (1957) com adaptação para o uso de terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 1). As alterações realizadas do método original foram as seguintes: 1) remoção da extração e determinação da fração $\text{P-H}_2\text{O}$, por esta representar uma baixa quantidade nos solos tropicais (Kuo, 1996;

Gatiboni et al., 2013); 2) remoção da etapa de extração e determinação da fração P-Ocluso, por representar uma fração pouco usualmente determinada e de difícil caracterização (Novais & Smyth, 1999); 3) as amostras de solo estavam no tamanho de TFSA; 4) o solo foi lavado apenas uma vez com uma solução de NaCl 1M, após a extração de cada fração. As amostras de solo foram submetidas a uma extração sequencial das frações inorgânicas de P. As frações de P determinadas no solo foram: a) fósforo ligado ao alumínio (P-Al), extraído por meio de uma solução de fluoreto de amônio (NH_4F $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 8,5); b) fósforo ligado ao ferro (P-Fe), obtido com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH $0,1 \text{ M}$) e c) fósforo ligado ao cálcio (P-Ca), extraído com uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4 $0,25 \text{ M}$). Durante a fase de extração de todas as frações, as amostras foram agitadas a 150 rotações por minutos (rpm) e centrifugadas a 1800 rpm.

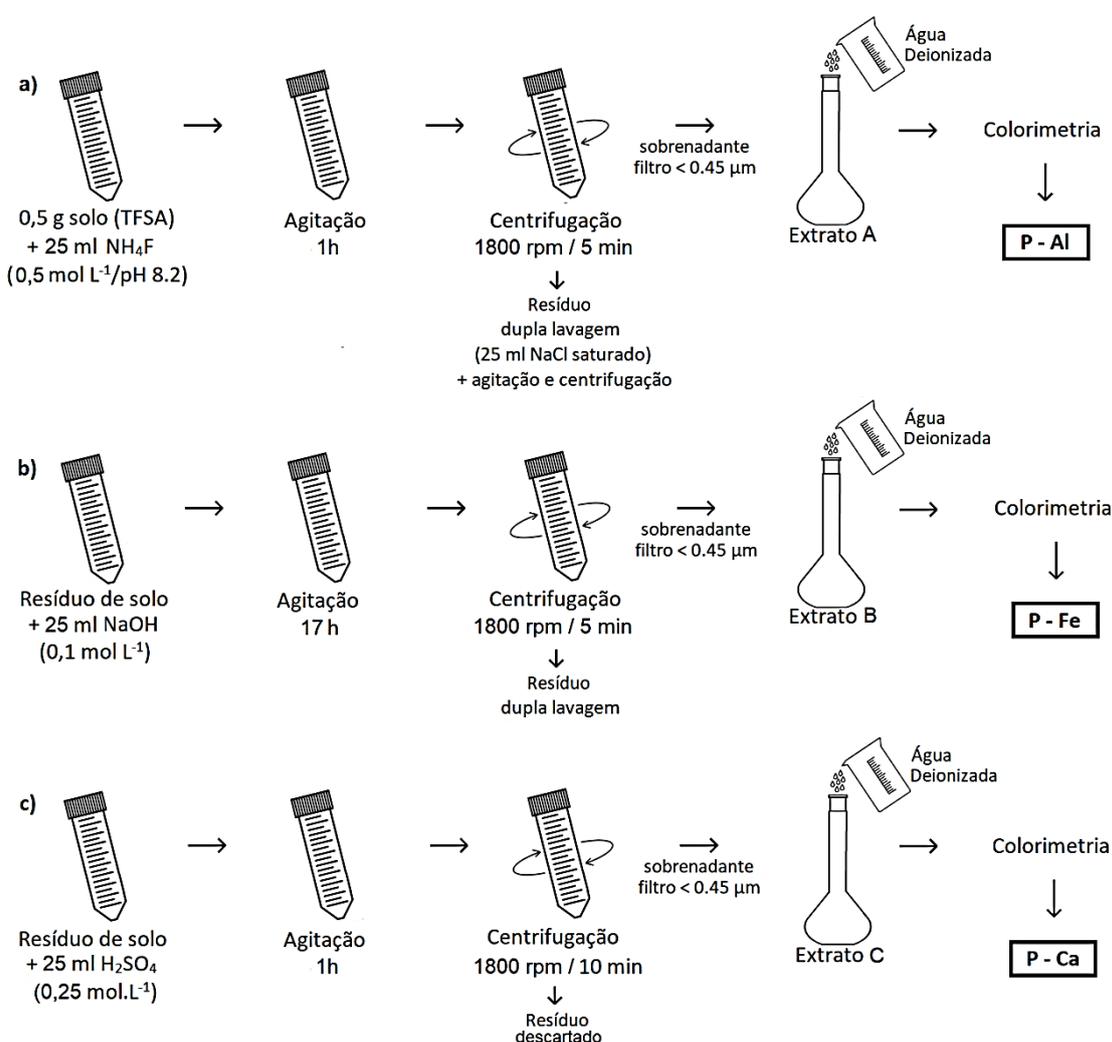


Figura 1. Esquema operacional do fracionamento de fósforo, conforme método modificado de Chang e Jackson (1957).

Disponibilidade de P no solo pelo extrator resina: A disponibilidade de P no solo foi avaliada pelo extrator resina de troca iônica (RTI) (RAIJ et al., 1986).

Determinação de P: A determinação da concentração de P, em todos extratos, foi feita por espectrofotometria a 660 nm, de acordo com Murphy e Riley (1962).

3.4 ANÁLISES DOS DADOS

Os resultados foram previamente submetidos à teste de detecção de outliers e, posteriormente testados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk, 1965) e homogeneidade de variância (Levene, 1960). Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$). Constando F significativo, as médias das variáveis dependentes: P-Al; P-Fe, P-Ca e P-resina foram comparadas pelo teste de Tukey.

Para atender aos princípios de normalidade e homogeneidade de variância, os dados das variáveis: P-Al (10-20 cm), P-Fe (0-10 cm), P-Fe (10-20 cm), P-Ca (10-20 cm) (1º ano); P-Al (0-10 cm), P-Fe (10-20 cm), P-Ca (10-20 cm) (2º ano); P-Al (0-10 cm), P-Fe (0-10 cm), P-Fe (10-20 cm), P-Ca (0-10 cm) (3º ano); foram transformados em logaritmo de base 10, sendo em seguida submetidos à análise de variância pelo teste de Fisher e teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS

Em relação a caracterização do solo antes da implantação do experimento (Tabela 2), observamos que: tanto na profundidade de 0-20 cm quanto 20-40 cm, o mesmo apresentou elevado grau de intemperismo (relação silte/argila em torno de 0,074 e 0,071) e tem como mineral predominante a caulinita (EMBRAPA, 2006). O teor de matéria orgânica ($1,87 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,07 \text{ g kg}^{-1}$) foi considerado baixo e, as concentrações de K, Ca, Mg e SB foram classificadas como muito baixas, caracterizando o solo como de baixa fertilidade (Ribeiro; Guimarães e Alvarez, 1999). Além disso, apresentou caráter ácido ($\text{pH H}_2\text{O} = 4,7$) e saturação por bases muito baixa ($V\% = 7,17$), caracterizando-o como - distrófico (EMBRAPA, 2006).

As características deste solo estão conforme as características dos solos do ambiente de terra firme da região Amazônica (Quesada et al., 2011). Aproximadamente 64% do complexo sortivo do solo estava ocupado por Al. A CTC foi dependente dos teores da matéria orgânica, com teores mais elevados nas camadas superficiais, decrescendo em profundidade. O teor de P natural do solo foi considerado muito baixo (Ribeiro, Guimarães e Alvarez, 1999). O teor de P-Remanescente ($15,93 \text{ mg L}^{-1}$) caracteriza um solo com médio potencial para fixar fosfato (Valladares et al., 2003) e está estreitamente relacionado com a textura e mineralogia do solo (Souza et al., 2006).

Os resultados de crescimento e estado nutricional das plantas laranjeira Pera-Rio, após 12 e 24 meses de cultivo são apresentados a seguir (tabelas 3, 4, 5 e 6). Esses resultados foram discutidos com mais detalhes por Silva Júnior (2019) e mostraram, de forma resumida, que:

a) Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores modos de aplicação e proporções da mistura de fontes, bem como efeito isolado desses fatores sobre o crescimento das plantas de laranjeira Pera Rio, tanto no primeiro (Tabela 3) quanto no segundo ano de cultivo (Tabela 4).

b) Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores modos de aplicação e proporções da mistura de fontes, bem como efeito isolado desses fatores sobre o teor de macronutrientes nas plantas de laranjeira Pera Rio, tanto no primeiro (Tabelas 5) quanto no segundo ano de cultivo (Tabelas 6).

Tabela 3. Resumo das análises de variâncias para taxa de cobertura da copa na linha de plantio (TCCL), diâmetro do tronco 5 cm acima da enxertia (DAC), diâmetro do tronco 5 cm abaixo da enxertia (DAB); taxa de cobertura da copa na rua de plantio (TCCR) e volume médio da copa

(VC) (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 12 meses de cultivo.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		TCCL	DAC	DAB	TCCR	VC
Proporções	4	41,00 ns	0,07 ns	0,14 ns	6,65 ns	2,37 ns
Modos de aplicação	1	13,60 ns	1,31 ns	1,08 ns	6,20 ns	0,98 ns
Proporções x modos	4	35,63 ns	0,21 ns	0,37 ns	9,97 ns	1,76 ns
Adicional x fatorial	1	22,70 ns	0,01 ns	0,001 ns	5,13 ns	0,17 ns
Tratamentos	10	34,28 ns	0,24 ns	0,31 ns	7,78 ns	1,77 ns
Blocos	3	2,60 ns	0,83 ns	0,94 ns	11,22 ns	0,50 ns
Resíduo	30	110,21	0,79	0,80	65,34	9,63
Total corrigido	43					
CV (%)		18,14	15,56	14,26	18,02	43,23

QM = Quadrado médio, ns = não significativo pelo teste F.

Tabela 4. Resumo das análises de variâncias para taxa de cobertura da copa na linha de plantio (TCCL), diâmetro do tronco 5 cm acima da enxertia (DAC), diâmetro do tronco 5 cm abaixo da enxertia (DAB); taxa de cobertura da copa na rua de plantio (TCCR) e volume médio da copa (VC) (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 24 meses de cultivo.

Fontes de variação	G.L.	QM				
		TCCL	DAC	DAB	TCCR	VC
Proporções	4	25,10 ns	0,36 ns	0,21 ns	0,024 ns	0,10 ns
Modos de aplicação	1	11,50 ns	0,70 ns	0,70 ns	0,01 ns	0,13 ns
Proporções x modos	4	69,72 ns	1,05 ns	1,50 ns	0,03 ns	0,32 ns
Adicional x fatorial	1	83,16 ns	0,02 ns	0,05 ns	0,05 ns	0,36 ns
Tratamentos	10	47,40 ns	0,63 ns	0,8 ns	0,03 ns	0,22 ns
Blocos	3	121,15 ns	1,80 ns	2,67 ns	0,22 ns	1,75 ns
Resíduo	30	131,43	1,34	1,63	0,11	0,85
Total corrigido	43					
CV (%)		15,66	12,74	13,27	5,55	21,61

QM = Quadrado médio, ns = significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 5. Resumo das análises de variâncias dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha da laranjeira Pera Rio (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad, após 12 meses de cultivo.

