

FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB PLANTIO DIRETO: I – ACÚMULO DE FÓSFORO E RENDIMENTO DAS CULTURAS DE MILHO, SOJA, AVEIA PRETA E AZEVÉM ANUAL

RESUMO: A integração lavoura-pecuária (ILP) consiste-se em uma estratégia de intensificação do sistema de produção e, quando aliada ao plantio direto (PD), pode proporcionar aumento na ciclagem de nutrientes e melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Isso pode favorecer o uso de fertilizantes fosfatados não acidulados, que normalmente proporcionam maior efeito residual ao longo do tempo. Objetivou-se, neste trabalho, verificar os efeitos de fontes e doses de fósforo (P), aplicados superficialmente (em área total) por ocasião da semeadura da cultura de inverno (forrageiras), sobre o acúmulo de P e rendimento das culturas de milho, soja, aveia preta e azevém anual em sistema de ILP sob PD, ao longo de três anos. O experimento foi instalado em abril/2009, no município de Castro-PR, em um Cambissolo Háplico, textura muito argilosa. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos completos ao acaso em esquema fatorial incompleto, com quatro repetições e dez tratamentos. Os tratamentos consistiram na aplicação superficial de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅) por ocasião da semeadura da forrageira de inverno, nas formas de superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo (FNR) e termofosfato magnésiano (TFM). Foram avaliados os rendimentos de massa seca de aveia preta (2009 e 2011) e azevém anual (2010), de grãos de milho (2009/10 e 2011/12) e soja (2010/11), e o acúmulo de P nessas culturas. As fontes insolúveis em água obtiveram maiores efeitos residuais que o SFT (quando aplicadas de forma superficial e antecipada no inverno), proporcionando maiores rendimentos forrageiros e de grãos no terceiro ano de avaliação.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea Mays*, *Glycine max*, pastagens anuais de inverno, sistemas integrados de produção, fosfatos insolúveis em água.

1. INTRODUÇÃO

O plantio direto (PD) é um sistema conservacionista de manejo do solo, fundamentado em práticas agronômicas como rotação de culturas e formação de palha para a cobertura do solo (SIX et al., 2002). No Brasil, estima-se que aproximadamente 30 milhões de hectares tem adotado o PD para cultivo de grãos no verão (FAEP, 2012). Cerca de 30% dessas áreas tem sido aproveitada para o cultivo durante o inverno e as demais ficado ociosas neste período (CARVALHO et al., 2010). Portanto, torna-se importante a adoção da integração lavoura-pecuária (ILP), que se consiste em um sistema integrado de produção que possibilita o cultivo de plantas produtoras de grãos no verão e o de forrageiras para pastejo animal durante o inverno (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

As principais culturas integrantes dos sistemas de ILP dominantes no Sul do Brasil incluem milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) com objetivo de produção de grãos no verão, e aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém anual (*Lolium multiflorum*), com propósito para alimentação animal e produção de fitomassa para manutenção do PD. Portanto, para se obter altos rendimentos dessas culturas sob solos tropicais/subtropicais, torna-se essencial a melhoria dos atributos de fertilidade.

Depois de corrigida a acidez, o principal fator limitante ao rendimento das culturas tem sido os baixos teores de fósforo (P) disponível no solo (NOVAIS e SMYTH, 1999). O fornecimento desse nutriente nos sistemas integrados de produção tem sido pouco estudado em condições tropicais/subtropicais e as respostas das culturas tem sido distintas de acordo com a fonte e forma de aplicação de P. Além disso, o efeito da adubação fosfatada no sistema de produção depende da reatividade do fertilizante no solo, ao longo do tempo (FONTOURA et al., 2010).

Tem sido observado incremento no rendimento de grãos mediante a antecipação da fertilização fosfatada, quando esta é aplicada por ocasião da semeadura de plantas de

cobertura do solo (BOHAC et al., 2007). Portanto, pode ser interessante a antecipação da fertilização fosfatada na ILP – sistema integrado no qual a ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2010) e a liberação de ácidos orgânicos (RUSSELE e FRANZLEUBBERS, 2007) têm sido incrementadas devido à decomposição dos resíduos vegetal e excreta dos animais. Esses ácidos orgânicos têm proporcionado maior disponibilidade de P para a solução, devido à competição pelos sítios de adsorção (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Apesar de ser uma prática atrativa, persistem dúvidas quanto à eficiência da fertilização fosfatada antecipada na ILP. O P oriundo de fertilizante de alta solubilidade (em água e citrato neutro de amônio), por exemplo, superfosfato triplo (SFT), pode ser rapidamente transformado em formas indisponíveis às plantas, podendo ter sua eficiência diminuída ao longo do tempo (SILVA et al., 2009). Por outro lado, fertilizantes fosfatados insolúveis em água (por exemplo, fosfato natural reativo – FNR e termofosfato magnésiano – TFM) tendem, com o tempo, ter suas eficiências aumentadas. O FNR consiste-se em uma fonte de P parcialmente solúvel em ácido cítrico, proporcionando aumento gradativo da disponibilidade deste nutriente em médio-longo prazo (RESENDE et al., 2006), como observado para as culturas de soja (MOTOMIYA et al., 2004) e milho sob PD (ONO et al., 2009). O TFM possui características distintas tanto do FNR quanto dos fertilizantes fosfatados acidulados (SFT), pelo fato de apresentar alta solubilidade em ácido cítrico (20 g L^{-1}), alta eficiência de fornecimento gradativo de P às forragens (MOREIRA et al., 2002) e às culturas de milho (RESENDE et al., 2006) e trigo (RICHART et al., 2009), além de reação alcalina no meio (MOREIRA et al., 2002).

Outro fator pertinente no manejo do P em sistema de produção se consiste na aplicação superficial de fertilizantes contendo este nutriente (OLIVEIRA JUNIOR, et al., 2008). A aplicação de P na superfície do solo sob PD visa diminuir o contato dos íons fosfatos

(H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) com óxidos de ferro e alumínio – superfícies altamente sorvedoras de fosfatos que favorecem as reações de alta energia (RANNO et al., 2007). A aplicação de P em área total, na superfície do solo (sobre a palhada) também pode minimizar, com o tempo, a variabilidade horizontal deste nutriente no solo. A alta variabilidade do P no PD consiste-se em uma das questões mais importantes e complexas relacionadas à avaliação da fertilidade deste nutriente (SANTOS et al., 2008).

Portanto, a produção de ácidos orgânicos na ILP (devido à maior ciclagem de nutriente e dinâmica do sistema) poderá: (i) favorecer a solubilização de fosfatos insolúveis em água, aplicados antecipadamente na superfície do solo (por ocasião da semeadura das forrageiras anuais de inverno); (ii) beneficiar as culturas produtoras de grãos de milho e soja no verão e aumentar a eficiência de uso de P no sistema de produção, ao longo do tempo. Nesse contexto, objetivou-se verificar os efeitos de fontes e doses de P aplicados superficialmente em área total, por ocasião da semeadura da cultura de inverno (forrageiras anuais), sobre o acúmulo de P e rendimento das culturas de milho, soja, aveia preta e azevém anual em sistema de ILP sob PD.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização, histórico e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em abril de 2009 no município de Castro-PR (latitude: 24°51'49", longitude: 49°56'61" e altitude média: 1.020 m), situado no Primeiro Planalto Paranaense. O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb – verões frescos com a ocorrência de geadas frequentes, sem a presença de estação seca (CAVIGLONE et al., 2000).

A área encontrava-se, por ocasião da instalação do experimento há oito anos sob PD. A sucessão de culturas empregadas nos últimos cinco anos incluía soja e milho, no verão e

aveia preta, azevém anual e trigo, no inverno. Esse solo é um Cambissolo Háplico, cujos atributos químicos e granulométricos podem ser vistos na Tabela 1. O solo apresenta mineralogia simples, predominante, quartzo, caulinita e gibsita e, subordinadamente, hematita e goetita. Na fração argila, os minerais caulinita e gibsita são dominantes e os óxidos de ferro (principalmente hematita e goetita) são menos expressivos.

2.2. Delineamento, tratamentos e condução do experimento

O delineamento experimental empregado foi de blocos completos ao acaso em esquema fatorial incompleto com quatro repetições e 10 tratamentos, a saber: *Tratamento 1 (T1)* – sem aplicação de P (controle absoluto); *T2, T3 e T4* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente na forma de SFT; *T5, T6 e T7* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente na forma de FNR; *T8, T9 e T10* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente na forma de TFM. As quantidades utilizadas de cada fonte foram calculadas com base no teor de P₂O₅ total dos fertilizantes (Tabela 2) e aplicadas anualmente, por ocasião da semeadura da forrageira de inverno. Cada parcela possuía área total de 425 m² área (17 x 25 m). Desprezando-se 2,0 m de bordadura, cada parcela apresentou área útil de 273 m². As temperaturas do ar e precipitações médias durante os 36 meses de estudo são apresentadas na Tabela 3.

Foram estudadas as doses de P₂O₅ aplicadas nas forrageiras: aveia preta (2009 e 2011) e azevém anual (2010) em rotação com as culturas de milho (2009/10 e 2011/12) e soja (2010/11). Portanto, o experimento se iniciou com a fertilização fosfatada (para cada tratamento) no dia 28 de abril de 2009, por ocasião da semeadura da aveia preta (cultivar IAPAR-61). Foi utilizado espaçamento de 17 cm entre linhas e densidades de 250 sementes m⁻¹.

O pastejo da aveia preta (2009) foi iniciado e finalizado quando a forragem atingiu 30 e 15 cm de altura, respectivamente. Foi adotado o sistema de pastejo rotacionado, com taxa

de lotação de 4,5 UA ha⁻¹, sendo que os animais permaneceram na área durante 4-5 dias. Foram realizados dois ciclos de pastejo com período de descanso (entre os ciclos) de 28 dias. Após o último pastejo, foi deixado um período de 21 dias para a recuperação da aveia preta, visando à produção de fitomassa para a manutenção do PD. Em 27 de agosto a aveia preta foi manejada com o herbicida glifosato, empregando-se 1,4 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo (ia) (N-(fosfometil) glicina, C₃H₈NO₅P).

Aos 30 dias após a dessecação da aveia preta (2009), foi realizada a semeadura do milho (2009/10) – híbrido 30F53, empregando-se espaçamento entre linhas de 0,80 m e densidade de 5,0 sementes m⁻¹. A população final de plantas de milho foi de 62500 plantas ha⁻¹ e essa cultura permaneceu na área até 14 de abril 2010 (momento da colheita de grãos).

O azevém anual (2010) – consórcio entre cultivares Barjumbo e FABC-1, foi semeado logo após a colheita dos grãos de milho em 15 de abril de 2010, com espaçamento entre linhas de 17 cm e densidade de 450 sementes m⁻¹. Antes da semeadura de azevém anual, procedeu-se a aplicação dos tratamentos (doses e fontes de fertilizantes fosfatados distribuídos na superfície do solo e em área total). O pastejo do azevém anual foi iniciado e finalizado com 25 e 10 cm de altura, respectivamente. O sistema de pastejo e manejo adotado foram similares aos utilizados por ocasião do cultivo de aveia preta (2009). Porém, os animais permaneceram na área cerca de 6-7 dias, permitindo três ciclos de pastejo. Depois do último pastejo, foi deixado um período de 28 dias para a recuperação do azevém anual, visando à produção de fitomassa para a manutenção do PD. Em 05 de outubro o azevém foi manejado com o herbicida glifosato (1,5 kg ha⁻¹ de ia.).

