

**Viabilidade Agronômico-Econômico-Ambiental de Fontes e Doses
de Fósforo para a Produção Integrada de Sistema Agropecuário
nos Campos Gerais do Paraná**

Relatório Final de 2009 a 2011

**PROJETO DE PESQUISA – PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA ENTRE AS
SEGUINTE INSTITUIÇÕES:**

- **Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)**
- **Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária
(Fundação ABC)**
- **Yoorin Fertilizantes Indústria e Comércio Ltda (Yoorin)**
- **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**

**ADRIEL FERREIRA DA FONSECA
(Coordenador)**

Professor Adjunto
Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Dezembro – 2011

SUMÁRIO

1. RESUMO GERAL.....	4
2. GENERAL ABSTRACT.....	5
3. INTRODUÇÃO.....	6
4. PRINCIPAIS RESULTADOS DO PROJETO ATÉ O MOMENTO.....	8
5. DINÂMICA DO FÓSFORO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: ESTUDO EM CURTO PRAZO.....	9
5.1. Resumo.....	9
5.2. Abstract.....	10
5.3. Introdução.....	11
5.4. Revisão de literatura.....	12
5.4.1. Características e manejo dos solos sob sistemas de produção nos Campos Gerais.....	12
5.4.2. Fertilidade dos solos da Região dos Campos Gerais e adubação fosfatada dos sistemas de produção.....	13
5.4.3. Resposta das culturas de aveia preta, azevém anual e milho a aplicação de fertilizante fosfatado no sistema plantio direto.....	14
5.5. Aplicação superficial de fosfatos e atributos de fertilidade do solo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto.....	15
5.5.1. Resumo.....	15
5.5.2. Abstract.....	16
5.5.3. Introdução.....	17
5.5.4. Material e métodos.....	19
5.5.5. Resultados e discussão.....	23
5.5.5.1. Acidez do solo e cátions trocáveis.....	23
5.5.5.2. Fósforo e enxofre disponíveis.....	30
5.5.6. Conclusões.....	32
5.6. Aveia preta, milho e azevém anual na integração lavoura-pecuária sob plantio direto submetido a doses e fontes de fósforo.....	34
5.6.1. Resumo.....	34
5.6.2. Abstract.....	35
5.6.3. Introdução.....	35
5.6.4. Material e métodos.....	37
5.6.4.1. Descrição do local, histórico da área, delineamento experimental e tratamentos.....	37
5.6.4.2. Cultivo de aveia preta (2009), milho (2009/10) e azevém anual (2010).....	39
5.6.4.3. Avaliações em campo, determinações laboratoriais e análises estatísticas.....	40
5.6.5. Resultados e discussão.....	42
5.6.5.1. Aveia preta.....	42
5.6.5.2. Milho.....	45
5.6.5.3. Azevém anual.....	48
5.6.6. Conclusões.....	52
5.7. Principais conclusões do ciclo aveia preta/milho/azevém anual.....	53
6. RENDIMENTO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NO AZEVÉM ANUAL EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE FÓSFORO.....	54

6.1.	Resumo.....	54
6.2.	Abstract.....	55
6.3.	Introdução.....	57
6.4.	Material e métodos.....	56
6.5.	Resultados e discussão.....	60
6.6.	Principais conclusões sobre o cultivo de azevém anual.....	67
7.	SOJA (2010-11), AVEIA PRETA (2011) E MILHO (2011/12).....	68
7.1.	Metodologia (resumida).....	68
7.1.1.	Atividades em campo.....	68
7.1.2.	Atividades laboratoriais.....	69
7.2.	Principais resultados observados na cultura da soja.....	71
7.3.	Principais resultados observados na cultura da aveia preta.....	74
7.4.	Situação atual da cultura do milho.....	77
7.5.	Principais resultados observados na soja (2010-11) e na aveia preta (2011)...	77
8.	JUSTIFICATIVAS PARA CONTINUAÇÃO DOS ESTUDOS.....	78
9.	PROGRAMAÇÃO PARA OS PRÓXIMOS ANOS (2012-2015).....	80
10.	ANEXO.....	81
10.1.	Determinação de outros atributos de solo visando melhor caracterização da área no início do experimento	89
10.1.1.	Análises físicas das amostras de solo.....	89
10.1.2.	Análises microbiológicas.....	89
10.2.	Resultados da caracterização da área.....	90
10.3.	Estimativa do desempenho animal.....	94
11.	REFERÊNCIAS.....	96

1. RESUMO GERAL

O objetivo principal do presente projeto consiste em avaliar os efeitos de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) e fontes (solúvel e insolúvel em água) de fertilizantes fosfatados sobre a qualidade do solo, a nutrição mineral, o rendimento de forragem, grãos e carne na produção integrada de sistema agropecuário. Avaliações no sistema solo-planta serão realizadas visando ao alcance dos seguintes objetivos específicos: (i) quantificar o impacto de doses e fontes de P [superfosfato triplo (SFT), termofosfato magnésiano (TFM) e fosfato natural reativo (FNR) Arad] sobre os principais atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo; (ii) testar quatro extratores (Mehlich-1, Mehlich-3, Morgan modificado e resina de troca iônica) de fósforo (P) e verificar qual o melhor procedimento para avaliar a biodisponibilidade deste nutriente para a produção integrada de sistema agropecuário, nos Campos Gerais do Paraná; (iii) estimar os estoques de carbono total e nitrogênio total; cálcio, magnésio e potássio trocáveis; P e enxofre disponíveis devido à aplicação de doses e fontes de fertilizantes fosfatados; (iv) monitorar o estado nutricional, o acúmulo de macronutrientes na parte aérea e o rendimento de grãos das culturas de milho e soja, considerando as doses e fontes de P aplicadas no outono-inverno e a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (dose mais empregada deste nutriente pelos agricultores na região) nas formas de SFT, FNR e TFM, por ocasião da semeadura da safra de verão; (v) avaliar o rendimento de massa seca da pastagem de aveia preta e azevém anual e ainda, estimar o ganho de peso dos animais (bovinos de corte) e os macronutrientes exportados e reciclados na integração lavoura-pecuária (ILP); (vi) estabelecer correlações entre a quantidade de carbono seqüestrado e os estoques de nutrientes minerais, atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo; (vii) selecionar, mediante análise de componentes principais, os atributos “chave” que controlam a qualidade do solo, estabelecendo relações com a nutrição e o rendimento das culturas e o retorno financeiro (produção de grãos + carne) da cada tratamento; (viii) mediante uso de programação linear, verificar a(s) melhor(es) fonte(s) e dose(s) de P para a ILP no sistema plantio direto (SPD).

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Glycine max* (L.) Merrill, *Avena strigosa* Schreb, *Lolium multiflorum* Lam., fertilizantes fosfatados insolúveis em água, integração lavoura-pecuária, sistema plantio direto, adubação de sistema.

2. GENERAL ABSTRACT

The main purpose of the present project is measurement the effects of phosphorus (P) doses (0, 60, 120 e 180 kg total P_2O_5 ha⁻¹) and sources (water-soluble and water-insoluble P) on soil quality, mineral nutrition, forage, grains and meat yields in a crop-livestock integration system under no-tillage. Evaluation in the soil-plant system will be necessary to aim the following specific objectives: (i) to quantify the impact of P doses and sources [triple superphosphate (TSP), magnesium termophosphate (MTP) and Arad reactive rock phosphate (RP)] on most important soil chemical, physical and microbiological attributes; (ii) to test four extractants (Mehlich-1, Mehlich-3, modified Morgan and ion-exchange resin) and identify the most sustainable procedure to predict the soil P bioavailability for crop-livestock integration system in Campos Gerais region, Paraná State; (iii) to estimate the stocks of total carbon and total nitrogen; exchangeable calcium, magnesium and potassium; available P and sulfur after application of P fertilizer doses and sources; (iv) to assay the effects of anticipated (in autumn-fall) P fertilizer doses and sources compared to farmer conventional fertilization (application of 90 kg total P_2O_5 ha⁻¹ as TSP or MTP or RP in spring-summer) on plant nutrition status, accumulated macronutrients in aerial part of the plants, and maize and soybean grain yields; (v) to measure dry matter yield of black oak and annual ryegrass pastures; to estimate weight gain of cattle, and exported and recycled macronutrients in a crop-livestock integration system; (vi) to found correlations between carbon sequestration and mineral nutrients stocks, chemical, physical and microbiological soil attributes; (vii) to select after principal component analysis the key attributes that control soil quality, establishing relationships with nutrition and yield plant and financial return (grains + meat production) for each treatment; (viii) to verify after linear programming the best source and dose of P for crop-livestock integration under no-tillage in Campos Gerais region.

Keywords: *Zea mays* L., *Glycine max* (L.) Merrill, *Avena strigosa* Schreb, *Lolium multiflorum* Lam., water-insoluble phosphate fertilizers, crop-livestock integration, no-till system, fertilization of system.

3. INTRODUÇÃO

Neste segundo relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas pela nossa equipe de trabalho junto ao projeto intitulado “Viabilidade Agrônômico-Econômico-Ambiental de Fontes e Doses de Fósforo para a Produção Integrada de Sistema Agropecuário nos Campos Gerais do Paraná”, no período compreendido entre abril/2009 e dezembro de 2011. Este período foi destinado ao cultivo de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (2009 e 2011) e azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) (2010) para pastejo animal (bovinocultura de corte) e produção de fitomassa para viabilizar a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.) (2009/10 e 2011/12 – no campo) e soja [*Glycine max* (L.) Merr.] (2010/11) em sistema plantio direto (SPD).

Todas as atividades programadas foram realizadas com sucesso e encontram-se reunidas nos capítulos que compõe este relatório. Do ponto de vista de formação de recursos humanos, foram realizadas as seguintes orientações:

- a) Aluno: Rodrigo Martins de Oliveira. Título do trabalho: Fontes e doses de fósforo para o milho em sistema integrado de produção agropecuário sob plantio direto. Ano de conclusão: 2010. Modalidade: Iniciação Científica. Curso: Graduação em Agronomia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná.
- b) Aluno: Silvano Harkatin. Título do trabalho: Fontes e doses de fósforo para a aveia preta em sistema integrado de produção agropecuário sob plantio direto. Ano de conclusão: 2010. Modalidade: Iniciação Científica. Curso: Graduação em Zootecnia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná.
- c) Aluno: Silvano Harkatin. Título do trabalho: Fontes e doses de fósforo para o azevém anual em sistema integrado de produção agropecuário sob plantio direto. Ano de conclusão: 2011. Modalidade: Iniciação Científica. Curso: Graduação em Zootecnia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná.
- d) Aluno: Rafael Martins Barbosa. Título do trabalho: Rendimento de matéria seca de azevém anual na integração lavoura-pecuária sob plantio direto, submetido a doses e fontes de fertilização fosfatada. Ano de conclusão: 2010. Modalidade: Trabalho de

Conclusão de Curso. Curso: Graduação em Zootecnia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Yoorin Fertilizantes Indústria e Comércio Ltda.

- e) Aluno: Silvano Harkatin. Título do trabalho: Rendimento e acúmulo de macronutrientes no azevém anual em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a fontes e doses de fósforo. Ano de conclusão: 2011. Modalidade: Trabalho de Conclusão de Curso. Curso: Graduação em Zootecnia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná. Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca.
- f) Aluno: Hendrik Ivan Reifur. Título do trabalho: Dinâmica do fósforo na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Ano de conclusão: 2011. Modalidade: Dissertação. Curso: Mestrado em Agronomia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- g) Aluno: Augusto Pontarolo Neto. Título do trabalho: Efeito da adubação fosfata antecipada sobre a nutrição mineral e rendimento do milho cultivado em sistema integrado de produção. Início das atividades: agosto/2011. Modalidade: Iniciação Científica. Curso: Graduação em Agronomia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná.
- h) Aluna: Shively Los Galetto. Título do trabalho: Adubação fosfatada antecipada na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Início das atividades: fevereiro/2011. Modalidade: Dissertação. Curso: Mestrado em Agronomia. Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa. Instituição financiadora da bolsa: Fundação Araucária de Apoio ao Desenv. Científico e Tec. do Paraná.

Do ponto de vista técnico, o período abril/2009 a dezembro/2011 foi adequado para a produção de grãos e forragens e as culturas obtiveram altos rendimentos. Até o momento, todas as informações indicam para a viabilidade da fertilização antecipada na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto, particularmente, nos Campos Gerais do Paraná. Todavia, dada à complexidade do estudo, torna-se importante conduzi-lo até abril de 2015 para maior segurança na recomendação, seleção de extrator para avaliar a biodisponibilidade de fósforo, e cálculo do retorno econômico das doses e fontes deste nutriente.

4. PRINCIPAIS RESULTADOS DO PROJETO ATÉ O MOMENTO

Os principais resultados do presente projeto, até o momento, foram:

- a) Podem ser obtidos rendimentos de grãos de aproximadamente 12,0 Mg ha⁻¹ de milho e 5,0 Mg ha⁻¹ de soja com adubação fosfatada antecipada – na cultura forrageira anual de inverno de aveia preta ou azevém anual.
- b) Na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto, como no presente estudo, além de altos rendimentos de grãos no verão, a adubação fosfatada aplicada superficialmente por ocasião da semeadura da aveia preta ou azevém anual proporciona ganho de peso nos animais superiores a 1.000 g animal⁻¹ dia⁻¹, mantendo-se taxa de lotação de aproximadamente 3,5 unidades animais por hectare.
- c) O uso de fosfato natural reativo em sistema plantio direto com integração lavoura-pecuária parece ser uma técnica questionável.
- d) Nos dois primeiros anos de estudo, as respostas das plantas à aplicação de superfosfato triplo foram superiores à de termofosfato magnesiano. No último ano, a resposta das culturas (do ponto de vista nutricional) tem sido mais pronunciada mediante o uso de doses de termofosfato magnesiano.
- e) A aplicação de termofosfato magnesiano (na superfície do solo) resulta em incremento nas concentrações de fósforo e magnésio na 0-5 cm e diminui as perdas de potássio (por lixiviação) nas camadas 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm.
- f) Apesar de terem sido observados avanços significativos no estudo da dinâmica do fósforo na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto, ainda há necessidade de mais estudos para resolução de problemas como: (i) dose ideal a ser recomendada com base na análise de solo; (ii) eficiência agronômica das fontes estudadas; (iii) retorno econômico das doses e fontes de fósforo para o sistema de produção estudado; (iv) questões associadas à metodologias laboratoriais para prever a biodisponibilidade de fósforo.
- g) Há explícita importância para conduzir este estudo durante o período 2012-2015, para obtenção de sólidas conclusões agronômicas e recomendação para a região dos Campos Gerais do Paraná.

5. DINÂMICA DO FÓSFORO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: ESTUDO EM CURTO PRAZO ⁽¹⁾

5.1. Resumo

A necessidade de preservar o solo, aliada a constante busca por menores custos de produção e aumento da produtividade implicou na utilização do sistema plantio direto (SPD). Técnica eficiente na preservação e utilização de solos altamente intemperizados (solos tropicais e subtropicais). Contudo, apenas o cultivo sucessivo com monoculturas tem implicado em diminuição da rentabilidade, aumentando assim os riscos de produção. A estratégia que aumenta a rentabilidade, através da maximização da propriedade, dando maior segurança produtiva, é a integração lavoura-pecuária (ILP). Todavia essa técnica utiliza a mesma área para produção animal e vegetal. Ainda, para atingir altas produtividades em solos de baixa fertilidade sob ILP, há necessidade de construir a fertilidade do solo. Depois de corrigida a acidez desses solos, o fator limitante passa a ser os níveis baixos de P disponível. O objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade da antecipação da fertilização mineral fosfatada em uma sucessão de aveia preta (*Avena strigosa* Scrib), milho (*Zea mays* L.) e azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) manejados na ILP sob SPD. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso com quatro repetições e 10 tratamentos. As parcelas receberam aplicação superficial (controle, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) conforme a sucessão empregada. Antes de iniciar o experimento procederam-se as coletas de solos nas camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm), e também durante o cultivo do milho foi coletado material para diagnose foliar e acúmulo de nutrientes. Para aveia preta e azevém anual foi realizada a coleta de plantas nos momentos de entrada e saída dos animais das pastagens (pré-pastejo e pós-pastejo). Foram realizadas análises para quantificar a exportação de (N) nitrogênio, (P) fósforo e (K) potássio na parte aérea das forrageiras devido o pastejo animal. Ainda, foi realizada avaliação do estado nutricional do milho, acúmulo de (N, P e K), devido à aplicação de fertilizantes fosfatados. Após 12 meses da aplicação superficial de

⁽¹⁾ Extraído de Reifur (2011). REIFUR, H.I. **Dinâmica do fósforo na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2011. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca. Do inglês: “REIFUR, H.I. **Phosphorus dynamic in crop-livestock integration under no-tillage**. 2011. Master Science in Agronomy Dissertation - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Adviser: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.”

fontes e doses fosfatadas não foi alterado a acidez do solo e as concentrações de Ca, Mg e S tiveram pouca ou nenhuma alteração. Os tratamentos incrementaram as concentrações de P disponível mediante aplicação de superfosfato triplo (SFT) e termofosfato magnésiano (TFM), no entanto o extrator Mehlich-1 superestimou a concentração de P disponível. Para a aveia preta os valores exportados de N, P e K não foram alterados pelas fontes fosfatadas, exceção ao P mediante aplicação de SFT. O rendimento de aveia preta, grãos de milho e azevém anual não tiveram efeito mediante fertilização fosfatada, exceção a aplicação de TFM no primeiro pré-pastejo. Em curto prazo parece ser uma estratégia interessante para áreas sob SPD que adotam ILP.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Avena strigosa* Scrb, *Lolium multiflorum* Lam.

5.2. Abstract

The necessity to preserve the soil, coupled with the constant search for lower production costs and increased productivity resulted in the use no-tillage (NT). Efficient technique in the preservation and use of highly weathered soils (tropical and subtropical soils). However, only the continuous cultivation of monocultures has been implicated in reduced profitability, rising the risks of production. Technique that increases profitability by the property maximizing, giving greater security product, is the crop-livestock integration (CLI). However, this technique uses the same area for plant and animal production. Even to achieve high yields in soils of low fertility under (CLI), requires the construction of fertility. So after correcting the acidity of these soils, the limiting factor becomes low levels of P in these soils. The objective of this study was to evaluate the feasibility of anticipated phosphate fertilization in a succession of black oat (*Avena strigosa* Scrb), maize (*Zea mays* L.) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) managed in CLI under NT. The experimental design was randomized complete block with four repetitions of ten treatments. The plots received surface application (control, 60, 120 and 180kg ha⁻¹ P₂O₅ total) as the sequence used. Before starting the experiment proceeded to the collection of soil layers (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 and 20-30 cm), and also during the cultivation of maize was collected samples for leaf diagnosis and nutrients accumulation. As for black oats and annual ryegrass was collected from plants in times of entry and exit of animals in the pasture (pre-and post-grazing pasture). However, analysis was performed to quantify the exportation of (N) nitrogen, (P) phosphorus

and (K) potassium in the air part of forage due to the grazing animal. Yet been conducted evaluating the nutritional status of maize, the accumulation of N, P and K, due to the application of phosphate fertilizers. After 12 months (of surface application of phosphate sources and doses) did not change soil acidity; moreover, Ca, Mg and S concentrations were little or no changed. The treatments increased the concentrations of P available by applying triple superphosphate (TSP) and thermophosphate magnesium (TPM), however the Mehlich-1 extractor overestimated P concentrated available. To the black oat export values of N, P and K were not affected by phosphate sources, except the P by applying TSP. The yield of black oats, maize grain and annual ryegrass had no effect posphosphate fertilizer, except for the application of MTP in the first pre-grazing. In the short term, it seems to be an interesting strategy for areas on NT that adopted CLI. It is concluded that the anticipated phosphate fertilizer surface can be made for maize in soils with high fertility, didn't affecting in high yields.

Keywords: *Zea mays* L., *Avena strigosa* Screb, *Lolium multiflorum* Lam.

5.3.Introdução

A constante busca pela redução dos custos de produção e aumento das produtividades agrícolas tem implicado no uso de estratégias eficientes de exploração do agrossistema. Nesse contexto, destaca-se o sistema plantio direto (SPD), que consiste em uma das melhores estratégias de manejo dos solos altamente intemperizados (solos tropicais e subtropicais).

Atualmente, mais de 5,0 e 25,5 milhões de ha no Paraná (MAPA, 2011) e no Brasil (FEBRAPDP, 2011), respectivamente, tem sido cultivado sob SPD, no verão. Porém, boa parte dessas áreas agrícolas para cultivo de grãos, no verão, fica ociosa durante o período de inverno (LUNARDI et al., 2008). Daí à importância dos sistemas integrados de produção, como exemplo, a integração lavoura-pecuária (ILP), que possibilita o cultivo de plantas produtoras de grãos durante a safra de verão e o de forrageiras para pastejo animal durante a safra de inverno.

Para se obter altos rendimentos agrícolas nos sistemas de produção sob solos altamente intemperizados é fundamental 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 (FAGERIA, 1998). Portanto, o desenvolvimento de

estratégias eficientes de fertilização fosfatada é um dos pré-requisitos para a obtenção de altos rendimentos nos sistemas integrados de produção.

Tem sido observado incremento no rendimento de grãos mediante a antecipação da fertilização fosfatada, quando esta é aplicada por ocasião da semeadura de cobertura vegetal (BOHAC et al., 2007). Isso indica que pode ser interessante a antecipação da fertilização fosfatada nos sistemas integrados, uma vez que a ciclagem de nutrientes tem sido incrementada na ILP (ASSMANN et al., 2003) Todavia, persistem dúvidas quanto à eficiência da fertilização fosfatada antecipada para os diferentes tipos de solos e sistemas de produção (CHIEN; MENON, 1995).

5.4.Revisão de literatura

5.4.1. Características e manejo dos solos sob sistemas de produção nos Campos Gerais

As principais ordens de solos dominantes nos Campos Gerais do Paraná incluem Cambissolos, Latossolos e Argissolos (MAACK & BODZIACK, 1946), manejados principalmente no SPD. Esse sistema de manejo resulta em (i) aumento das concentrações de matéria orgânica do solo (DOS SANTOS et al., 2008), do C microbiano e das populações microbianas (DA SILVA et al., 2006); (ii) incremento da porosidade total, favorecendo a agregação e a aeração (ARATANI et al., 2009) e da condutividade hidráulica do solo (DE ASSIS et al., 2005); (iii) aumento no rendimento de grãos (ADRIOLI et al., 2008) decorrente da melhoria dos atributos químicos (FLORES et al., 2008), físicos (TORMENA et al., 2004; MARCOLAN; ANGHINONI, 2006) e biológicos no solo (MENDES et al., 2003).

Todavia, apenas a adoção do SPD não tem sido o suficiente para manter ou aumentar a sustentabilidade das propriedades agrícolas. Daí a importância da ILP, que proporciona a diversificação da produção, (BALBINOT JUNIOR et al., 2009), consistindo-se em sistema integrado que alterna o cultivo de pastagens perenes ou anuais destinadas a alimentação animal e a produção vegetal, sobretudo grãos, na mesma área (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Tem sido observados rendimentos de grãos superiores nas áreas pastejadas quando comparado àquelas não pastejadas (LUNARDI et al., 2008), indicando que a ILP no SPD pode ser uma prática mais sustentável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental (FLORES et al., 2007).

5.4.2. Fertilidade dos solos da Região dos Campos Gerais e adubação fosfatada dos sistemas de produção

Os solos da região dos Campos Gerais do Paraná geralmente apresentam alta acidez associada à baixa fertilidade natural, concentração de matéria orgânica e capacidade de retenção de água (MAACK; BODZIACK, 1946). Torna-se, portanto, necessário construir a fertilidade desses solos para a obtenção de altos rendimentos agrícolas. Daí a importância da calagem (superficial) no SPD, proporcionando aumento no rendimento de grãos (CAIRES et al., 2006).

Depois de corrigida a acidez do solo, os baixos teores de P disponível se consistem no maior limitante ao rendimento das culturas. Esse nutriente é fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois faz parte da estrutura de moléculas (adenosina trifosfato – ATP, ácidos nucleicos e fosfolipídios) e de processos metabólicos (MARINS et al., 2007); (ii) faz parte das moléculas de DNA e RNA, que são portadoras de informações genéticas e responsáveis pela perpetuação da espécie (MARSCHNER, 1986). O fósforo é um mineral que não possui substituto sintético e possui perspectiva de aumento em suas cotações (SHAFQAT et al., 2009). Desse modo, torna-se importante a busca por estratégias que visem o aumento da sua eficiência nos sistemas de produção.