Fontes de variação	G.L.	QM					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Proporções	4	5,19 ns	0,01 ns	55,82 ns	10,20 ns	0,64*	0,02 ns
Modos de aplicação	1	6,16 ns	0,06 ns	82,37 ns	190,53*	0,24 ns	0,10 ns
Proporções x modos	4	4,58 ns	0,07 ns	63,61 ns	21,33 ns	0,17 ns	0,02 ns
Adicional x fatorial	1	0,22 ns	0,001 ns	0,06 ns	35,34 ns	2,34**	0,07 ns
Tratamentos	10	4,55 ns	0,04 ns	56,01 ns	35,20*	0,59**	0,033 ns
Blocos	3	15,52 ns	0,86*	31,21 ns	31,84 ns	0,94**	0,18 ns
Resíduo	30	3,41	0,15	30,52	40,18	0,18	0,08
Total corrigido	43						
CV(%)		7,58	16,71	28,70	35,91	14,53	14,00

QM = Quadrado médio, **, * e ns = significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Média do tratamento adicional difere ($P < 0,01$) em relação à média do fatorial.

Tabela 6. Resumo das análises de variâncias dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha da laranjeira Pera Rio (n=4), em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad e, após 24 meses de cultivo.

Fontes de variação	G	QM					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Proporções	4	7,74 ns	0,20 ns	83,30 ns	4,91 ns	1,23 ns	0,54 ns
Modos de aplicação	3	2,70 ns	0,0008 ns	52,21 ns	5,48 ns	0,26 ns	0,13 ns
Proporções x modos	4	8,31 ns	0,13 ns	45,13 ns	11,43 ns	0,61 ns	0,37 ns
Adicional x fatorial	3	20,6*	0,11 ns	35,11 ns	1,71 ns	1,88 ns	0,16 ns
Tratamentos	1	8,75*	0,14 ns	60,11 ns	7,26 ns	0,95 ns	0,40 ns
Blocos	3	4,87 ns	0,74**	71,80 ns	105,96*	1,22 ns	1,05 ns
Resíduo	3	4,5	0,11	65,27	21,46	0,47	0,41
Total corrigido	4						
CV(%)		7,00	11,33	45,30	17,33	21,11	16,70

QM = Quadrado médio, **, * e ns = significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F, respectivamente. Média do tratamento adicional difere ($P < 0,01$) em relação à média do fatorial.

Por outro lado, os tratamentos influenciaram significativamente o valor de P disponível no solo após o primeiro ano de cultivo (Figuras 3a, 3b) mas não influenciaram a disponibilidade de P (P-resina) após os 24 meses de cultivo (Tabela 7).

Em função disso, a determinação do balanço de frações inorgânicas de P, resultantes das diferentes proporções de misturas e modos de aplicação deste nutriente e após o cultivo da laranjeira Pera Rio, pode fornecer mais informações para o entendimento da resposta dessa cultura à adubação fosfatada e da dinâmica do P em solos altamente intemperizados do trópico úmido.

4.1 Frações inorgânicas de P

As frações inorgânicas de P, de modo geral, também apresentam interesse direto para a nutrição mineral das plantas, uma vez que a absorção deste nutriente se dá, preferencialmente, na forma inorgânica (Malavolta et al., 1997). De acordo com as pressuposições do fracionamento de Chang & Jackson (1957), existe uma diminuição na labilidade das frações inorgânicas de P na seguinte sequência: frações lábeis (P-Al > P-Fe > P-Ca) (Novais & Kamprath, 1978). No entanto, outras pesquisas sobre o assunto têm mostrado que qualquer uma das formas de P poderá ser importante fonte de P para as plantas quando são considerados diferentes tipos de solo (Bahia Filho & Braga, 1975), ou de plantas (Hedley et al.; 1982).

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores modo de aplicação e proporção da mistura de FNR-SFT nas frações P-Al, P-Fe e P-Ca, nas duas profundidades e nos três anos de avaliação do experimento.

4.1.1 Frações inorgânicas e disponibilidade de fósforo no solo após primeiro ano de cultivo

Em relação ao comportamento das frações de P no solo na profundidade de 0-10 cm e após 12 meses da aplicação dos tratamentos, notamos que o efeito dos tratamentos mostrou um padrão diferente em função da fração analisada.

Desdobrando o efeito do modo de aplicação dentro do fator proporção, notamos que as proporções 100:00 e 50:50 apresentaram os maiores valores de P-Al no modo de aplicação parcelado comparado com à aplicação total. No entanto, na proporção 75:25 os maiores valores foram observados no modo de aplicação total e, nas demais proporções não houve diferença entre os modos de aplicação (Figura 2a). Os maiores valores da fração P-Fe foram constatados no modo de aplicação total, exceto na proporção 100:00 que não houve diferença entre os modos de aplicação (Figura 2c). Quanto a fração P-Ca, observamos que independente da proporção das fontes não houve diferença entre os modos de aplicação (Figura 2e).

No desdobramento da proporção dentro do modo de aplicação, verificamos que dentro do modo de aplicação total, os maiores valores de P-Al foram encontrados na proporção 75:25 e, os menores valores foram obtidos na proporção 50:50 (Figura 2b). No modo de aplicação parcelada, os maiores valores foram observados na proporção 50:50 e os menores na proporção 25:75 (Figura 2b). Em relação a fração P-Fe, houve diferença apenas dentro do modo de aplicação total, os maiores valores foram observados na proporção 50:50, enquanto o menor valor dessa fração de P foi apresentada na proporção 25:75 (Figura 2d). Quanto a fração P-Ca, observamos diferença significativa entre as proporções apenas no modo de aplicação parcelado, onde as proporções 00:100 e 75:25 apresentaram os maiores e menores valores, respectivamente (Figura 2f).

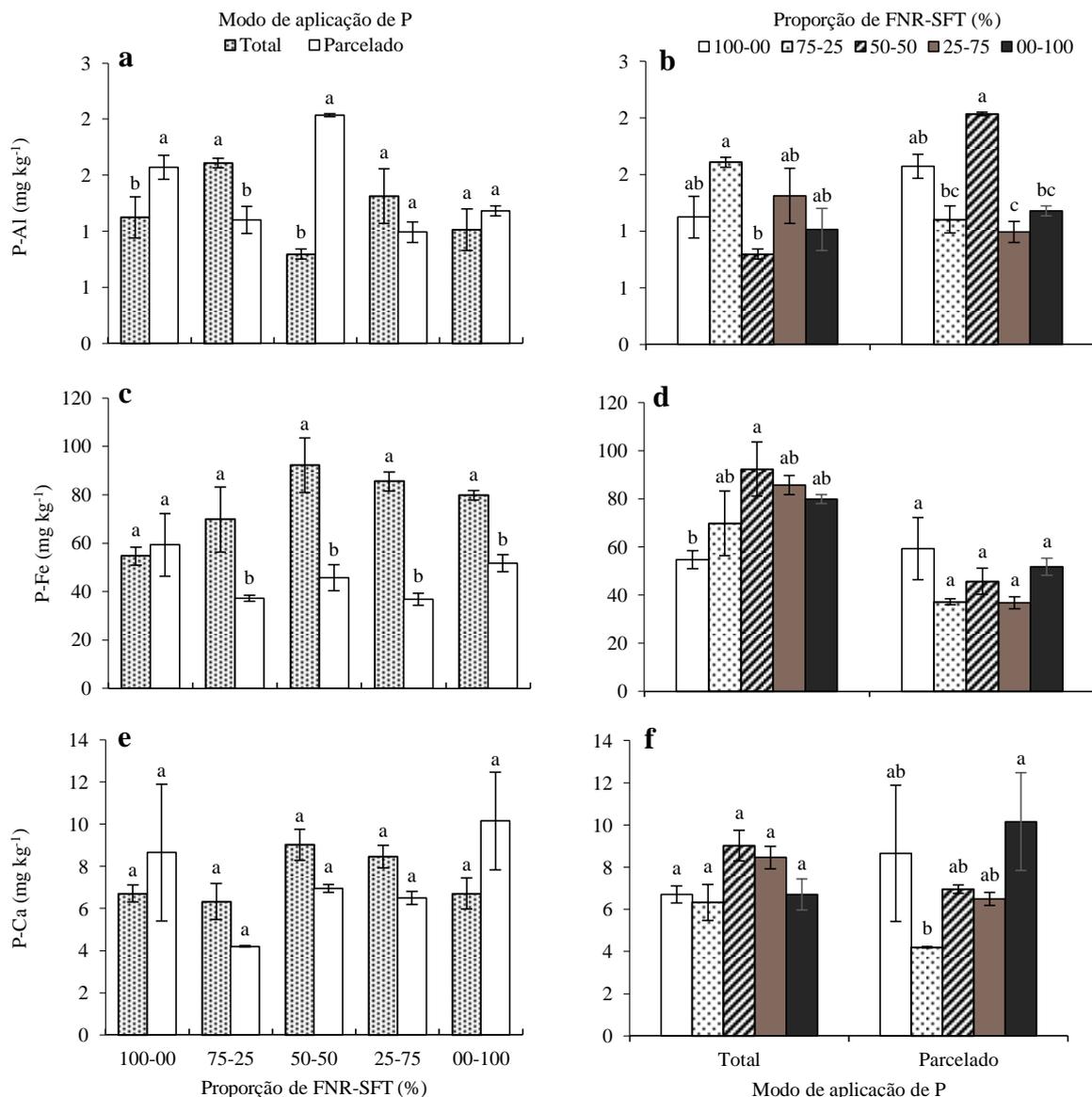


Figura 2. Efeito de diferentes modos de aplicação e proporções de misturas de fosfato natural de Arad com superfosfato triplo nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-AI) (a, b), a ferro (P-Fe) (c, d) e a cálcio (P-Ca) (e, f) ($n=4$) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 12 meses de cultivo da laranja Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores modo de aplicação e proporção da mistura de FNR/SFT sobre a disponibilidade de P (extrator resina), na profundidade de 0-10 cm e 12 meses após a aplicação dos tratamentos. Mas houve efeito isolado tanto do fator modo de aplicação quanto do fator proporção da mistura de FNR/SFT.

Em relação ao efeito do fator modo de aplicação sobre a disponibilidade de P (P-resina) no solo, notamos que o modo de aplicação total proporcionou maior valor de P disponível comparado com o modo de aplicação parcelado (Figura 3a).