Após 30 dias da dessecação do azevém anual (2010), a semeadura da soja (2010/11) – híbrido BMX-Apolo, foi realizada com espaçamento entre linhas de 0,40 m e 16 sementes m⁻¹. A população final foi de 400000 plantas ha⁻¹ e essa cultura permaneceu na área até 30 de março de 2011 (momento da colheita de grãos).

A aveia preta (2011) foi semeada em 04 de abril de 2011, após a aplicação dos fertilizantes fosfatados correspondentes a cada tratamento. A cultivar, sistemas de pastejo e manejo adotados foram semelhantes aos utilizados por ocasião do cultivo da aveia preta (2009). No entanto, neste ano, foi possível a realização de três ciclos de pastejo. Após o último pastejo, foi deixado um período de 21 dias para a recuperação da aveia preta, visando à produção de fitomassa para a manutenção do PD. Em 02 de setembro a aveia preta foi manejada com o herbicida glifosato ($1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de ia.).

O milho (2011/12) foi semeado após 30 dias, utilizando-se o mesmo híbrido (30F53), espaçamento entre linhas e densidade de sementes empregadas por ocasião do cultivo do milho (2009/10). A colheita dos grãos foi realizada em 16 de abril de 2012.

Com exceção do P, todos os demais nutrientes foram aplicados nas doses recomendadas, conforme requerimento das culturas. Por ocasião da semeadura da aveia preta (2009) foram aplicados um total de 181 kg ha^{-1} de nitrogênio (N) (34% na semeadura e 66% em cobertura, ao final do primeiro pastejo) e 59 kg ha^{-1} de potássio (K). Para o milho (2009/10) foram aplicados 136 kg ha^{-1} de N (50% na semeadura e 50% no estágio V4) e 73 kg ha^{-1} de K. A fertilização por ocasião da semeadura do azevém anual (2010) foi realizada por 68 kg ha^{-1} de N (50% na semeadura e 50% em cobertura, ao final do segundo pastejo) e 74 kg ha^{-1} de K. Para a soja (2010/11), por ocasião da semeadura foram inoculadas estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (aproximadamente 10^5 bactérias g^{-1} de solo) e aplicados 200 kg ha^{-1} de K. Por ocasião da semeadura da aveia preta (2011) foram aplicados 95 kg ha^{-1} de N (55% na semeadura e 45% em cobertura, ao final do segundo pastejo), e 50 kg ha^{-1} de K. O milho (2011/12) recebeu a aplicação de 150 kg ha^{-1} de N (50% na semeadura e 50% em cobertura, no estágio V4) e 75 kg ha^{-1} de K.

Todo o N aplicado foi na forma de ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – 450 g kg^{-1} de N] e o K, na forma de cloreto de potássio (KCl – 580 g kg^{-1} de K_2O). Havendo necessidade, foram

empregadas demais práticas agrônômicas (como por exemplo, tratamento de sementes, controle de plantas daninhas, pragas e doenças) de modo a permitir o adequado crescimento e desenvolvimento das culturas.

2.3. Amostragens, determinações laboratoriais e análises estatísticas

Foram utilizadas gaiolas (duas por parcela) de exclusão, fabricadas com ferro ½ polegada de diâmetro, fechadas com tela de arame de malha 5,0 cm e medindo 0,25 m², para avaliação das fitomassas nas ocasiões de pré e pós pastejos, conforme método adaptado de Poli et al. (2008). Essas gaiolas foram dispostas aleatoriamente nas parcelas com intuito de quantificar a massa seca produzida em pastejo (MSP). Para a avaliação da massa seca residual (MSR) foram amostrados aleatoriamente 0,5 m² por parcela. Todos os cortes das plantas foram realizados manualmente a 5,0 cm do solo, mediante uso de foice.

As amostras de aveia preta e azevém anual foram pesadas no campo para obtenção da massa verde e subamostras (100 g) foram retiradas e destinadas ao laboratório. Essas subamostras foram lavadas com água deionizada e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até atingir massa constante. Na sequência, as subamostras foram pesadas visando quantificar a massa seca (MS), que foram separadas em: (i) MS produzida em pastejo (MSP) – representado pelo somatório dos acúmulos de MS durante 2, 3 e 3 ciclos de pastejo ocorridos na aveia preta (2009), azevém anual (2010) e aveia preta (2011), respectivamente; (ii) MS residual (MSR) – referente ao acúmulo de MS do período compreendido entre o último pastejo e o manejo com herbicida, ocorrido antes da semeadura da cultura de verão de cada ano estudado; (iii) MS total (MST) – correspondente ao somatório da MSP e MSR.

Depois de pesadas, as subamostras foram moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 1,0 mm, e armazenadas em recipientes plásticos tampados até a quantificação das concentrações de P, conforme métodos propostos por Malavolta et al. (1997). As concentrações de P nos tecidos vegetais foram determinadas por digestão nítrico-perclórica e

a leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM). Os acúmulos de P na parte aérea das forrageiras foram calculados mediante multiplicação da concentração deste nutriente na subamostra pela MS correspondente. Assim, foram quantificados os acúmulos de P na MSP, MSR e MST, representados por P-MSP, P-MSR e P-MST, respectivamente.

Quando as plantas de milho (2009/10 e 2011/12) e soja (2010/11) atingiram os estádios fenológicos R3 e R6, respectivamente, foram coletadas 1,0 m de plantas por parcela para quantificar os acúmulos de MS e P na parte aérea. As plantas de milho foram separadas em subamostras de folhas, colmos e espigas e as plantas de soja em folhas, hastes e vagens. Essas subamostras foram preparadas, conservadas e analisadas, empregando-se os mesmos procedimentos descritos para as forrageiras anuais. Os acúmulos de P (P-Ac) na parte aérea das plantas de milho e soja foram calculados mediante multiplicação da concentração deste nutriente na subamostra pela MS correspondente.

Após a maturação fisiológica, o milho e a soja foram colhidos e trilhados no campo para a determinação do rendimento de grãos. Para o milho (2009/10 e 2011/12) foram colhidas de cada parcela cinco linhas centrais por 4,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 17,0 m². No caso da cultura da soja (2011/12), foram colhidas seis linhas centrais por 5,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 12,0 m². O rendimento de grãos (RG) foi expresso em 130 g kg⁻¹ de umidade. Subamostras de grãos (100g) foram retiradas visando quantificar o teor de P (empregando-se os procedimentos anteriormente mencionados para tecidos vegetais). A partir do rendimento de grãos e do teor de P (nessas subamostras), foi calculado a exportação deste nutriente pela colheita (P-Ex).

Todos os resultados foram submetidos à análise estatística univariada em blocos completos casualizados. Nos casos de F significativo ($P < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para comparar o efeito de fontes e doses de P entre tratamentos. O efeito das variáveis preditoras foi ajustado às variáveis respostas pelos modelos de regressão de

polinômios ortogonais linear ou quadrático. Na ausência de interação, foram consideradas como repetições: (i) repetição de doses – os blocos (quatro) e a média das fontes (SFT, FNR e TFM); (ii) repetições de fontes – os blocos (quatro) e a média das doses (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total). Para o RG de milho (2011/12), as combinações de doses e fontes de P foram comparadas (Tukey $\alpha=0,05$) em relação à sua eficiência relativa, tomando-se como referencial (eficiência relativa = 100 %) a produção de grãos do tratamento controle que não recebeu adubação fosfatada (testemunha – T1). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do pacote computacional SAS versão 9.2 (SAS System, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Massa seca e acúmulo de fósforo nas forrageiras anuais de inverno

Não houve interação entre doses e fontes de P para os atributos MSP, MSR, MST, P-MSP, P-MSR e P-MST para as culturas forrageiras de aveia preta (2009 e 2011) e azevém anual (2010) (Tabela 4). Para a aveia preta (2009) houve aumento quadrático do rendimento de MSP, MSR, MST devido à aplicação de doses de P (Figura 1). Os máximos rendimentos de MSP (1210 kg ha⁻¹), MSR (2343 kg ha⁻¹) e MST (3538 kg ha⁻¹) ocorreriam mediante a aplicação de 98, 71 e 85 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Com relação aos acúmulos de P, foram observados aumentos quadráticos das quantidades de P-MSP, P-MSR e P-MST (Figura 2), de modo similar ao observado para os rendimentos de MS (MSP, MSR e MST) da aveia preta (2009) (Figura 1). Os máximos acúmulos de P-MSP (4 kg ha⁻¹), P-MSR (9 kg ha⁻¹) e P-MST (14 kg ha⁻¹) seriam obtidos mediante o uso de 66, 64 e 87 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Os efeitos quadráticos para os rendimentos de MS e acúmulos de P (P-MSP, P-MSR e P-MST) na aveia preta (2009) podem ser explicados pelos seguintes fatores: (i) o solo da área foi classificado como muito argiloso com predominância de minerais do tipo 1:1 e hidróxidos de alumínio, favorecendo a fixação do P em excesso (NOVAIS e SMYTH, 1999),

(ii) o solo atuou como dreno e o P aplicado que não foi absorvido, provavelmente, sofreu adsorção pelas superfícies coloidais de ferro e alumínio (PROCHNOW et al., 2003), (iii) o solo continha médio (3 a 8 mg dm⁻³) teor de P- Melich-1 por ocasião da instalação do experimento e alto (50 mg dm⁻³) teor de matéria orgânica (MO) (Tabela 1), segundo Pauletti (2004), favorecendo a maior disponibilidade desse nutriente através da mineralização de P (BERTOL et al., 2004), (iv) o animal (através das excretas) atua como fonte de P ao sistema, devolvendo cerca de 85% do nutriente ingerido na forma de P total (P orgânico + P inorgânico) (HAVLIN et al., 2005), (v) as doses de P que proporcionaram os máximos rendimentos de MS e acúmulos de P (Figuras 1 e 2) estiveram em equilíbrio com a solução no solo, favorecendo o crescimento ótimo da planta.

Houve aumento dos rendimentos de MS e acúmulos de P da aveia preta (2009) mediante o uso de SFT (Figuras 1 e 2). Os resultados evidentes do SFT se devem: (i) à alta solubilidade desse fertilizante, (ii) à aplicação superficial que reduziu o contato dos fertilizantes com o solo, ocasionando menor dissolução das fontes insolúveis em água (FNR e TFM), em curto espaço de tempo (FONTOURA et al., 2010), e (iii) ao valor de pH na camada de 0-5 cm (Tabela 1), que favoreceu a dissolução do grânulo de SFT, possibilitando o P na solução (a faixa de pH em cloreto de cálcio que proporciona maior disponibilidade de P é de 5,0 a 6,2) (RAIJ, 1991). Portanto, os maiores rendimentos e acúmulos de P na forrageira, mediante a aplicação do SFT, no primeiro ano de estudo, eram esperados e concorram com os observados por Oliveira et al. (2007).

A cultivar de aveia preta IAPAR-61 (utilizada no estudo) pode atingir, durante o ciclo de 134 dias, rendimentos de 4728 e 8358 kg ha⁻¹ de MST, nas condições de cinco cortes e cultivo para cobertura do solo, respectivamente (IAPAR, 2010). Desta forma, a capacidade de produção de MST da aveia preta (2009) foi de 3538 kg ha⁻¹, ficando abaixo da média esperada para a cultivar em questão (Figura 1). No entanto, salienta-se que houve um déficit

hídrico nos primeiros 30 dias desde a implantação da aveia preta (2009), prejudicando a emergência das plantas e o crescimento inicial da forrageira (Tabela 3), refletindo, em menores rendimentos forrageiros. Em invernos secos tem sido observado que a capacidade produtiva da aveia preta IAPAR-61 se torna reduzida.