Os modos de fornecimento de P no SPD são os mais variados. O fertilizante fosfatado pode ser aplicado ao lado e abaixo do sulco de semeadura (SANTOS et al., 2008) ou na superfície, a lanço (SANTOS et al., 2000). Outro fator importante na nutrição fosfatada das plantas é o tipo de fonte a ser empregada. Os fosfatos mais comumente utilizados no Brasil incluem: (i) fosfatos solúvel em água, (ii) fosfatos solúvel em ácido cítrico e (iii) fosfatos com baixa solubilidade em água e ácido cítrico (MOREIRA; MALAVOLTA, 2001).

O melhor desempenho das fontes de maior solubilidade (superfosfato triplo e termofosfato) em relação às fontes de menor solubilidade (fosfato natural reativo) (DA SILVA et al., 2009) faz com que estas últimas apresentem menor liberação de P para as culturas (BOHAC et al., 2007). As fontes que apresentam alta solubilidade em água e em ácido cítrico normalmente resultam em melhores rendimentos e eficiência agrônômica (RESENDE et al., 2006). Por outro lado, o FNR caracteriza-se por ser insolúvel em água e apresentar baixa solubilidade em ácido cítrico, resultando em baixa dissolução e menor eficiência (NASCIMENTO et al., 2002). Nesse caso, a capacidade tampão do solo é fator preponderante na disponibilidade de P as culturas, onde em baixa capacidade tampão os FNR

apresentam menor solubilidade e disponibilidade as plantas quando comparado às fontes de maior solubilidade SFT e TFM (DA SILVA et al., 2009).

A antecipação da fertilização fosfatada, através da aplicação de P (na base) junto à semeadura da cultura de outono-inverno é uma técnica que pode ser interessante como estratégia de adubação de sistema. Nesse caso, as culturas possuem dificuldades para obter o fósforo suficiente ao seu desenvolvimento (MARINS et al., 2007), ficando constatada a importância de realizar a adubação com P para que assim tenha-se rendimento satisfatório das culturas (DE SOUZA et al., 2007; SOARES, et al., 2000). Desse modo, é importante o conhecimento das doses e fontes que serão mais eficientes nos sistemas de produção (NASCIMENTO et al., 2002), sobretudo, para a ILP no SPD.

5.4.3. Resposta das culturas de aveia preta, azevém anual e milho a aplicação de fertilizante fosfatado no sistema plantio direto

As culturas têm respondido à fertilização de P conforme a fonte utilizada (ONO et al., 2009). Em situação de deficiência do P, o crescimento vegetal da parte aérea tem sido afetado, pois as raízes se transformam em drenos de carboidratos para aumentar sua massa e estas se expandem (RESENDE et al., 2006). Como na nossa região os solos são limitantes em P, as plantas absorvem este nutriente contra um elevado gradiente de concentração (MALAVOLTA et al., 2006), sendo este mecanismo vital para o desenvolvimento e crescimento.

A aveia preta tem se destacado como a principal gramínea anual de inverno utilizada como planta de cobertura do solo ou também, como forrageira destinada à alimentação animal em sistemas de ILP no Sul do Brasil (FLARESSO et al., 2001). Trata-se de uma forrageira que apresenta potencial para suprir déficits alimentar de rebanhos bovinos durante o período de outono-inverno (RESTLE et al., 1998). Também, é uma cultura que em sido eficiente na ciclagem de nutrientes, devido à relação produção de MS e absorção de nutriente em função do seu sistema radicular agressivo (PRADO et al., 2006). A aveia preta cv. IAPAR 61 – Ibiporã se caracteriza por apresentar ciclo mais longo que os demais cultivares, proporcionando maior rendimento de forragem (GRISE et al., 2002). Essas características são fundamentais na ILP, pois favorecem tanto o pastejo animal a campo quanto a produção de fitomassa para a manutenção do SPD. Desse modo, torna-se essencial o adequado fornecimento de P para as culturas cultivadas e exploradas na produção agrícola, sobretudo na

situação de antecipação da fertilização fosfatada. Espera-se que o P fornecido por ocasião da semeadura da forrageira de inverno favoreça o crescimento, desenvolvimento e rendimento desta cultura e, ainda, retorne maior quantidade de P para o sistema de produção. Tem sido observado incremento do rendimento de MS e melhor desenvolvimento da aveia preta devido à aplicação de P (PRADO et al., 2006).

O azevém anual também é uma gramínea anual de inverno que apresenta elevada importância no Sul do Brasil. Possui vários cultivares, dentre os quais Barjumbo e ABC 1 se destacam por apresentar ciclos distintos. O cultivar ABC 1 é mais precoce que o Barjumbo e, quando consorciados, trata-se de importante estratégia para a ILP sob SPD, proporcionando maior número de pastejo e rendimento forrageiro (ASSMANN et al., 2007; EMBRAPA..., 2011). Daí a importância da adequada nutrição dessa gramínea com P, favorecendo a emissão de folhas e perfilhos, além de proporcionar maior qualidade (MARSCHNER, 1995).

O milho é uma gramínea de verão mundialmente importante na economia, sendo utilizado na alimentação humana e animal devido à sua qualidade, como uma das principais culturas de grãos (FONTOURA; BAYER 2009). A resposta dessa cultura à aplicação de fósforo tem sido expressiva, resultando em maiores rendimento devido à utilização de fontes de maior solubilidade e, no caso de uso de fontes de menor solubilidade, proporcionando pronunciado efeito residual (RESENDE et al., 2006). Informações sobre a viabilidade da antecipação da fertilização fosfatada para o milho na ILP sob SPD são necessárias, sobretudo, para justificar (ou não) a utilização de fontes de menor solubilidade em água (que causam menor impacto ambiental) nos sistemas integrados de produção.

5.5. Aplicação superficial de fosfatos e atributos de fertilidade do solo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto ⁽²⁾

5.5.1. Resumo

Nos últimos anos, a busca por estratégias eficientes de uso e manejo do solo tem sugerido a integração lavoura-pecuária como uma das alternativas mais viáveis aos produtores rurais, particularmente, nos Campos Gerais do Paraná. Todavia, um dos maiores limitantes a esse sistema integrado de produção tem sido o entendimento da dinâmica da aplicação de fosfatos de baixa solubilidade ou insolúveis em água, particularmente, quando dispostos na

⁽²⁾ Do inglês “Surface phosphorus application and soil fertility attributes in crop-livestock integration under no-tillage”.

superfície do solo sob a palhada da cultura de verão. O objetivo do presente trabalho foi verificar, em curto prazo (12 meses), o efeito de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e fontes de fósforo (superfosfato triplo – SFT, fosfato natural reativo – FNR, e termofosfato magnesiano – TFM) aplicadas na superfície do solo, em área total. O experimento foi instalado em Castro-PR, em um Cambissolo Háplico, empregando-se delineamento experimental de blocos completos ao acaso com quatro repetições e dez tratamentos. Aos 12 meses após a instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm e determinaram-se os seguintes atributos químicos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al); cátions básicos trocáveis (cálcio – Ca, magnésio – Mg e potássio – K); enxofre (S) e fósforo (P) disponíveis. A aplicação superficial de fontes e doses de P implicou em pouca ou nenhuma alteração na acidez do solo e concentrações disponíveis de Ca, Mg e S. Porém, a aplicação de TFM aumentou as concentrações de K trocável abaixo da camada superficial (0-5 cm). Os tratamentos empregados ocasionaram incrementos das concentrações disponíveis de P apenas na camada 0-5 cm. Nesse caso, foram similares os valores de P (extraído pela solução de Mehlich-1) para os tratamentos que receberam SFT e TFM. No entanto, o extrator Mehlich-1 superestimou as concentrações de P disponível para os tratamentos que receberam FNR.

Palavras-chave: superfosfato triplo, fosfato natural reativo, termofosfato magnesiano, reação do solo, cátions trocáveis, sistema integrado de produção.

5.5.2. Abstract

In the last years, the search for efficient strategies for land use and management has suggested the crops livestock-integration as one of the most viable alternatives for farmers, particularly in the Campos Gerais of Paraná. However, one of the major limiting to this integrated production system has been the understanding of the dynamics of the application of phosphates of solubility low or insoluble in water, particularly when placed on the soil surface under the summer crop stubble. The objective of this study was to verify in the short time (12 months) the effect of doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of total P₂O₅) and phosphorus sources (triple superphosphate - TSP, rock phosphate - RP, and magnesium thermophosphate - MTP) applied on the soil surface, in total area. The experiment was carried out in Castro-Pr, on Flueventic Eutrocherepts, utilizing experimental design in randomized block with four repetitions of ten treatments. After 12 months, soil samples were collected from layers 0-5, 5-

10, 10-15, 15-20 and 20-30 cm and determined the following chemical characteristics: active (pH), potential (H + Al) and exchangeable (aluminum – Al) acidity, exchangeable basic cations (calcium – Ca, magnesium – Mg, and potassium – K), available sulfur (S) and phosphorus (P). The surface application of P sources and rates resulted in little or no change in soil acidity and concentrations of Ca, Mg and S available. However, the application of TFM increased the concentrations of exchangeable K below the surface layer (0-5 cm). The treatments employed caused increases of available P concentrations only in the 0-5 cm layer. In this case, the values of P were similar (extracted by Mehlich-1 solution) for treatments receiving TSP and TFM. But, the Mehlich-1 overestimated P available concentrations for the treatments with FNR.

Keywords: triple superphosphate and rock phosphate, magnesium thermophosphate, soil reaction, exchangeable cations, integrated system of production.

5.5.3. Introdução

A necessidade de preservar o solo, aliada a constante busca pela redução dos custos de produção e o aumento das produtividades agrícolas tem implicado no uso de estratégias eficientes de exploração do agrossistema. Nesse contexto, destaca-se o sistema plantio direto (SPD), que consiste em uma das melhores estratégias de manejo de solos altamente intemperizados (solos tropicais e subtropicais). Atualmente, mais de 5,0 e 25,5 milhões de ha¹ no Paraná (PR) (MAPA, 2011) e no Brasil (BR) (FEBRAPDP, 2011), respectivamente, tem sido cultivado sob SPD no verão.

Porém, boa parte das áreas agrícolas sob SPD para cultivo de grãos (no verão) fica ociosa durante o período de inverno. Daí a importância da integração lavoura-pecuária (ILP) que possibilita a produção de gramíneas hibernais, amplamente utilizadas no Sul do país como plantas de cobertura de solos sob SPD. Essas gramíneas têm sido utilizadas para formação de pastagens, tornando a atividade agropecuária integrada viável devido à diversidade de renda (TERRA LOPES et al., 2009), diminuição dos riscos econômicos e aumento do giro do capital (FLORES et al., 2007). Essa prática tem sido importante não apenas no Brasil, mas nas mais diversas regiões. No mundo, a ILP representa o montante de aproximadamente 2,5 bilhões de ha⁻¹, onde são produzidos 50 e 90% da carne e do leite consumidos, respectivamente (KEULEN; SCHIRE, 2004).

Para obtenção de altos rendimentos agrícolas na ILP sob solos altamente intemperizados, torna-se necessário a melhoria dos atributos de fertilidade. Nesses solos, depois de corrigida a acidez, o principal fator limitante para a produção são os baixos teores de fósforo (P) disponível (FAGERIA, 1998). Desse modo, o desenvolvimento de estratégias eficientes de fertilização fosfatada consiste-se em um dos pré-requisitos para a obtenção de altos rendimentos, particularmente, na ILP. Uma das estratégias possíveis seria a antecipação da fertilização fosfatada. Essa prática, que tem sido pouco estudada no país, pode ser interessante na ILP, devido ao aumento da ciclagem de nutrientes proporcionada pelo pastejo animal (CARVALHO et al., 2010). Todavia, a antecipação da fertilização fosfatada é dependente não apenas do componente animal, mas também, das características de reatividade dos fertilizantes utilizados.

Dentre as fontes utilizadas para adubação fosfatada, destacam-se superfosfato triplo (SFT), termofosfato magnesiano (TFM) e fosfato natural reativo (FNR). O SFT caracteriza-se pela alta solubilidade em água e baixo efeito residual (BARBOSA FILHO, 1984). O TFM, apesar de ser insolúvel em água, possui alta solubilidade em ácido cítrico e silicato em sua composição, conferindo-lhe alta eficiência de uso de P pelas plantas (MOREIRA; MALAVOLTA, 2001). Com relação ao FNR, consiste-se em um produto que, além de ser insolúvel em água, possui baixa solubilidade em ácido cítrico, conferindo-lhe maior efeito residual de suprimento de P ao longo dos anos de cultivos (DA SILVA et al., 2009).

Neste experimento de ILP sob SPD, com aplicação de doses e fontes de P possuindo diferentes graus de solubilidade, foram testadas as hipóteses de: (i) a adubação fosfatada antecipada com fontes de alta solubilidade irá resultar, em curto prazo na acidificação do solo e alteração das concentrações de cátions trocáveis; (ii) a adubação fosfatada antecipada, aplicada na superfície do solo, irá aumentar, em curto prazo, as concentrações de P em profundidades maiores que cinco centímetros. O objetivo do presente trabalho foi verificar os efeitos, em curto prazo (12 meses), de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e fontes (SFT, TFM e FNR) aplicados na superfície, sobre os principais atributos de fertilidade em um Cambissolo Háplico na ILP sob SPD.

5.5.4. Material e métodos

O experimento foi instalado no município de Castro (PR), em abril de 2009 na Fazenda Capão do Cipó (latitude: 24°51'49"S, longitude: 49°56'61"W, altitude média 1020 m). A área experimental encontra-se na região fisiográfica denominada de Primeiro Planalto Paranaense. O clima regional, segundo a classificação de KÖPPEN, é temperado do tipo Cfb, de verões frescos, com ocorrência de geadas frequentes, não apresentando estação seca (IAPAR, 1994).

Durante o período experimental (abril/2009 a março/2010) a precipitação ocorrida foi de 1600 mm. Na figura 1 são apresentados os valores de precipitação mensal e a média histórica da região nesta última década.

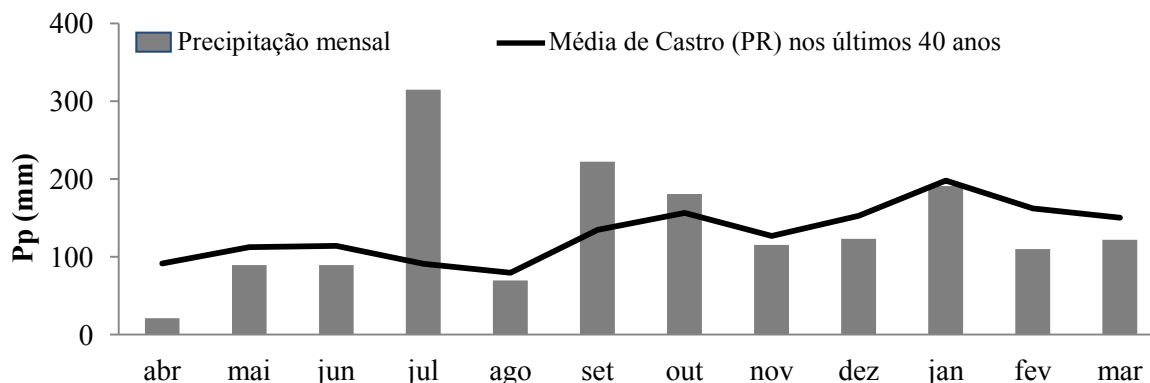


Figura 1. Precipitação pluvial (Pp) mensal na área experimental (município de Castro -PR) de abr/2009 a mar/2010 e comparativo com a média da cidade de Castro - (para o período considerado) da última década (FUNDACAO ABC, 2011).

Por ocasião da instalação do experimento o solo possuía os atributos químicos e granulométricos apresentados na tabela 1. O solo da área experimental apresenta mineralogia simples, predominante, quartzo, caulinita e gibsita e, subordinadamente, hematita e goetita (Figura. 2). Na fração argila, os minerais caulinita e gibsita são dominantes e os óxidos de Fe (principalmente hematita e goetita) são menos expressivos (Figura 3).

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

Camada	pH ⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽⁴⁾	V ⁽²⁾
Cm		----- mmol _c dm ⁻³ -----						%
0-5	5,3	70,7	0,04	57,3	37,0	0,5	165,6	57,5
5-10	4,7	89,9	0,4	30,4	21,9	0,3	143,0	36,7
10-15	4,5	103,9	0,6	20,1	18,0	0,3	143,0	26,8
15-20	4,5	104,0	0,6	16,9	16,9	0,3	138,8	24,7
20-30	4,5	98,4	0,6	13,2	17,6	0,2	130,2	24,0
	P ⁽³⁾	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	
20-30	2,0	19,6	23,2	1,1	640	214	146	

⁽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.

O solo da área experimental é um Cambissolo Háplico distrófico textura muito argilosa, manejado no SPD. Nos últimos cinco anos, anteriores ao início do experimento, a área tem sido cultivada com: aveia preta (2004)/milho (2004-05), azevém anual (2005)/soja (2005-06), trigo (2006)/soja (2006-07), aveia preta (2007)/milho (2007-08) e azevém anual (2008)/soja (2008-09).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso com quatro repetições e 10 tratamentos: *T1* – sem aplicação de P (controle absoluto); *T2-T4* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente, na forma de SFT; *T5-T7* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente, na forma de FNR; *T8-T10* – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente na forma de TFM.

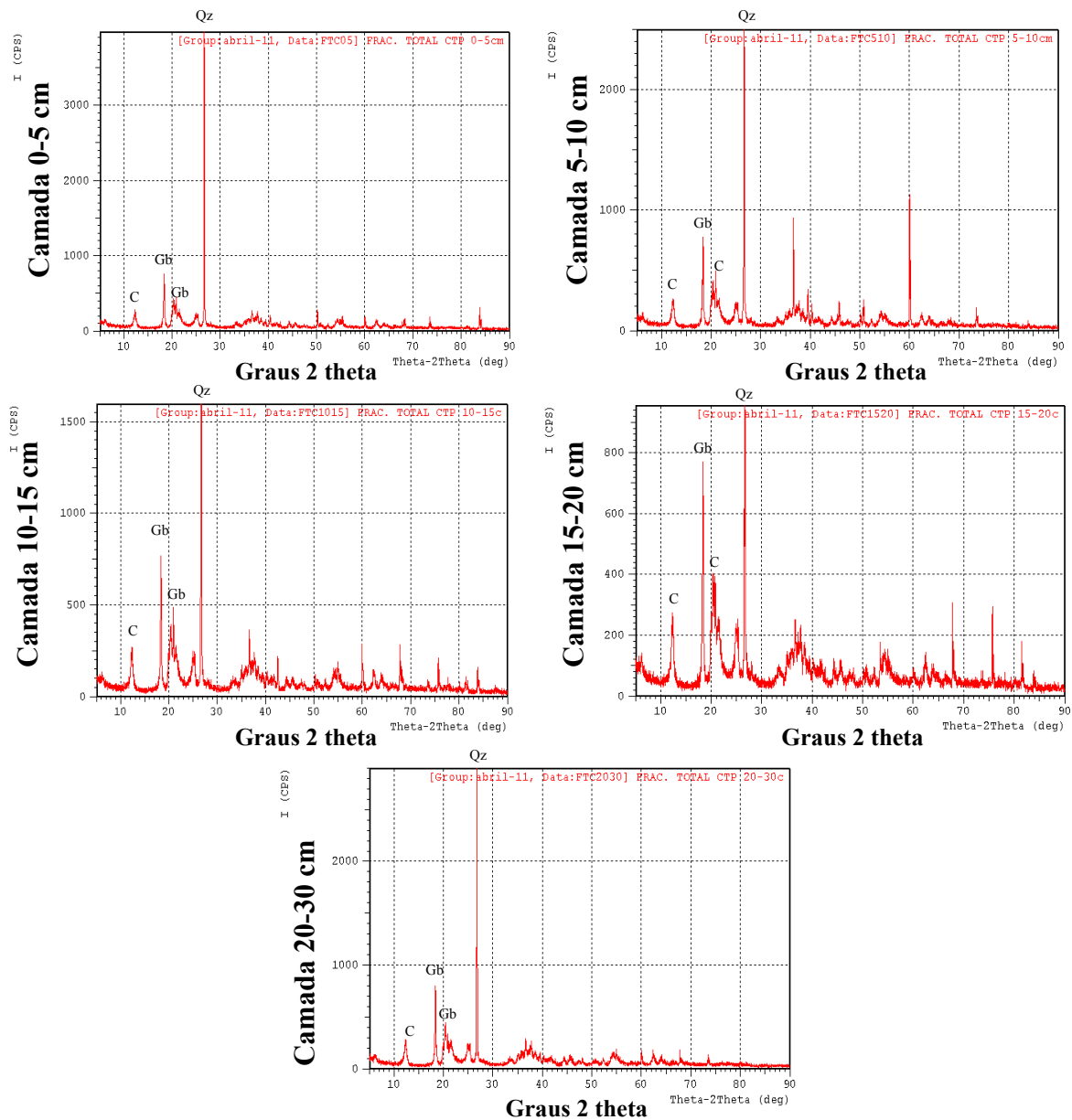


Figura 2. Difratoformas de raios-X do solo (total) de diferentes camadas. Radiação $\text{CuK}\alpha$. Minerais dominantes: Qz – quartzo; C – caulinita; Gb – gibsita.

Todos os fertilizantes, inclusive as fontes e doses de P, foram aplicados em área total, na superfície do solo e sem incorporação. Na sequência, procedeu-se a semeadura da aveia-preta (abril/2009), iniciando-se o estudo.

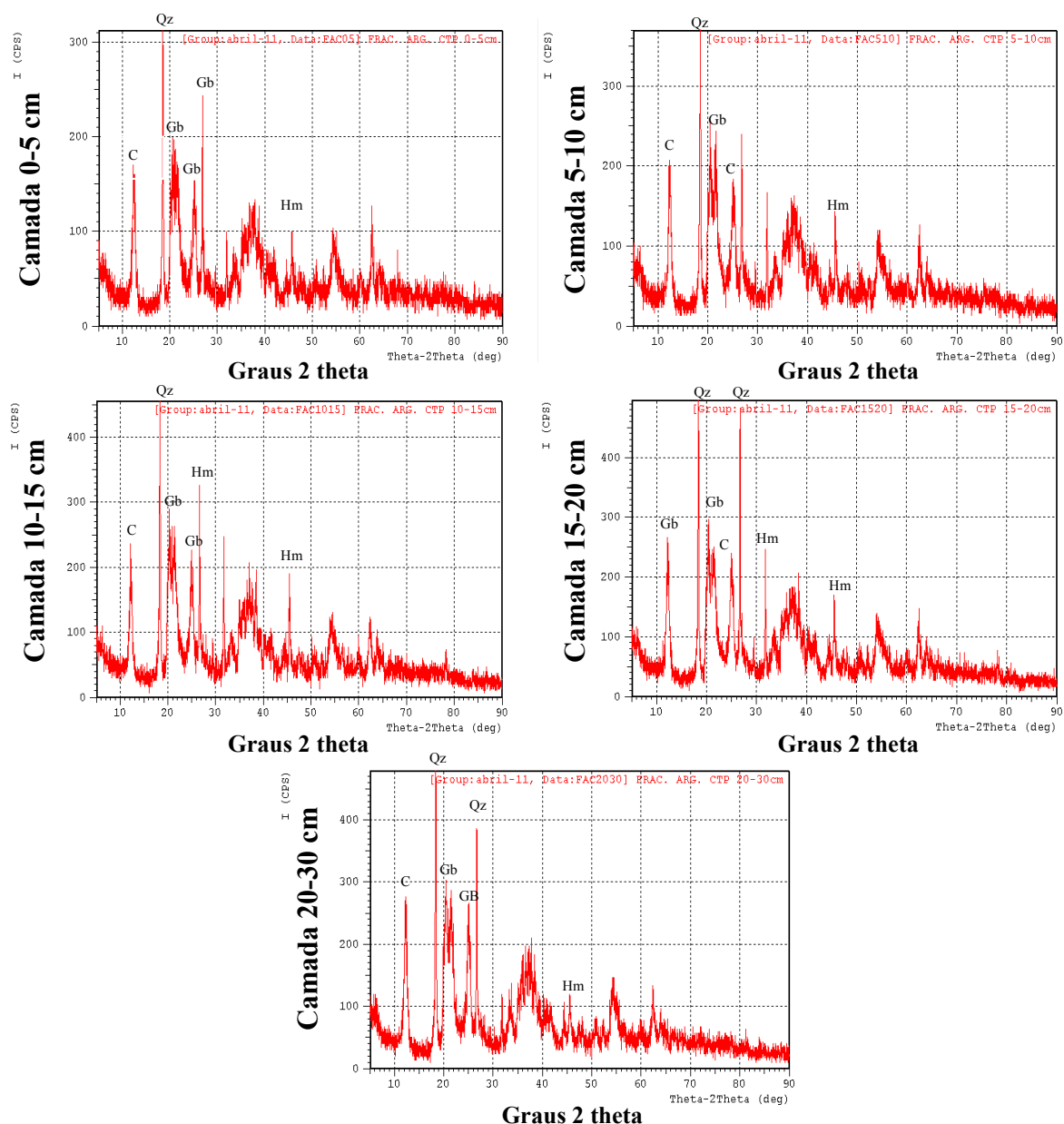


Figura 3. Difratoqramas de raios-X da fração argila de diferentes camadas do solo. Radiação CuK α . Minerais dominantes: Qz – quartzo; C – caulinita; Gb – gipsita; Hm – hematita.