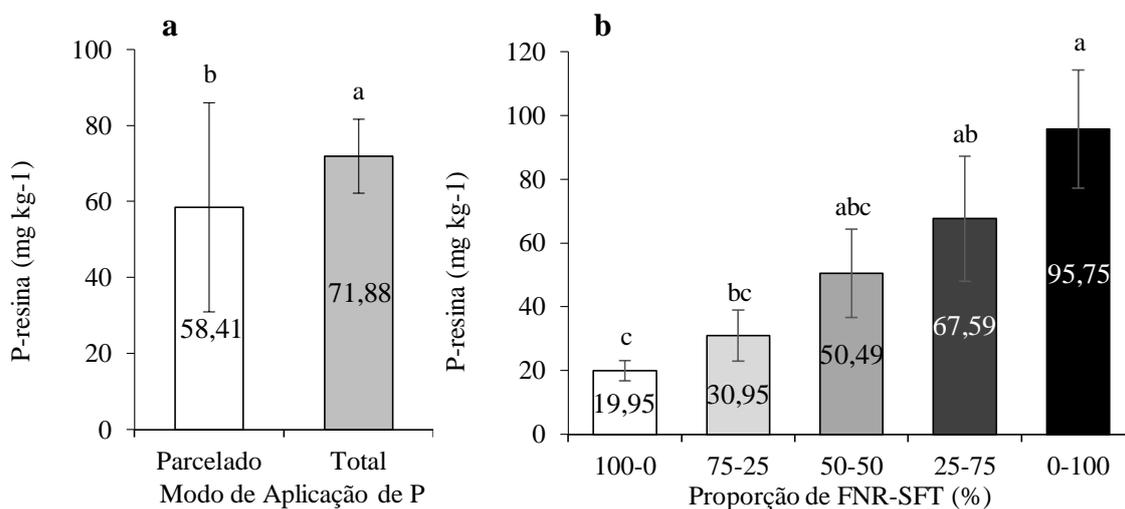


Figura 3. Efeito do modo de aplicação (a) e de proporções da mistura (b) de superfosfato triplo (STF) com fosfato natural de Arad (FRA) na disponibilidade de fósforo resina (P-resina) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, após 12 meses de aplicação dos tratamentos e cultivo da laranja Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto ao efeito de diferentes proporções de misturas de FNR/SFT sobre a disponibilidade de P no solo (extrator resina), observa-se que a proporção 00:100 contribui com o maior valor de P disponível, mas esta proporção não diferenciou significativamente da proporção 25:75 e 50:50. Por outro lado, a proporção 100:00 apresentou o menor valor de P disponível e não diferenciou significativamente da proporção 75:25 (Figura 3b).

Quanto ao comportamento das frações de P após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mas considerando a profundidade de 10-20 cm, observamos que o efeito dos tratamentos também apresentou padrões distintos em função da fração analisada.

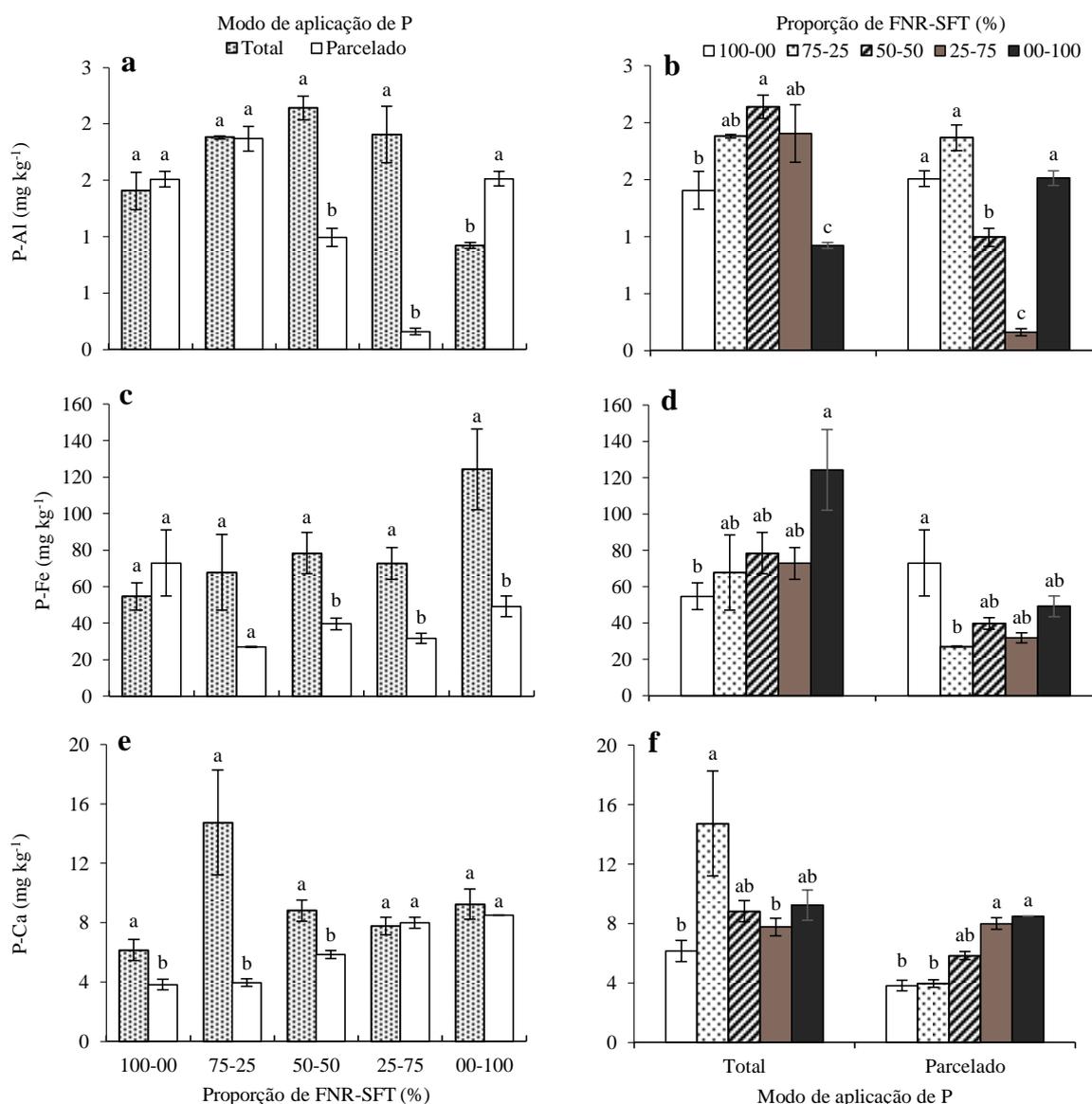
Desdobrando o efeito do fator modo de aplicação dentro do fator proporção, notamos que na fração P-Al o modo de aplicação total apresentou os maiores valores de P comparado ao modo parcelado nas proporções 50:50 e 25:75, enquanto que na proporção 00:100 o modo de aplicação parcelado contribuiu com maior valor de P, comparado a aplicação total (Figura 4a). No caso da fração P-Fe e nas proporções 50:50, 25:75 e 00:100, o modo de aplicação total apresentou os maiores valores de P comparado com o modo parcelado. Nas proporções 100:00 e 75:25 os modos de aplicação não diferenciaram significativamente entre si (Figura 4c). Quanto a fração P-Ca, os modos de aplicação diferiram significativamente nas proporções 100:00, 75:25 e

50:50, onde o modo de aplicação total apresentou os maiores valores comparado ao parcelado (Figura 4e).

Em relação ao desdobramento do fator proporções dentro do fator modo de aplicação, no caso da fração P-Al e no modo de aplicação total, notamos que a proporção 50:50 apresentou o maior valor mas que não diferenciou significativamente das proporções 75:25, 25:75, enquanto a proporção 00:100 contribuiu com o menor valor de P. No caso do modo parcelado, a proporção 75:25 proporcionou os maiores valores que não diferenciaram significativamente das proporções 100:00 e 00:100, por outro lado, o menor valor foi observado na proporção 25:75 (Figura 4b). Na fração P-Fe e no modo de aplicação total, notamos que a proporção 00:100 proporcionou o maior valor de P enquanto o menor valor foi observado na proporção 100:00. Já no modo de aplicação parcelada, a proporção 100:00 apresenta os maiores valores enquanto a proporção 75:25 contribui com o menor valor de P nessa fração, mas que é semelhante às proporções 50:50, 75:25 e 00:100 (Figura 4d). Finalmente para a fração P-Ca, notamos que no modo de aplicação total a proporção 75:25 apresentou o maior valor de P, mas não diferenciou significativamente das proporções 50:50 e 00:100, por outro lado, os menores valores foram observados nas proporções 25:75 e 100:00. Para o modo de aplicação parcelada, as proporções 00:100 e 25:75 apresentaram os maiores valores de P enquanto que as proporções 100:00 e 75:25 contribuíram com os menores valores (Figura 4f).

De maneira geral, os resultados mostraram que houve um melhor desempenho da aplicação total em comparação com a aplicação parcelada. Apenas no caso da fração P-Al os resultados foram mais variados, entretanto, a aplicação total ainda se mostrou eficaz nas proporções intermediárias (75-25 na camada 0-10 cm, e 50-50 e 25-75 na camada 10-20 cm). Para a fração P-Fe a aplicação total foi mais eficaz na maioria das proporções, exceto na 100-00. Já para o P-Ca só houve diferenças entre os modos de aplicação na camada de 10-20 cm, nas proporções com maior presença de FNR.

Os resultados com relação às proporções foram mais variados. Para a fração P-Fe, nota-se que com a aplicação total a maioria das proporções obtiveram resultados semelhantes, com exceção da fração 100-00. Já com a aplicação parcelada as proporções, em sua maioria, foram semelhantes. Com a fração P-Ca, as proporções apresentaram resultados similares em ambas as camadas na aplicação total, com exceção da 75-25 na camada de 10-20 cm. Na aplicação parcelada a proporção 00-100 apresentou os maiores resultados, devido à rápida liberação do SFT.



4.1.2 Frações inorgânicas e disponibilidade de fósforo no solo após segundo ano de cultivo

Quanto ao efeito dos tratamentos nas frações inorgânicas de P após 24 meses da aplicação dos tratamentos e na profundidade de 0-10 cm, ao desdobrarmos o efeito do fator modo de aplicação dentro de proporção, notamos que para a fração P-Al o modo de aplicação total contribui com maior valor de P comparado ao modo parcelado, exceto

na proporção 75:25 onde o valor de P no modo parcelado foi maior comparado a aplicação total (Figura 5a). No caso da fração P-Fe, o modo de aplicação total apresentou o maior valor de P na proporção 100:00, por outro lado, na proporção 00:100 o modo de aplicação parcelado contribuiu com maior valor dessa fração, comparado ao modo de aplicação total. Nas demais proporções, os modos de aplicação não diferenciaram significativamente entre si (Figura 5c). Quanto ao P-Ca, nas proporções 00:100 e 25:75 o modo de aplicação parcelado contribuiu com maior valor de P, enquanto que na proporção 50:50 o modo de aplicação parcelado apresentou maior valor do P recuperado comparado ao modo de aplicação total, nos demais proporções os modos de aplicação não diferenciaram entre si (Figura 5e).

Considerando o desdobramento do fator proporção dentro do modo de aplicação, observamos que na fração P-Al e no modo de aplicação total, a proporção 25:75 apresentou o menor valor de P e, as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si. No modo de aplicação parcelado, as proporções 50:50 e principalmente 00:100 contribuíram com os menores valores de P nesta fração, enquanto que as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si (Figura 5b). No caso da fração P-Fe, não houve diferença significativa entre as proporções, independentemente do modo de aplicação (Figura 5d). Em relação a fração P-Ca, houve diferença significativa entre as proporções, somente no modo de aplicação parcelada e, a proporção 00:100 apresentou o maior valor de P, mas não diferenciou significativamente das proporções 25:75 e 75:25. Por outro lado, as proporções 100:00 e 50:50 mostraram os menores valores e não diferenciaram significativamente entre si (Figura 5f).