Os tratamentos empregados não influenciaram os rendimentos de MS (MSP, MSR e MST) do azevém anual (2010) (Figura 3). No entanto, apesar da ausência de efeito o azevém anual apresentou elevados rendimentos de MS. Para manutenção de adequado resíduo sobre o solo e aporte de MS para o PD, são necessários no mínimo 2000 kg ha⁻¹ de MSR. Isso corresponde a cerca de 15-20 cm de altura para o caso de pastagens de aveia e azevém (ASSMANN et al., 2008). Portanto, mesmo em condições de três ciclos de pastejo o rendimento de MSR apresentou-se acima da média para o azevém anual (2010) (Figura 3).

Nas condições de quatro cortes o azevém anual pode atingir até 8472 kg ha⁻¹ e 9287 kg ha⁻¹ de MST para os cultivares FABC-1 e Barjumbo, respectivamente (FUNDAÇÃO ABC, 2008). Assim, a média produzida de MST superou as médias sugeridas para as cultivares de azevém anual, utilizadas no experimento (Figura 3). Tem sido verificado que o azevém anual, adequadamente manejado, tem suportado alta lotação animal sob pastejo por área, proporcionando, ao longo do ciclo, elevado rendimento de forragem (RESTLE et al., 1998). Destaca-se que no ano de 2010 houve adequadas condições de precipitação (Tabela 3), inclusive no início da implantação da forrageira, não conferindo efeito prejudicial ao crescimento e desenvolvimento da planta.

O acúmulo de P-MSP no azevém anual (2010) não foi afetado pelas doses e fontes de P (Figura 4). De forma similar, os acúmulos de P-MSR e P-MST no azevém anual (2010) não foram influenciados pelas doses de P, mas apresentaram incremento mediante a aplicação de TFM (Figura 4). Fato este que pode ser explicado: (i) o TFM trata-se de um produto de liberação de P mais lenta que o SFT, diminuindo a probabilidade de adsorção de P nos

colóides do solo (BEDIN et al., 2003); (ii) o TFM é insolúvel em água, mas possui elevada solubilidade em ácido cítrico (20 g L^{-1}) quando comparado ao FNR, podendo o P ser disponibilizado para a solução em maior proporção (RESENDE et al., 2006), principalmente em sistemas com a presença de animais, (iii) o TFM possui magnésio (Mg) em sua constituição que atua como carregador de P na planta, proporcionando maior resposta à adubação fosfatada; (iv) em sua composição há a presença do silício (Si) que tende a sofrer adsorção mais rápida nos colóides do solo que o fosfato, deixando o P mais disponível às plantas (MALAVOLTA et al., 2006), (v) à sua capacidade de amenizar a acidez do solo pela presença de silicato de cálcio e magnésio (CARVALHO et al., 2001), (vi) ao tempo de contato do fertilizante com o solo (NOVAIS e SMYTH, 1999) e particularmente, (vii) ao efeito residual que além da composição química, tem sido favorecido pela alta solubilidade em ácido cítrico 20 g L^{-1} , sobretudo em solos tropicais/subtropicais (RESENDE et al., 2006; SILVA et al., 2009).

Para a aveia preta (2011), com exceção da MSP, houve aumento quadrático dos rendimentos de MSR, MST e acúmulos de P (P-MSP, P-MSR e P-MST) devido à aplicação de doses de P (Figuras 4 e 5). Os máximos rendimentos de MSR (3128 kg ha^{-1}) e MST (6675 kg ha^{-1}) ocorreriam mediante a aplicação de 89 e 108 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente, e os máximos acúmulos de P-MSP (12 kg ha^{-1}), P-MSR (13 kg ha^{-1}) e P-MST (39 kg ha^{-1}) nas doses de 121 , 123 e 138 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente. Os efeitos quadráticos podem ser atribuídos de forma similar aos observados anteriormente para a aveia preta (2009) e principalmente ao fato de que as doses de P que proporcionaram os máximos rendimentos de MS e acúmulos de P (Figuras 5 e 6) estiveram em equilíbrio com a solução no solo, favorecendo o crescimento ótimo da forrageira.

O uso de TFM proporcionou maior incremento dos rendimentos de MSR e MST e acúmulos de P-MSR e P-MST na aveia preta (2011), exceto para a MSP e para o acúmulo de

P-MSP (Figuras 5 e 6). Forragens submetidas ao pastejo respondem com permanente rebrota devido à desfolhação. Com a desfolha, tem sido observado que as raízes apresentam dinâmica de crescimento mais acelerada, liberando maior quantidade de exsudatos (ácidos orgânicos) (CARVALHO et al., 2010). Os mesmos ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico, oxálico e tartárico), exsudados pelas raízes, foram encontrados no esterco de animais (BAZIRAMAKENGA e SIMARD, 1998), fato que pode ter favorecido a solubilização de P proveniente do TFM, por ser uma fonte altamente solúvel em ácido cítrico a 20 g L^{-1} . Além disso, foi observado que ácidos orgânicos competem com os sítios de adsorção de P, favorecendo a disponibilidade deste nutriente para a solução no solo (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

O rendimento de MSP e acúmulo de P-MSP da aveia preta (2011) não foram influenciados pelas fontes e doses de P (Figura 5), certamente devido à desigualdade no consumo da forragem causada pelos animais, já que o pastejo foi realizado em área total. Salienta-se que, em 2010 o rendimento de MSP também não foi influenciado pelos tratamentos. Na comparação de uma pastagem não pastejada com uma em pastejo, tem sido observado que a presença do animal altera o padrão de distribuição dos nutrientes no solo pela deposição dos dejetos, alterando a reciclagem dos nutrientes (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009). Assim, observou-se que aproximadamente 90% do fósforo consumido das forragens retornam ao solo na forma de fezes, principalmente (WILLIAMS e HAYNES, 1990).

Os animais distribuem suas excreções aleatoriamente através da pastagem e, portanto, o desenvolvimento das forrageiras pode ter sido influenciado pelos ciclos de pastejo, já que em 2009 foram realizados apenas dois ciclos e em 2010 e 2011, três ciclos. Russele e Franzleubbers (2007) apresentam informações de que as fezes causam maior rejeição ao pastejo em comparação a urina, causando desigualdade de consumo na área. Os autores observaram que enquanto nas áreas com urina a rejeição ocorre em um ciclo de pastejo

rotacionado (cerca de quatro semanas), nas áreas com fezes a rejeição pode durar até 16 meses, observando-se a relação de oferta e tempo de pastejo.

Diferente das condições encontradas no ano de 2009, as condições de precipitação encontram-se adequadas para a aveia preta (2011). Neste caso, a cultivar IAPAR-61 atingiu rendimento de MST (6675 kg ha^{-1}) satisfatório em relação ao esperado (entre 4728 e 8358 kg ha^{-1}). A aveia preta é menos exigente em fertilidade que o azevém anual, mas os resultados significativos para essa forrageira em 2009 e 2011, mediante o uso de doses de P apontam possibilidades de que houve maiores respostas da aveia preta à adubação fosfatada.

Tem sido observado que a aveia preta extrai os nutrientes das camadas mais profundas do solo, por meio do sistema radicular, disponibilizando-os superficialmente, após o corte da parte aérea e a decomposição pela ação dos microrganismos (MELO et al., 2011). Borkert et al. (2003) observaram que dentre os macronutrientes, o P é reciclado em menor quantidade pela aveia preta, variando de 8 a 12 kg ha^{-1} , no intervalo de classe variando de 5000 a 10000 kg ha^{-1} de MS. No entanto, destaca-se que no presente trabalho o acúmulo de P-MST foi superior aos valores observados na literatura tanto para a aveia preta (2009) como para a aveia preta (2011), que foram de 14 e 39 kg ha^{-1} , respectivamente (Figuras 2 e 6).

O acúmulo de P não indica que as plantas são mais ou menos eficientes, uma vez que tem sido observado que cultivares de plantas (através de adaptações genéticas) podem se desenvolver e produzir bem com menor quantidade desse nutriente (FERNANDES e MURAOKA, 2002). Entretanto, tem sido observado que maiores quantidades de P acumulados e concentrados nos resíduos das gramíneas (P-MSR), acarretam em maiores retornos deste nutriente para o sistema e para a cultura sucessora através da decomposição da palhada (SÁ et al., 2010).

De maneira geral, os altos rendimentos de MST produzidos pelo azevém anual (2010) e pela aveia preta (2011) podem ser atribuídos aos seguintes fatores: (i) o P é o

nutriente responsável pelo perfilhamento das plantas, aumentando assim a produção de MS das forragens (GUEDES et al., 2009); (ii) plantas sob pastejo apresentam elevação dos níveis de exsudatos das raízes e a liberação de componentes de alta qualidade para o solo, o que estimularia a atividade microbológica, acelerando a ciclagem do fósforo aplicado (CARVALHO et al., 2010); (iii) ácidos orgânicos provenientes da decomposição do material orgânico (raízes e fezes), possuem a capacidade de formar complexos com óxidos de ferro e alumínio, evitando a fixação de P (PAVINATO e ROSOLEM, 2008); (iv) A rebrota das forrageiras foi influenciada pelas reservas de carbono no solo, já que este apresentou índices muito altos nos teores de M.O (SOUZA et al., 2008); (v) o uso de fontes fosfatadas de menor solubilidade, especialmente o TFM, proporcionam maior efeito residual e disponibilidade de P à cultura (RESENDE et al., 2006), aumentando assim o número de perfilhos; (vi) o Si presente no TFM pode estar envolvido no aumento de produção de matéria seca da parte aérea por promover maior capacidade fotossintética pelo melhor arranjo das folhas, tornando-as mais eretas (AGARIE et al., 1998); (vii) à presença observada do ácido indolacético na urina de animais que tem sido observado como estimulante para o crescimento das plantas (CESAR et al., 2007) e, (viii) a adequada taxa de lotação utilizada no experimento (4,5 UA ha⁻¹) proporcionou o adequado crescimento vegetal.

3.2. Rendimento de grãos, acúmulo e exportação de fósforo nas culturas de milho e soja

Não houve interação entre fontes e doses de P sobre os atributos RG, P-Ac e P-Ex do milho (2009/10 e 2011/12) e da soja (2010/11), com exceção do RG de milho (2011/12) (Tabela 4). Para o milho (2009/10) os atributos RG, P-Ac e P-Ex não foram influenciados pela aplicação superficial de fontes e doses de P aplicados antecipadamente, por ocasião da semeadura da cultura de inverno (Figura 7). Isso provavelmente ocorreu devido: (i) ao curto prazo do estudo, (ii) a precipitação foi adequada ao longo de todo o ciclo da cultura (Tabela 3), (iii) o solo apresentou altas concentrações de MO (Tabela 1) implicando em boa reserva de

P orgânico no solo que pode ter sido mineralizado (RESENDE et al., 2006), e (iv) ao aumento da ciclagem de nutrientes observada em sistemas de ILP (CARVALHO et al., 2010).