Cada parcela possuía área total e área útil de 425 m² (17 x 25 m) e 273 m² (desprezando-se 2,0 m de bordadura), respectivamente.

Aos 12 meses após a instalação do experimento, procedeu-se a amostragem do solo. Foram retiradas 12 amostras simples para formar uma amostra composta por parcela (OLIVEIRA et al., 2007), para cada camada avaliada (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm), mediante uso de trado calador.

Depois de secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, durante 48 horas, amostras de solo foram destorroadas, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm,

sendo então chamadas de TFSA, que foram armazenadas até a realização das determinações analíticas. As amostras de TFSE foram destinadas às determinações analíticas de: (i) pH em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e H+Al em solução tampão SMP, por potenciometria, (ii) alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, por meio de extração com solução de cloreto de potássio (KCl) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificação por titulometria com solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ para Al e complexometria do etileno diaminotetraacético (EDTA) $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ para Ca e Mg; (iii) K trocável e P disponível, por meio de extração com solução de Mehlich-1 [ácido clorídrico (HCl) $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + ácido sulfúrico (H_2SO_4) $0,025 \text{ mol L}^{-1}$] e leitura por espectrofotometria de emissão em chama para K e espectrofotometria de absorção molecular para P; (iv) enxofre disponível, na forma de sulfato (S-SO_4^{2-}), extraído com solução de acetato de amônio (NH_4OAc) $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético (HOAc) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por turbidimetria do sulfato de bário. As determinações de pH, H+Al, Ca, Mg, K e P foram realizadas de acordo com os métodos descritos em Pavan et al., (1992). As concentrações de S-SO_4^{2-} foram realizadas segundo Vitti; Suzuki (1978). A soma de bases (SB) foi representada pelo somatório das concentrações trocáveis de Ca, Mg e K. A saturação por bases (V) foi estimada pela divisão da SB pela capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 ($\text{CTC} = \text{SB} + \text{H} + \text{Al}$).

Foram realizadas análises de regressão por polinômios ortogonais para cada uma das fontes de P estudadas. Os efeitos de doses de P foram ajustados aos modelos linear ou quadrático para cada uma variáveis respostas (atributos de fertilidade do solo), para cada camada de solo e fertilizante estudado. Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa estatístico SAS Versão 9.1.2 (SAS, 2004).

5.5.5. Resultados e discussão

5.5.5.1. Acidez do solo e cátions trocáveis

O uso de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de P_2O_5) e fontes de P (SFT, TFM e FNR) não ocasionaram, em curto prazo, alterações na acidez ativa (pH) (Figura 4) e potencial (H+Al) (Figura 5), para todas as camadas estudadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm). Fato similar também foi observado para a acidez trocável (Al), com exceção das camadas 5-10, 10-15 e 15-20 cm dos tratamentos com FNR (Figura 6). Na camada 0-5 cm não se esperava alterações nas concentrações de Al e H+Al, devido ao fato de o pH ter sido superior a 5,0.

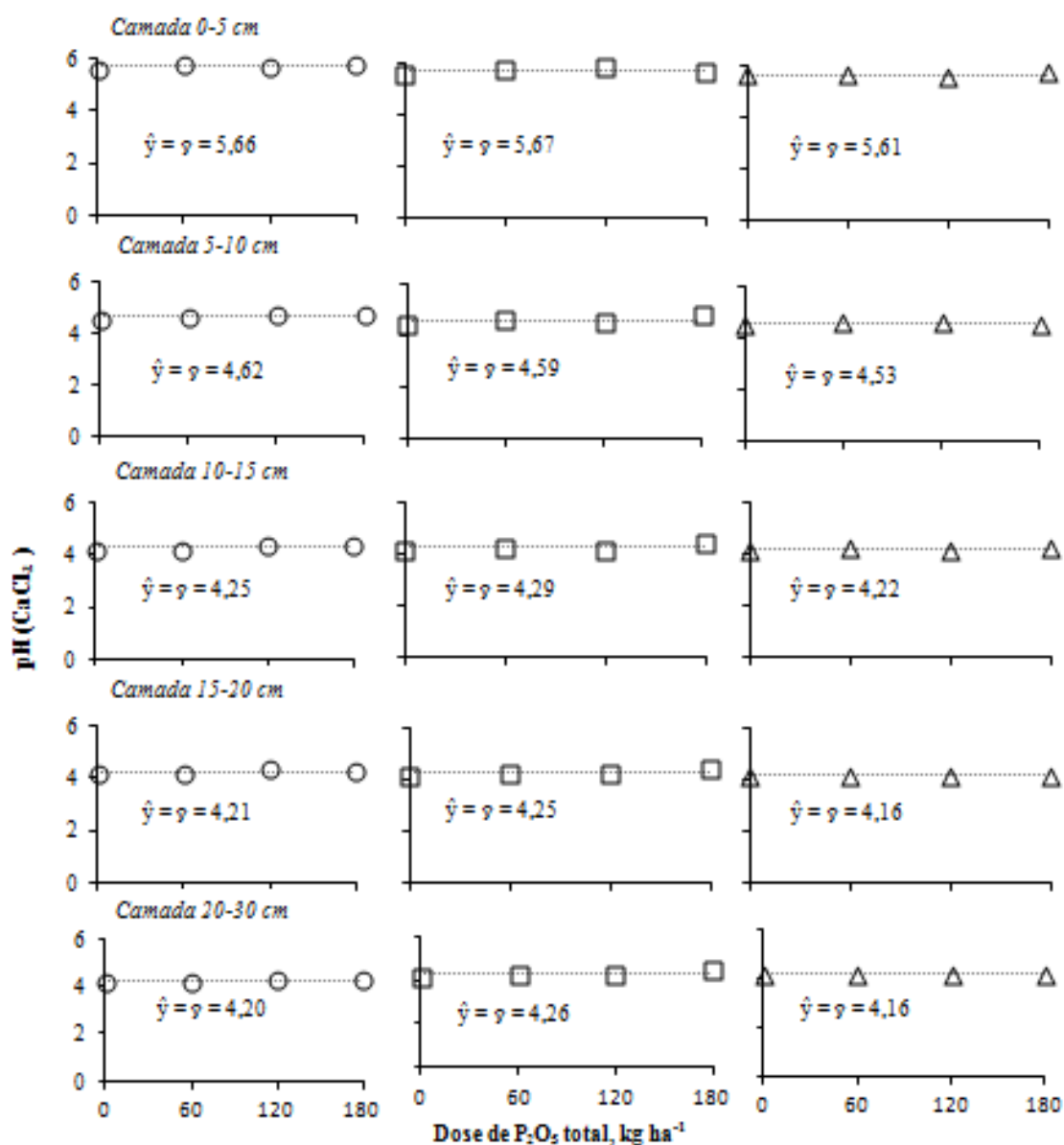


Figura 4. Acidez ativa [pH em solução cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$] do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfósfato triplo (○), fósforo natural reativo (□) e termofósforo magnésiano (△)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

Nessas condições de pH, todo o Al encontra-se precipitado na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ (VAN RAIJ, 1991). Para as demais camadas onde o pH foi inferior a 5,0, os altos teores de carbono orgânico total (COT) existentes da área estudada (Tabela 1) podem ter amenizados os efeitos da acidez do solo. Resíduos vegetais de diferentes culturas (inclusive de aveia preta cultura existente na área durante cinco meses no decorrer do período experimental) podem neutralizar o H^+ e diminuir as concentrações de Al trocável (MIYAZAWA et al., 1993). Ainda, pode ter

ocorrido amenização da acidez do solo pelos ácidos orgânicos oriundos de animais e vegetais (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Esses ácidos orgânicos exsudados pelas plantas (MA et al., 2001) também podem ser encontrados no esterco bovino (BAZIRAMAKENGA; SIMARD, 1998) e, possivelmente, nas condições experimentais (deste estudo) de ILP sob SPD.

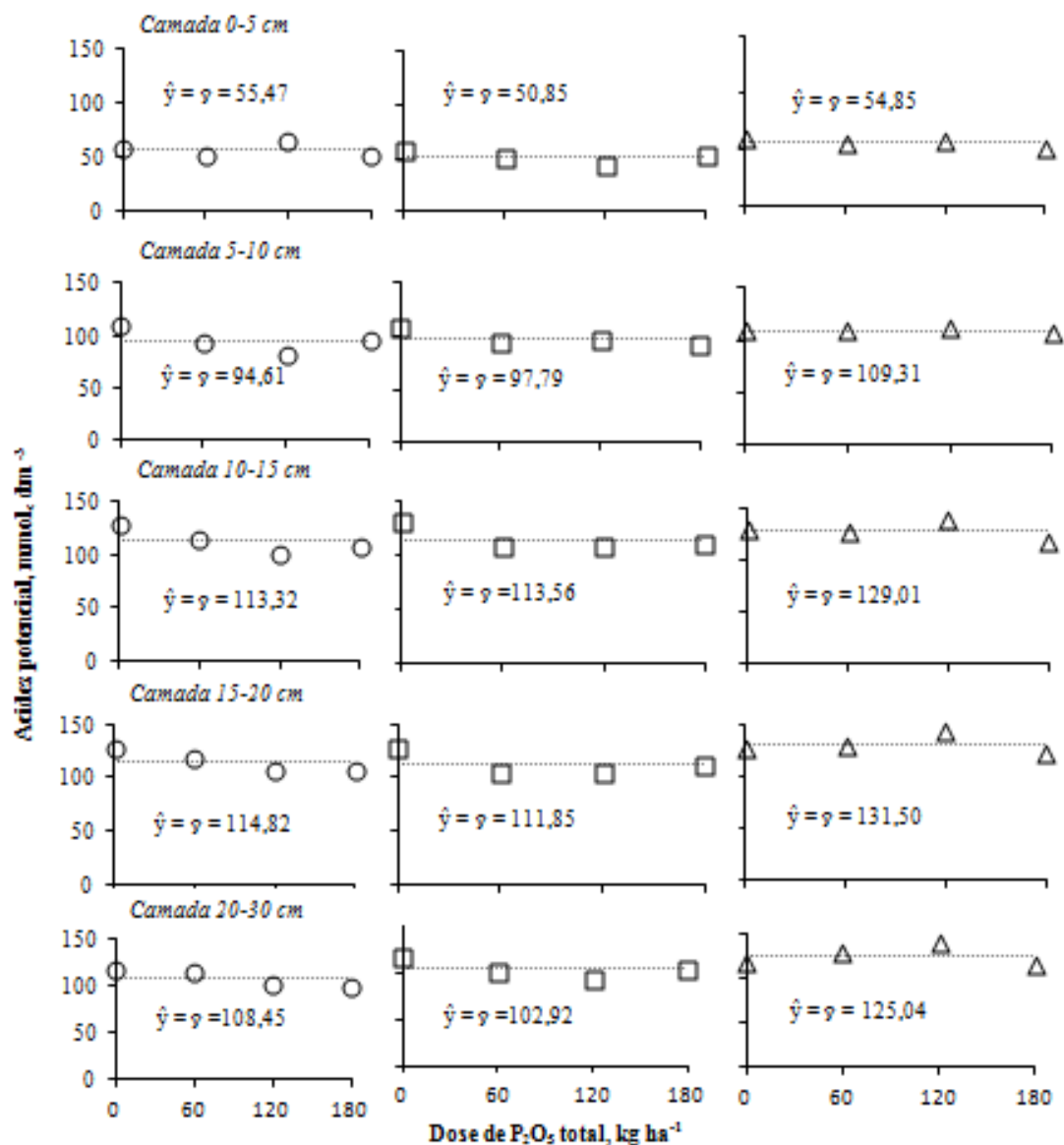


Figura 5. Acidez potencial (H+Al) do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfósforo triplo (○), fósforo natural reativo (□) e termofósforo magnésiano (△)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

O fato de o FNR ter ocasionado diminuição das concentrações de Al trocável nas camadas 5-10, 10-15 e 15-20 cm (Figura 6) pode ser atribuído à solubilização parcial deste fertilizante e a formação de complexos com Al, diminuindo a sua disponibilidade. As seguintes explicações dão suporte a essa hipótese: (i) nessas camadas, o pH do solo (em CaCl₂) se encontrava inferior a 4,6 (Figura 4) – que corresponde a pH 5,2 em água (VAN RAIJ, 1991); (ii) em condições de acidez onde o pH (em água) é inferior a 5,45 ocorre maior

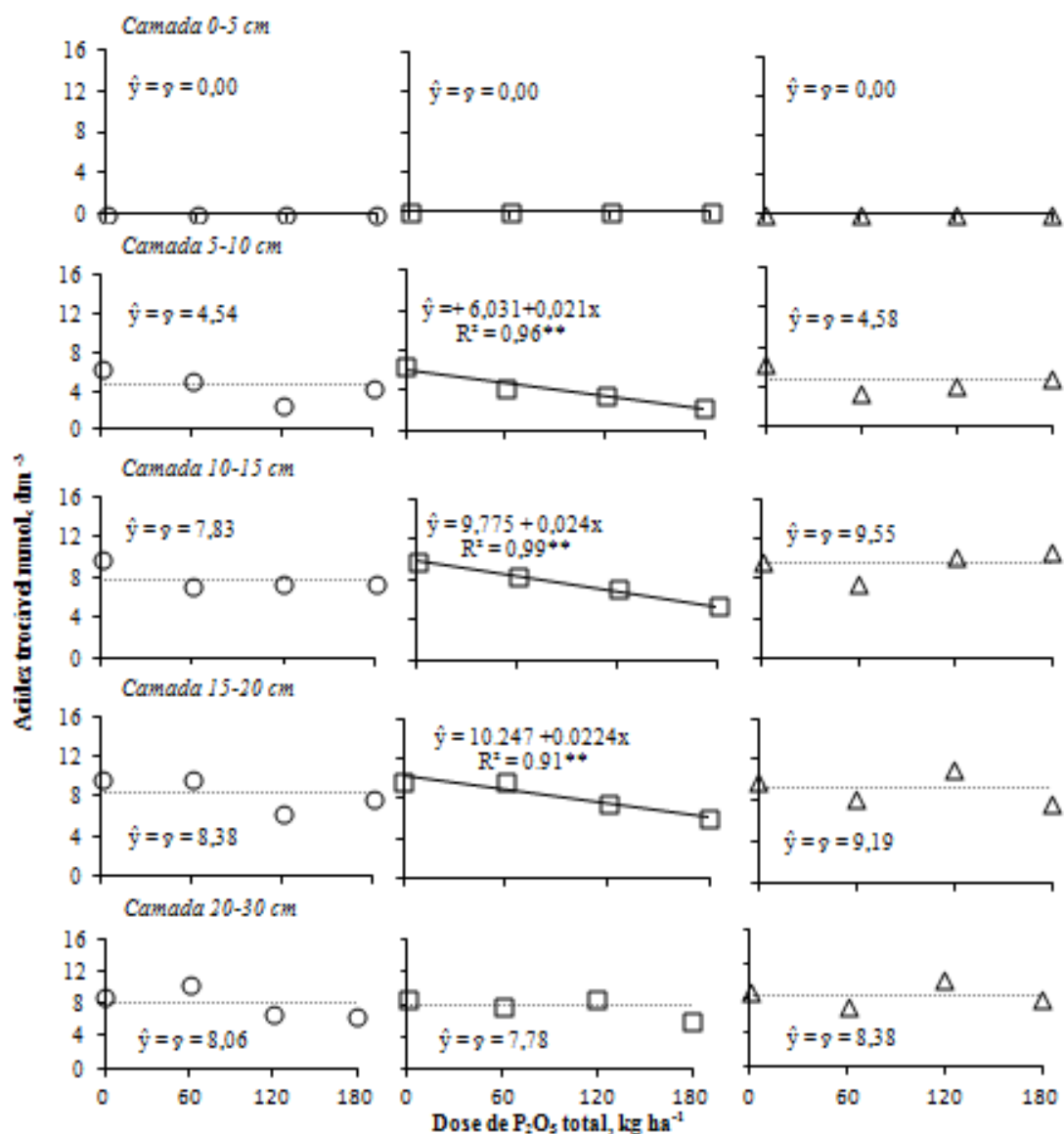


Figura 6. Acidez trocável [alumínio (Al) trocável] do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnesiano (△)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. **: significativo P < 0,01.

solubilização do FNR, além de haver maior facilidade para formação de complexos de maior estabilidade de P ligado ao Al (LINDSAY, 1979); (iii) apesar do fertilizante fosfatado ter sido aplicado sob a palhada de soja (no início do experimento), o processo de semeadura da aveia preta proporcionou certa mobilização do solo, devido ao espaçamento entrelinhas (17 cm) e à profundidade de semeadura (aproximadamente de 6,0 cm) utilizados.

Os tratamentos empregados não alteraram as concentrações de Ca trocável (Figura 7). Considerando que o solo apresentava, em média, 28 mmol_c dm³ de Ca trocável na camada 0-30 cm (equivalente a 1106 kg ha⁻¹), o aporte ocasionado pelas doses dos fertilizantes fosfatados (até 23,4; 36,0 e 72,0 kg ha⁻¹ de Ca oriundo do SFT, FNR e TFM, respectivamente) não foram expressivos para alterar a faixa de fertilidade deste elemento no solo. Ainda, os teores médios de Ca trocável existente na camada 0-20 cm do solo foram da ordem de 30 mmol_c dm⁻³, considerados como médio (20-40 mmol_c dm⁻³), segundo Pauletti (2004). Aumentos das concentrações de Ca trocável devido à aplicação de fertilizantes fosfatados têm sido mais evidentes em situação de solos de baixa CTC e/ou que possuem baixas concentrações deste nutriente (ERNANI et al., 2001).

As concentrações de Mg nas diferentes camadas do solo avaliadas não foram alteradas pelos tratamentos (Figura 8). O aporte de Mg devido às doses utilizadas de TFM foi desprezível (exemplo, aporte de 12,6 kg ha⁻¹ de Mg devido à adição de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total via TFM). As outras fontes de P (SFT e FNR) na sua maior dose avaliada, não adicionaram o Mg, pois estes fertilizantes não contem Mg em sua composição (NOVAIS; SMYTH, 1999). Além do mais, os teores de Mg na camada 0-20 cm foram de aproximadamente 23,5 mmol_c dm⁻³ (equivalente a 535 kg ha⁻¹ de Mg), encontrando-se na faixa considerada alta (maior que 8,0 mmol_c dm⁻³), segundo Pauletti (2004).

As doses de P₂O₅ total via SFT e FNR não alteraram as concentrações de K trocável em todas as camadas estudadas (Figura 9). Todavia, o uso de doses de TFM resultou em aumento linear das concentrações de K trocável, com exceção da camada 0-5 cm (Figura 9). A ausência de efeitos na camada superficial (0-5 cm) pode ser devido à alta ciclagem biogeoquímica ocasionada pelas plantas de cobertura (ou forrageiras) que ocupam o outono-inverno em SPD. Borkert et al. (2003) verificaram que a aveia preta (planta comumente cultivada na área experimental) tem sido importante planta recicladora de K. O efeito da aplicação de TFM sobre o aumento de K trocável nas demais camadas (5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm) pode ser resultante do possível aumento de cargas elétricas negativas (oriundas da

adsorção específica de silicato do TFM) retendo este nutriente. Bedin et al. (2003) verificou que, em solo tropical, a adição de silicato oriundo do TFM resultou em geração de cargas elétricas negativas e, conseqüentemente, em maior retenção de K nas camadas subsuperficiais do solo. Ainda, as concentrações médias de K existentes na camada 0-20 cm foram da ordem de $0,32 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (correspondendo a $24,96 \text{ kg ha}^{-1}$ de K), consideradas como baixas (menor que $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para as principais culturas (milho e soja) da região, segundo Pauletti (2004).

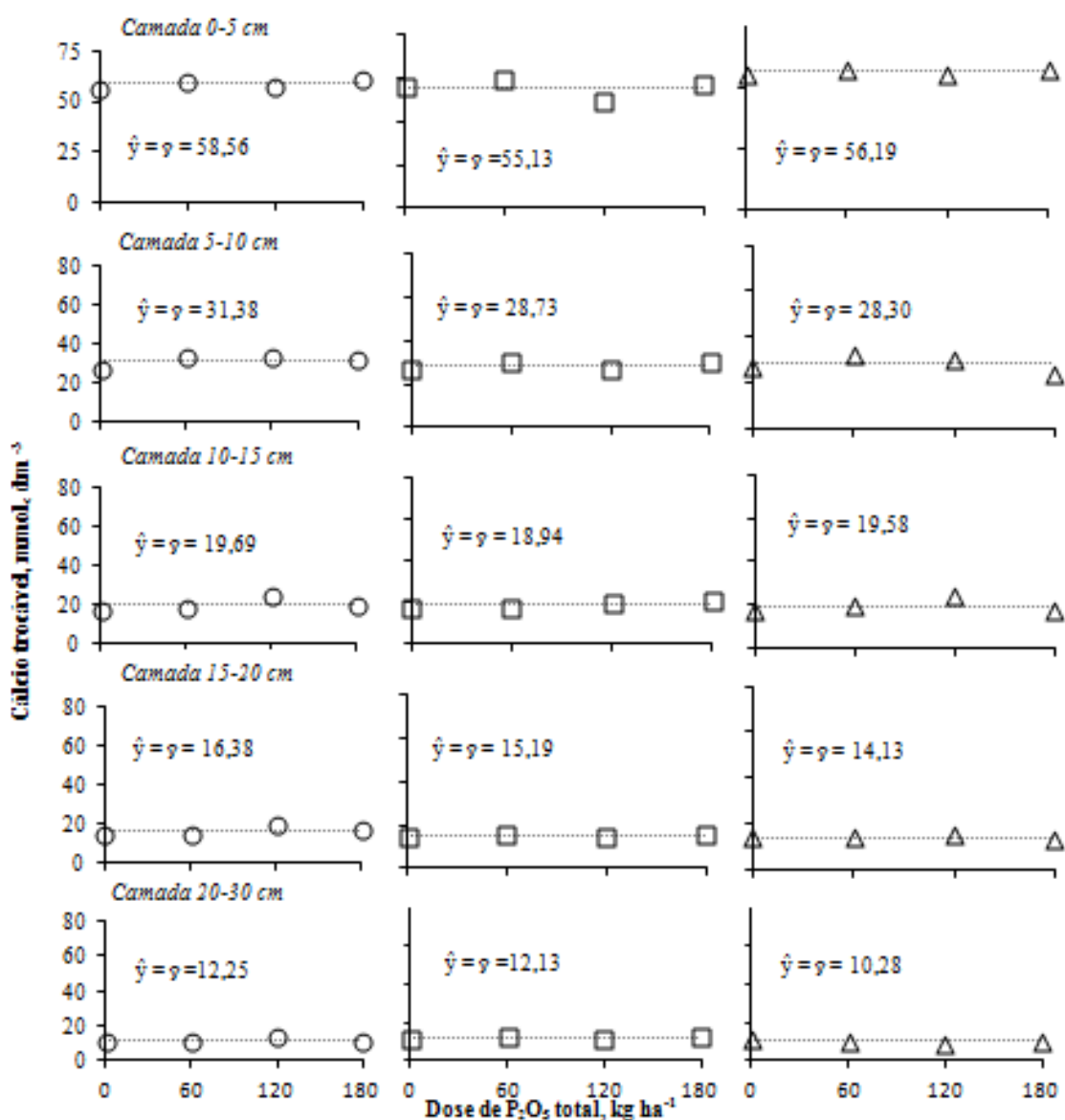


Figura 7. Cálcio (Ca) trocável do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfósforo triplo (○), fósforo natural reativo (□) e termofósforo magnésiano (△)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