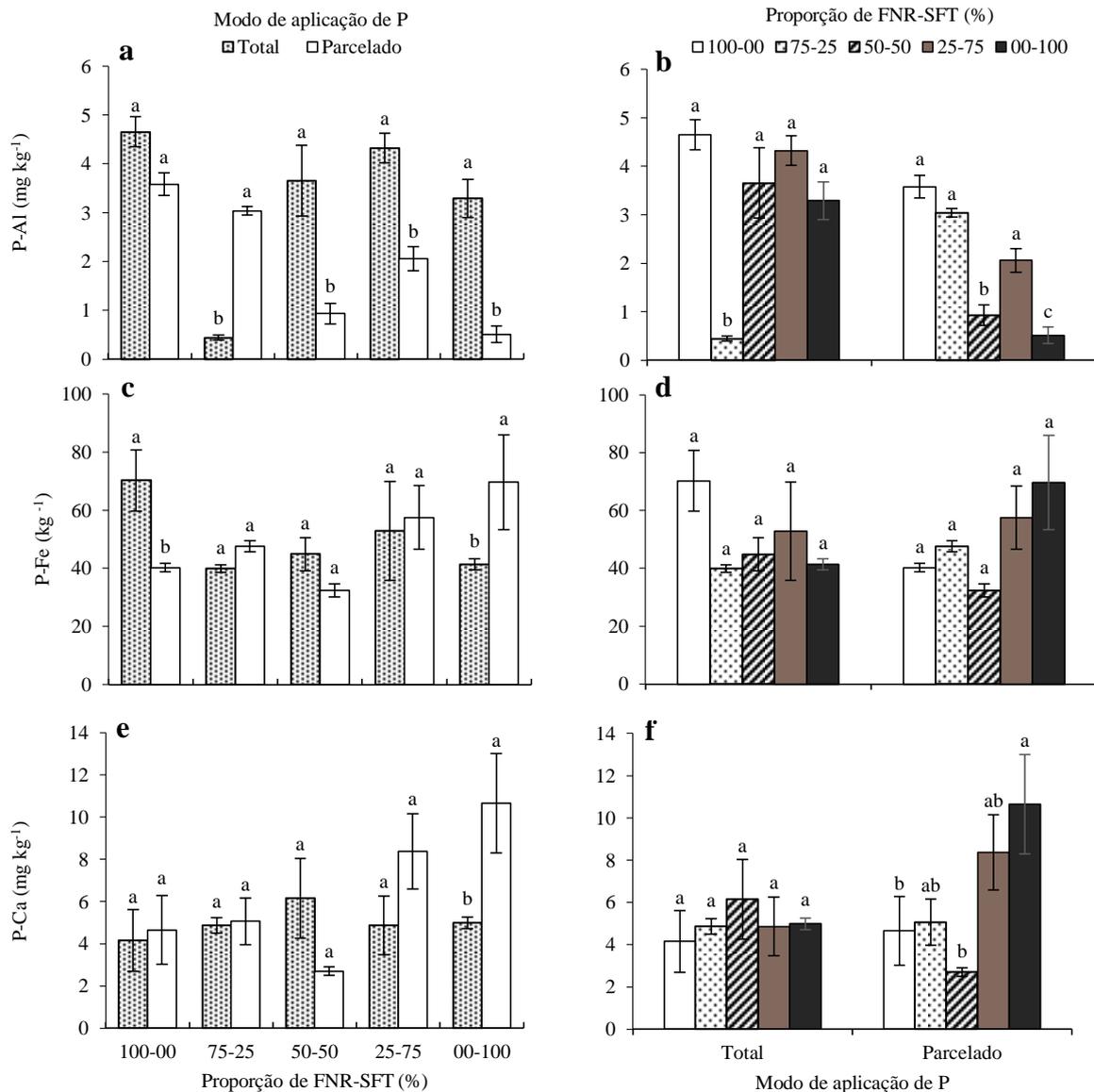


Figura 5. Efeito de diferentes modos de aplicação e proporções de misturas de fosfato natural de Arad com superfosfato triplo nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), a ferro (P-Fe) (c, d) e a cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 24 meses de cultivo da laranja Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Não houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre os fatores modo de aplicação e proporções da mistura de FNR/SFT e, nem dos efeitos isolados modos de aplicação e proporções da mistura de FNR/SFT sobre a disponibilidade de P (extrator resina), na profundidade de 0-10 cm e 24 meses após a aplicação dos tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância do efeito de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad sobre a disponibilidade de fósforo resina (P-resina) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio.

Fontes de variação	G.L.	Q.M.
		P-Resina
Modo de aplicação	1	0.299290 ^{ns}
Proporção	4	0.052760 ^{ns}
Modo de aplicação * Proporção	4	0.104803 ^{ns}
Erro	30	0.136415
Total	39	-
C.V. (%)	-	26.47

ns = não significativo pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

Foram utilizados modelos de regressão múltipla para analisar a correlação entre as diferentes frações de P no solo na profundidade de 0-10 cm (Tabela 8). Para o P-Al, não houve efeito significativo ($P < 0,05$) na correlação com as demais variáveis, após 12 e 24 meses de cultivo. O P-Fe correlacionou-se com o P-Resina após 12 meses de cultivo, e também com o P-Ca após 24 meses de cultivo. Já o P-Ca correlacionou-se com o P-resina após 12 meses de cultivo e com o P-Fe após 24 meses.

Tabela 8. Correlação entre a disponibilidade de P (P-resina) com as frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-A), a ferro (P-Fe) e a cálcio (P-Ca) (n=4), na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e, após 12 e 24 meses de cultivo da laranjeira Pera-Rio. Em função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural de Arad, aplicados na superfície do solo.

Variáveis	12 meses			24 meses		
	P-Al	P-Fe	P-Ca	P-Al	P-Fe	P-Ca
P-Fe	0,13 ^{ns}	-	-	0,06 ^{ns}	-	-
P-Ca	-0,01 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-	-0,21 ^{ns}	0,59 ^{**}	-
P-resina	0,06 ^{ns}	0,66 ^{**}	0,50 ^{**}	0,28 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,17 ^{ns}

ns = não significativo; (**), (*) significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Considerando o efeito dos tratamentos nas frações inorgânicas de P, após 24 meses da aplicação dos tratamentos e na profundidade de 10-20 cm. Quanto ao desdobramento do fator modo dentro do fator proporções, observamos que para a fração P-Al, nas proporções 100:00, 25:75 e 00:100, o modo de aplicação total contribuiu com maior valor de P comparado com o modo parcelado. Por outro lado, nas proporções 75:25 e 50:50, o modo de aplicação parcelado apresentou maiores valores de P comparado a aplicação total (Figura 6a). No caso da fração P-Fe, apenas nas proporções 100:00 e 00:100 houve diferença significativa entre os modos de aplicação, sendo que a

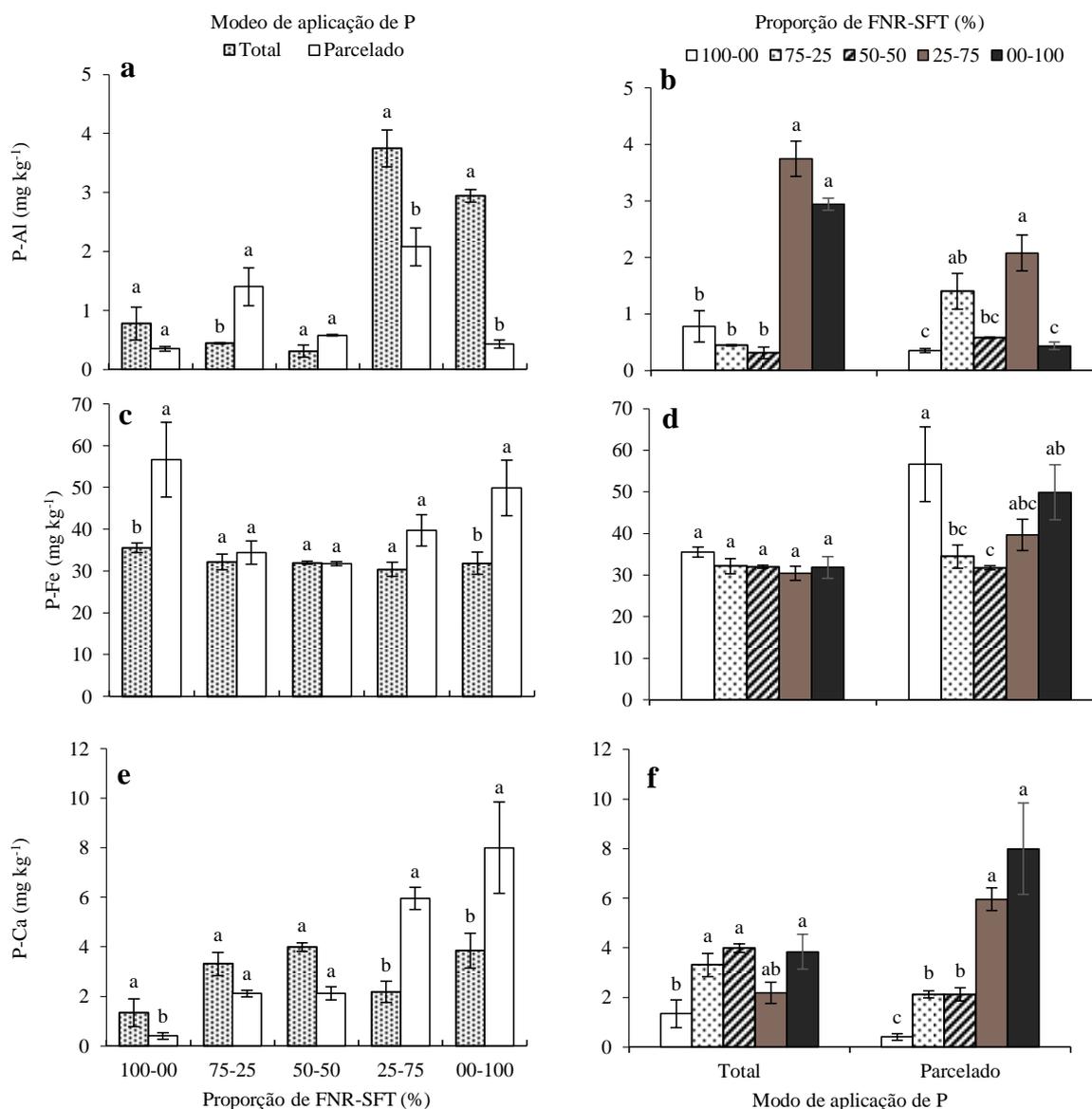
aplicação parcelada contribuiu com maiores valores de P, comparado a aplicação total (Figura 6c). Em relação a fração P-Ca, nas proporções 00:100 e 25:75 o modo de aplicação parcelado contribuiu com maior valor de P comparado a aplicação total. Por outro lado, na proporção 100:00 o modo de aplicação total apresentou maior valor do P comparado com a aplicação parcelada (Figura 6e).