Para a soja (2010/11) não houve diferença entre os tratamentos sobre o RG. Porém, o P-Ac e o P-Ex foram aumentados linearmente mediante o uso de doses de P, obtendo maiores acúmulos devido à aplicação de SFT e TFM (Figura 8). Esses resultados podem ser caracterizados pelo consumo de luxo exercido pela planta já que não houve respostas para o RG. Fato este, provavelmente interligado ao processo fisiológico de fixação de nitrogênio (FBN), que exige grande quantidade de energia (P na forma de ATP) (TAIZ e ZEIGER, 2004). Miao et al. (2007) e Rotaru e Sinclair (2009) em estudos sobre a capacidade de absorção de P e a fixação biológica de N (FBN) da soja, relataram que a deficiência de P tem sido um dos fatores que mais afeta a produção de leguminosas em diversos tipos de solos. Os autores observaram correlação linear positiva entre a absorção de P e a formação de nódulos, indicando que doses mais elevadas de P estimulariam a FBN, devido ao fato da planta armazenar maiores quantidades de P. Os menores incrementos do P-Ac e P-Ex mediante os tratamentos com o uso de FNR foram plausíveis (Figura 9), pois tem sido observado que as culturas anuais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo e seus efeitos são observados em estudos de médio-longo prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999; RESENDE et al., 2006).

No caso do milho (2011/12) houve interação entre doses e fontes de P (Tabela 4). O incremento do RG foi devido ao uso (antecipado) de doses de TFM e FNR, mas não houve diferença pela aplicação de SFT (Figura 9). O máximo RG (14649 kg ha^{-1}) seria obtido mediante o uso de 116 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de TFM e no caso do FNR, o efeito foi linear.

A ausência de efeito da aplicação antecipada de SFT sobre o rendimento de milho (2011/12) pode ser atribuída: (i) à alta solubilidade deste fertilizante, resultando em imediata

disponibilização de P no sistema, favorecendo maior absorção pelas plantas forrageiras e/ou adsorção pelos colóides do solo, em curto espaço de tempo após sua aplicação (ONO et al., 2009), (ii) ao fato dos tratamentos com a aplicação de SFT sobre a aveia preta (2011) – cultura antecessora ao milho 2011/12 – proporcionarem os menores rendimentos de MS e acúmulos de P nesta cultura, comparado ao uso de TFM (Figuras 5 e 6), resultando em menor retorno de P ao sistema, e (iii) ao menor efeito residual do SFT que tem sido observado e comprovado em estudos de médio-longo prazo (PROCHNOW et al., 2003; RESENDE et al., 2006).

Quanto ao FNR, apesar de este produto ser insolúvel em água e apresentar baixa solubilidade em ácido cítrico (20 g L^{-1}), tem sido observado que o somatório da sua eficiência, quando estimada em períodos de mais de dois ciclos de cultivo, pode-se igualar aos fosfatos solúveis (MOREIRA et al., 2002). Portanto, neste estudo a dissolução do FNR certamente foi favorecida devida: (i) ao alto teor de MO no solo (Tabela 1), diminuindo a probabilidade de adsorção de P, (ii) ao maior tempo de contato do fertilizante com o solo, (iii) ao fornecimento de prótons (H^+) pela provável acidificação da rizosfera (NOVAIS e SMITH, 1999), e (iv) pela presença de animais no sistema, que tem favorecido a atividade microbiana, com conseqüente liberação de H^+ e ciclagem do P através das excretas (SOUZA et al., 2008).

Entretanto, a maior eficiência do RG de milho (2011/12) seria observada mediante o uso do TFM (Figura 9). Para cada quilo de P aplicado no solo na forma de FNR e TFM haveria um incremento de 14 e 44 kg de grãos de milho produzidos, respectivamente (Figura 9). Assim, o máximo incremento do RG mediante a dose de TFM observada seria 30 kg a mais em comparação à dose máxima de FNR. Analisando a eficiência relativa dos fertilizantes em comparação à testemunha (Tabela 5) destaca-se que as doses de 120 kg ha^{-1} de TFM e 180 kg ha^{-1} de FNR seriam as doses que proporcionariam os maiores acréscimos na produção de 23 e 19%, respectivamente. Isso demonstra a alta eficiência de silicofosfatos

pelas plantas, pois nesse caso, a mesma eficiência relativa do TFM em relação ao FNR seria obtida com menor quantidade (dose) de fertilizante aplicado.

Houve efeito quadrático para o P-Ac e P-Ex devido à aplicação de doses de P e incremento destes atributos mediante uso de TFM (Figura 9). Os maiores acúmulos de P-Ac (63 kg ha^{-1}) e P-Ex (61 kg ha^{-1}) no milho (2011/12) seriam obtidos nas doses de 138 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente. O comportamento quadrático desses atributos pode estar relacionado com o efeito similar observado para o RG nos tratamentos com uso de TFM (Figura 9), e podem ser atribuídos: (i) à alta concentração de P no solo que, possivelmente, resultou em decréscimo na concentração de zinco (Zn) na planta, que tem sido o mais limitante para o milho, devido à inibição competitiva P vs. Zn, (MALAVOLTA, 2006), (ii) a dose observada que proporcionou o máximo RG ficou em equilíbrio com a solução no solo, caracterizando o limite de absorção da planta entre solo-dreno e solo-fonte (NOVAIS e SMYTH, 1999), e (iii) à capacidade de produção máxima do híbrido 30F53 foi alcançada, sendo superior ao que tem sido observado para a média de produção no Paraná – entre 13000 a 14000 kg ha^{-1} (PIONEER, 2011).

As médias de precipitação para as safras de primavera-verão nos meses de janeiro e fevereiro encontraram-se adequadas para o desenvolvimento das culturas de milho (2009/10 e 2011/12) e soja (2010/11) (Tabela 3). Fato que deve ser salientado, pois tem sido observado que é nesse período (florescimento e enchimento de grãos) em que as culturas necessitam de adequada quantidade de água devido à maior demanda por nutrientes (BERGAMASCHI et al., 2004).

A média de produção de grãos de milho da última safra no Paraná foi se de 7873 kg ha^{-1} e de soja 3360 kg ha^{-1} (CONAB, 2011). Portanto, neste estudo os RG tanto de milho como de soja (mesmo quando na ausência de efeito) foram elevados em todos os anos. Altos rendimentos de grãos têm sido observados nos estudos com ILP sob PD e atribuídos ao

incremento na ciclagem de nutrientes proporcionados pelo pastejo animal (BALBINOT JUNIOR et al., 2009, CARVALHO et al., 2010, SILVA et al., 2012).

4. CONCLUSÕES

1. O uso de SFT no inverno proporcionou maiores rendimentos de massa seca total da aveia preta, mas não refletiu sobre o rendimento de grãos de milho no primeiro ano de uso.

2. Não houve diferença entre os tratamentos sobre o rendimento da massa seca total do azevém anual, assim como não houve diferença para o rendimento de grãos de soja no segundo ano de estudo. No entanto, para o azevém anual o acúmulo de P na massa seca total foi maior quando se utilizou o TFM, e para a soja o acúmulo foi maior nos tratamentos com aplicação antecipada de SFT e TFM.

3. Após 36 meses da primeira aplicação de P no inverno, o rendimento de massa seca total foi maior na aveia preta mediante uso do TFM, o que refletiu em maiores rendimentos de grãos de milho devido a esses tratamentos.

4. Foi observado, portanto, que as fontes insolúveis em água obtiveram maiores efeitos residuais que o SFT (quando aplicadas de forma superficial e antecipada no inverno), proporcionando maiores rendimentos forrageiros e de grãos no terceiro ano de avaliação.

5. AGRADECIMENTOS

As instituições *International Plant Nutrition Institute* (IPNI), Fundação ABC Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário (FUNDAÇÃO ABC), Mineração Curimbaba Ltda, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná (Fundação Araucária) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro, logístico e concessão das bolsas aos autores.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W. et al. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v.1, p.89-95, 1998.

ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B.; ASSMANN, T.S. **Integração lavoura-pecuária para agricultura familiar**. 1 ed. Londrina: IAPAR, v.7, 49 p., 2008.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, 2009.

BAZIRAMAKENGA, R.; SIMARD, R.R. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. **Journal of Environmental Quality**, 557-561 p., 1998.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; et al. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa-MG, v.27, p.639-646, 2003.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

BERTOL, D.L.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa-MG, v.28, p.1045-1054, 2004.

BOHAC, E.A.F.; CÂMARA, D.S.G.M.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, v.66, n.02, p.259-266, 2007.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 38, n. 1, p. 143-153, jan. 2003.

CARVALHO, P. C. F., ANGHINONI, I., MORAES, A.; et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, C. D.; et al. Interação silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.36, p.557-565, 2001.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000.

CESAR, N.Z.C; PAULA de, P.D.; POLIDORO, J.C. et al. Efeito estimulando da urina de vaca sobre o crescimento de mudas de pepino, cultivadas sob manejo orgânico. **Ensaios e Ciência**, vol. 11, n.1, p. 67-71, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamentos de safra**. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>. Acesso: 16 de novembro de 2012.

FATTORE, N.; ANGHINONI, I. Eficiência de absorção de nutrientes por espécies forrageiras de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 27:251-258, 1992.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ (FAEP). **Plantio direto contribui para aumento da produção brasileira de grãos**. 2012. Disponível em: <http://www.sistemafaep.org.br/noticia.aspx?id=1374>. Acesso em: 21 de nov. de 2012.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.781-787, 2002.

FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; et al. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, 1907-1914, 2010.

FUNDAÇÃO ABC. **Agrobanco: banco de dados agronômicos**. 2008. Disponível em: <http://www.fundacaoabc.com.br/>. Acesso em: 21 de nov. 2012.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A.R.; LIMA, E. V.; et al. Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizantha* em latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista Ciência Agrária**, Belém-PA, v.52, p.117-129, 2009.

HAVLIN, J.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; et al. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7th ed., Prentice Hall: New Jersey, 2005.

IAPAR. **Aveia preta, cultivar IAPAR-61 Ibiporã**. 2010. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br>. Acesso em 15 de novembro de 2012.

MACEDO. M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres, São Paulo- SP, n.1,631p., 2006.

MELO, A.V.; GALVÃO, J.C.C.; BRAUN, H. et al. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

MIAO, S.J., QIAO Y.F, HAN X.Z., et al. Nodule Formation and Development in Soybeans (*Glycine max* L.) in Response to Phosphorus Supply in Solution Culture. **Soil Science Society of China**, Pedosphere v.17(1), p.36-43, 2007.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.36, p.1519-1527, 2001.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L.A.C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília- BR, v.37, p. 1459-1466, 2002.

MOTOMIYA, W.R.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M.E. et al. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.307-312, 2004.

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

POLI, C. H. E. C.; MONTEIRO, A. L.; BARROS, C. S.; et al. Produção de ovinos de corte em quatro sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.37, p.666-673, 2008.

OLIVEIRA, P.P.A.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.1715-1728, 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L.I.; KLEPER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.623-631, 2008.

ONO, B. F.; MONTAGNA, J.; NOVELLINO, J.O.; et al. Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.33, p.727-734, 2009.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e Interpretações. **Fundação ABC**, Castro-PR. v.2, p.86, 2004.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:911-920, 2008.

PIONEER. Resultados acima de 12000 kg/ha – safra 2010/11. **Informativo Técnico**, 2011.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; DILLARD, E.F.; et al. Synthesis, characterization, and agronomic evaluation of iron phosphates impurities in superfosphates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p.1551-1563, 2003.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 343p., 1991.

RANNO, S. K.; SILVA, L.S.; GATIBONI, L.C. et al. Capacidade de adsorção de fosforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 01, p. 21-28, 2007.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa-MG, v.30, p.453-466, 2006.

RESTLE, J., LUPATINI, G.C., ROSO, C. et al. Eficiência e desempenho de diferentes categorias de bovinos de corte em pastagem cultivada. Viçosa-MG, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.397-404, 1998.