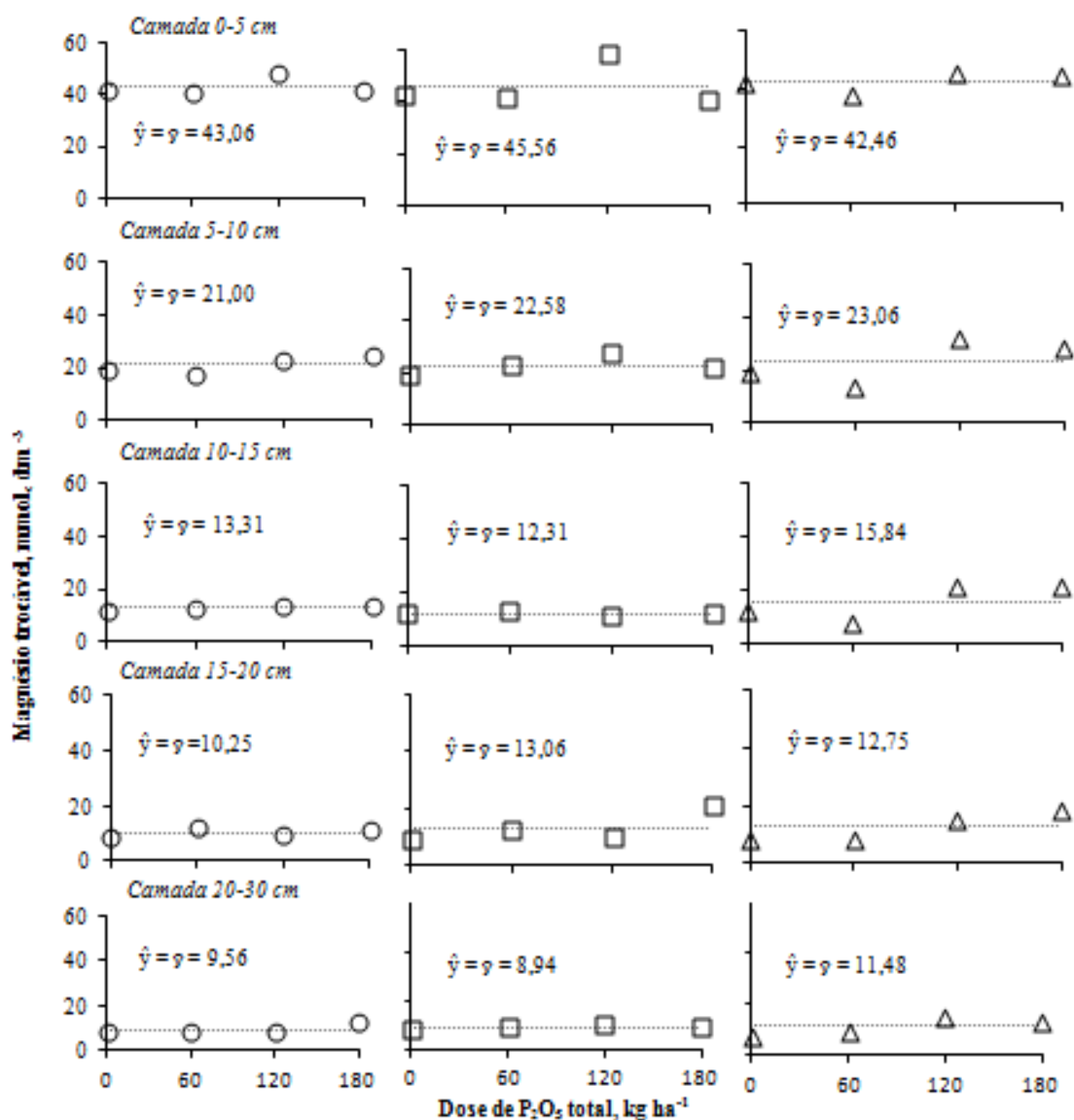


Figura 8. Magnésio (Mg) trocável do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfósforo triplo (○), fósforo natural reativo (□) e termofósforo magnésiano (Δ)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

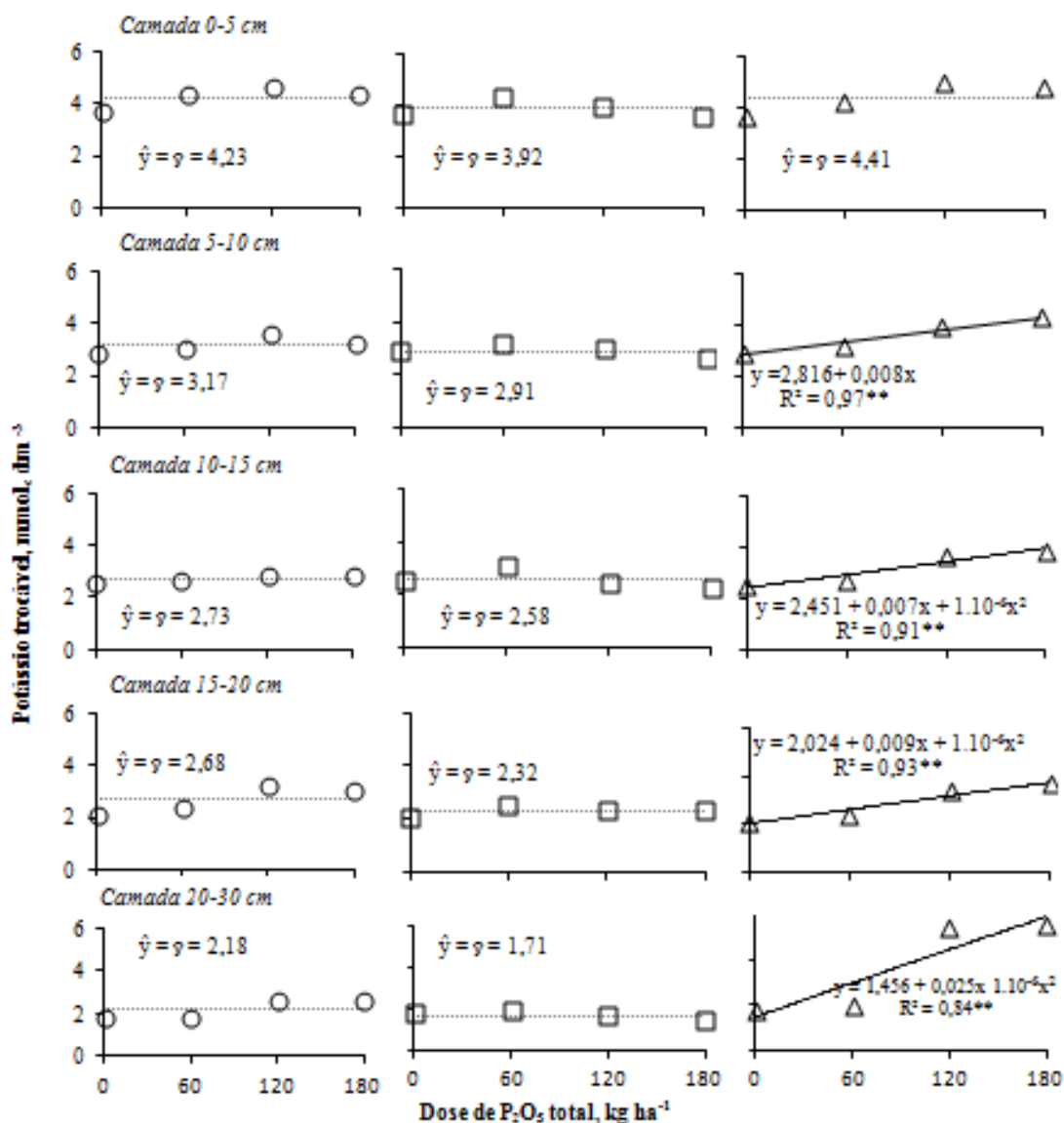


Figura 9. Potássio (K) trocável do solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfósforo triplo (○), fósforo natural reativo (□) e termofósforo magnésiano (Δ)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. **: significativo a $P < 0,01$, respectivamente.

5.5.5.2. Fósforo e enxofre disponíveis

As doses e fontes de P ocasionaram apenas alterações nas concentrações deste nutriente na camada 0-5 cm (Figura 10). As concentrações de P aumentaram linearmente com o uso de SFT e TFM, enquanto que a adição de FNR ocasionou incremento quadrático deste nutriente no solo. Observa-se que os incrementos de P disponível (pelo extrator Mehlich-1) foram similares para o uso de SFT e TFM (Figura 10). Todavia, os teores de P-Mehlich-1 nos tratamentos que receberam FNR foram bem superiores aos observados para as demais fontes

(Figura 1). Isso evidenciou a alta capacidade de extração de P ligado à Ca do extrator Mehlich-1 (SILVA; VAN RAIJ, 1999), superestimando as concentrações de P disponível (RESENDE et al., 2006). Maiores concentrações de P na camada superficial (Figura 10) pode ser devido ao fato de, nesta camada, ocorrer maiores concentrações de carbono orgânico total (Tabela 1), que ocasiona diminuição na adsorção específica de ortofosfato ($H_2PO_4^-$) e incremento na disponibilidade deste íon (GUPPY et al., 2005).

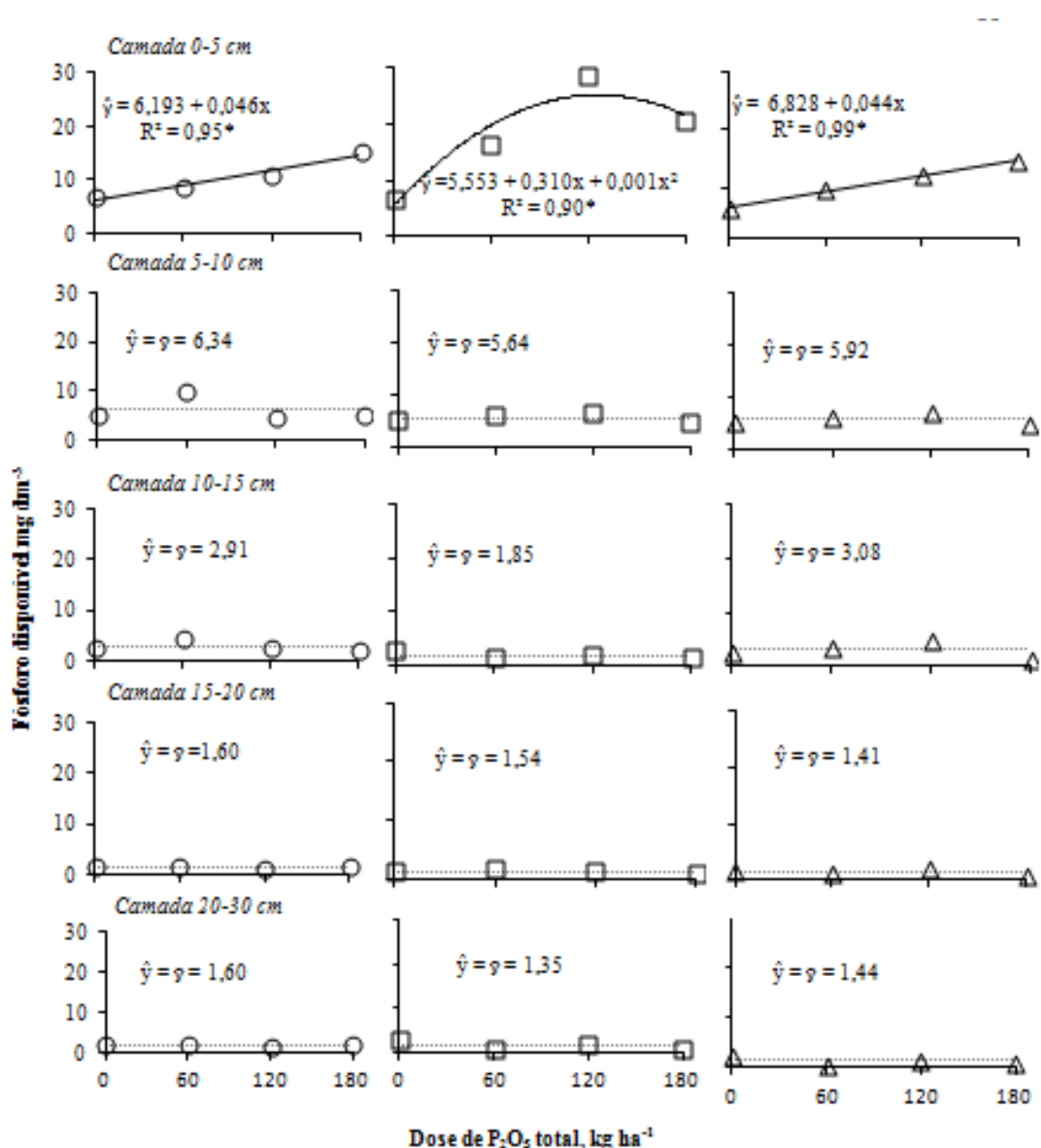


Figura 10. Fósforo (P) disponível no solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnésiano (Δ)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. *: significativo a $P < 0,05$.

A ausência de efeitos da aplicação de fontes e doses de P nas demais camadas (5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm) se deve aos seguintes fatores: (i) a aplicação dos fertilizantes foi realizada na superfície, sem incorporação; (ii) a migração de P em solo tropical é muito baixa, devido à alta adsorção do ortofosfato nos óxidos de Fe e Al (NOVAIS et al., 1999); (iii) o efeito das plantas proporcionando incremento nas concentrações de P abaixo da camada superficial (devido à liberação deste nutriente oriundo de raízes mortas) tem sido evidenciado, no SPD, apenas em estudos de médio-longo prazo, conforme observado em Sidiras & Pavan (1985). Ainda, as concentrações médias de P disponível observadas na camada 0-20 cm foram da ordem de 4 mg dm^{-3} – valor considerado como teor médio (3 a 8 mg dm^{-3}) para as principais culturas produtoras de grãos na região (soja e milho), conforme Pauletti (2004).

Os tratamentos empregados não ocasionaram alterações nas concentrações de S-SO_4^{2-} para todas as camadas estudadas (Figura 11). Esse fato pode ser explicado pelos seguintes fatores: (i) não ocorreu aporte de S via fertilização fosfatada (BEDIN et al., 2003); (ii) devido ao curto prazo deste estudo, os tratamentos empregados não alteraram as concentrações de matéria orgânica do solo (teor alto de 50 g dm^{-3} na camada 0-20 cm – dados não apresentados); (iii) como aproximadamente 95% do S está associado aos compostos orgânicos do solo (YAMADA; ABDALLA; VITTI, 2007), espera-se que a alteração deste nutriente normalmente ocorre pela aplicação do mesmo na forma de fertilizantes (ou organominerais), ou mediante variação das concentrações de matéria orgânica do solo. Ainda, as concentrações médias de S-SO_4^{2-} presentes na camada 0-20 cm encontram-se abaixo do desejável ($25,8 \text{ mg dm}^{-3}$) para alta produção de grãos em SPD nos Campos Gerais do Paraná, segundo CAIRES et al. (2002).

5.5.6. Conclusões

Após 12 meses da aplicação superficial de fontes (SFT, TFM e FNR) e doses (0, 60, 12 e 180 kg ha^{-1}) de P, a acidez do solo e as concentrações disponíveis de Ca, Mg e S foram pouco ou nada alterados. Porém, a aplicação de TFM aumentou as concentrações de K trocável abaixo da camada superficial (0-5 cm).

Os tratamentos empregados ocasionaram incrementos das concentrações disponíveis de P apenas na camada 0-5 cm. Nesse caso, foram similares os valores de P (extraído pela solução de Mehlich-1) para os tratamentos que receberam SFT e TFM. No entanto, o extrator Mehlich-1 superestimou as concentrações de P disponível.

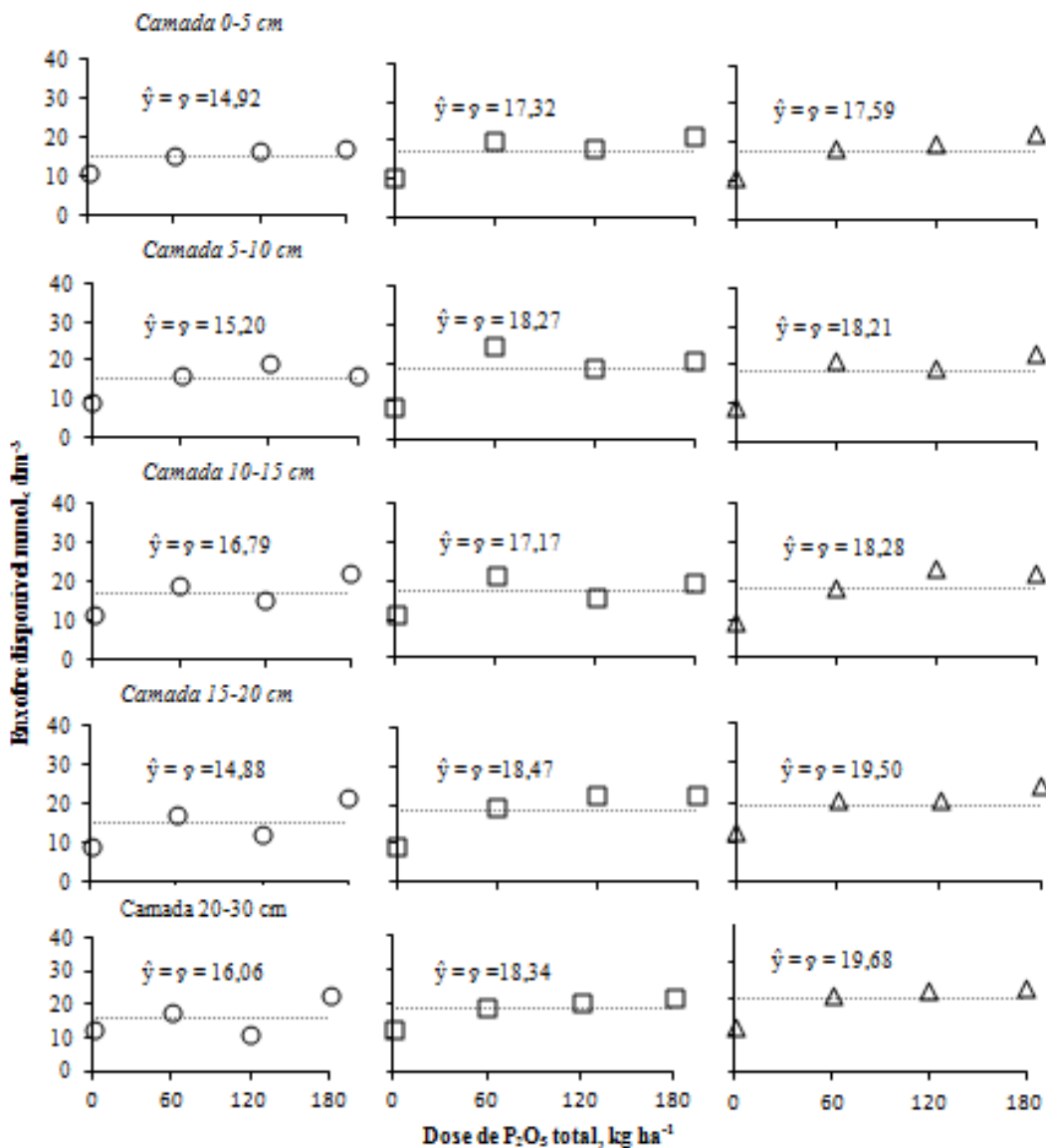


Figura 11. Enxofre (S) disponível no solo aos 12 meses após a aplicação superficial de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnésiano (Δ)] e doses de fósforo na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

5.6. Aveia preta, milho e azevém anual na integração lavoura-pecuária sob plantio direto submetido a doses e fontes de fósforo ⁽³⁾

5.6.1. Resumo

A fertilização fosfatada antecipada para a cultura do milho na integração lavoura-pecuária (ILP) é algo recente e pouco estudado, particularmente, em sistema plantio direto (SPD). Os objetivos deste trabalho foram (i) avaliar os efeitos de fontes (superfosfato triplo – SFT, fosfato natural reativo – FNR, e termofosfato magnésiano – TFM) e doses de fósforo (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) sobre o rendimento de massa seca (MS) e exportação de nitrogênio macronutrientes pelo animal mediante pastejo de aveia preta (2009) e azevém anual (2010); (ii) verificar a influência desses fertilizantes aplicados antecipadamente sobre a diagnose foliar e acúmulo (na parte aérea) de macronutrientes, e o rendimento de grãos de milho (2009-10) na ILP sob SPD. O experimento foi instalado em abril/2009, no município de Castro-PR, na fazenda “Capão do Cipó”, em um Cambissolo Háplico, empregando-se delineamento experimental de blocos completos ao acaso com quatro repetições e dez tratamentos. Em solo com teor médio de P disponível e SPD consolidado, a exportação de N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e S (enxofre) foi pouco ou nada alterada mediante a aplicação superficial de fontes e doses de P para aveia preta; exceção apenas para P e Mg que apresentaram incremento quadrático mediante aplicação de SFT. As fontes de maior solubilidade (SFT e TFM) apresentaram melhor eficiência de utilização quando comparada a fonte de menor solubilidade (FNR). O acúmulo de macronutrientes nutrientes, os teores foliares dos mesmos, o rendimento e o peso de mil grãos de milho não foram alterados pelos tratamentos estudados. Para a cultura do azevém anual, a exportação de macronutrientes foi pouco afetada pelos tratamentos estudados. O rendimento de MS mediante o pastejo animal foi pouco alterado pelas fontes de P estudadas, apresentando efeito apenas incremento no primeiro pré-pastejo para o uso de doses de TFM.

Palavras-chave: *Avena strigosa* Scrb, *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam., superfosfato triplo, fosfato natural reativo, termofosfato magnésiano.

³ Do inglês “Black oat, maize and annual ryegrass in crop-livestock integration under no-tillage after application of phosphorus sources and doses”.

5.6.2. Abstract

The anticipated phosphate fertilization for maize cultivation in crop-livestock integration (CLI) is a recent practice, but few studied, mainly in no-till system (NTS). The objectives of this work were (i) evaluate the effects of phosphorus sources (triple superphosphate – TSP, phosphate rock – RP, and magnesium thermophosphate – MTP) and doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of total P₂O₅) over the dry matter (DM) and macronutrients exportation by animal grazing of black oat (2009) and annual ryegrass (2010) incomes; (ii) to verify the influence of these fertilizers applied earlier over the and whole aerial part of macronutrients, and yield of maize grain (2009-10) in the CLI in NTS. The experiment was installed at April/2009 in Castro (PR) in the “Capão do Cipó” farm, on vertic Fluventic Eutrocherepts. The design experimental used was randomized completed block with four repetitions of ten treatments. The superficial application of sources and doses of P did not influence the maize grain yield, the concentrations and accumulations of macronutrients. The surface application of different doses and sources of P applied so early, in soils with an average content of P and NTS consolidated, did not affect the maize grain yield, grain weight and leaf concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) e sulfur (S), but kept the yield per hectare high. To the black oat crop, the exportation of macronutrients by grazing animals was little or nothing changed. Same effect was observed for dry matter income. However, the sources of higher solubility (TSP and MTP) showed greater efficiency of use, compared with the lower solubility sources (RP). The dry matter income to annual ryegrass culture was few changed by the studied treatments, presented only quadratic increase in the first pre-grazing to MTP. Nevertheless the export of nutrients by grazing animal presented little or no effect upon the application of phosphate sources in soil with medium concentration of available phosphorus under NTS with crop-livestock integration.

Keywords: *Avena strigosa* Scrb, *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam., triple superphosphate, rock phosphate, magnesium thermophosphate.

5.6.3. Introdução

O agronegócio tem sido a principal fonte de riqueza no Estado do Paraná, sobretudo, na região dos Campos Gerais. Mais de 90% das áreas agrícolas dessa região tem sido cultivada em sistema plantio direto (SPD). Esse sistema tem sido largamente utilizado em

diversas regiões no mundo devido ao fato de proporcionar incremento do rendimento agrícola, redução de custos de produção, aumento da qualidade ambiental, melhoria de atributos biológicos, físicos e químicos do solo, devido ao incremento de carbono orgânico (LAL, 2006).

Todavia, apenas o SPD não tem sido o suficiente para proporcionar uma atividade agropecuária mais sustentável. Daí a importância de utilização de sistemas mais complexos, como exemplo a integração lavoura-pecuária (ILP). Essa prática caracteriza-se como um sistema integrado de produção que alterna, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes para a alimentação animal e de culturas destinadas à produção vegetal (principalmente, produção de grãos) (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). A ILP consiste-se em uma forma de intensificação de uso do solo e diversificação das fontes de rendas, plausível de ser utilizada em pequenas, médias e grandes propriedades, em países desenvolvidos ou subdesenvolvidos (HERRERO et al., 2010).