Em relação ao desdobramento do fator proporções dentro do fator modo de aplicação, observamos para a fração P-Al e no modo de aplicação total, que as proporções 25:75 e 00:100 apresentaram os maiores valores de P e não diferenciaram significativamente entre si. Enquanto que as proporções 50:50, 75:25 e 100:00 contribuíram com os menores valores (Figura 6b). Para a fração P-Fe, houve diferença significativa entre as proporções apenas no modo parcelado e os maiores valores de P foram encontrados na proporção 100:00, enquanto a proporção 50:50 contribuiu com o menor valor (Figura 6d). Em relação a fração P-Ca, no modo de aplicação total a proporção 100:00 apresentou o menor valor dessa fração, enquanto que as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si. No modo de aplicação parcelado, os maiores valores de P foram observados nas proporções 00:100 e 25:75 que não diferenciaram significativamente entre si, por outro lado, a proporção 100:00 apresentou o menor valor de P (Figura 6f).

Em resumo, os resultados no segundo ano mostraram que a aplicação parcelada apresentou melhores índices em algumas combinações, sendo significativamente semelhante a aplicação total nas demais combinações. Para a fração P-Al, nas proporções com maiores quantidades de SFT a aplicação total ainda foi superior, tanto de 0-10 cm como de 10-20 cm. Para o P-Fe, nas proporções intermediárias (75-25, 50-50 e 25-75) não houve diferença significativa. No tratamento com maior teor de FNR a liberação dessa fonte após 24 meses proporcionou maior teor de P-Fe em comparação com a nova aplicação parcelada, já no tratamento com maior teor de SFT, a aplicação parcelada no segundo ano proporcionou maior teor de P-Fe.

Quanto ao efeito dos tratamentos nas proporções, nota-se que na fração P-Fe as proporções foram todas semelhantes para ambos os modos de aplicação, para a camada de 0-10 cm, e no modo de aplicação total na camada de 10-20 cm, havendo uma superioridade da proporção 100-00. Para a fração P-Ca, a aplicação total mostrou semelhança entre os tratamentos, com exceção apenas da proporção 100-00 na camada de 0-20. Já no modo de aplicação parcelado ficou notável um aumento dos teores de P

de acordo com o aumento do SFT na mistura, devido ao fato de que o FNR na mistura parcelada não solubilizar diretamente no mesmo período de aplicação.



4.1.3 Frações inorgânicas de fósforo no solo após terceiro ano de cultivo

Em relação ao efeito dos tratamentos nas frações inorgânicas de P após 36 meses da aplicação dos tratamentos e na profundidade de 0-10 cm. Ao desdobrar o efeito do

fator modo de aplicação dentro do fator proporções, observamos na fração Al que nas proporções 100:00, 25:75 e 00:100 o modo de aplicação total contribuiu com maiores valores de P comparado a aplicação parcelada. Nas demais proporções o modo de aplicação não diferenciou significativamente (Figura 7a). Para a fração P-Fe e nas proporções 100:00, 75:25 e 00:100, o modo de aplicação parcelada contribuiu com maiores valores de P comparado a aplicação total, enquanto que nas demais proporções não houve diferença significativa entre os modos de aplicação (Figura 7c). Quanto a fração P-Ca, notamos que nas proporções 100:00, 75:25 e 25:75 o modo de aplicação parcelada apresentaram os maiores valores de P comparado a aplicação total, enquanto que nas proporções 50:50 e 00:100 os modos de aplicação não diferenciaram significativamente entre si (Figura 7e).

Considerando o desdobramento do fator proporções dentro fator modo de aplicação, notamos para a fração P-Al e na aplicação total, os maiores valores de P foram encontrados na proporção 100:00, enquanto que a proporção 75:25 apresentou o menor valor. No caso do modo de aplicação parcelada, observamos que as proporções 75:25 contribui com maior valor de P, mas não diferenciou significativamente das proporções 50:50 e 100:00, por outro lado, as proporções 25:75 e 00:100 mostraram os menores valores de P, não diferenciando significativamente entre si (Figura 7b). Para a fração P-Fe, somente no modo de aplicação parcelada as proporções influenciaram significativamente as concentrações de P, a proporção 00:100 mostrou o maior valor e, as demais proporções não diferenciaram significativamente entre si (Figura 7d). Por outro lado, na fração P-Ca, no modo de aplicação total a fração 00:100 mostrou o maior valor da concentração de P e as demais proporção não diferenciaram significativamente entre si. No modo parcelado, a proporção 100:00 apresentou o maior valor enquanto a proporção 50:50 contribuiu com menor valor de P (Figura 7f).

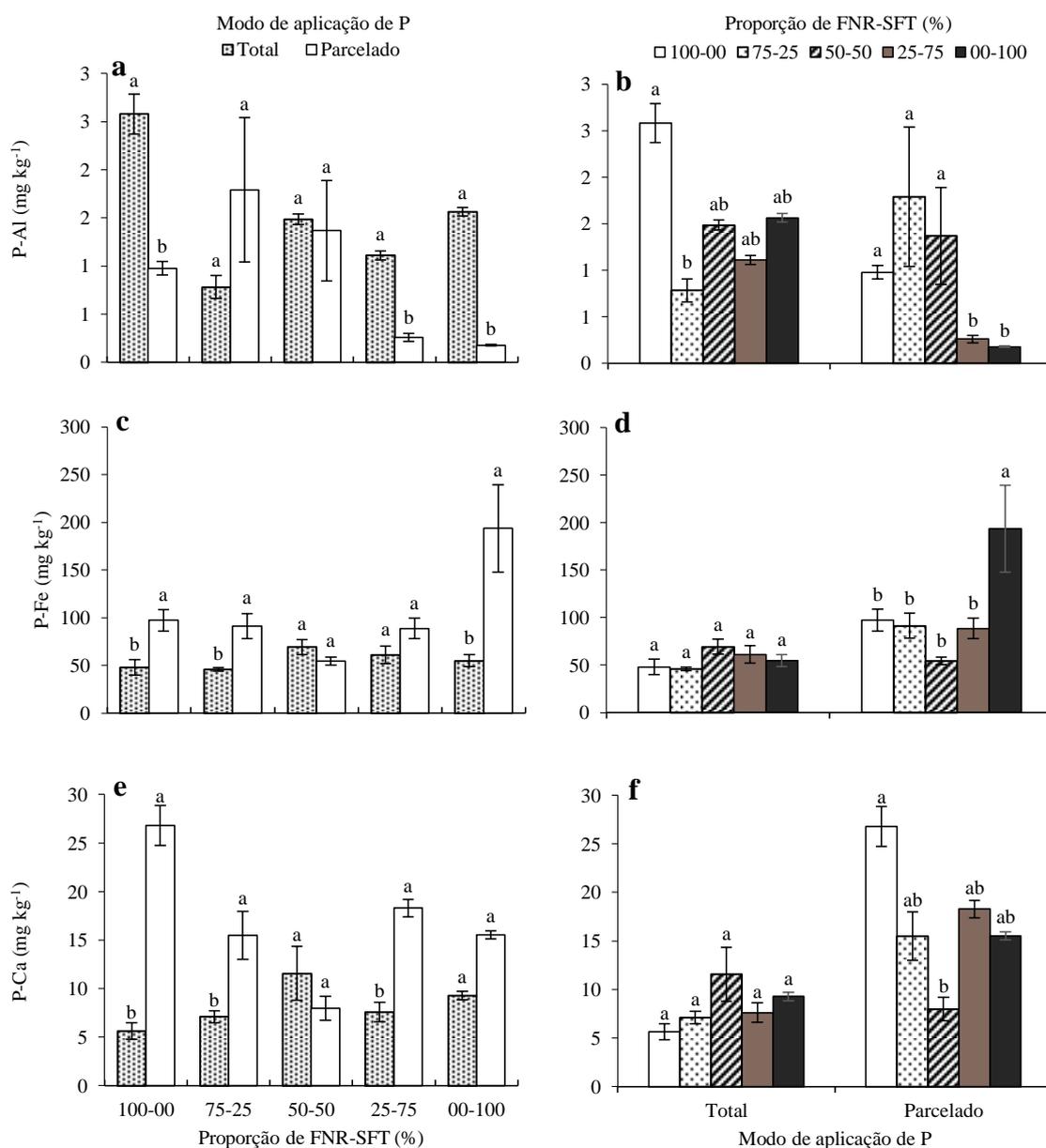


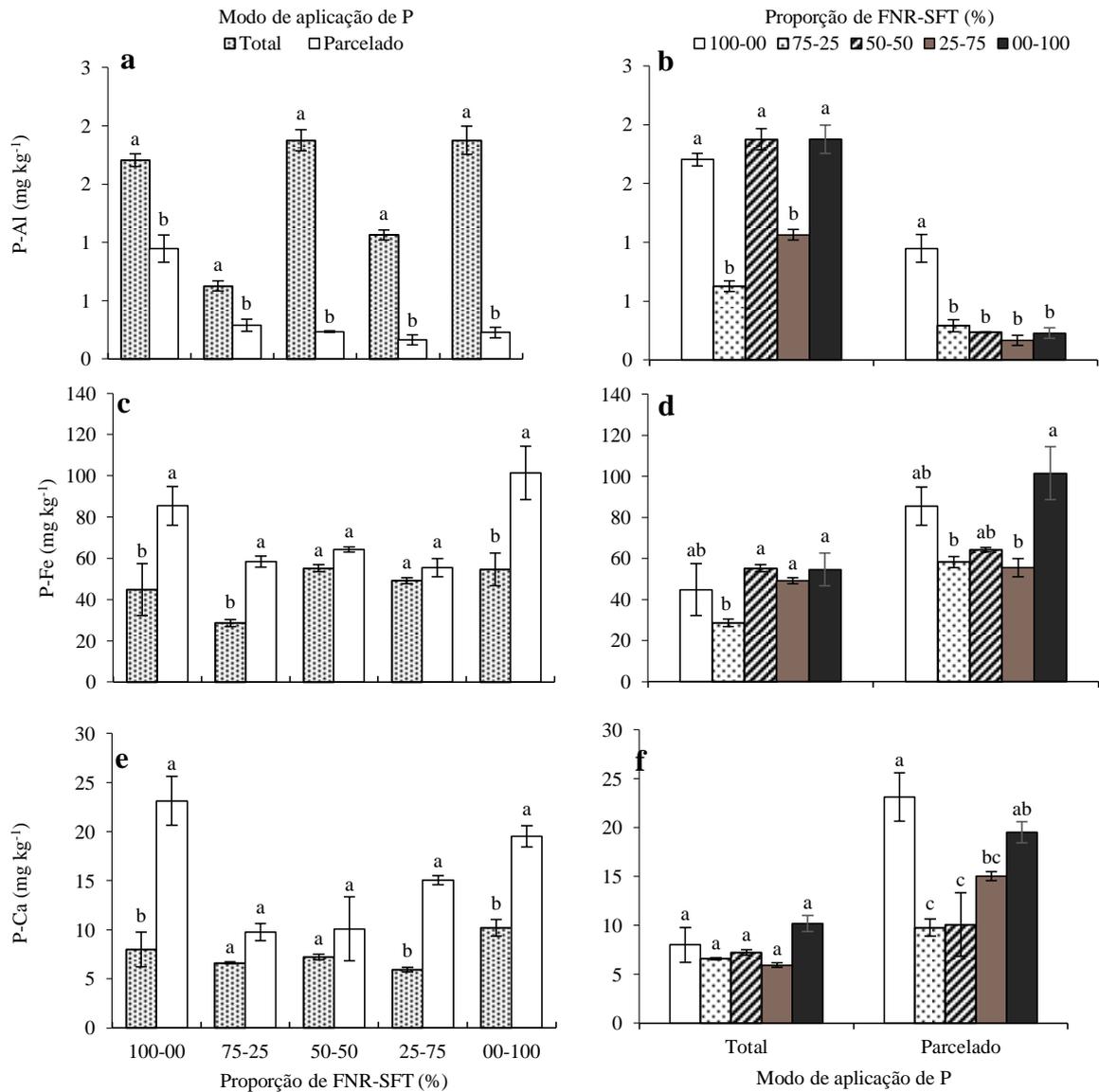
Figura 7. Efeito de diferentes modos de aplicação e proporções de misturas de fosfato natural de Arad com superfosfato triplo nas frações inorgânicas de fósforo ligado a alumínio (P-Al) (a, b), a ferro (P-Fe) (c, d) e a cálcio (P-Ca) (e, f) (n=4) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e após 36 meses de cultivo da laranja Pera-Rio. A barra de erro representa o erro padrão da amostra. Barras seguidas de mesmas letras dentro da proporção ou do modo de aplicação não diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação ao efeito dos tratamentos nas frações inorgânicas de P no solo após 36 meses da aplicação dos tratamentos e na profundidade de 10-20 cm. Ao desdobrar o efeito do fator modo de aplicação dentro do fator proporção, observamos para a fração P-Al que o modo de aplicação total contribuiu com maiores valores de P comparado com o modo parcelado, independentemente da proporção da mistura das fontes (Figura 8a). Quanto ao P-Fe, nas proporções 100:00, 75:25 e 00:100, o modo de aplicação