RICHART, A.; KAEFER, J.E.; DAGA, J. Desempenho do trigo em resposta a aplicação de termofosfato. **Synergismus scyentifica**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, v.4 (1), 2009.

ROTARU, V.; SINCLAIR, T.R. Interactive influence of phosphorus and iron on nitrogen fixation by soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v.66, n.1, p. 94-99, 2009.

RUSSELE M. P.; FRANZLEUBBERS, A. J. Introduction to symposium: integrated crop-livestock system for profit and sustainability. **Agronomy Journal**, v.99, p.323-324, 2007.

SÁ, J.C.; FERREIRA, A.O.; BRIEDES, C.; et al. Crescimento radicular, extração de nutrientes e produção de grãos de genótipos de milho em diferentes quantidades de palha de aveia preta em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1207-1216, 2010.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, 2008.

SAS System. **SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc® 9.2**. Cary, NC: SAS Institute, 2010.

SILVA, F.N.; FURTINI NETO, A.E.; CARNEIRO, L.F. et al. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, vol.33 n.5, 2009.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. **Sciences**, v.22, p.755–775, 2002.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de ILP submetidos à intensidade de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre. Artmed, 719p., 2004.

WILLIAMS, P.H.; HAYNES, R.J.; Influence of improved pastures and grazing animals on nutrient cycling within New Zealand soils, **New Zealand Journal of Ecology**. v.14, 1990.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e granulométricas do solo da área experimental, nas diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento em abril/2009.

Camada cm	pH⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC⁽²⁾	V⁽³⁾
		----- mmol _c dm ⁻³ -----						%
0-5	5,3	70,7	0,0	57,3	37,0	5,0	170,0	58,4
5-10	4,7	89,9	0,4	30,4	21,9	3,0	145,2	38,0
10-15	4,5	103,9	0,6	20,1	18,0	3,0	145,0	28,0
15-20	4,5	104,0	0,6	16,9	16,9	3,0	140,8	26,1

Camada cm	P⁽⁴⁾	S	COT⁽⁵⁾	NT⁽⁶⁾	Argila	Silte	Areia
	----- mg dm ⁻³ -----		----- g dm ⁻³ -----		----- g kg ⁻¹ -----		
0-5	9,0	10,4	33,8	2,9	570	252	178
5-10	4,6	11,4	30,5	1,8	610	218	172
10-15	2,0	13,4	27,8	1,7	620	212	168
15-20	1,0	16,1	26,2	1,4	620	217	163

⁽¹⁾ pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹. ⁽²⁾ CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0. ⁽³⁾ V: saturação por bases. ⁽⁴⁾ P disponível por solução de Mehlich-1. ⁽⁵⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽⁶⁾ NT: nitrogênio total.

Tabela 2. Características químicas e físicas dos fertilizantes fosfatados.

Fonte de P ₂ O ₅	Características					Granulometria
	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel	CaO	MgO	SiO ₂	
	----- % -----					
Superfosfato triplo	46,0	38,0 ⁽³⁾	13,0	-	-	granulado
Fosfato natural reativo ⁽¹⁾	33,0	10,0 ⁽⁴⁾	37,0	-	-	pó
Termofosfato magnesiano ⁽²⁾	18,0	16,5 ⁽⁴⁾	18,0	7,0	10,0	pó

⁽¹⁾ Fosfato natural reativo de Arad. ⁽²⁾ Yoorin Mg. ⁽³⁾ P₂O₅ solúvel em água e ⁽⁴⁾ solúvel em ácido cítrico a 20 g L⁻¹ (1:100), respectivamente.

Tabela 3. Temperatura e precipitação média (abr/2009 a abr/2012) no período experimental.

Ano	Mês												Média
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	
Temperatura média do ar, °C													
2009/10	18,5	15,3	14,6	12,3	14,4	13,3	17,1	17,5	19,9	19,5	19,4	19,7	16,8
2010/11	19,3	16,1	14,1	12,2	13,8	14,4	17,5	16,9	19,8	20,7	20,6	18,5	17,0
2011/12	17,4	13,7	11,6	13,4	13,6	14,1	16,9	17,2	18,9	18,9	20,7	18,9	16,3
2012	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,1
Média ⁽¹⁾	18,1	15,0	13,4	12,6	13,9	13,9	17,2	17,2	19,5	19,7	20,2	19,0	16,7
Precipitação, mm													
2009/10	21	78	89	314	69	222	181	115	124	200	110	122	137,2
2010/11	151	113	55	75	21	53	112	109	212	214	250	75	120,0
2011/12	63	30	113	185	278	34	189	116	140	192	150	94	132,0
2012	177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177,0
Histórico ⁽²⁾	92	112	113	91	79	134	156	126	152	198	162	150	130,4

⁽¹⁾ Média para a temperatura do ar, referente aos 36 meses de estudo na área experimental.

⁽²⁾ Média histórica para a precipitação, ocorrida na área experimental nos últimos 40 anos (Fundação ABC, 2012).

Tabela 4. Valores de F para os atributos avaliados ao longo dos 36 meses de experimentação com as culturas de aveia preta (2009 e 2011), azevém anual (2010), milho (2009/10 e 2011/12) e soja (2010/11), submetidos a fontes (superfosfato triplo, fosfato natural reativo e termofosfato magnésiano) e doses de fósforo (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total), aplicados por ocasião da semeadura das forrageiras de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Variação	Aveia preta (2009)						Milho (2009/10)		
	MSP ⁽¹⁾	MSR ⁽²⁾	MST ⁽³⁾	P-MSP ⁽⁴⁾	P-MSR ⁽⁵⁾	P-MST ⁽⁶⁾	RG ⁽⁷⁾	P-Ac ⁽⁸⁾	P-Exp ⁽⁹⁾
Fonte	5,59**	2,46*	4,69**	3,00*	2,44*	2,72*	0,56 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,31 ^{NS}
Dose	6,67**	2,76*	4,81**	3,16*	3,00*	3,60*	0,89 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Fonte vs Dose	1,75 ^{NS}	0,39 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,22 ^{NS}
	Azevém anual (2010)						Soja (2010/11)		
	MSP	MSR	MST	P-MSP	P-MSR	P-MST	RG	P-Ac	P-Exp
Fonte	0,69 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,14 ^{NS}	3,12*	2,61*	0,73 ^{NS}	9,53**	5,91**
Dose	0,93 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,93 ^{NS}	1,56 ^{NS}	1,65 ^{NS}	1,34 ^{NS}	13,44**	12,08**
Fonte vs Dose	0,80 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,40 ^{NS}	1,22 ^{NS}	0,52 ^{NS}	1,12 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,75 ^{NS}	1,11 ^{NS}
	Aveia preta (2011)						Milho (2011/12)		
	MSP	MSR	MST	P-MSP	P-MSR	P-MST	RG	P-Ac	P-Exp
Fonte	0,12 ^{NS}	2,72*	2,92*	1,10 ^{NS}	3,03*	3,10*	2,82*	3,93*	2,87*
Dose	0,43 ^{NS}	2,47*	2,85*	3,58*	3,12*	4,48**	4,53**	14,89**	15,14**
Fonte vs Dose	0,18 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,97 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,55 ^{NS}	1,06 ^{NS}	2,98*	1,67 ^{NS}	1,69 ^{NS}

⁽¹⁾ MSP: Massa seca produzida (kg ha⁻¹) em pastejo, representando o somatório de 2, 3 e 3 ciclos de pastejo para as forrageiras de aveia preta (2009), azevém anual (2010), aveia preta (2011), respectivamente. ⁽²⁾ MSR: Massa seca residual (kg ha⁻¹) produzida após o último pastejo, para manutenção de palhada para o plantio direto. ⁽³⁾ MST: Massa seca total (MSP+MSR). ⁽⁴⁾ P-MSP: Quantidade de fósforo (P) acumulado (kg ha⁻¹) na MSP. ⁽⁵⁾ P-MSR: Quantidade de P acumulado (kg ha⁻¹) na MSR. ⁽⁶⁾ P-MST: Quantidade de P acumulado (kg ha⁻¹) na MST. ⁽⁷⁾ RG: Rendimento de grãos (kg ha⁻¹). ⁽⁸⁾ P-Ac: Quantidade de P acumulado na parte aérea das plantas de milho (folhas+colmos+espigas) e soja (folhas+hastes+vagens). ⁽⁹⁾ P-Exp: Quantidade de P exportado (kg ha⁻¹) mediante a colheita de grãos de milho e soja. (**: P<0,01; *: P<0,05 e NS: não significativo).

Tabela 5. Eficiência relativa do rendimento de grãos de milho (2011/12), considerando as doses e fontes de fósforo aplicadas por ocasião da semeadura da aveia preta (2011) em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

Fontes de Fósforo	Doses de Fósforo	Eficiência Relativa
	----- kg ha ⁻¹ -----	----- % -----
Superfosfato triplo	60	105 C
Fosfato natural reativo	60	104 C
Termofosfato magnésiano	60	113 B
Superfosfato triplo	120	107 C
Fosfato natural reativo	120	109 B
Termofosfato magnésiano	120	123 A
Superfosfato triplo	180	108 C
Fosfato natural reativo	180	119 A
Termofosfato magnésiano	180	113 B
Controle ⁽¹⁾	0	100 D

⁽¹⁾ Tratamento controle = 100%. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