As principais culturas integrantes dos sistemas de ILP dominantes no Sul do Brasil incluem milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.), com objetivo de produção de grãos na primavera-verão, e aveia preta (*Avena strigosa* Scrib) e azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), com propósito para produção de forragem durante o outono-inverno e fitomassa para manutenção do SPD. Devido à baixa fertilidade natural dos solos brasileiros, o principal fator limitante para a produção vegetal tem sido, depois de corrigida a acidez, os baixos teores de fósforo (P) disponível (FAGERIA, 1998). Daí a necessidade de utilizar de modo mais eficientemente possível os fertilizantes (minerais, orgânicos e organominerais), particularmente, fosfatados (FRESCO, 2003). Na ILP, o aumento da ciclagem de nutrientes proporcionado pelo pastejo animal (CARVALHO et al., 2010) pode favorecer a antecipação da fertilização fosfatada. Apesar de essa prática ser interessante do ponto de vista estratégico, tem sido pouco estudado e, provavelmente, é dependente da dose e características do fertilizante fosfatado empregado no sistema de produção.

Dentre as fontes utilizadas para adubação fosfatada, destacam-se: superfosfato triplo (SFT), termofosfato magnésiano (TFM) e fosfato natural reativo (FNR). Esses fertilizantes apresentam características distintas, sobretudo, quanto à sua solubilidade e efeito residual. O SFT possui alta solubilidade em água e baixo efeito residual (BARBOSA FILHO, 1984). O TFM é insolúvel em água, mas possui alta solubilidade em ácido cítrico; porém, apresenta alta eficiência de uso pelas plantas (MOREIRA; MALAVOLTA, 2001). Quanto ao FNR, este se

caracteriza por ser um produto insolúvel em água, e de baixa solubilidade em ácido cítrico, com maior efeito residual ao longo dos cultivos (DA SILVA et al., 2009).

Neste trabalho foram testadas as seguintes hipóteses (i) o rendimento de massa seca (MS) e a exportação de macronutrientes pela aveia preta e azevém anual aumentarão com a dose de P, independentemente da fonte utilizada; (ii) maior concentração e acúmulo (na parte aérea das plantas) de macronutrientes e rendimento de grãos de milho serão observados nos tratamentos que receberão fertilizantes de maior solubilidade em água ou em ácido cítrico. Os objetivos do presente trabalho foram (a) avaliar os efeitos de doses (0, 60 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) e fontes de P (SFT, TFM e FNR) sobre o rendimento de MS e exportação de N, P e K pelo animal mediante pastejo de aveia preta (2009) e azevém anual (2010); (b) verificar a influência desses fertilizantes aplicados antecipadamente sobre a diagnose foliar e acúmulo (na parte aérea) de N, P e K, e o rendimento de grãos de milho (2009-10) na ILP sob SPD.

5.6.4. Material e métodos

5.6.4.1. Descrição do local, histórico da área, delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado na Fazenda Capão do Cipó (latitude: 24°51'49"S, longitude: 49°56'61"W; altitude média: 1020 m), município de Castro (PR), em um Cambissolo Háplico. A região experimental encontra-se alocada no Primeiro Planalto Paranaense. O clima predominante na região, segundo a classificação de KOPPEN, é Cfb de verões frescos com a ocorrência de geadas frequentes, sem a presença de uma estação seca.

Por ocasião da instalação do experimento (abril/2009) o solo possuía os atributos apresentados na Tabela 2. Anteriormente a instalação do experimento, a área encontrava-se manejada sob SPD, onde foram empregados os seguintes cultivos nos últimos cinco anos: aveia preta (2004)/milho (2004-05), azevém anual (2005)/soja (2005-06), trigo (2006)/soja (2006-07), aveia preta (2007)/milho (2007-08) e azevém anual (2008)/soja (2008-09). Após a colheita da soja (2008-09), procedeu-se a implantação do experimento, onde foram cultivados aveia preta (2009), milho (2009/10) e azevém anual (2010). Informações sobre precipitação pluvial e temperaturas médias, tanto do período experimental quanto do histórico climático local são mostradas na Tabela 3.

Tabela 2. Resultados de análises químicas e granulométricas do solo da área experimental, nas diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento (abril/2009).

Camada	pH ⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	V ⁽³⁾
Cm	----- mmol _c dm ⁻³ -----							%
0-5	5,3	70,7	0,0	57,3	37,0	0,5	165,6	57,5
5-10	4,7	89,9	0,4	30,4	21,9	0,3	143,0	36,7
10-15	4,5	103,9	0,6	20,1	18,0	0,3	143,0	26,8
15-20	4,5	104,0	0,6	16,9	16,9	0,3	138,8	24,7
20-30	4,5	98,4	0,6	13,2	17,6	0,2	130,2	24,0
	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	
20-30	2,0	19,6	23,2	1,1	640	214	146	

⁽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 3. Precipitação e temperatura média do ar, durante os anos de 2009 e 2010 da área experimental localizada no município de (Castro-PR), (FUNDACAO ABC, 2011).

Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Precipitação, mm													
2009	248	215	78	21	78	89	314	69	222	181	115	124	146,2
2010	200	110	122	151	113	55	75	21	53	112	109	212	111,1
Histórico ⁽¹⁾	198	162	150	92	112	113	91	79	134	156	126	152	130,4
Temperatura média do ar, °C													
2009	19,2	19,4	19,6	18,5	15,3	14,6	12,3	14,4	13,3	17,1	17,5	19,9	16,8
2010	19,5	19,4	19,7	19,3	16,1	14,1	12,2	13,8	14,4	17,5	16,9	19,8	16,9
Histórico ⁽²⁾	19,5	19,6	19,7	18,5	15,3	14,6	12,3	14,4	13,3	17,1	17,5	19,9	16,8

⁽¹⁾ Média histórica para precipitação, ocorrida na área experimental nos últimos 40 anos.

⁽²⁾ Média histórica para a temperatura do ar, referente à área experimental nos últimos 6 anos.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso com quatro repetições e 10 tratamentos, a saber: T1 – sem aplicação de P (controle absoluto); T2-T4 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente, na forma de SFT, por

ocasião da semeadura da forrageira anual de inverno; T5-T7 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente, na forma de FNR, por ocasião da semeadura da forrageira anual de inverno; T8-T10 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, respectivamente na forma de TFM, por ocasião da semeadura da forrageira anual de inverno. Todos os demais nutrientes e insumos foram aplicados de modo a proporcionar adequado crescimento e desenvolvimento das culturas.

Cada parcela apresentava área total e útil de 425 m² (17 x 25 m) e 273 m² (desprezando-se 2,0 m de bordadura), respectivamente, perfazendo um total de 40 parcelas experimentais.

5.6.4.2. Cultivo de aveia preta (2009), milho (2009/10) e azevém anual (2010)

A semeadura da aveia preta cv. IAPAR 61 (Ibiporã) foi realizada no dia 28 de abril de 2009, após a aplicação do superficial, em área total, dos fertilizantes fosfatados (para cada um dos tratamentos em questão). Foi utilizado espaçamento entrelinhas de 17 cm e densidade de 250 sementes (puras viáveis) m⁻² (equivalente a 40 kg ha⁻¹ de sementes). Por ocasião da semeadura da aveia preta foram aplicados 61 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia [CO(NH₂)₂ – 450 g kg⁻¹ de N] e 59 kg ha⁻¹ de K, na forma de cloreto de potássio (KCl – 580 g kg⁻¹ de K₂O). A primeira fertilização de cobertura foi realizada aos 18 dias após a emergência (DAE) da aveia preta, empregando-se 60 kg ha⁻¹ de N (na forma de uréia). A segunda fertilização de cobertura foi realizada aos 75 DAE – período correspondente ao final do primeiro pastejo, empregando-se a mesma dose e fertilizante utilizado na primeira fertilização de cobertura.

O pastejo da aveia preta foi iniciado e finalizado quando esta cultura se encontrava com 30 e 15 cm de altura, respectivamente. A altura das plantas foi medidas através do bastão graduado (*sward stick*), conforme Barthram (1985). Foi adotado o sistema de pastejo rotacionado, sendo que os animais permaneceram em pastejo durante 5-6 dias em cada bloco. Todavia após o último pastejo, foi deixado um período de 21 dias para a recuperação da pastagem de aveia preta e produção de fitomassa para a manutenção do SPD. Após, procedeu-se o manejo da fitomassa com glifosate, empregando-se 1440 g ha⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.) (N-(fosfonometil) glicina, C₃H₈NO₅P).

Aos 30 dias após a dessecação da aveia preta, procedeu-se a semeadura do milho, utilizando-se espaçamento entrelinhas de 80 cm e densidade de cinco plantas m⁻¹, que proporcionou estande final de 62500 plantas ha⁻¹. Foi utilizado o híbrido simples 30F53 –

material adaptado à região que proporciona altos rendimentos e respostas às adubações (PFANN et al., 2009). Foram aplicados, por ocasião da semeadura do milho, 68 e 73 kg ha⁻¹ de N (na forma de uréia) e K (na forma de KCl), respectivamente. Todo fertilizante fosfatado foi aplicado (com exceção do tratamento T1) por ocasião da cultura anterior (aveia preta). A emergência das plantas ocorreu aos sete dias após a semeadura. A fertilização de cobertura foi realizada aos 15 DAE, quando o milho se encontrava no estágio V4 (com quatro folhas completamente expandidas), empregando-se 68 kg ha⁻¹ de N (na forma de uréia), com condições climáticas adequadas para solubilização e disponibilização de N às plantas. O florescimento e a colheita do milho ocorreram aos 63 e 122 DAE. Demais práticas agronômicas foram empregadas (como por exemplo, tratamento de sementes, controle de plantas daninhas, pragas e doenças) de modo a permitir o adequado crescimento e desenvolvimento da cultura.

Após a colheita do milho, procedeu-se a semeadura do azevém anual, no dia 15 de abril de 2010. Foi empregado espaçamento entrelinhas de 17 cm, densidade de 400-500 sementes (puras viáveis) m⁻², correspondendo a 20 e 10 kg ha⁻¹ de sementes dos cultivares Barjumbo e ABC 1, respectivamente. Antes da semeadura, procedeu-se a aplicação dos tratamentos (doses e fontes de fertilizantes fosfatados distribuídos na superfície do solo, em área total). A fertilização por ocasião da semeadura do azevém anual foi realizada a base de 34 e 37 kg ha⁻¹ de N (na forma de uréia) e K (na forma de KCl). Esses produtos e doses também foram aplicados por ocasião da fertilização de cobertura, aos 132 DAE.

O pastejo foi iniciado e finalizado quando o azevém anual se encontrava com 25 e 10 cm de altura, respectivamente. A forma de avaliação da altura do azevém anual (2010) e o sistema de pastejo adotado foram similares aos utilizados por ocasião do cultivo de aveia preta (2009). Porém, os animais permaneceram na área cerca de 5-7 dias. Depois do último pastejo, foi deixado um período de 28 dias para que ocorresse a recuperação da pastagem e a produção de fitomassa, visando à manutenção do SPD.

5.6.4.3. Avaliações em campo, determinações laboratoriais e análises estatísticas

Nas culturas da aveia preta (2009) e azevém anual (2010) foram avaliadas as quantidades de fitomassa e nutrientes exportados, nas ocasiões de entrada e saída dos animais. Esses atributos também foram monitorados por ocasião da dessecação do azevém anual e da aveia preta para manutenção do SPD com herbicida glifosate. Todas as avaliações de

fitomassa do azevém anual foram realizadas mediante amostragem aleatória, com gaiolas de exclusão (duas gaiolas/parcela), fabricadas com ferro $\frac{1}{2}$ polegada de diâmetro e fechadas com tela de arame de malha 5,0 cm. O procedimento para amostragem constituiu-se na escolha, ao acaso, de áreas para alocação das gaiolas dentro de cada parcela, desprezando 2,0 m de bordadura. Em cada parcela, procedeu-se amostragem de 0,34 m² na ocasião de entrada e saída dos animais, visando a obtenção das amostras de pré e pós-pastejo, adaptado de Poli et al. (2008).

As amostras de aveia preta e azevém anual foram pesadas para obtenção da massa verde de ferragem. Subamostras foram retiradas, acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório, onde foram realizados os procedimentos de (i) lavagem com água deionizada; (ii) secagem em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante; (iii) quantificação da MS; (iv) moagem em moinho do tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm, seguido de armazenagem em recipientes plásticos tampados até a realização das análises químicas; (v) determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997). As concentrações de N foram determinadas mediante digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As concentrações de P e K foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM), para P e espectrofotometria de emissão em chama, para K.

Na cultura do milho (2009/10), procedeu-se a diagnose foliar mediante a retirada de 30 amostras (por parcela) do terço médio da folha oposta e abaixo da espiga, no estádio R1 (por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina), conforme Malavolta et al, (1997). Ainda, quando o milho se encontrava no estádio R3 (grão leitoso) foi amostrado 1,0 m de plantas por parcela, visando quantificar o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cultura. Nesse caso, foram obtidas subamostras de folhas, colmos+inflorescência masculina e espigas, que foram enviadas para o laboratório, preparadas e analisadas de modo similar ao realizado para as amostras de aveia preta e azevém anual. O acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho foi obtido pelo somatório dos mesmos existentes nas subamostras de folhas, colmos+inflorescência masculina e espigas. A concentração de nutrientes em cada subamostra multiplicada pela MS resultou na quantidade (de nutrientes) acumulada.

Após a maturação fisiológica do milho (estádio R6), foram colhidas dez linhas centrais por 4,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 32 m² por parcela. O milho colhido foi

trilhado e procedeu-se a quantificação do rendimento de grãos corrigido para 130 g kg^{-1} de umidade. Também foi avaliado o peso de mil sementes (PMS) de milho.

Foram realizadas análises de regressão por polinômios ortogonais para cada uma das fontes de P estudadas. Os efeitos de doses de P foram ajustados aos modelos linear ou quadrático para cada uma das variáveis respostas (rendimento de MS, acúmulo, exportação e concentração de nutrientes, e rendimento de grãos). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa estatístico SAS Versão 9.1.2 (SAS, 2004).

5.6.5. Resultados e discussão

5.6.5.1. Aveia preta

As quantidades de N, K, Ca e S exportados pela aveia preta através do pastejo animal não foram alteradas pela adição de SFT (Figura 12). Todavia, foi observado aumento quadrático nas quantidades exportada de P e Mg mediante o uso de SFT (Figura 12). As demais fontes de P, nas diferentes doses avaliadas, não alteraram as quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S exportados mediante o pastejo animal (Figura 12). O efeito do SFT pode ser devido a sua alta solubilidade, disponibilizando P no sistema e ocasionando em maior absorção e aproveitamento pelas plantas de Mg, em curto espaço de tempo (MALAVOLTA, 1997).

O rendimento de MS no primeiro pré e pós-pastejo e no segundo pré-pastejo não foi alterado pelas doses de SFT (Figura 13). Todavia, foi observado aumento linear e quadrático do rendimento de MS no segundo pós-pastejo e na fitomassa residual devido à adição de doses de SFT respectivamente (Figura 13). O máximo rendimento de MS por ocasião da avaliação da fitomassa residual (no momento da dessecação) foi de 83 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de SFT. O fato de não ter sido observado alterações no rendimento de MS no primeiro pastejo está coerente. O P é um nutriente fundamental no controle da emissão de folhas e perfilhos de gramíneas (GUEDES et al., 2009). Portanto, a sua aplicação (sobretudo, mediante uso de fonte de alta solubilidade em água – SFT) não resultou em alterações no início, mas tais efeitos foram evidentes à medida que as plantas foram submetidas às situações de pastejo e perfilhamento (Figura 13). Essas observações concordam com aquelas realizadas por Ferreira et al. (2008).

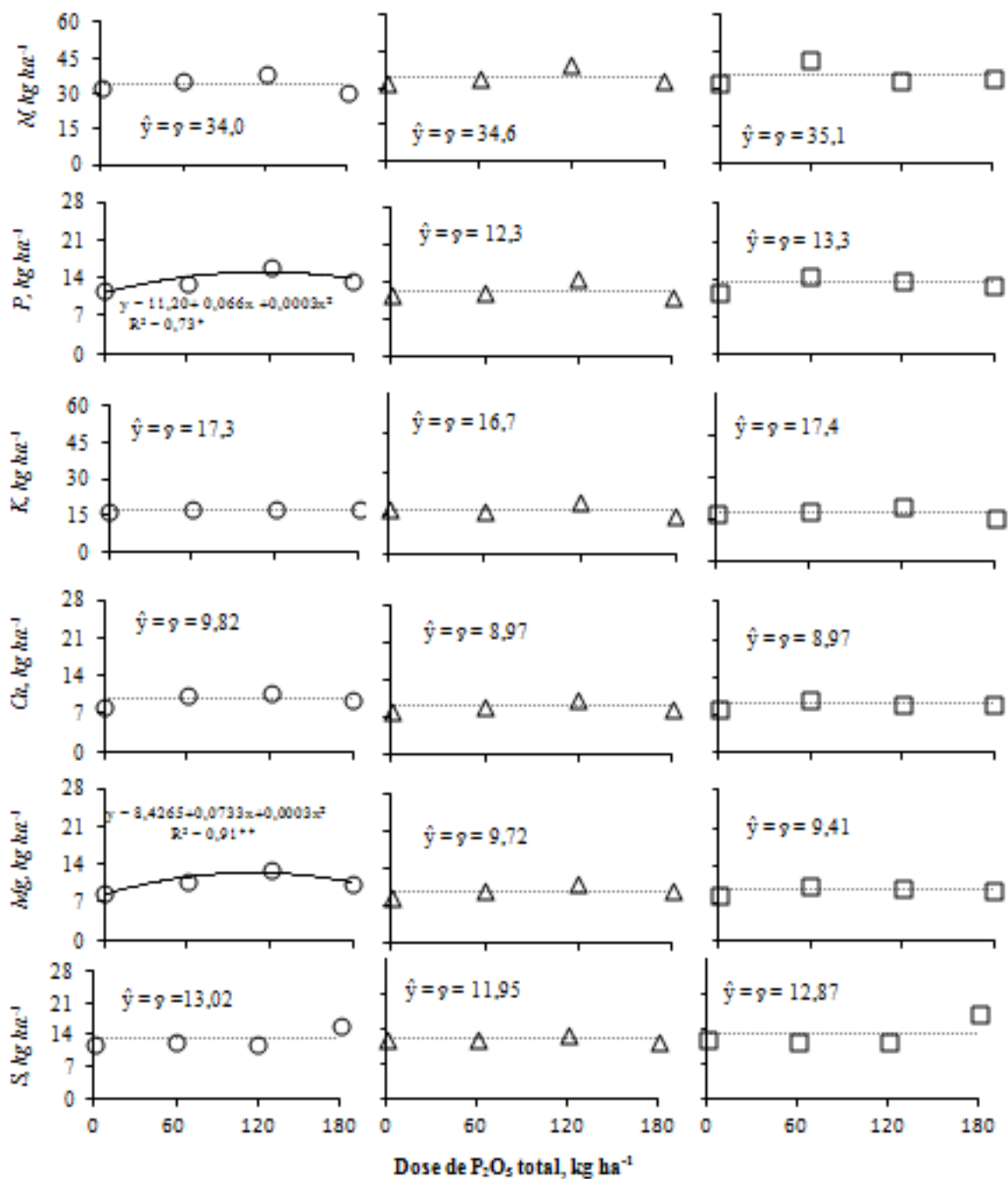


Figura 12. Exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) pela cultura da aveia preta, após aplicação sob superficial em área total de fontes de P [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnésiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. * e **: significativo $P < 0,05$.

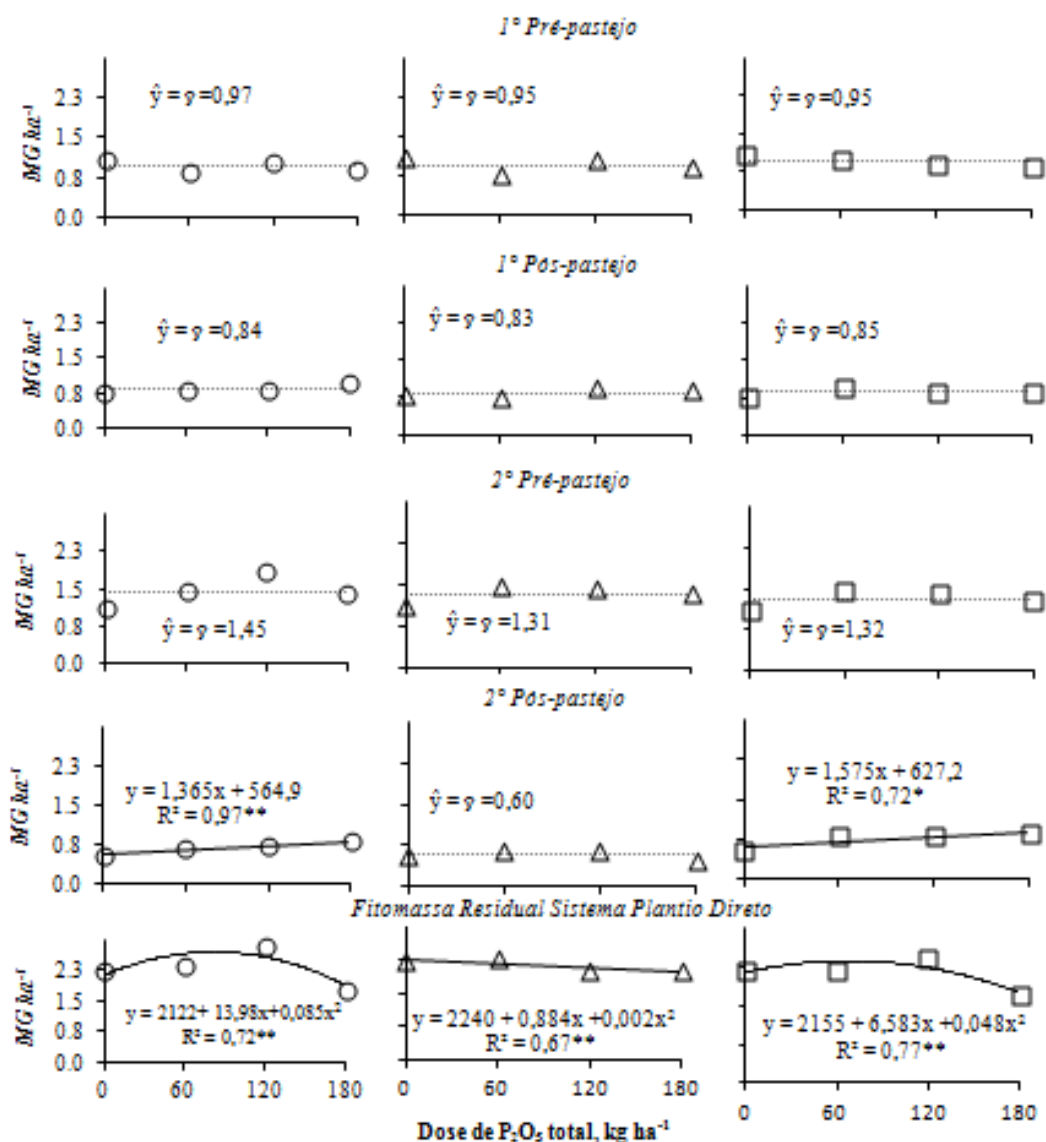


Figura 13. Rendimento de matéria seca, pela cultura da aveia preta, no momento de entrada (Pré-Pastejo) e saída (Pós-Pastejo) do piquete, após aplicação de P sob superficial em área total de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnesiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. * e **: significativo $P < 0,05$ e significativo a $P < 0,01$, respectivamente.

Com relação ao FNR, os rendimentos de MS não foram alterados pelas doses desse produto, com exceção da fitomassa residual que apresentou ligeiro decréscimo (Figura 13). Esse fato já era esperado, pois o FNR é insolúvel em água e apresenta baixa solubilidade em ácido cítrico. Portanto, os efeitos da aplicação de FNR normalmente são observados ao longo dos anos, em estudos de médio-longo prazo (RESENDE et al., 2006).