parcelado mostrou maiores valores de P e, nas proporções 50:50 e 25:75, os modos de aplicação não diferenciaram entre si (Figura 8c). No caso do P-Ca, nas proporções 100:00, 25:75 e 00:100, o modo parcelado contribuiu com maiores valores de P comparado com a aplicação total e, nas proporções 75:25 e 50:50 os modos de aplicação não diferiram significativamente entre si (Figura 8e).

Quanto ao desdobramento do efeito de proporções dentro de modo de aplicação, para a fração P-Al e no modo de aplicação total, os menores valores dessa fração foram observados nas proporções 25:75 e 75:25 e, não diferenciaram significativamente entre si. No caso do modo de aplicação parcelado, a proporção 100:0 contribuiu com os maiores valores de P (Figura 8b). Em relação a fração P-Fe, no modo de aplicação total as proporções 50:50, 25:75 e 00:100 contribuíram com os maiores valores de P e não diferenciaram significativamente entre si, enquanto que a proporção 75:25 apresentou o menor valor. No modo de aplicação parcelada, a proporção 00:100 apresentou o maior valor de P enquanto as proporções 25:75 e 75:25 contribuíram com os menores valores e não diferenciaram significativamente entre si (Figura 8d). No caso da fração P-Ca, houve diferença significativa apenas na aplicação parcelada, a proporção 100:00 apresentou o maior e, por outro lado, as proporções 75:25 e 50:50 apresentaram os menores valores de P, que não diferenciaram significativamente entre si (Figura 8f).

No terceiro ano foi notável a contribuição da aplicação parcelada tanto para as frações P-Fe quanto para a P-Ca. No caso do P-Fe, as proporções mais intermediárias mostraram resultados similares para ambos os modos de aplicação, em ambas as profundidades, enquanto nas proporções de 100-00, 75-25 e 00-100 a aplicação parcelada foi superior. Da mesma forma que no segundo ano, desta vez houve uma maior contribuição da aplicação parcelada. Para a fração P-Ca os resultados foram parecidos com os da fração P-Fe, sendo que para a camada de 10-20 cm os resultados foram mais expressivos.



4.2 Contribuição relativa das frações de fósforo

De modo geral, as maiores concentrações de P recuperadas pelo fracionamento estavam associadas a fração P-Fe, enquanto que as menores concentração estavam associadas a fração P-Al (Figura 9), dessa forma, a ordem de concentração das frações inorgânicas de P no solo foi a seguinte: P-Fe >>>> P-Ca >> P-Al.

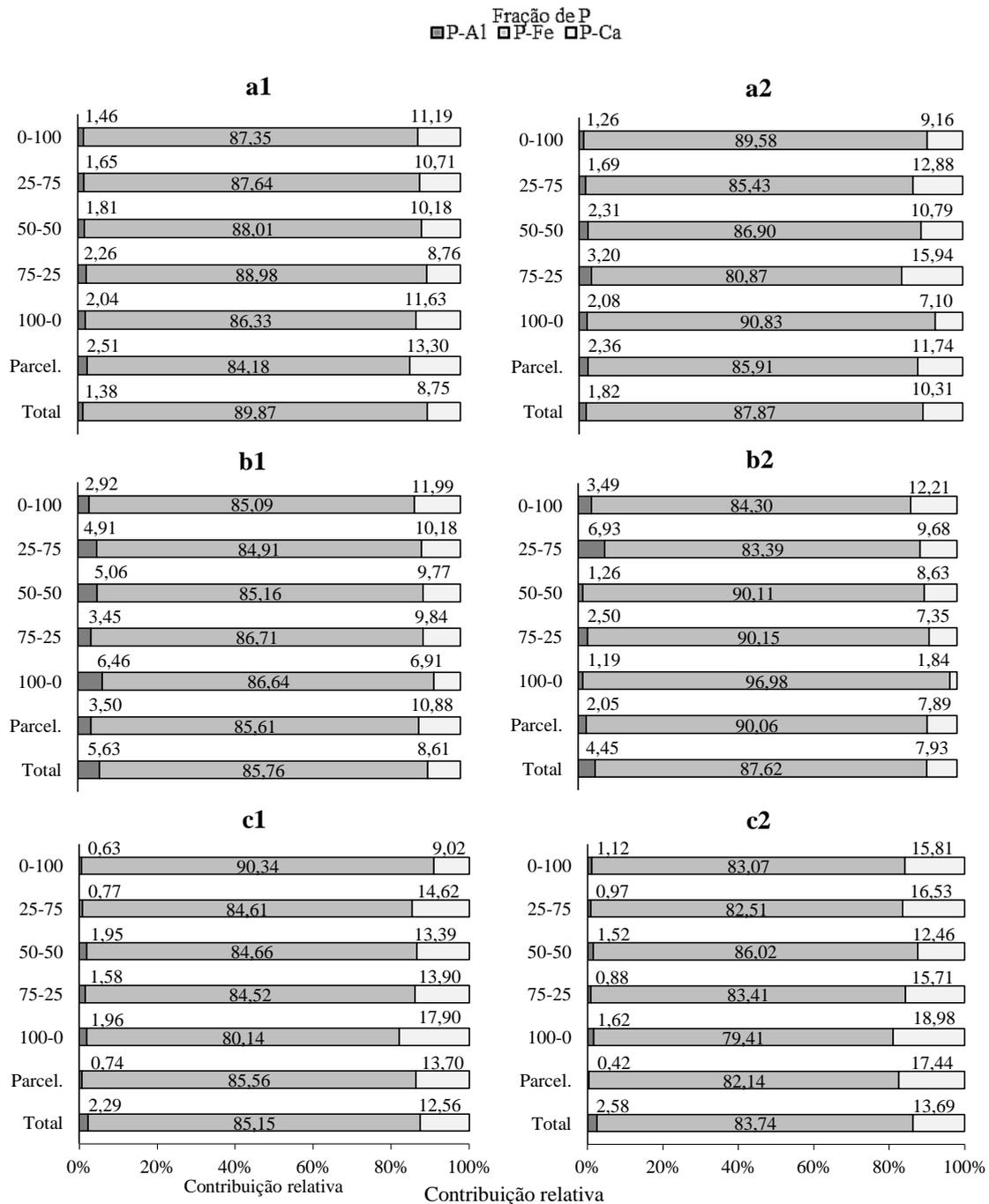


Figura 9. Distribuição percentual das frações de P ligado a alumínio (P-Al), a ferro (P-Fe) e a cálcio (P-Ca) (n=4) nas profundidades de 0-10 cm (a1, b1 e c1) e 10-20 cm (a2, b2 e c2), em

função de diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad. Amostras coletadas aos 12 (a1, a2), 24 (b1, b2) e 36 (c1 e, c2) meses após aplicação dos tratamentos.

Em comparação a soma total das três formas, observou-se que a fração P-Fe contribuiu com um valor médio 87,66% seguida pela fração P-Ca, com 10,49% e P-Al com 1,84 %, após 12 meses da aplicação dos tratamentos e, na camada de 0-10. Em relação a camada de 10-20 cm de profundidade notamos que a fração P-Fe contribuiu com um valor médio de 86,72 %, seguida pela fração P-Ca, com 11,17% e o P-Al com 2,11% (Figura 9a1). Nesta profundidade observamos um ligeiro aumento na fração P-Ca na mistura da proporção 75:25 de FNR/SFT (Figura 9a2) comparado a profundidade 0-10cm.

Em relação as amostras de solos coletadas no segundo ano, na camada de 0-10 cm de profundidade, a fração P-Fe contribuiu com um valor médio de 85,70%, seguida pela fração P-Ca (com 9,74% e P-Al com 4,56 % (Figura 9b1). De modo geral, notamos um ligeiro aumento na fração P-Al e diminuição no P-Fe (Figura 9b2) comparativamente ao primeiro ano. No caso da camada de 10-20 cm de profundidade, a fração P-Fe representou 88,94%, enquanto o P-Ca e P-Al mostraram valores médios de 7,93e, 3,12%, respectivamente (Figura 9b2). Quanto a contribuição relativa das formas inorgânicas de P após 36 meses da aplicação dos tratamentos, na camada de 0-10 cm de profundidade a fração P-Fe representou 82,18%, enquanto o P-Ca apresenta um valor de 16,46% e, o P-Al estava em torno de 1,36 % (Figura 9c1). Em relação a camada de 10-20cm de profundidade, o P-Fe contribui com 82,88%, enquanto o P-Ca e P-Al representaram 15, e 1,22%, respectivamente (Figura 9c2). De modo geral, estes valores mostram um pequeno aumento na fração P-Ca e diminuição na fração P-Al, comparativamente a profundidade de 10-20 cm observado no segundo ano (Figura 9b2).

5 DISCUSSÃO

O presente estudo mostrou os efeitos tanto dos diferentes modos de aplicação quanto das diferentes proporções da mistura de FNR/SFT na disponibilidade de P (P-resina) e na concentração das frações P-Al, P-Fe e P-Ca. Esses efeitos foram variados em função do período considerado dentro dos 36 meses, além da estratégia de adubação utilizada. Dessa forma, para que haja eficiência em uma determinada estratégia de adubação, deve-se considerar uma estratégia específica de uso dos fatores aqui analisados, conforme os resultados demonstrados.

Notavelmente, houve uma superioridade do modo de aplicação total sobre o modo de aplicação parcelado após 12 meses de cultivo, principalmente se considerarmos as frações P-Fe e P-Ca e as proporções onde havia a presença de ambas as fontes FNR/SFT. Para a fração P-Al, que mostrou resultados mais variados, a aplicação total ainda se mostrou eficaz nas proporções intermediárias (75-25 na camada 0-10 cm, e 50-50 e 25-75 na camada 10-20 cm).