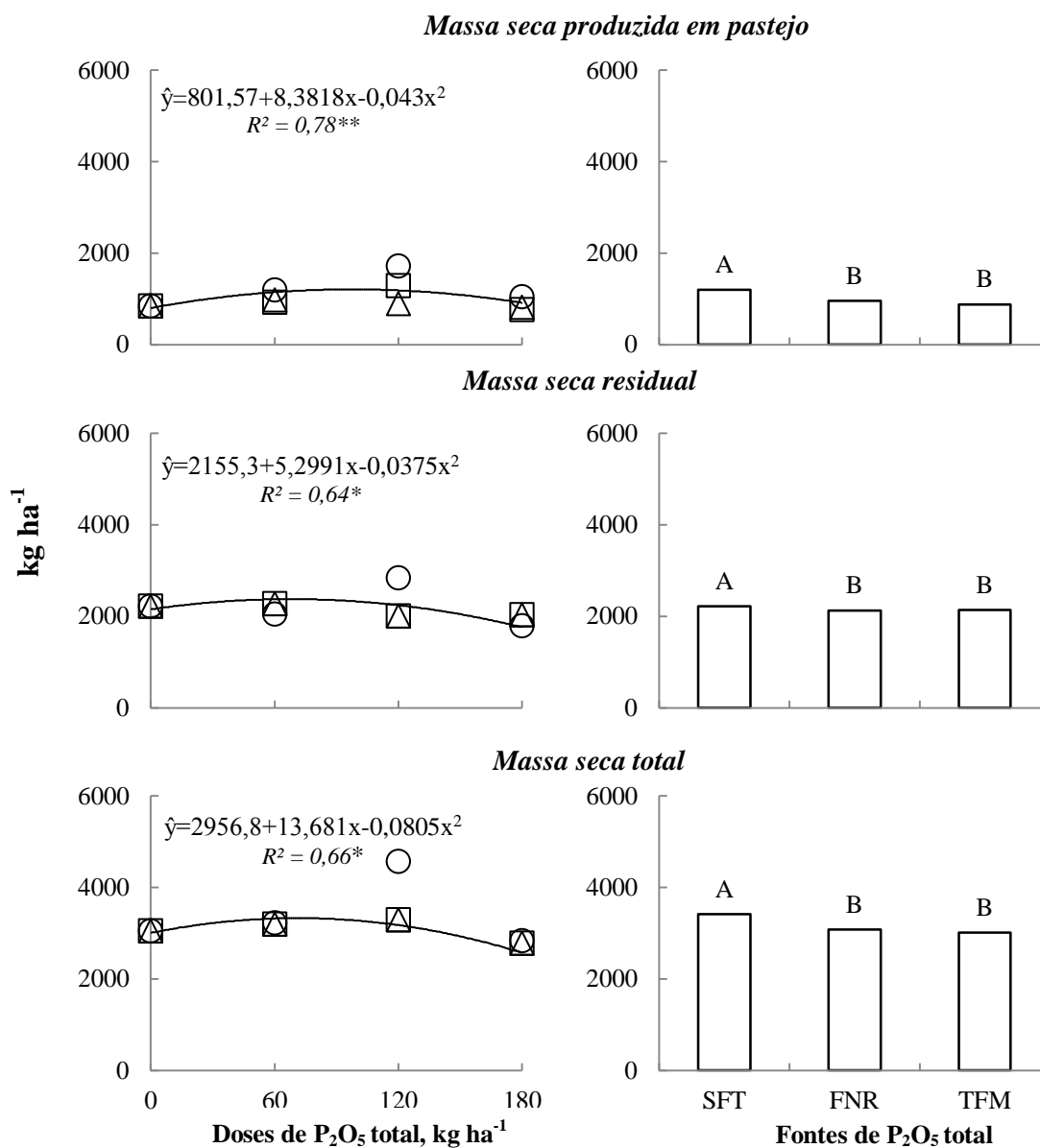


Figura 1. Massa seca produzida em pastejo, massa seca residual e massa seca total da aveia preta (2009), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (**: $P < 0,01$ e *: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

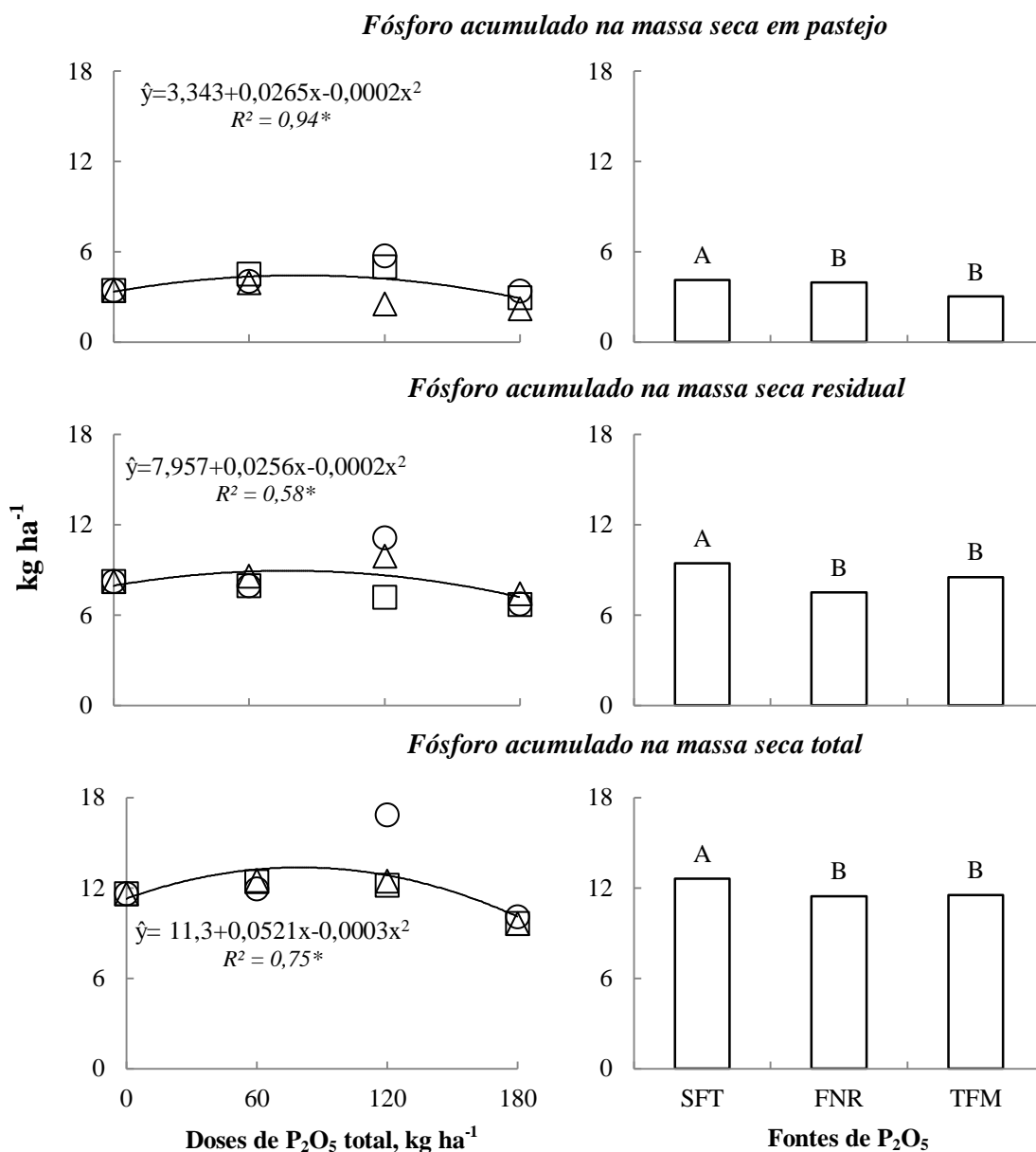


Figura 2. Fósforo acumulado na massa seca produzida em pastejo, fósforo acumulado na massa seca residual e fósforo acumulado na massa seca total da aveia preta (2009), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (*: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

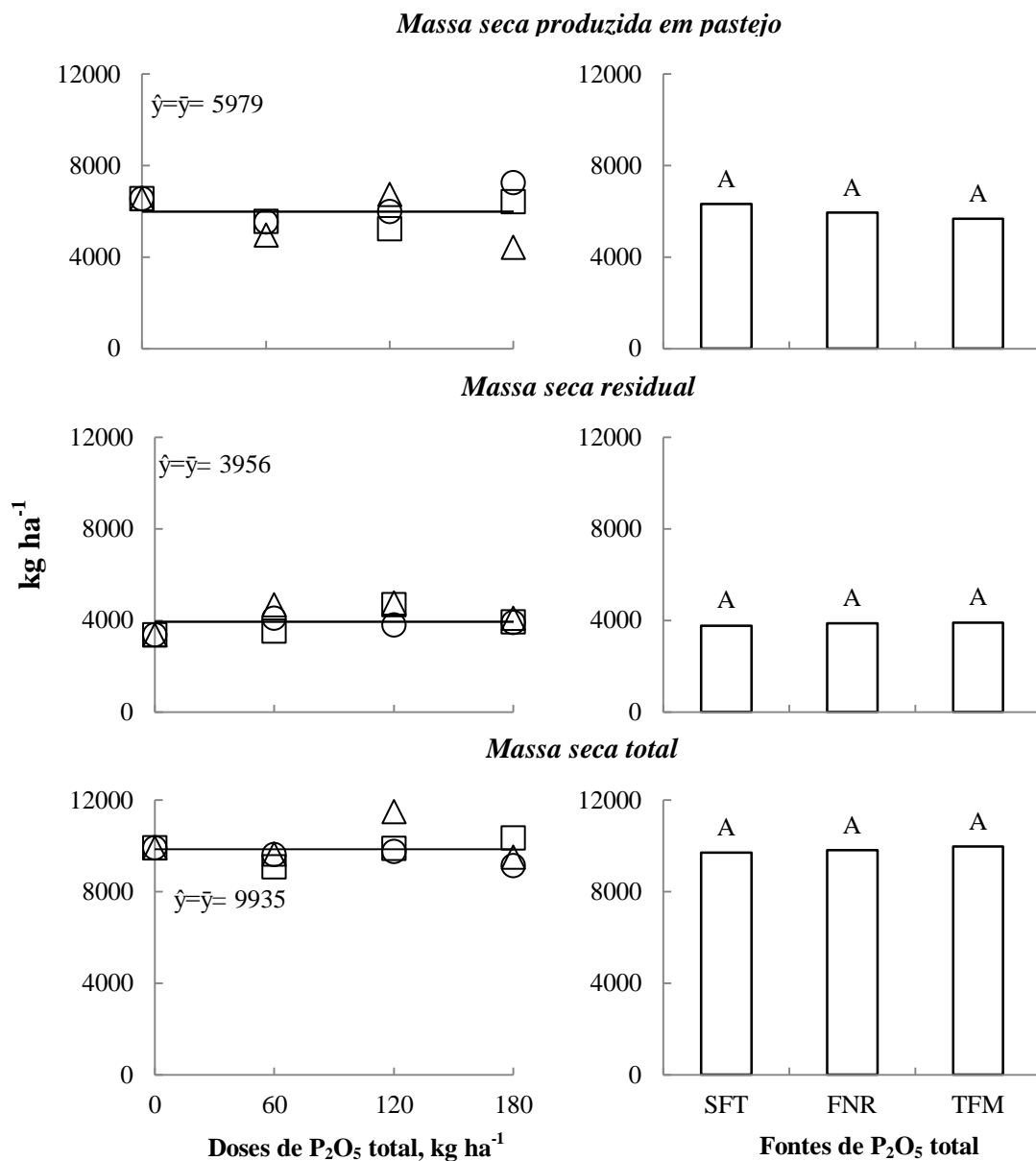


Figura 3. Massa seca produzida em pastejo, massa seca residual e massa seca total do azevém anual (2010), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e △ termofosfato magnesiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