Para o TFM, os rendimentos de MS não foram alterados no primeiro pré e pós-pastejo e no segundo pré-pastejo. Foram observados incrementos linear e quadrático para o uso de

doses de TFM no segundo pós-pastejo e na fitomassa residual respectivamente (Figura 13). Nesse caso, o máximo rendimento de MS da fitomassa residual ocorreria mediante o uso de 69 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total na forma de TFM. As explicações, nesse caso, são similares às aquelas apresentadas para os tratamentos que receberam SFT. No entanto, a dose de P₂O₅ total necessária para obtenção do máximo rendimento de MS foi 14 kg a menos quando se utilizou TFM. Isso demonstra a alta eficiência de silicofosfatos pelas plantas. A maior eficiência do TFM se deve aos seguintes fatores: (i) trata-se de 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 silício tende a sofrer adsorção mais rápida nos colóides do solo que o fosfato, deixando este nutriente mais disponível às plantas (CARVALHO et al., 2001); (iii) o TFM possui Mg na sua composição e este nutriente atua como carregador de P na planta, favorecendo a absorção e aproveitamento do mesmo (MALAVOLTA, 1997).

Contudo, os rendimentos de MS observados no presente estudo encontram-se dentro do esperado para o cultivar IAPAR 61 Ibiporã. Esse cultivar, segundo (IAPAR..., 2010), pode atingir (durante o ciclo de 134 dias) rendimentos de 4728 e 8358 kg ha⁻¹ de MS, nas condições de cinco cortes e cultivo para cobertura do solo, respectivamente. Ainda, os efeitos do SFT e TFM certamente foram favorecidos pelo déficit hídrico que ocorreu nos primeiros 47 dias (Tabela 3). Devido ao fato de o P favorecer o crescimento radicular das plantas (CRUSCIOL et al., 2005), há maior potencial de resposta à fertilização fosfatada em condição de menor disponibilidade de água (POZZA et al., 2002), mesmo em culturas mais rústicas, como é o caso da aveia preta.

5.6.5.2. Milho

O rendimento de grãos de milho e o PMS não foram influenciados pela aplicação superficial de fontes e doses de P aplicado antecipadamente, por ocasião da semeadura da cultura anterior – aveia preta (Figura 14). Isso pode ser explicado pelos seguintes fatores: (i) o solo possuía, por ocasião da instalação do experimento (Tabela 2), teor médio (3-8 mg dm⁻³) de P (Melich-1) e alto (maior ou igual a 50g dm⁻³) de matéria orgânica total segundo Paulletti (2004), implicando, certamente, em menor fixação de P e maior liberação deste nutriente às plantas (AITA et al., 1994; BERTOL et al., 2004); (ii) a precipitação foi adequada ao longo de todo o ciclo da cultura (Tabela 3); (iii) altas concentrações de matéria orgânica implica em boa reserva de P orgânico no solo, que pode ser mineralizado (SHAFQAT; PIERZYNSKI; XIA, 2009), (iv) à combinação desses fatores associada ao possível aumento da ciclagem de

nutrientes, que tem sido comum na ILP (CARVALHO et al., 2010); (v) ao curto prazo do presente estudo. Salienta-se que o rendimento médio de milho do presente estudo foi bem superior àqueles observados nas condições de lavouras paranaenses e brasileiras. A média dos rendimentos de milho no Estado do Paraná e Brasil tem sido da ordem de 7,7 MG ha⁻¹ (SEAB..., 2011) e 4,4 MG ha⁻¹ (EMBRAPA..., 2011), respectivamente. Com relação ao PMS, os valores observados neste estudo foram superiores aos observados por Argenta et al. (2001), mas coerentes com as observações por Rizzard et al. (1994) e Ferreira et al. (2001).

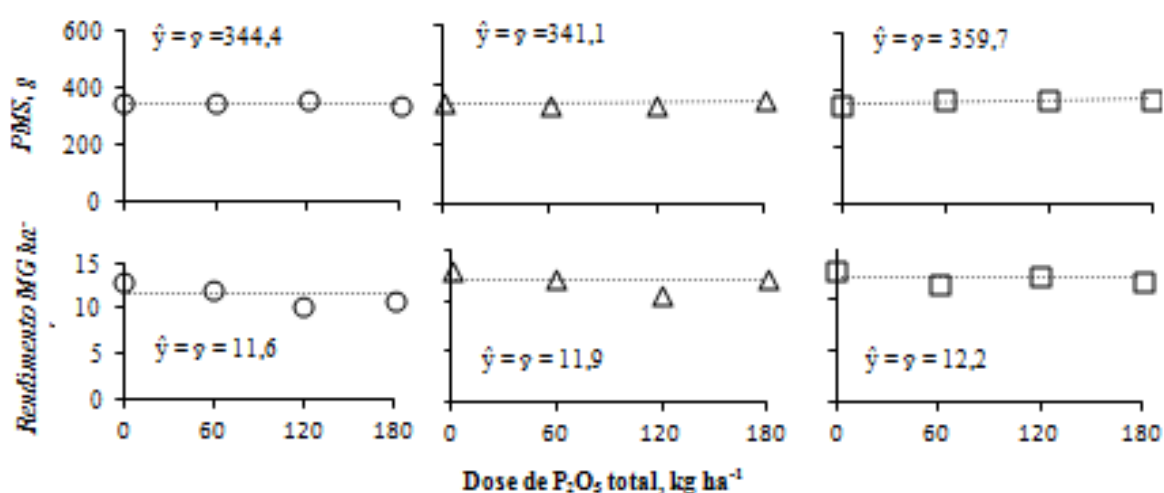


Figura 14. Rendimento de grãos de milhos e peso de mil sementes (PMS), após aplicação superficial de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (□) e termofosfato magnésiano (Δ) e doses de fósforo na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

Apesar de o milho, ser uma cultura responsiva à aplicação de P (FOLONI et al., 2008), não foi observado, no presente estudo, incremento nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S (Figura 15). Em outros experimentos, tem sido relatados incrementos nos teores foliares de alguns macronutrientes mediante a aplicação de P (NAKAGAWA et al., 2005) (BARRETO & FERNANDES, 2002). Todavia, trata-se de estudos realizados em solos com fertilidade bem inferior ao do presente estudo. Ainda, salienta-se que as concentrações foliares verificadas neste estudo encontram-se nas faixas consideradas como adequadas (ou ligeiramente superior a estas) para N (27,5-32,5 g kg⁻¹), P (2,5-3,5 g kg⁻¹), K (17,5-22,5 g kg⁻¹), Ca (2,5-4,0 g kg⁻¹), Mg (2,5-4,0 g kg⁻¹) e S (1,5-2,0 g kg⁻¹), conforme Malavolta et al. (1997).

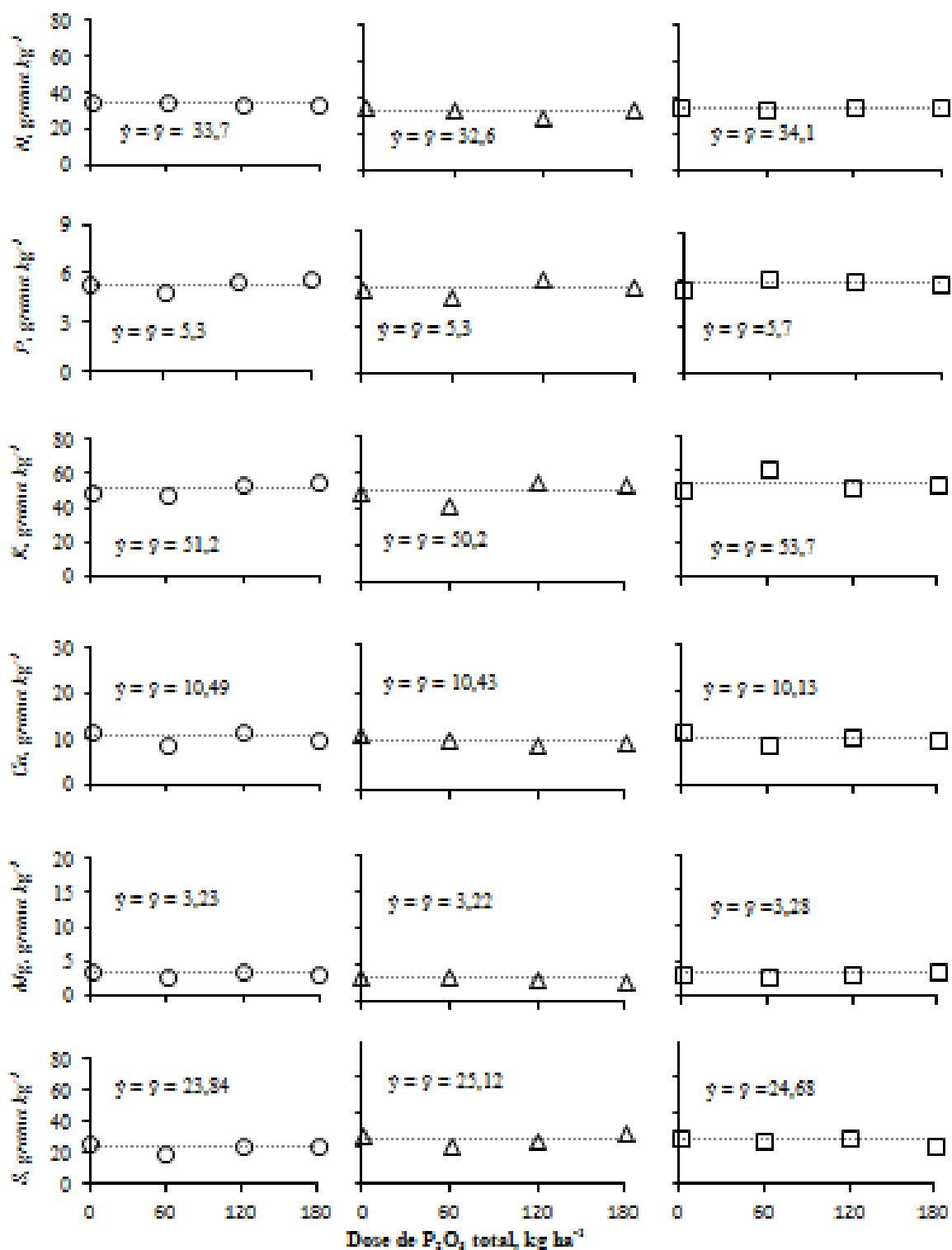


Figura 15. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) por ocasião da diagnose foliar do milho, após aplicação antecipada sob superficial em área total de fontes de P [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnesiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

Os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea do milho não foram influenciados pelos tratamentos (Figura 16). Isso pode ser atribuído (i) a capacidade que o solo possuía em suprir a exigência da cultura durante o seu ciclo de desenvolvimento (AITA et al., 1994); (ii) a adequada disponibilidade de água ao longo do ciclo da cultura (Tabela 3), favorecendo a difusão de P até as raízes e absorção deste e outros nutrientes (MALAVOLTA, 2006); (iii) a maior ciclagem de nutrientes nas áreas de ILP sob sistema plantio direto (CARVALHO et al., 2010).

5.6.5.3. Azevém anual

As exportações de N, P, K, Ca, Mg e S mediante o pastejo animal, não foram influenciadas pelos tratamentos, com exceção para o P oriundo da aplicação de FNR (Figura 17). Salienta-se que a adição de FNR, inesperadamente, ocasionou diminuição na exportação de P (Figura 17), certamente, sendo atribuído à sua baixa capacidade de disponibilização deste nutriente às plantas (ONO et al., 2009; SANTOS, et al., 2008). Todavia, o azevém anual, no presente estudo, cresceu e desenvolveu-se em condições adequadas de precipitação (Tabela 3), possibilitou a realização de três pastejos e apresentou elevadas quantidades de nutrientes exportados (Figura 17). Essa alta exportação de nutrientes pode ser resultado do agressivo crescimento radicular em solo de adequada fertilidade (GOMIDE, 1998).

Os tratamentos empregados não alteraram os rendimentos de MS no primeiro, segundo e terceiro pré e pós-pastejo e ainda, no acúmulo de fitomassa residual (por ocasião da dessecação), com exceção do TFM (Figura 18). Salienta-se que, o uso de doses de TFM aumentou quadraticamente o rendimento de MS no primeiro pré-pastejo (Figura 18). A dose que resultaria, nessa ocasião, o máximo rendimento de MS seria de 103 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de TFM. O fato de os tratamentos normalmente não terem alterados os rendimentos de MS do azevém anual se deve aos seguintes fatores: (i) o solo possuía, por ocasião da instalação do experimento (Tabela 2), teor médio (3 a 8 mg dm⁻³) de P (Melich-1) e alto (49 g dm⁻³) de matéria orgânica total segundo Pulletti, (2004), implicando certamente, em menor fixação de P e maior liberação deste nutriente às plantas (ARAÚJO et al., 2008); (ii) a precipitação foi adequada ao longo de todo ciclo da cultura, inclusive, na fase inicial (Tabela 3); (iii) à combinação desses fatores associada ao possível aumento da ciclagem de nutrientes, que tem sido comum na ILP (Carvalho et al., 2010); (iv) à menor exigência do azevém anual

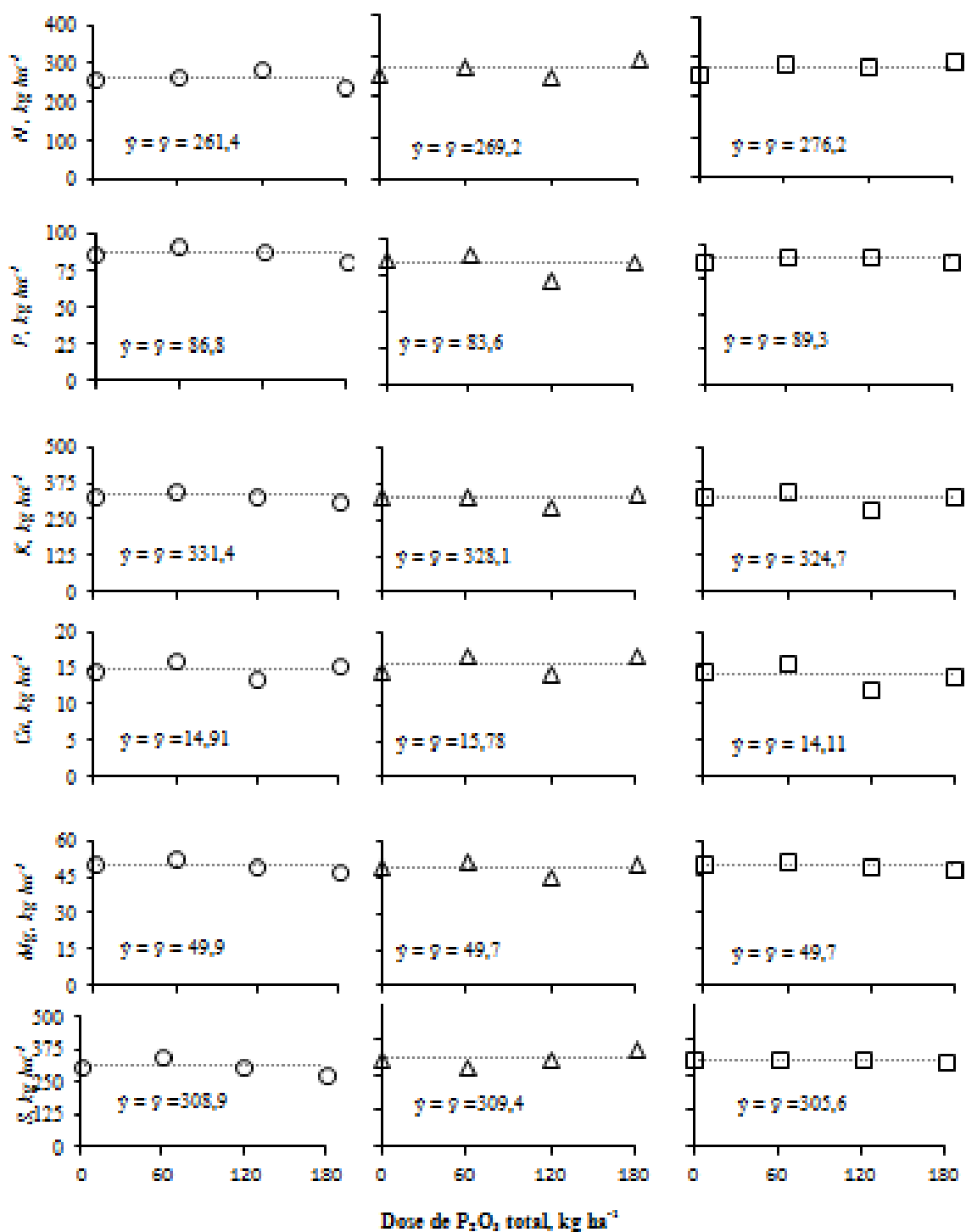


Figura 16. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na planta de milho, após aplicação antecipada sob superficial em área total de fontes de P [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnesiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições.

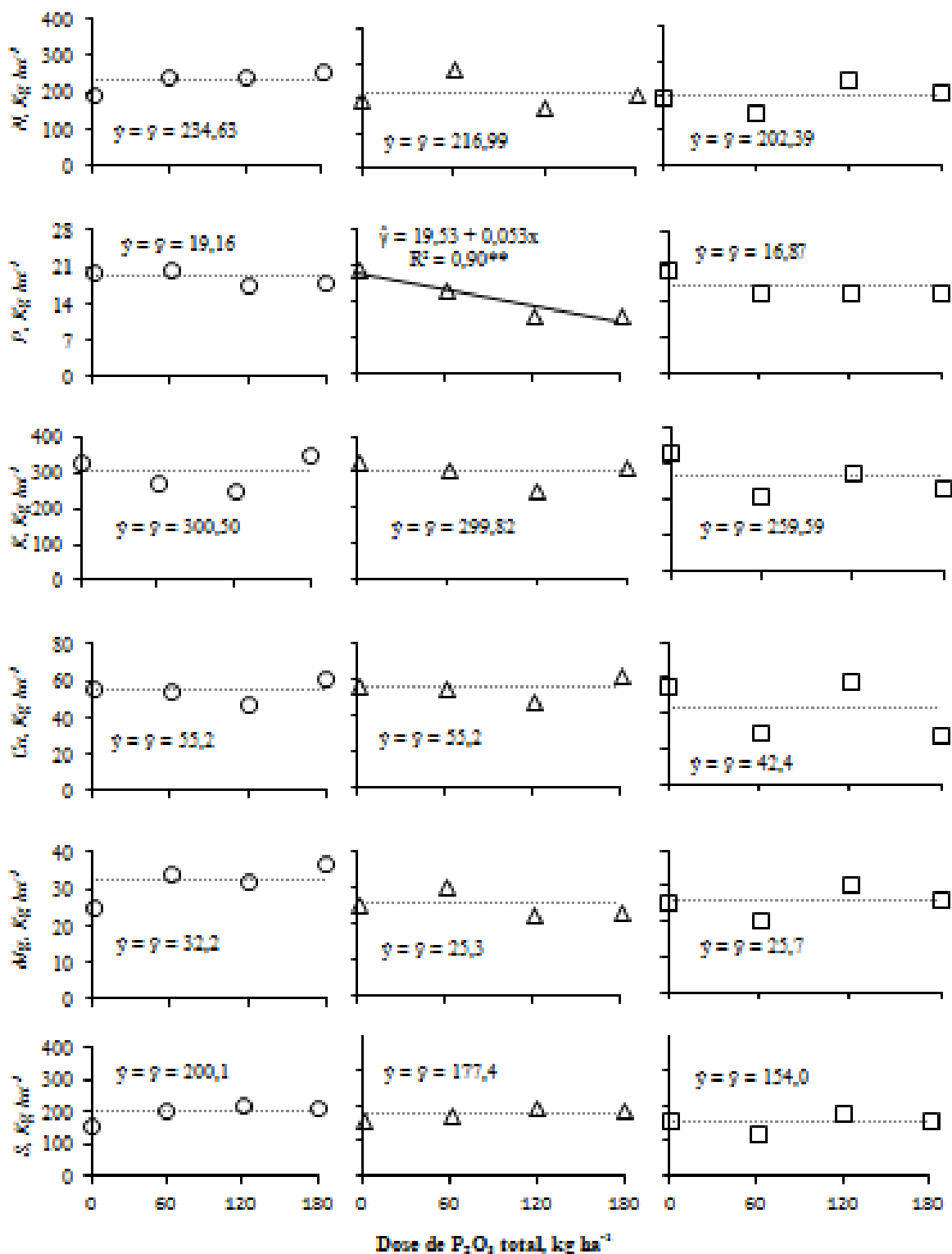


Figura 17. Exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) pela cultura do azevém anual, após aplicação superficial em área total de fontes de P [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnesiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. **: significativo a $P < 0,01$.

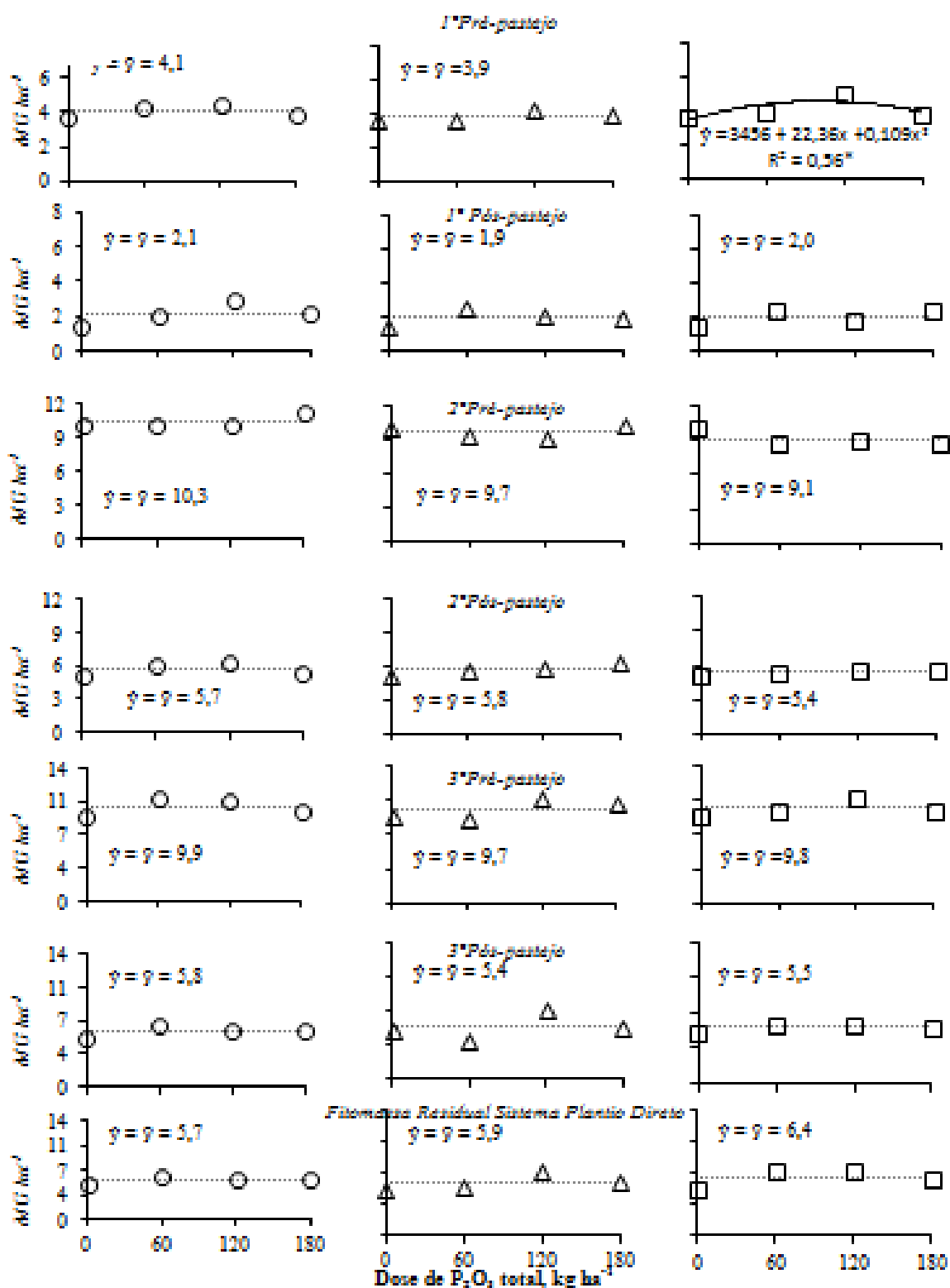


Figura 18. Rendimento de matéria seca pela cultura do azevém anual, no momento de entrada (Pré-Pastejo) e saída (Pós-Pastejo) após aplicação de P sob superfície em área total de fontes [superfosfato triplo (○), fosfato natural reativo (Δ) e termofosfato magnésiano (□)] e doses de fósforo, na integração lavoura pecuária sob plantio direto. Pontos são média de quatro repetições. *: significativo P < 0,05.

em P quando comparado às principais culturas produtoras de grãos, como milho e soja (PAULETTI, 2004); (v) à adequada taxa de lotação animal ($3,5 \text{ UA ha}^{-1}$) que, certamente, favoreceu a taxa de emissão de folhas e perfilhos, sem exaurir as reservas das plantas.