Os resultados com relação às proporções após 12 meses não justificam a escolha absoluta de uma proporção, devido tanto ao período de análise quanto pelas características de cada fonte. Parte dos resultados foram estatisticamente semelhantes, principalmente para a aplicação parcelada na fração P-Fe e para ambas as aplicações na fração P-Ca. A proporção com 100-00 apresentou menores teores de P-Fe em ambas as camadas, uma vez que o FNR não solubilizou devido ao curto tempo de contato com o solo, por outro lado, a proporção 00-100 apresentou maiores teores de P-Ca com a aplicação parcelada.

Quanto à disponibilidade de P (P-resina), também houve superioridade do modo de aplicação total após 12 meses. Apesar disso, observou-se que a aplicação parcelada permitiu uma recuperação de aproximadamente 80% (58,41) do P disponível comparado ao alcançado com a aplicação total (71,88), indicando que mesmo aplicando uma dose menor do fertilizante de forma parcelada, é possível alcançar teores de P disponível próximos daqueles alcançados com a aplicação total, mesmo que seja em menor quantidade.

Em relação ao efeito das proporções de FNR e SFT na fonte sobre a disponibilidade de P (P-resina) após 12 meses, observou-se de maneira geral que uma mistura de fontes com predominância do STF proporcionou maiores valores de P

disponível no primeiro ano, destacando-se que esse efeito se mostra significativo apenas no primeiro ano, ou seja, um efeito a curto prazo.

Estimativas mostram que 5% a 25% de P solúvel é absorvido pela cultura e o restante é totalmente fixado (Alcarde et al. 1991), e devido à essa baixa eficiência, os solos tropicais necessitam de elevadas quantidades de adubos fosfatados na maioria das vezes (Figueiredo et al., 2012), e as aplicações de fosfato em menores doses não são suficientes para suprir as necessidades das plantas. Essa característica dos solos tropicais explica maiores teores de P com a aplicação total no primeiro ano de cultivo, tanto para as frações quanto para a disponibilidade de P.

Também é provável que a maior concentração das frações e maior disponibilidade de P (P-resina) com aplicação total tenham ocorrido devido à maior quantidade de P aplicado (150 kg ha^{-1}) em comparação com os 50 kg ha^{-1} no tratamento de aplicação parcelada.

Após 24 meses, a aplicação parcelada contribuiu para maiores teores de P-Fe e P-Ca, com resultados diferentes apenas na fração P-Al, o que pode estar associado à baixa absorção dessa fração pelas plantas, uma vez que os tratamentos não diferenciaram quanto aos parâmetros de crescimento (Silva Júnior, 2019). Com relação às combinações das fontes, houveram resultados iguais para as proporções onde haviam ambas as fontes (75-25, 50-50 e 25-75) e resultados superiores para as demais combinações (100-0 e 0-100) com o modo parcelado. Com exceções ocorrendo apenas na proporção 100-00, onde a aplicação total se mostrou superior, provavelmente devido ao FNR que foi aplicado totalmente ter solubilizado após 12 meses.

Quanto às proporções da mistura de FNR / SFT, vimos após 24 meses que a maior parte dos resultados foram estatisticamente semelhantes, principalmente para o P-Fe e o P-Ca. Apesar dos resultados, no P-Fe houve uma superioridade da proporção 100-00 na camada 10-20, ou seja, o FNR aplicado após 12 meses solubilizou a ponto de ultrapassar as demais proporções, indicando um efeito residual. Para a fração P-Ca, no modo de aplicação parcelado ficou notável um aumento dos teores de P de acordo com o aumento do SFT na mistura, devido ao fato de que o FNR na mistura parcelada não solubilizar diretamente no mesmo período de aplicação.

Ainda após 24 meses, observamos que os tratamentos com aplicação parcelada e maiores proporções de FNR na mistura (100-00 e 75-25) alcançaram maiores incrementos de P disponível quando comparados com os tratamentos com aplicação

total e maiores proporções de SFT na mistura (25-75 e 00-100), diferindo do valor total de disponibilidade de P, que foi semelhante para todos.

Esse efeito residual do FNR notado após 24 meses se deve à liberação de uma maior quantidade de P à longo prazo por essas fontes, além disso, houve o incremento de mais 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com a aplicação parcelada, dessa forma, esses tratamentos obtiveram um maior incremento na disponibilidade de P (P-resina) quando comparado aos tratamentos com aplicação total e maior proporção de SFT, o que explica não haver uma variação entre as médias dos tratamentos tanto para as frações quanto para disponibilidade de P.

Após 36 meses foi notável a superioridade da aplicação total, mas apenas para a fração P-Al. Essa maior contribuição pode ser atribuída ao fato de que a fração P-Al pode servir como fonte ou como um dreno do P disponível no solo, além disso, a fração P-Fe (ou extraída com NaOH) e P-Ca (ou extraída com H₂SO₄) são as que mais servem de reservatório onde se acumula o P aplicado (Gatiboni et al., 2007). Para as frações P-Fe e P-Ca a aplicação parcelada foi superior à aplicação total na maioria dos tratamentos e em ambas as profundidades, tanto pelo efeito de liberação lenta do FNR (nas proporções 100-00 e 75-25), quanto pela rápida liberação do SFT (na proporção 00-100).

Por meio da figura 9 podemos analisar as distribuições percentuais de P ligado à Al, Fe e Ca no solo. Observou-se que as maiores concentrações estão sobre a fração P-Fe, seguida por P-Ca e por fim o P-Al. As altas quantidades goethita (3,62 g kg⁻¹) e principalmente hematita (26,39 g kg⁻¹) encontradas nos solos estudados (Tabela 2) ajudam a explicar as altas quantidades de fósforo associados à fração P-Fe, uma vez que os óxidos de ferro possuem uma alta seletividade pelo fosfato quando comparado com ânions concorrentes (Wendling et al., 2013).

Este efeito pode ser explicado devido à forte adsorção de P que afeta até 60% desses solos (Roy et al., 2016), além disso, com a formação de compostos de baixa labilidade, estima-se que cerca de 0,1 % do total de P presente no solo esteja disponível na solução (Falcão e Silva, 2004), dessa forma, o P liberado em altas quantidade por fontes como o SFT é rapidamente adsorvido aos colóides, ficando uma pequena fração disponível para as plantas.

A adsorção das formas de fósforo pode ser influenciada pela mineralogia de determinado solo, além de sua fração argila (Herlihy e McCarthy, 2006). Avaliando-se a composição mineralógica de cinco latossolos, Motta et al. (2002) concluíram que, à

medida que a mineralogia dos solos tornou-se mais oxídica, aumentou-se a adsorção de P, o teor total e as formas ligadas mais fortemente a Al e Fe.

Trabalhando com determinação do P disponível por meio de diversos extratores, em solos de cerrado fertilizados com diferentes fosfatos, Braga e Defelipo (1972) e Bahia Filho et al (1982) obtiveram maiores valores de P nas formas extraídas por NaOH, depois NH_4F e por fim H_2SO_4 . Destaca-se que, apesar do diferente resultado, a fração P-Ca pode constituir a menor parte do P total, mas considerando o tempo do experimento é provável que parte aos fosfatos de cálcio presentes no FNR tenham solubilizado até os 36 meses de aplicação dos tratamentos, aumentando as quantidades de P extraído por H_2SO_4 .

Outro resultado notável foi a baixa quantidade de P-Al durante os três anos, e em ambas as profundidades, tal resultado pode ser atribuído à dois fatores: 1) é provável que o fósforo solúvel liberado pelo SFT tenha reagido com o cálcio fornecido pelas calagens, assim como observado por Stoop (1983); 2) a gibbsita [$\text{Al}(\text{OH}_3)$] não foi identificada na amostragem inicial de solo (Tabela 2), e tal mineral poderia contribuir para aumentar os teores presentes de P ligado ao alumínio.

Sabemos que a disponibilidade e concentração do P aplicado dentro de cada fração depende da solubilidade e reatividade da fonte, além fatores inerentes à própria fração ao qual o fósforo fica ligado. Isso pode ser explicado pela alta solubilidade e reatividade da fonte SFT, quando comparada com o FNR, Chien et al. (2011) relata que fontes com alta solubilidade e alta reatividade como o SFT são disponibilizadas mais rapidamente à curto prazo, enquanto que os fosfatos naturais são disponibilizados à longo prazo, devido a sua lenta liberação no solo.

Como consequência disso, o P é rapidamente liberado na solução e pode ser adsorvido e fixado em seus constituintes, ficando apenas uma pequena fração disponível para as plantas. Da mesma maneira, a baixa solubilização do FNR pode ter anulado o efeito de ambos os modos de aplicação na proporção 100-00 para alguns tratamentos, assim como tal proporção foi ineficaz no primeiro ano de cultivo, mas se sobressaiu após o segundo ano devido à sua liberação a longo prazo.

Assim, o efeito residual torna-se substancialmente importante para avaliar às práticas de adubação, uma vez que uma fração relativamente pequena do P é aproveitada no primeiro ano, e o restante permanece no solo em formas de maior ou menor disponibilidade às plantas (Resende et al., 2006). Franzini et al. (2009) ainda ressalta que uma mistura com as fontes de FN e SFT podem proporcionar um maior

equilíbrio na dinâmica de liberação de cada adubo, uma vez que a rápida liberação do SFT contribui com um maior desenvolvimento do sistema radicular, permitindo uma maior absorção do FNR a longo prazo.

Avaliando-se o cultivo de milho em um Argissolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, durante três anos sob diferentes fontes e formas de aplicação de P, Resende et al. (2006) encontraram resultados superiores ao aplicar parceladamente 180 kg ha⁻¹ de FNR, em comparação com a aplicação total à lanço e no sulco de plantio. Além disso, obteve-se resultados semelhantes de produtividade com a utilização de fosfatos de liberação rápida (Super Triplo e Termofosfato Magnesiano). Segundo os autores, essa eficiência do parcelamento está relacionada com o menor tempo de contato da fonte com o solo, o que pode ser influenciado pela solubilidade e reatividade da fonte.

Ao estudar o efeito de diferentes proporções de FNR e SFT na cultura da Soja, cultivada sob Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, textura argilosa, Oliveira Júnior et al. (2011) observaram que o rendimento obtido sob a mistura de FNR e SFT (400:200 + 0:200 kg ha⁻¹ P₂O₅) não diferiu significativamente da aplicação somente com a fonte SFT (400 + 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), indicando que apesar de as misturas com predominância de SFT proporcionarem maiores produtividades, a mistura com fosfato natural também proporciona efeitos semelhantes, e ainda pode-se levar em consideração os menores custos com essa mistura. Tal resultado não foi observado com clareza neste estudo, entretanto, parte das comparações mostram as proporções com substituição parcial apresentando, por vezes, níveis das frações de P próximos aqueles obtidos com as misturas com maior quantidade de SFT.