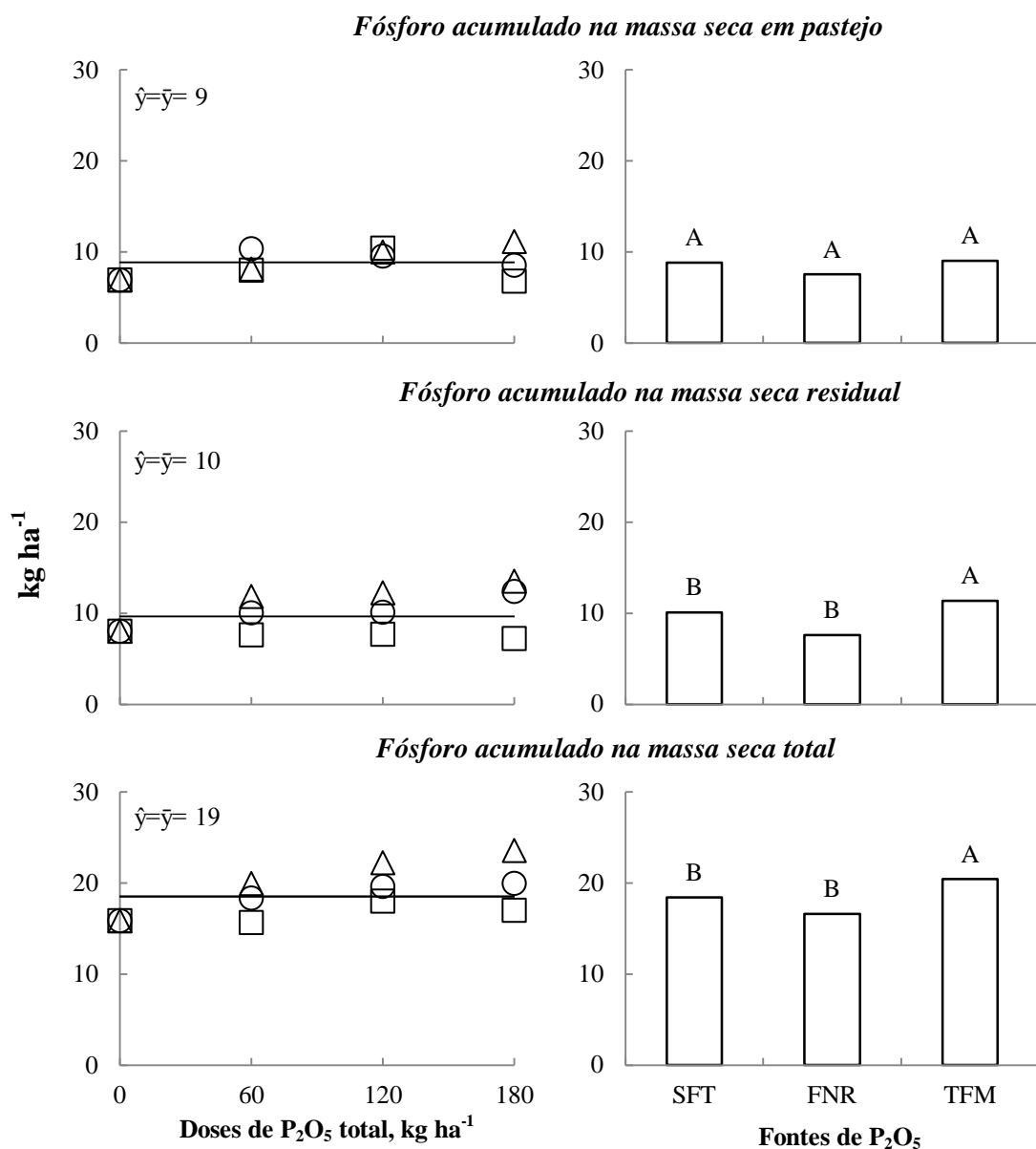


Figura 4. Fósforo acumulado na massa seca produzida em pastejo, fósforo acumulado na massa seca residual e fósforo acumulado na massa seca total do azevém anual (2010), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnesiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

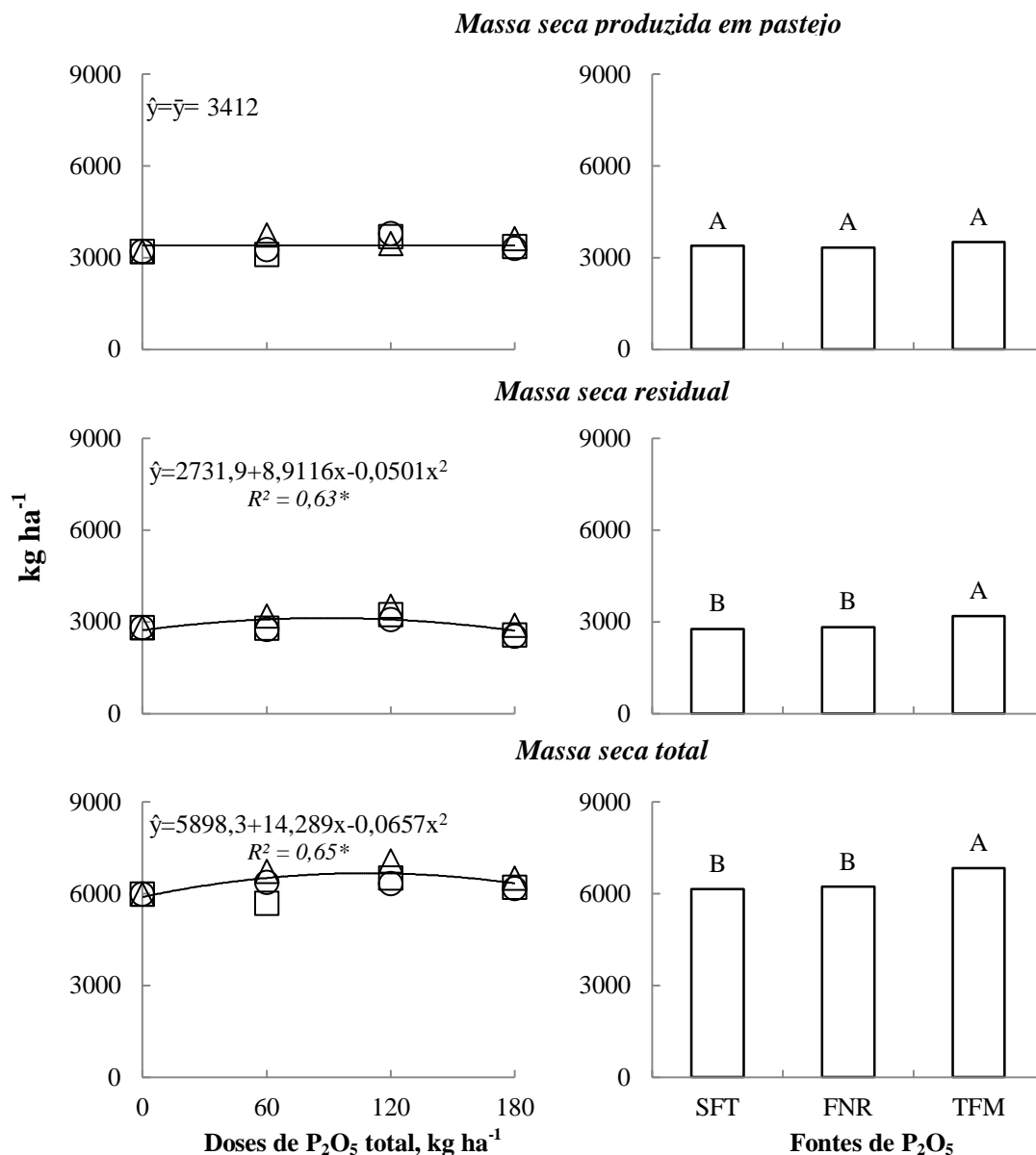


Figura 5. Massa seca produzida em pastejo, massa seca residual e massa seca total da aveia preta (2011), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfosfato triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofosfato magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (*: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

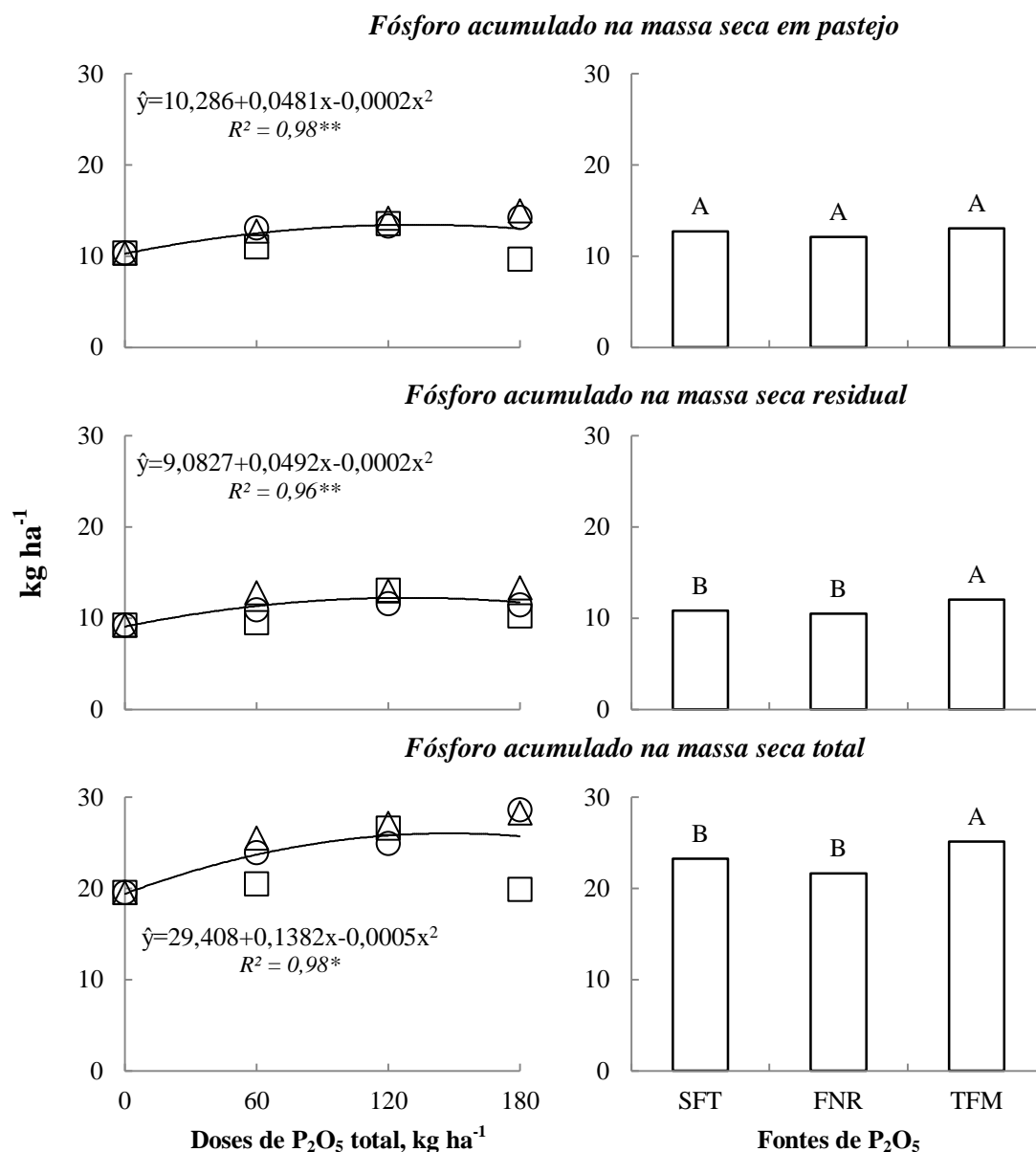


Figura 6. Fósforo acumulado na massa seca produzida em pastejo, fósforo acumulado na massa seca residual e fósforo acumulado na massa seca total da aveia preta (2011), após aplicação superficial de doses e fontes de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. ○ Superfósforo triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofósforo magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (**: $P < 0,01$ e *: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