No presente estudo, os rendimentos acumulados de MS foram elevados para a cultura do azevém anual, da ordem de $11,9 \text{ MG ha}^{-1}$ mediante fertilização fosfatada. Tem sido verificado que o azevém anual, adequadamente manejado, tem suportado alta lotação animal sob pastejo por área (LESAMA & MOOJEN 1997; RESTLE et al., 1998), proporcionando, ao longo ciclo, elevados rendimentos (ROSO, 1998).

5.6.6. Conclusões

Em solos com teor médio de P disponível e SPD consolidado, a exportação de N, P, K, Ca, Mg e S foi pouco ou nada alterada mediante a aplicação superficial de fontes (SFT, FNR e TFM) e doses (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}) de P para aveia preta. Exceção apenas para P e Mg, que apresentaram efeito (incremento) quadrático, mediante aplicação de SFT. O rendimento de MS foi pouco ou nada alterado pela adubação fosfatada. Contudo, as fontes de maior solubilidade (SFT e TFM) apresentaram melhor eficiência de utilização quando comparada a fonte de menor solubilidade (FNR).

O acúmulo de macronutrientes nutrientes e o teor dos mesmos nas folhas de milho (diagnose foliar) não foram alterados pela adubação fosfatada com diferentes doses e fontes avaliadas. O rendimento e o peso de grãos de milho também não foram alterados pela em solo sob SPD consolidado.

Para a cultura do azevém anual, a exportação de nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S apresentou pouco efeito mediante aplicação das fontes fosfatadas. Apenas o P exportado, mediante aplicação de FNR, apresentou efeito linear negativo, indicando improvável solubilização deste produto em curto prazo. Todavia, o rendimento de MS mediante o pastejo animal foi pouco alterado pelas fontes de P estudadas, apresentando apenas incremento (quadrático) no primeiro pré-pastejo para o uso de doses de TFM.

5.7.Principais conclusões do ciclo aveia preta/milho/azevém anual⁴

Em curto prazo, após 12 meses da aplicação superficial de fontes (SFT, TFM e FNR) e doses (0, 60, 12 e 180 kg ha⁻¹) de P, a acidez do solo e as concentrações disponíveis de Ca, Mg e S foram pouco ou nada alterados. Porém, a aplicação de TFM aumentou as concentrações de K trocável abaixo da camada superficial (0-5 cm).

Os tratamentos empregados ocasionaram incrementos das concentrações disponíveis de P apenas na camada 0-5 cm. Nesse caso, foram similares os valores de P (extraído pela solução de Mehlich-1) para os tratamentos que receberam SFT e TFM. No entanto, o extrator Mehlich-1 superestimou as concentrações de P disponível nos tratamentos que receberam FNR.

Em solo sob SPD consolidado e com teor médio de P disponível, a exportação dos macronutrientes mediante pastejo animal foi pouco ou nada alterada pela aplicação superficial de fontes (SFT, FNR e TFM) e doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) de P, para a cultura da aveia preta. O rendimento de matéria seca para aveia preta foi pouco ou nada alterado pela adubação fosfatada. Contudo, as fontes de maior solubilidade (SFT e TFM) apresentaram melhor eficiência de utilização quando comparadas a fonte de menor solubilidade (FNR).

O rendimento e o peso de grãos de milho não foram influenciados pelos tratamentos estudados, porém mantiveram-se altos rendimentos por área, mesmo em situação de pastejo da cultura anterior durante o outono-inverno (aveia preta).

Para a cultura do azevém anual, a exportação de macronutrientes mediante pastejo animal apresentou pouco efeito mediante aplicação das fontes fosfatadas. O rendimento de matéria seca mediante o pastejo animal foi pouco alterado pela fertilização fosfatada apresentando efeito quadrático no primeiro pré-pastejo para o TFM.

⁽⁴⁾ Extraído de Reifur (2011). REIFUR, H.I. **Dinâmica do fósforo na integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2011. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca. Do inglês: “REIFUR, H.I. **Phosphorus dynamic in crop-livestock integration under no-tillage**. 2011. Master Science in Agronomy Dissertation - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Adviser: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.”

6. RENDIMENTO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NO AZEVÉM ANUAL EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE FÓSFORO ⁽⁵⁾

6.1. Resumo

O azevém anual tem sido importante forrageira de inverno, no Sul do Brasil. Porém para o desenvolvimento do azevém anual há a necessidade de adequada fertilidade do solo, particularmente para o nutriente fósforo (P). Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) na parte aérea e o rendimento de massa seca (MS) do azevém anual, submetido a doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) e fontes de fertilizante fosfatado [superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo (FNR) e termofosfato magnésiano (TFM)], na integração lavoura pecuária (ILP) sob sistema plantio direto (SPD). O experimento foi instalado no município de Castro (PR), em um Cambissolo Háplico, empregando-se delineamento experimental de blocos completos casualizados com dez tratamentos e quatro repetições. O rendimento de MS no 1º pré-pastejo do azevém anual aumentou quadraticamente com a aplicação do TFM, que foi superior as demais fontes. No entanto para o 2º e 3º pré-pastejo o rendimento do azevém anual não foi influenciado pelas doses de P; porém o SFT foi superior as demais fontes. Isso ocorreu também para o rendimento de MS total (MST). Para os nutrientes acumulados na parte aérea do azevém anual, o TFM propiciou maior acúmulo de N, P, K e Mg e o SFT, para o nutriente Ca.

Palavras-chave: *Lolium multiflorum* Lam., superfosfato triplo, fosfato natural reativo, termofosfato magnésiano, sistema integrado de produção.

⁽⁵⁾ Extraído de Harkatin (2011). HARKATIN, S. **Rendimento e acúmulo de macronutrientes no azevém anual em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a fontes e doses de fósforo**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso em Zootecnia - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca. Do inglês: "HARKATIN, S. **Annual ryegrass yield and nutrients accumulations in crop-livestock integration after application of phosphorus sources and doses**. 2011. Course Conclusion Paper in Animal Science - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Adviser: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca."

6.2. Abstract

The annual ryegrass has been important winter forage in Southern Brazil. But for the annual ryegrass development is the necessary adequate soil fertility, particularly for the phosphorus (P) nutrient. The objective of this study was to evaluate the accumulation of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S) and shoot dry matter (DM) of annual ryegrass after application of phosphate fertilizer doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of total P₂O₅) and sources [triple superphosphate (TSP), rock phosphate (RP) and magnesium thermophosphate (MTP)] in a crop-livestock integration (CLI) under no-tillage (NT). The experiment was carried out in the municipality of Castro (PR), using experimental design of randomized complete block with ten treatments and four replications. The yield of DM in the 1st pre-grazing of annual ryegrass increased quadratically after MTP application, which it was higher than the other phosphates. For 2 and 3 pre-grazing the annual ryegrass yield was not changed by P doses. However, the TSP resulted in higher yield than the other phosphates. This fact occurred also for total DM yield (DMT). For the nutrients accumulated in the area part of ryegrass, the MTP resulted in higher accumulation of N, P, K and Mg, and TSP, for Ca nutrient.

Keywords: *Lolium multiflorum* Lam., triple superphosphate, rock phosphate, magnesium thermophosphate, integrated production system.

6.3. Introdução

A integração lavoura pecuária (ILP) pode ser definida como um sistema que integra as atividades de agricultura e pecuária, visando à maximização de forma racional do uso da terra, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra. Nesse contexto, as áreas de lavouras dão suporte à pecuária por meio da produção de alimento para o animal (seja na forma de grãos, silagem, feno ou em pastejo direto), proporcionando assim o aumento da capacidade de suporte e de receita da propriedade (MELLO et al., 2004).

O azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) apresenta-se como espécie forrageira amplamente utilizada pelos produtores no Sul do Brasil, pois possui bom rebrote, resiste bem ao pastejo, ao excesso de umidade, com alta qualidade nutritiva e boa palatabilidade (CARAMBULA, 1977). Em sistema de produção a pasto, os cultivares desenvolvidos de

azevém anual possuem características superiores em relação ao azevém anual comum. Outra vantagem é que podem ser semeadas em cultivos solteiros, substituindo o consórcio aveia + azevém anual muito utilizado quando na utilização de cultivares comuns. Sendo assim, a utilização do azevém anual, constitui-se em uma excelente alternativa de produção de forragem, visando suprir a deficiência alimentar apresentada no outono e inverno (ROSO et al., 1999).

O sistema plantio direto (SPD) é uma excelente ferramenta desse sistema (ILP), pois preserva a matéria orgânica pré-existente no solo, além de ser uma alternativa econômica e sustentável para recuperar áreas degradadas de pastagens. Tem sido observado que na zona tropical e subtropical, a rotação de pastagens com culturas de grãos é o meio mais efetivo de elevar a fertilidade de solo, podendo assim evitar a abertura de novas áreas (SANTOS et al., 2003). Vários trabalhos destacam as vantagens do sistema ILP, como aumento nos teores de nutrientes do solo, quebra do ciclo de pragas e doenças, além de melhor uso de insumos, maquinários e mão de obra (VILELA et al., 2003).

Todavia, para adequado sistema de ILP, há necessidade de correto manejo da fertilidade do solo, sobretudo de fósforo (P). Esse nutriente é um elemento essencial para o metabolismo das plantas, pois desempenha papel importante na transferência de energia das células, na respiração e fotossíntese. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em serias restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente (GRANT et al., 2001). Depois de corrigida a acidez do solo, o principal fator limitante ao desenvolvimento das plantas é o baixo teor de P naturalmente disponível nos solos brasileiros, justificando a grande importância deste elemento (NOVAIS & SMYTH, 1999).

No mercado, há várias fontes de P disponíveis, tais como o superfosfato triplo (SFT – 420 a 480 g kg de P_2O_5), fosfato natural reativo (FNR – 330 g kg de P_2O_5), termofosfato magnésiano (TFM – 180 g kg de P_2O_5 e 70 g kg de Mg), etc. Cada fonte apresenta determinadas particularidades como, solubilidade (maior ou menor), presença de outros elementos como silício (Si), magnésio (Mg), que são fatores que podem influir diretamente na produção no sistema integrado de produção agropecuário sob plantio direto. O Si para o desenvolvimento vegetal é considerado como um elemento benéfico (a planta completa o seu ciclo sem a presença do mesmo). Devido a sua ação, o Si mesmo pode aumentar o rendimento de algumas espécies cultivadas, promovendo vários processos fisiológicos desejáveis para as

plantas (KORNDORFER & DATNOFF, 1995). Outro elemento que se destaca na produção vegetal é o Mg, pois trata-se de um elemento onde nas células de plantas tem papel específicos como a ativação de enzimas da respiração e da fotossíntese. O Mg também é parte importante da estrutura da molécula de clorofila (pigmento associado à fotossíntese) (MALAVOLTA, 2006).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar os efeitos de doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total) e fontes de P (SFT, TFM e FNR) sobre o acúmulo de macronutrientes na fitomassa do azevém anual, rendimento de massa seca (MS) desta cultura na produção integrada de sistema agropecuário.

6.4. Material e métodos

O experimento foi instalado na Fazenda Capão do Cipó (latitude: 24°51'49"; longitude: 49°56'61"; altitude média: 1.020 m), no município de Castro (PR), em um Cambissolo Háplico Argiloso. A área apresenta um histórico (de cinco anos anteriores ao experimento) de rotação com as seguintes culturas, aveia preta/milho, azevém anual/soja, trigo/soja, aveia preta/milho e azevém anual/soja no período de inverno e verão, respectivamente.

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático predominante no município de Castro é o Cfb – clima temperado, caracterizado por apresentar temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com presença de geadas frequentes (mesotérmico), verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2011).

Após a instalação do experimento (abril/2009), procederam-se aos cultivos de aveia preta (2009) e milho (2009/2010). No mês de abril/2010 foi semeada a pastagem de azevém anual, sob solo com teor médio de P (Tabela 4) e sistema plantio direto já estabilizado.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso com 10 tratamentos (T) e quatro repetições, a saber: T1 – sem aplicação de P (controle absoluto); T2, T3 e T4 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total na forma de SFT, respectivamente; T5, T6 e T7 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total na forma de FNR, respectivamente; T8, T9 e T10 – aplicação de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total na forma de TFM, respectivamente. Sendo que cada parcela constituía área total de 425 m² área (17 x 25

m), onde para amostragem desprezava-se 2 m de bordadura, o que resultava em 273 m² de área útil. O croqui do experimento pode ser observado na Figura 19.

Tabela 4. Resultados de análises químicas do solo, em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento.

Camada	pH ⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	V ⁽³⁾
cm	mmol _c dm ⁻³							%
0-5	5,3	70,7	0,0	57,3	37,0	0,5	165,6	57,5
5-10	4,7	89,9	0,4	30,4	21,9	0,3	143,0	36,7
10-15	4,5	103,9	0,6	20,1	18,0	0,3	143,0	26,8
15-20	4,5	104,0	0,6	16,9	16,9	0,3	138,8	24,7
20-30	4,5	98,4	0,6	13,2	17,6	0,2	130,2	24,0
	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	
20-30	2,0	19,6	23,2	1,1	640	214	146	

⁽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

A semeadura do azevém anual foi realizada em abril/2010, utilizando-se espaçamento de 17 cm entre linhas e densidade de 400-500 sementes viáveis m⁻² (30 kg ha⁻¹ de Azevém ABC1 + 15 de kg ha⁻¹ Azevém Barjumbo). Foi estabelecido o consorcio entre os dois cultivar de azevém anual (Azevém Barjumbo + Azevém ABC1) buscando a otimização (maior período de pastejo) da oferta de forragem. A adubação de base consistiu na aplicação do formulado NPK 25-00-25 na dose de 200 kg ha⁻¹. O pastejo do azevém anual foi iniciado quando este se encontrava com aproximadamente 35 cm de altura e finalizado quando apresentava 10 cm de altura. Foi adotado o sistema de manejo rotacionado (quatro piquetes de dimensões iguais ao dos referidos blocos), onde os animais permaneceram na área de 5-7 dias por bloco.

Os pastejos no azevém anual foram iniciados cerca de 70 dias após a semeadura da cultura (14/07/2010), o qual permitiu um total de três pastejos, sendo encerrados os mesmos em 15/10/2010. Após o último pastejo, foi deixado um período de 16 dias para recuperação da pastagem e produção de MS para manutenção do SPD. O manejo da MS para o SPD foi feito

com o herbicida glyphosate e, após 15 dias, procedeu-se a semeadura da cultura de verão (soja).

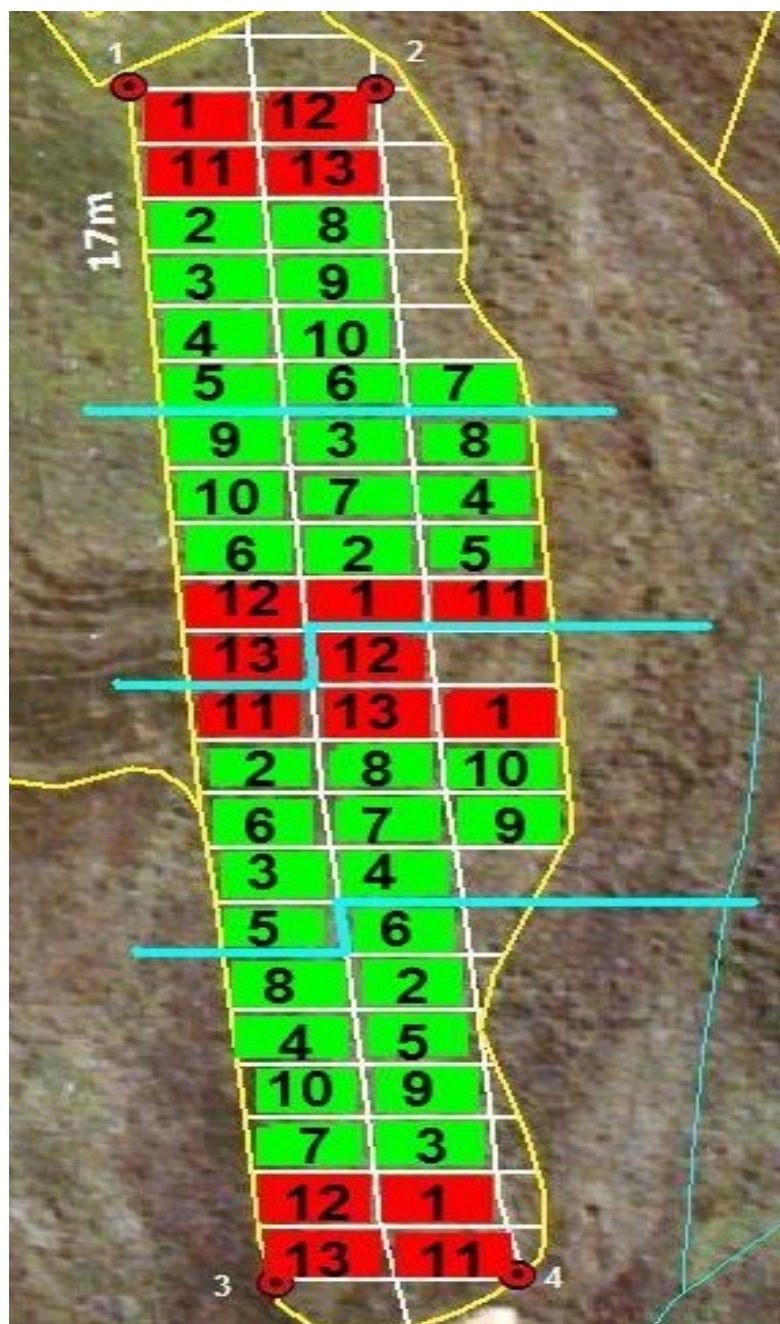


Figura 19. Croqui da área experimental, com os respectivos tratamentos citados anteriormente, onde os tratamentos 11, 12 e 13 constituem tratamentos com adubação antecedendo a cultura de verão, não sendo estudados no presente trabalho.

Antes e após cada pastejo animal e ainda, por ocasião do manejo do azevém anual com glyphosate, 0,34 m² por parcela foram aleatoriamente amostrados. Durante os pastejos, esse

procedimento foi realizado com a utilização de duas gaiolas de exclusão por parcela. O procedimento para amostragem consistiu na escolha, ao acaso, de áreas para alocação das gaiolas dentro das referidas parcelas experimentais (MORAES et al., 1990). Esse procedimento visou à quantificação da MS e dos macronutrientes acumulados nos respectivos tratamentos.

Foram empregados os procedimentos sugeridos por Malavolta et al. (1997) para preparo e análises químicas da parte aérea do azevém anual. Onde as determinações das concentrações de P, K, cálcio (Ca), Mg e enxofre (S) foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular para P; espectrofotometria de emissão em chama para K; espectrofotometria de absorção atômica com atomização em chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S. As concentrações de N foram determinadas mediante digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações de nutrientes nas plantas foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas e Laboratório Multiusuário da UEPG.

Todos os resultados foram submetidos à análise estatística univariada de acordo com o modelo de experimento em blocos completos casualizados. Foram ajustados aos modelos linear ou quadrático os efeitos das variáveis preditoras [dose de P (para cada uma das fontes)] nas variáveis respostas (acúmulo de macronutrientes na fitomassa e rendimento de forragem). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa de computador SAS Versão 9.1 (SAS, 2004).

6.5. Resultados e discussão

O azevém anual no 1º pré-pastejo aumentou quadraticamente o rendimento de MS devido à aplicação de TFM (Figura 20). Para as demais fontes, as doses de P não alteraram o rendimento de MS do azevém anual (Figura 20). O aumento do rendimento de MS do azevém anual devido à adição de doses de TFM pode ser explicado pelo fato deste fertilizante apresentar, em sua composição química, o Mg, nutriente que contribui com a absorção de P pelo sistema radicular.

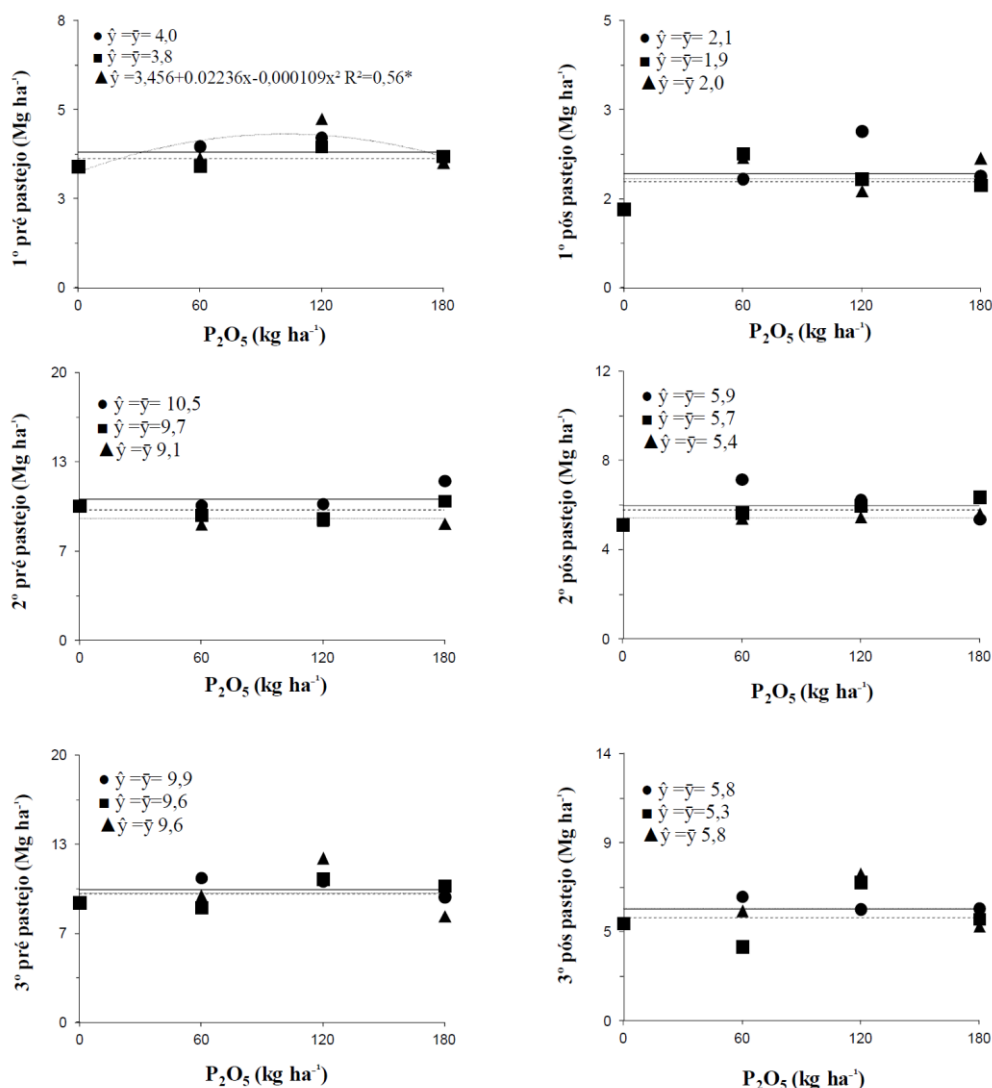


Figura 1: Massa seca produzida no 1°, 2° e 3° ciclos de pastejo (●) Superfosfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofosfato magnésiano. *: <math>P < 0,05</math>. Pontos são médias de quatro repetições.

Ainda, o TFM possui Mg em sua constituição e este nutriente atua como carregador de P na planta (participação na ativação de ATPases da membrana envolvidas na absorção iônica pelo sistema radicular do P) propiciando assim uma maior resposta a adubação fosfatada (MALAVOLTA, 1997). O Mg dessa forma, atua no desenvolvimento das plantas com importante relação no desenvolvimento das mesmas, principalmente no sistema radicular, podendo ser visível os efeitos de deficiência do mesmo (CAKMAK, 1994).

O FNR apresenta como característica dissolver-se no solo mais lentamente, tendo efeito residual compensatório em relação às fontes mais solúveis (VOLKEISS & RAIJ, 1977).

O somatório da sua eficiência, quando estimada em períodos de mais de dois ciclos de cultivo, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda, por fixação dos fertilizantes fosfatados de alta solubilidade (em água). Nessa situação, deixa de existir correlação entre a eficiência e a solubilidade (GOEDERT, 1983).