6 CONCLUSÕES

- Há efeito interativo entre as diferentes proporções e modos de aplicação de misturas de superfosfato triplo com fosfato natural reativo de Arad sobre as frações inorgânicas, mas não sobre o P-resina
- O P adicionado ao solo tem como principal destino a fração P-Fe, seguida por uma pequena parte na fração P-Ca e apenas uma baixíssima quantidade fica associada a fração P-Al;
- A aplicação parcelada e a substituição parcial do superfosfato triplo por fosfato natural reativo de Arad proporcionaram maiores teores de P-Al no solo apenas considerando o terceiro ano, devido ao efeito residual das fontes;
- A aplicação total do fertilizante contribuiu para um aumento no teor de frações P-Fe e P-Ca, principalmente considerando o primeiro e o segundo ano;
- Os maiores valores de P-resina são alcançados quando a mistura de fertilizante fosfatado é aplicado todo de uma vez e quanto utiliza misturas com maior proporção de SFT comparativamente ao FNR;
- A diminuição do superfosfato triplo na mistura das fontes também diminuiu a fração P-resina, mas o mesmo efeito não foi observado para a fração P-Al.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. ISSN 0941-2948.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25- 32.

AQUINO, L. A.; BERGER, P. G.; NEVES, J. C. L.; LIMA, T. C.; AQUINO, R. F. B. A. Parcelamento de Fósforo em Algodoeiro Irrigado. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2012.

AQUINO, L. A.; BERGER, P. G.; NEVES, J. C. L.; AQUINO, R. F. B. A. Acúmulo e exportação de nutrientes pelo algodoeiro com a aplicação parcelada de fósforo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 12-21, 2014.

BAHIA FILHO, A. F. C.; VASCONCELLOS, C. A.; SANTOS, H. L.; MENDES, J. F.; PITTA, G. V. E.; OLIVEIRA, A. C. Formas de fósforo inorgânico e fósforo "disponível" em um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, n. 2, p. 99-104, 1982.

BARBOSA, T. M. B. **Mineralogia e disponibilidade de fósforo em solos de terra firme da Amazônia Central**. Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas, 2017. 84 p. Tese de Doutorado.

BATISTA, I. M. P. **Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas**. Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas, 2014. 37 p. Tese de Doutorado.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. I. Trabalhos de Laboratório. **Revista Agronômica Ceres**, v. 19, p. 124-136, 1972.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. **Soil Science**, v. 23, n. 5, p. 343-353, 1927.

CARVALHO, M.A. **Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizonte B latossólico e B textural**. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1985. 79p. Dissertação de Mestrado.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of Soil Phosphorus. **Soil Science**, v. 84, n. 2, p. 133-144, 1957.

CHIEN, S. H.; ADAMS, F.; KHASAWNEH, F. E.; HENAO, J. Effects of Combinations of Triple Superphosphate and a Reactive Phosphate Rock on Yield and Phosphorus Uptake by Corn1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 6, p. 1656-1658, 1987.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Chapter 8 - Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. In: **Advances in Agronomy**: Academic Press, 2009. v. 102, p. 267-322.

CHIEN, S.; PROCHNOW, L.; TU, S.; SNYDER, C. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 89, n. 2, p. 229-255, 2011.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, n. 3-4, p. 197-214, 1995.

CURI, N. (Org.); KER, J.C.; NOVAIS, R.F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2017. ISSN 978-85-86504-22-8.

ROSA DIAS, L. P.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; CHAVES, D. M.; BRUNETTO, G. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no Planalto Sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 516-523, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2009, 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006, 306 p.

ENGELSDJORD, M.; FOSTAD, O.; SINGH, B. Effects of temperature on nutrient release from slow- release fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 46, n. 3, p. 179-187, 1996.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V.; JONES, C. A. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2011, pp. 560. ISBN 978-1-4398-1695-0.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central Phosphorus adsorption characteristics in some Central Amazonian soils. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 3, p. 337-342, 2004.

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, n. 3, p. 446-452, 2012. ISSN 1806-669000456888.

FRANZINI, V.I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEÓN, H. M.; MENDES, F.L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo

em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1092-1099, 2009. ISSN 1678-39210100204X.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Chemical fractionation of soil phosphorus forms: uses and limitations. **Topics in Soil Science**, v. 8, p. 221-278, 2013.

GUEDES, R.; RODRÍGUEZ-VILA, A.; FORJÁN, R.; COVELO, E.; FERNANDES, A. Adsorption and risk of phosphorus loss in soils in Amazonia. **Journal of Soils and Sediments**, 18, n. 3, p. 917-928, 2018.

HEDLEY, M.J., STEWART, J.W.B., CHAUHAN, B.S. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, p. 970-976.

INTERNACIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2 ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1998. 177p.

JACKSON, M.L (org.). **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1958.

JIN, S.; YUE, G.; FENG, L.; HAN, Y.; YU, X.; ZHANG, Z. Preparation and properties of a coated slow- release and water- retention biuret phosphoramidate fertilizer with superabsorbent. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 1, p. 322-327, 2011. ISSN 00218561.

KARAMANOS, R. E.; PUURVEEN, D. Evaluation of a polymer treatment as enhancer of phosphorus fertilizer efficiency in wheat. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 91, n. 1, p. 123-125, 2011. ISSN 00084271.

KARGER, D. N.; CONRAD, O.; BÖHNER, J.; KAWOHL, T.; KREFT, H.; SORIA-AUZA, R. W. et al. **Data from: Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas**: Dryad Digital Repository 2017.

KITAGAWA, Y.; MOLLER, M. R. F. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 14, n. 3, p. 201-228, 1979.

KRUSKAL, W.H.; WALLIS, W.A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, n. 47, p. 583-621, 1952.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L., et al. (Ed.). **Methods of Soil Analysis Part 3 - Chemical Methods** (SSSA Book Series). Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996. p. 869-919. ISBN 978-0-89118-866-7.

LEVENE, H. Robust testes for equality of variances. In: OLKIN, I (Ed.). **Contributions to Probability and Statistics**. Palo Alto, CA: Stanford University Press, 1960. p. 278- 292.

- LOPES, A.S.; COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 3, p. 82-88, 1979.
- MALAVOLTA, E. 1987. In VIEIRA, L.S., SANTOS, P.C.T.C. (Eds.) **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, p. 374-416.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, p. 50-60. 1947.
- MARANGUIT, D.; GUILLAUME, T.; KUZYAKOV, Y. Land- use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. **Catena**, v. 149, n. 1, p. 385-393, 2017. ISSN 0341-8162.
- MARQUES FILHO, A. D. O. et al. Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke - Manaus-AM. IV. Precipitação. **Acta Amazonica**, v. 11, n. 4, p. 759-768, 1981. ISSN 1809-4392.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **Clays & Clay Mineral Conference**, 7., London, 1960. Proceedings. London, v.7, 1960. p.317-327.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009.
- MOREIRA, A.; GONÇALVES, J. R. P. Available Phosphorus and Potassium Status of Soils of Amazonas State (Brazil). **Better crops with plant food**. Norcross, GEORGIA: Potash and Phosphate Institute – PPI., v. 90, 40 p. 2006.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, n. C, p. 31-36, 1962. ISSN 0003-2670.
- NEUFELDT, H.; SILVA, J. E.; AYARZA, M. A.; ZECH, W. Land- use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin/Heidelberg, v. 31, n. 1, p. 30-37, 2000. ISSN 0178-2762.
- NORRISH, K. & TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. **Journal of Soil Science**, v. 12, p. 294-306, 1961.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F. D.; FONTES, R. L. CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG., 2007. ISSN 978-85-86504-08-2.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:931-935, 1978.

OLIVEIRA JUNIOR, A. D.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011. ISSN 1678-992X01039016.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 149-155, 2009. ISSN 0167-1987.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZIK, C. et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, v. 7, n. 5, p. 1515-1541, 2010. ISSN 17264170.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; AND CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, p. 1415–1440, 2011. DOI: 10.5194/bg-8-1415-2011.

RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T. e ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba-SP: Potafos, 2004. p.106- 114.

RAIJ, B. V (Ed.). **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. Piracicaba-SP: Internacional Plant Nutrition Institute, v. 1, 420 p., 2011. 978-85-98519-07-4.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. da. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soil by a ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, n. 5, p. 544-566, 1986.

RESENDE, A.V.D.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v. 36, p. 151-160, 2001.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. V. H. (Org.); Fontes, L. E.F.; Fontes, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1996. p.19-60.

SANCHEZ, P. A. Soils. In: LIETH, H. e WERGER, M. J. A. **Tropical Rain Forest Ecosystems: Biogeographical and Ecological Studies**. Elsevier, Amsterdam. 1989. pp. 73-88.

SANTOS, J. Z. L.; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V.; CURTI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes

modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 32, p. 705-714, 2008.

SCHAEFER, C.; FABRIS, J.; KER, J. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): A review. **Clay Minerals - Clay Miner**, v. 43, p. 137-154, 2008.

SHAPIRO, S.; WILK, M. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, n. 52 (3/4), p. 591-611. 1965. DOI: 10.2307/2333709.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental science & technology**, v. 37, n. 10, p. 2251, 2003. ISSN 0013-936X.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. (Update on Phosphorus Dynamics in the Soil- Plant Continuum) (Report). **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997, 2011.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; DE VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Influencia da aplicação de diferentes fontes de map revestido com polimeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 240-250, 2012. ISSN 15163725.

SILVA JUNIOR, R. L. **Modos de aplicação e substituição parcial de fosfato solúvel por fosfato natural na cultura da laranja Pera Rio**. Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas, 2019. 124 p. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7300>. Acesso em: 18 ago. 2019.

SILVA, M. A. D.; NÓBREGA, J. C. A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, 2003. ISSN 1678-3921.

SIMPSON R., OBERSON A., CULVENOR R., RYAN M., VENEKLAAS E., LAMBERS H., LYNCH J., RYAN P., DELHAIZE E., SMITH F., SMITH S., HARVEY P. & RICHARDSON A. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. **Plant and Soil**, v. 349, n. 1, p. 89-120, 2011.

SINGH, B. R.; KROGSTAD, T.; SHIVAY, Y. S.; SHIVAKUMAR, B. G.; BAKKERGARD, M. Phosphorus Fractionation and Sorption in P- enriched Soils of Norway. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 73, n. 2, p. 245-256, 2005. ISSN 1385-1314.

SOARES, M. M.; SEDIYAMA, T.; NEVES, J. C. L.; JÚNIOR, H. C. S.; SILVA, L. J. Nodulation, Growth and Soybean Yield in Response to Seed Coating and Split Application of Phosphorus. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 30-40, 2016. ISSN 2317-1545/23171537.

SOARES, W. V.; LOBATO, E.; SOUSA, D. M. G. D.; REIN, T. A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em latossolo

vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 819-825, 2000. ISSN 0100-204X.

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; TORRES, P.R.F.; BALIZA, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 975-983, 2006.

SOUZA JUNIOR, R. F. D.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J. A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 159-170, 2012. ISSN 0100-0683.

THOMAS, G.W.; PEASLEE, D. E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Eds.). **Soil testing and plants analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.115-129.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de Fósforo em Solos de Argila de Atividade Baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, p. 111-118, 2003.

VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 6, n. 2, p. 215-228, 1976. ISSN 1809-4392.

YOUNG, R. D.; WESTFALL, D. G.; COLLIVER, G. W. Production, Marketing, and Use of Phosphorus Fertilizers. In: ENGELSTAD, O. P. (Ed.). **Fertilizer Technology and Use**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1985. p. 323-376.

YUAN, J.; HUANG, L.; ZHOU, N.; WANG, H.; NIU, G. Fractionation of inorganic phosphorus and aluminum in red acidic soil and the growth of *Camellia oleifera*. **HortScience**, v. 52, n. 9, p. 1293-1297, 2017. doi: 10.21273/HORTSCI12189-17.