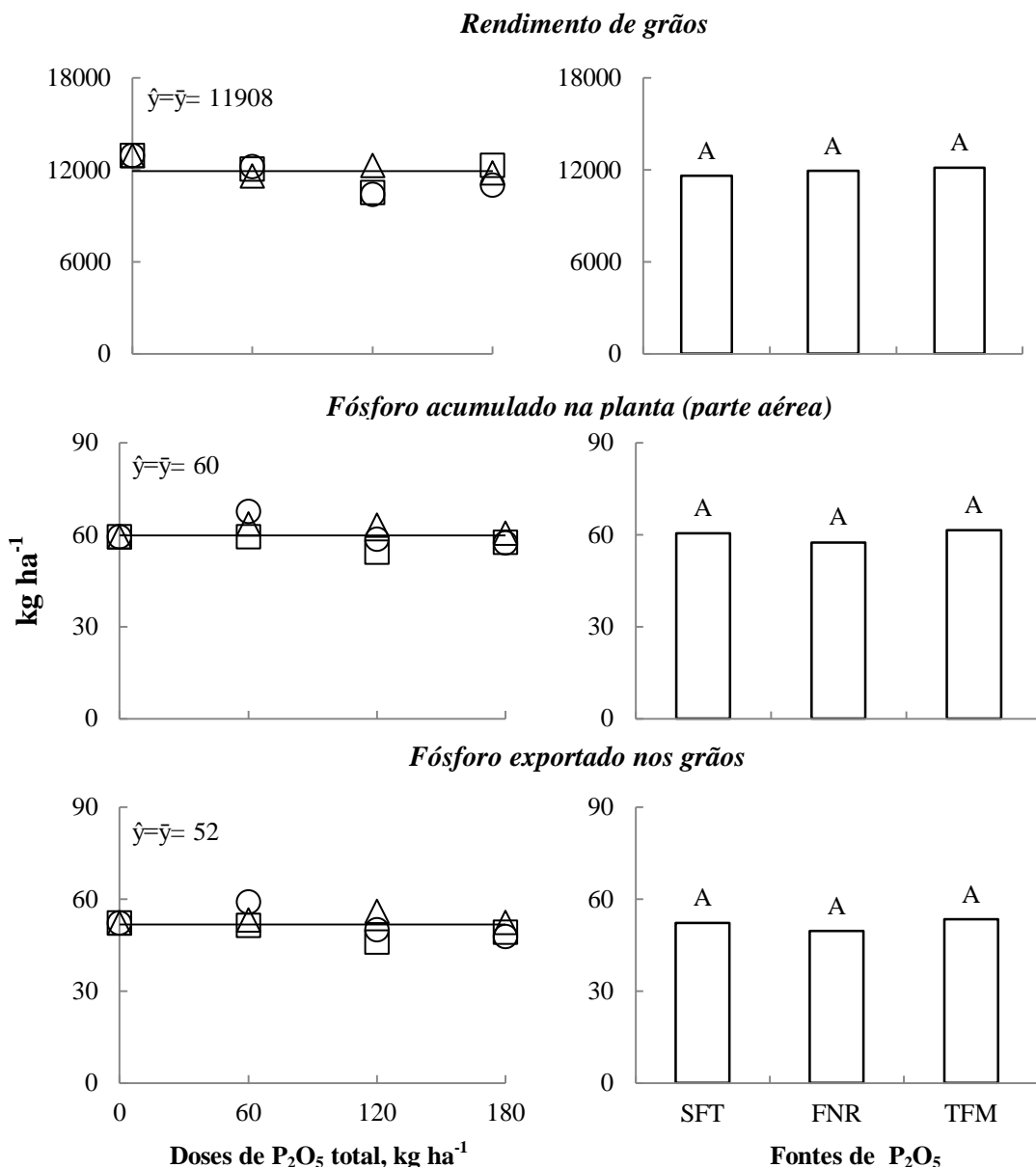


Figura 7. Rendimento de grãos, fósforo acumulado na parte aérea e fósforo exportado nos grãos de milho (2009/10), após aplicação antecipada e superficial de doses e fontes de fósforo na ILP sob PD. ○ Superfósforo triplo (SFT), □ fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofósforo magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

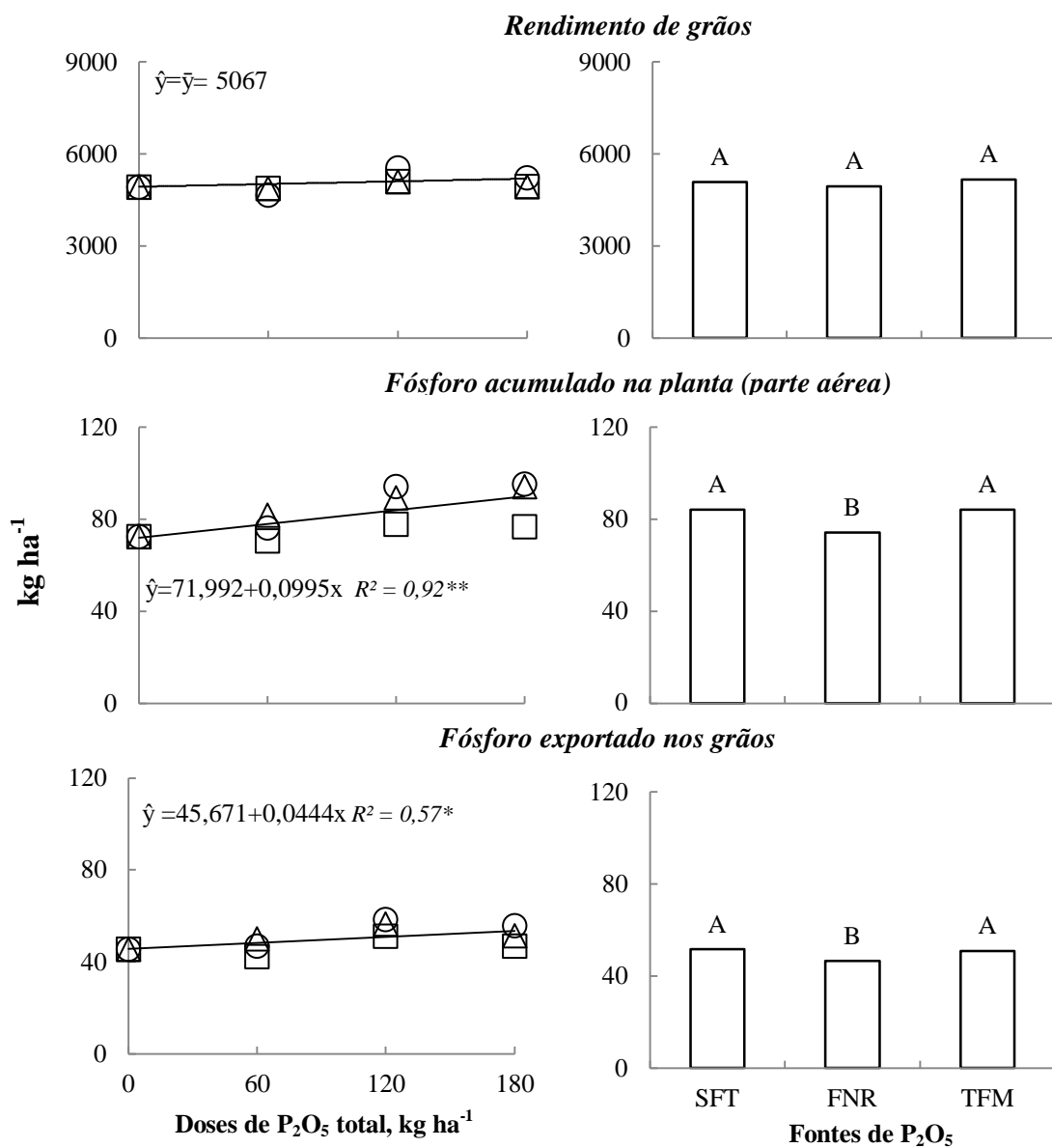


Figura 8. Rendimento de grãos, fósforo acumulado na parte aérea e fósforo exportado nos grãos de soja (2010/11), após aplicação antecipada e superficial de doses e fontes de fósforo na ILP sob PD. \circ Superfósforo triplo (SFT), \square fosfato natural reativo (FNR), e Δ termofósforo magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (**: $P < 0,01$ e *: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

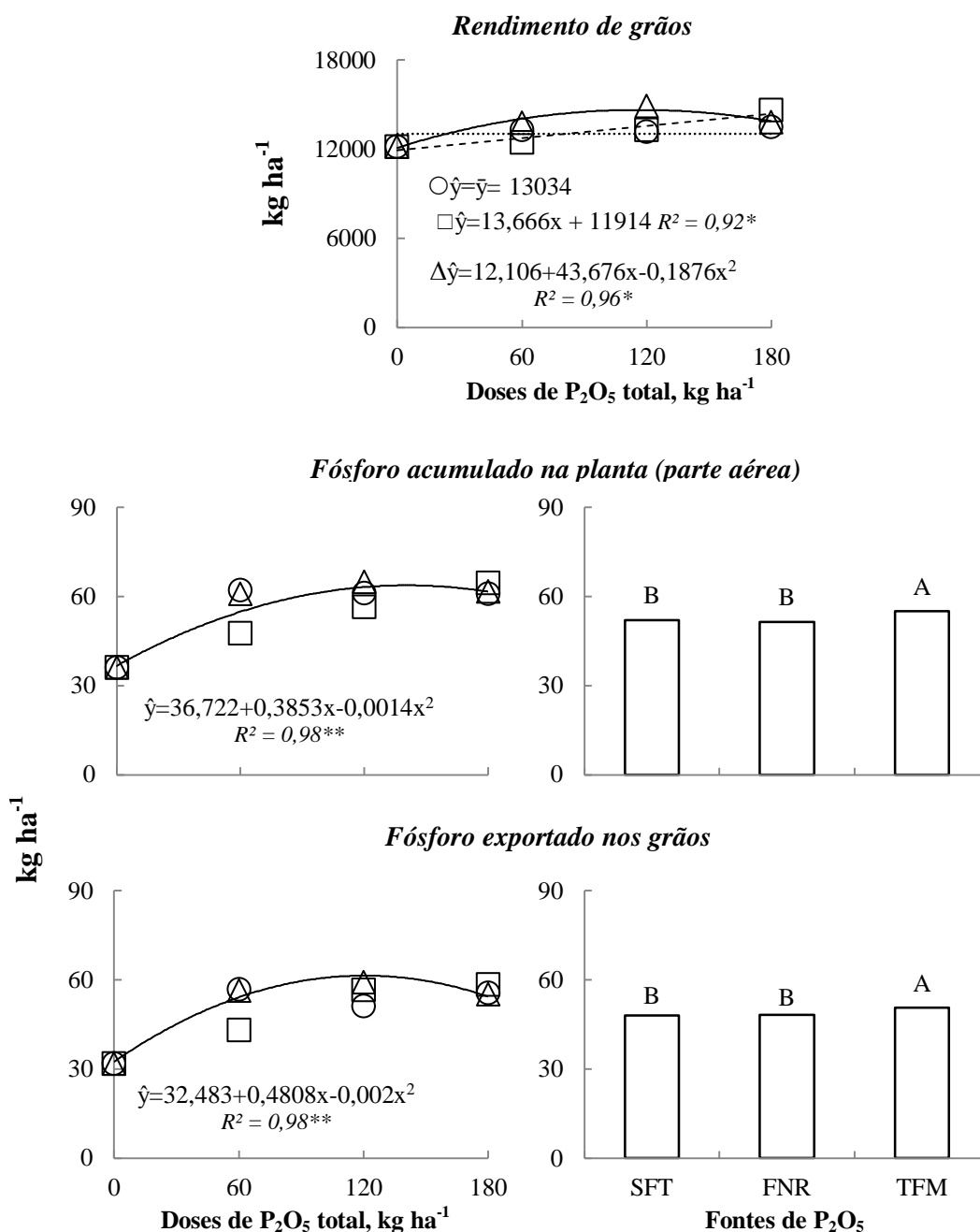


Figura 9. Rendimento de grãos, fósforo acumulado na parte aérea e fósforo exportado nos grãos de milho (2011/12), após aplicação antecipada e superficial de doses e fontes de fósforo na ILP sob PD. \circ Superfósforo triplo (SFT), \square fósforo natural reativo (FNR), e Δ termofósforo magnésiano (TFM). Pontos são médias de quatro repetições (**: $P < 0,01$ e *: $P < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).