Resultados superiores com a utilização do FNR podem ser alcançados quando estes são aplicados em área total e incorporados ao solo, com o intuito de se maximizar a superfície de contacto entre as partículas do fertilizante com o solo (CHIEN, 2001). Outra forma de elevar a eficiência dos FNR seria a aplicação junto com enxofre elementar, FNR compactado com fontes fosfatadas de elevada solubilidade em água e mistura seca de FNR com fertilizantes fosfatados de elevada solubilidade em água (RAJAN, 2004). Todavia, apesar da maior solubilidade do SFT, no presente estudo, obteve-se no curto prazo (1º pré-pastejo) maior rendimento de MS com o TFM.

No segundo e terceiro pastejos (Figura 20), a aplicação de doses de P não resultaram em diferença para o rendimento de MS. No entanto, no 2º e 3º pré-pastejo (Figura 20), o rendimento de MS do azevém anual com a fonte SFT foi, em média, ligeiramente superior aos dos demais fosfatos. Esse resultado pode estar ligado à alta solubilidade e disponibilidade do SFT quando comparado às demais fontes, resultando em maior resposta quanto ao rendimento de MS, em curto prazo. O SFT libera prontamente grande parte do P aplicado, incrementando assim de forma significativa a fração de P disponível no solo (PROCHNOW et al., 2003). Dessa forma a absorção de P pelas raízes é favorecida pela alta solubilidade do mesmo, da mesma forma que as reações de fixação do P, especialmente nos solos mais oxídicos (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Em trabalho com azevém anual e com doses crescentes de P (SFT), Mazza (2010) obteve rendimentos crescentes de MS de azevém anual (rendimento máximo próximo a dose de 200 kg ha⁻¹ de P), porém em experimento com campo nativo sem pastejo animal, com doses variando de 0 a 360 kg ha⁻¹. No presente trabalho (Figura 20) tal fato ocorreu apenas para o TFM (rendimento máximo próximo à dose de 100 kg ha⁻¹ de P) no início do ciclo na cultura e em SPD estabilizado.

As doses de P não alteraram a MS acumulada para o SPD (Figura 21). Todavia, maiores rendimentos de MS foram observados mediante o uso de TFM (Figura 21). Deve se ressaltar que no início do ciclo do azevém anual houve um período com ligeiro déficit hídrico na região (Tabela 3). Considerando que a principal forma de contato do ortofosfato com as

raízes das plantas é a difusão (sendo esta dependente da umidade do solo), pode-se inferir que a absorção de P de fontes mais solúveis (SFT) tenha ficado prejudicada nesse período de déficit hídrico. Outro fator que deve ser analisado é o alto teor de matéria orgânica do solo (Tabela 2), aliado a presença de Si como constituinte do TFM, que juntos constituem fatores que reduzem a fixação de P no solo. Tal condição pode ter contribuído diretamente para o maior desenvolvimento radicular e maior rendimento de MS no início do ciclo, e para a MS acumulada para o SPD (devido à adubação com o TFM remanescente do primeiro ano de experimento).

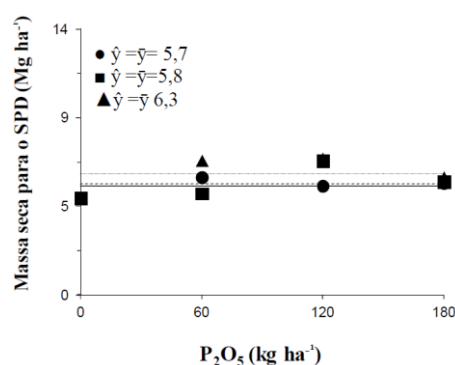


Figura 21. Massa seca produzida para o plantio direto (●) Superfosfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofosfato magnésiano. Pontos são médias de quatro repetições.

Ainda, o rendimento de MS do azevém anual quando recebeu TFM apresentou média, no 3º pós-pastejo animal (Figura 20) valores próximos da média apresentada para o SFT. Isso evidencia a capacidade de produção do azevém anual frente à adubação com TFM, apresentando resultado superior (de MS acumulada para o SPD) ao SFT que (apresenta maior solubilidade em água).

O TFM apesar de ser uma fonte de P insolúvel em água tem sido citado em vários trabalhos, onde o seu desempenho tem apresentado resultados de eficiência agrônômica similar ou superior aos obtidos com os superfosfatos de alta solubilidade em água + citrato neutro de amônio (MACHADO et al., 1983; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTO et al., 1989; GOEDERT et al., 1990; FIRME et al., 1990; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; NAKAGAWA et al., 1993; PASSOS et al., 1997; NAKAYAMA et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999). Outra propriedade interessante do TFM é a sua capacidade de amenizar a acidez do solo (principalmente em doses maiores de P), sendo essa característica

atribuída à capacidade neutralizante do ânion silicato presente em sua composição, na forma de silicatos de Ca e Mg (FRANCO, 2003).

Para manutenção de adequado resíduo sobre o solo e aporte de MS final (residual mínimo) para manutenção do SPD são necessários aproximadamente $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS. Isso corresponde a cerca de 15-20 cm de altura para o caso de pastagens de aveia preta e/ou azevém anual, como observado no Sudoeste do Estado do Paraná (ASSMANN et al., 2008). Analisando-se a Figura 21 (gráfico do acúmulo de MS para o plantio direto) observa-se que a cultura do azevém anual, apesar do curto espaço de tempo para gerar acúmulo de MS, apresentou rendimento suficiente para manter palhada para manutenção do sistema plantio direto.

O rendimento de MST (massa seca total) nos tratamentos que receberam SFT apresentaram médias ligeiramente superiores às demais fontes avaliadas (Figura 22). O efeito positivo no rendimento de MST do azevém anual do SFT pode estar ligado a sua alta e rápida disponibilidade de P da fonte fosfatada (SFT) e a resposta das plantas ao P presente no solo. Outro ponto que favorece uma resposta maior do SFT é a adoção do SPD. Pois segundo Brady (1989), produtos resultantes da decomposição da matéria orgânica (como os ácidos orgânicos e húmus), possuem a capacidade de formar complexos com os óxidos de ferro e alumínio, evitando dessa forma a fixação de P.

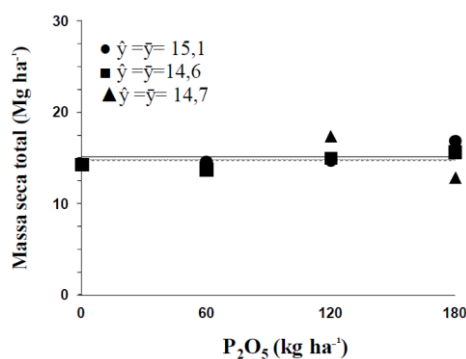


Figura 22: Massa seca total produzida no período experimental de abril a outubro de 2010 (massa seca consumida somada a massa seca acumulada para o sistema plantio direto) (●) Superfosfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofosfato magnésiano. Pontos são médias de quatro repetições.

Apesar da solubilidade imediata (facilitando o processo de fixação), os fosfatos solúveis (SFT) têm menor efeito residual em relação ao FNR e ao TFM, além do custo mais elevado para o produtor (LÉON et al., 1986). Porém tal fixação de P no solo ocorre com

maior intensidade em solos não corrigidos quimicamente, com pH (em H₂O) inferior a 5,2, condição contrária ao experimento, onde a camada de solo de 0 a 5 cm o pH se encontrava com valor de 5,3 (em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹). Em pH 5,2 (em H₂O) já se minimizam os efeitos tóxicos do alumínio e parece ser o mais indicado para ser trabalhado nessa faixa de pH quando da aplicação de FNR (ALMEIDA et al., 1999). O pH do solo influencia assim na dissolução e liberação de P do FNR. Isso ocorre devido à corrosão da estrutura cristalina do FNR por ação dos íons H⁺ quando esses apresentam alta atividade (RHEINHEIMER et al., 2001).

Em relação aos nutrientes acumulados na parte aérea do azevém anual (fitomassa acumulada) para o nutriente Ca (Figura 23), o acumulado no azevém anual nos tratamento com aplicação do SFT se mostrou superior às demais fontes, porém em relação às doses não houve efeito significativo. Já para os nutrientes, N, P, K e Mg o acumulado na parte aérea do azevém anual foi superior com a fonte TFM, porém sem efeito para as diferentes doses estudadas.

Em trabalho com forragem do gênero *Brachiária*, foi observado acréscimo na concentração de P na parte aérea do capim-braquiária, em vista da aplicação de doses crescentes do elemento (ROSSI & MONTEIRO, 1999). Os autores concluíram que houve correlação entre o rendimento de MS, a concentração e o acúmulo de P na planta. De forma contrária ao trabalho, doses crescentes de P aplicadas não ocasionaram aumento no rendimento de MS (Figura 23), porém houve efeito do TFM com maior concentração de P na parte aérea do azevém anual, fato que pode ser justificado para a já citada presença de Mg no TFM (Figura 5). Pois plantas que são bem supridas em P se desenvolvem melhor, devido à apresentarem mais raízes que plantas deficientes (GARDNER et al. 1985). Isto pode estar relacionado com a função que o P desempenha, ou seja, o P influencia na fotossíntese, que por sua vez resulta em aumento no crescimento radicular e maior desenvolvimento.

Em se tratando do acúmulo de S na fitomassa do azevém anual, o S (acumulado) apresentou aumento linear devido à adição das doses de P (Figura 23). Porém, esse resultado apenas ocorreu com a aplicação da fonte SFT. Em estudo com quatro forrageiras tropicais (uma gramínea e três leguminosas), verificou-se que com o incremento das doses de P (0, 10, 20 e 50 kg ha⁻¹, na forma de SFT) elevou-se a densidade de raízes de pastagem do gênero *Brachiaria*, o que resultou em maior rendimento de forragem (RAO et al. (1996). Esse resultado de maior acúmulo de S (Figura 23), pode estar correlacionado assim com maior

absorção de S pelo sistema radicular mais desenvolvido, visto que o S é lixiviado para as camadas mais profundas do solo.

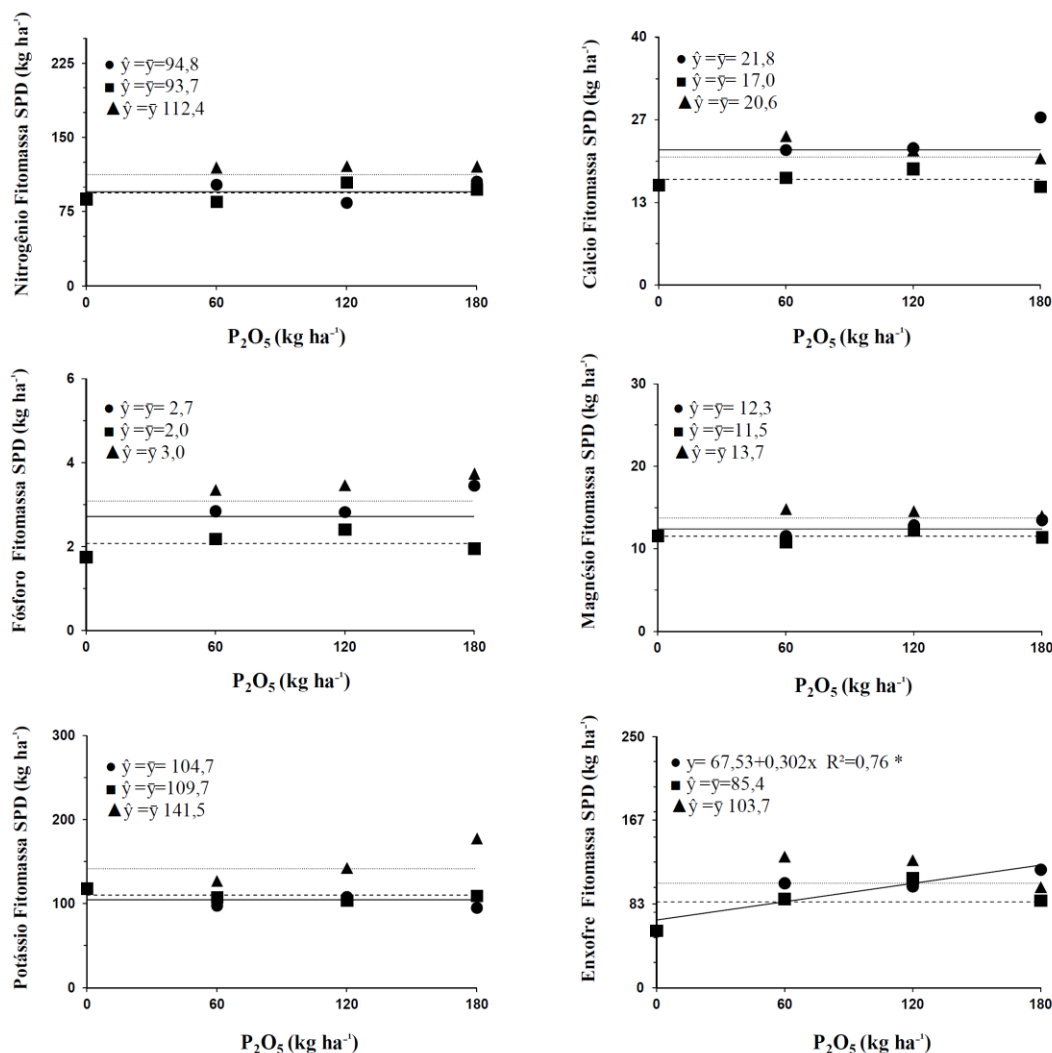


Figura 23. Macronutrientes acumulados na fitomassa do azevém anual para manutenção do sistema plantio direto, (●) Superfósforo triplo. (■) Fósforo natural reativo. (▲) Termofósforo magnésiano. *:<0.05. Pontos são médias de quatro repetições.

Em experimento com aplicação de gesso agrícola tem sido observado aumento temporário nos teores de S-sulfato nas amostras de solo. Porém, sem efeito residual de um ano para outro, confirmando a alta mobilidade desse íon no perfil do solo, exigindo dessa forma, um sistema radicular mais profundo para absorção do S (NOGUEIRA & MELO, 2003). Assim, o baixo teor de P disponível no solo compromete não apenas o estabelecimento das plantas forrageiras, por meio do menor desenvolvimento, mas também de sua produtividade (devido à participação do S na composição de aminoácidos sulfurados, metionina, cisteína e cistina). Pois o S é fundamental para a síntese de proteínas, inclusive

enzimas, e também é componente da coenzima A (CoA) que participa do metabolismo de carboidratos e lipídeos (HAAG, 1984). Desse modo, a utilização de fertilização fosfatada se faz uma prática imprescindível para um bom estabelecimento e para adequada produção de forragem.

6.6.Principais conclusões sobre o cultivo de azevém anual ⁽⁶⁾

Em relação à MST, maior rendimento de MS foi obtido com o tratamento com SFT.

Foram observados maiores acúmulos de N, P, K, e Mg na fitomassa do azevém anual mediante o uso de TFM, e para os elemento Ca e S, devido à adição de SFT.

⁽⁶⁾ Extraído de Harkatin (2011). HARKATIN, S. **Rendimento e acúmulo de macronutrientes no azevém anual em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a fontes e doses de fósforo**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso em Zootecnia - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca. Do inglês: “HARKATIN, S. **Annual ryegrass yield and nutrients accumulations in crop-livestock integration after application of phosphorus sources and doses**. 2011. Course Conclusion Paper in Animal Science - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Adviser: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca.”

7. SOJA (2010-11), AVEIA PRETA (2011) E MILHO (2011/12)

7.1. Metodologia (resumida)

7.1.1. Atividades em campo

A soja (CV. BMX Apolo) foi semeada no dia 16 de novembro de 2010, utilizando-se espaçamento de 40 cm entre as linhas e densidade de aproximadamente 16 sementes por metro. O estande final médio de soja foi estimado em 369.271 plantas ha⁻¹.

Amostras de folha de soja foram coletadas para fins de diagnose foliar, amostrando-se 30 trifólios no estádio R3. Ainda, a fim de avaliar o acúmulo de nutrientes na cultura, foi colhido 1,0 m linear de plantas de soja no estádio R6 numa altura de corte de 5 cm do solo. Após, procedeu-se a separação das plantas inteira em folhas, haste e vagem, para que fosse avaliado o acúmulo dos nutrientes separadamente.

A soja foi colhida e trilhada no dia 29 de março de 2011. Foi determinado o rendimento de grãos expresso em 130 g kg⁻¹ de umidade. Para cada parcela, foram colhidas seis linhas centrais por 5,0 m de comprimento, perfazendo uma área total de 13,2 m².

Após a colheita da soja, foram realizados os procedimentos de coleta para análise de solo, onde amostras compostas de solo das camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm foram retiradas, mediante uso de trado calador, retirando-se 12 amostras simples para formar uma amostra composta. Depois de secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, as amostras de solo foram destorroadas, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm, sendo então chamadas de terra fina seca em estufa (TFSE).

Na sequencia (primeira semana de abril/2011), procedeu-se, na área experimental, a aplicação superficial dos fertilizantes fosfatados, seguido da semeadura da aveia preta (CV. IAPAR 61 - Ibiporã). Para a semeadura desta cultura foi utilizando espaçamento de 17 cm entre linhas e densidade de 250 sementes (puras viáveis) m⁻² (equivalente a 40 kg ha⁻¹ de sementes).

Quando a aveia preta atingiu 30 cm de altura (na última semana de maio/2011), foi iniciado o pastajo animal. O sistema adotado foi o pastejo rotacionado, considerando que os animais permaneceram na área cerca de 3-4 dias em cada bloco, situação tal que a aveia apresentava um resíduo de aproximadamente 15 cm de altura. As alturas de entrada e saída dos animais foi medida através do bastão graduado (sward stick).

A coleta para análise de fitomassa da aveia preta durante o pastejo foi realizada mediante amostragem com gaiolas de exclusão (duas gaiolas/parcela), fabricadas com ferro ½ polegada de diâmetro e fechadas com tela de arame de malha 5,0 cm. O procedimento para amostragem foi o da escolha, ao acaso, de áreas para alocação das gaiolas dentro das parcelas, desprezando 2,0 m de bordadura. Para cada parcela foram cortadas amostras da pastagem, em uma área equivalente a 0,34 m² nas ocasiões de entrada e saída dos animais, para obtenção da amostra pré e pós-pastejo, respectivamente, conforme método adaptado de Poli et al. (2008).

Depois do último pastejo (final da segunda quinzena de agosto/2011), foi deixado um período de 21 dias para recuperação da aveia preta visando acumular fitomassa para manutenção do sistema plantio direto. A dessecação da fitomassa de aveia preta com o herbicida glyphosate foi realizada no dia 05 de setembro de 2011.

A semeadura do milho (híbrido simples Pioneer 30F53) foi realizada no dia 04 de outubro de 2011, utilizando-se espaçamento de 85 cm entre as linhas e densidade de aproximadamente 5,5 sementes por metro. O estande final médio de milho foi estimado em 61.882 plantas ha⁻¹.

7.1.2. Atividades laboratoriais

Depois de coletas, as amostras de plantas (soja e aveia), estas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de lavagem, secagem, moagem e determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997). As amostras foram lavadas em água deionizada, secas em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante, moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados até a realização das análises químicas.

As concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinadas nas amostras de soja e estão sendo realizadas para as amostras de aveia preta. As análises para N foram determinadas mediante digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações das concentrações de P, K, Ca, Mg e S foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por EAM para P; EEC para K; EAA-chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S (MALAVOLTA et. al, 1997).

Todas as análises laboratoriais visando à determinação dos nutrientes nas plantas e à quantificação da umidade dos grãos foram (ou estão sendo) realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UEPG.

As amostras de TFSE serão analisadas em janeiro e fevereiro de 2012 visando determinar os seguintes atributos: (i) acidez ativa (pH) por potenciometria em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$; (ii) acidez potencial (H + Al) por potenciometria em solução tampão SMP; (iii) acidez trocável (Al trocável), Ca e Mg trocáveis em extratos de terra obtidos com solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, sendo as concentrações de Al trocável determinadas por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ e as concentrações de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica com atomização em chama (EAA-chama); (iv) K e P em extratos de terra obtidos com solução de Mehlich-1 e leitura por espectrofotometria de emissão em chama (EEC) para K e por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) para P; (v) S- SO_4^{2-} extraído com solução de fosfato monocálcico $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e com leitura por turbidimetria; (vi) determinação de CT, pelo método Walkley-Black, e de NT, mediante digestão sulfúrica e quantificação pelo método semi-micro-Kjeldahl. Com exceção das determinações de CT e NT, todas as demais serão realizadas conforme os procedimentos sugeridos por (PAVAN et al., 1992).

As determinações de CT e NT serão realizadas conforme (CANTARELLA et al., 2001) e (CANTARELLA & TRIVELIN., 2001), respectivamente. Serão determinadas ainda as concentrações de P mediante uso das soluções extratoras de Mehlich-1 (MEHLICH, 1984), Morgan modificado (MAGDOFF et al., 1999) e resina de troca iônica (VAN RAIJ et al., 1986), buscando selecionar o melhor procedimento de extração para prever a disponibilidade deste nutriente para sistemas mistos de produção de forragens e grãos.

Todas as determinações dos atributos químicos do solo serão realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo. As demais determinações serão realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas. No caso particular de uso do EAA-chama, será utilizado o equipamento que a UEPG dispõe no Laboratório Multiusuário da UEPG.

Os resultados para a soja e aveia foram submetidos à análise de variância e de regressão empregando-se os modelos linear, quadrático ou semi-log para dose de P (para cada uma das fontes) nas variáveis respostas (atributos do solo, rendimento de grão e rendimento forrageiro). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa estatístico SAS Versão 9.1.2 (SAS, 2004).

7.2.Principais resultados observados na cultura da soja

As concentrações de macronutrientes na soja por ocasião da diagnose foliar podem ser observadas na Tabela 5. Observam-se que os valores para N, Mg e S estão de acordo com as sugestões apresentadas em Malavolta et al. (1997), que seriam para de 45-55, 3-10 e 1,5-2,5 g kg⁻¹ para N, Mg e S, respectivamente. As concentrações médias P, K e Ca, no presente estudo (Tabela 5) encontravam-se acima daquelas consideradas normais para a cultura da soja, que seriam 2,6-5,0, 17-25 e 4-2 g kg⁻¹ para P, K e Ca, respectivamente. Essa situação, de maior concentração desses nutrientes na planta, demanda uma compreensão conjunta com a análise de solo, que será realizada na seqüência, podendo explicar melhor o fato. Entretanto, o estado nutricional da soja é reflexo de um conjunto de fatores, incluindo a oferta de nutriente no solo, as condições físicas do solo, as condições de clima e as diferenças varietais (LANTMANN et al., 1996).

Tabela 5. Efeitos de doses e fontes de fósforo sobre as concentrações foliares de macronutrientes na cultura da soja (2010-11).

Fonte	Doses	N	P	K	Ca	Mg	S
SFT	0	52,30	7,93	31,76	8,26	4,11	1,73
	60	56,52	8,18	31,00	9,54	4,49	1,91
	120	55,30	8,79	32,22	8,57	4,25	1,78
	180	52,97	8,69	31,37	8,72	4,28	1,73
		*ns	y=0,0048x + 7,4637 R ² = 0,82**		ns	ns	ns
FNR	0	52,30	7,93	31,76	8,26	4,11	1,73
	60	49,93	7,48	31,84	9,13	4,49	1,83
	120	50,14	7,85	30,50	9,16	4,24	1,80
	180	53,03	7,91	32,72	8,86	4,47	1,87
		ns	ns	ns	ns	ns	ns
TFM	0	52,30	7,93	31,76	8,26	4,11	1,73
	60	49,39	8,01	31,11	8,78	4,28	2,32
	120	48,96	8,10	31,47	8,13	3,99	2,07
	180	50,48	8,01	30,99	9,16	4,39	1,78
		ns	ns	ns	ns	ns	ns

*ns = não significativo

As quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas de soja podem ser observadas na Figura 24. Os acúmulos de N, K, Ca e S na planta inteira de soja não

foram alterados pelos tratamentos estudados (Figura 24). O acúmulo do nutriente fósforo (P) aumentou mediante o uso de SFT e TFM, mas não foi alterado pela adição de FNR. Esses resultados indicam, claramente, que o FNR tende a não ser sustentável para uso na ILP sob SPD para altos rendimentos de grãos. Desse modo, o sistema de produção estudado implica no uso de fertilizantes fosfatados solúveis, seja SFT ou TFM, para que o P-fertilizante atinja na parte aérea da planta de soja.

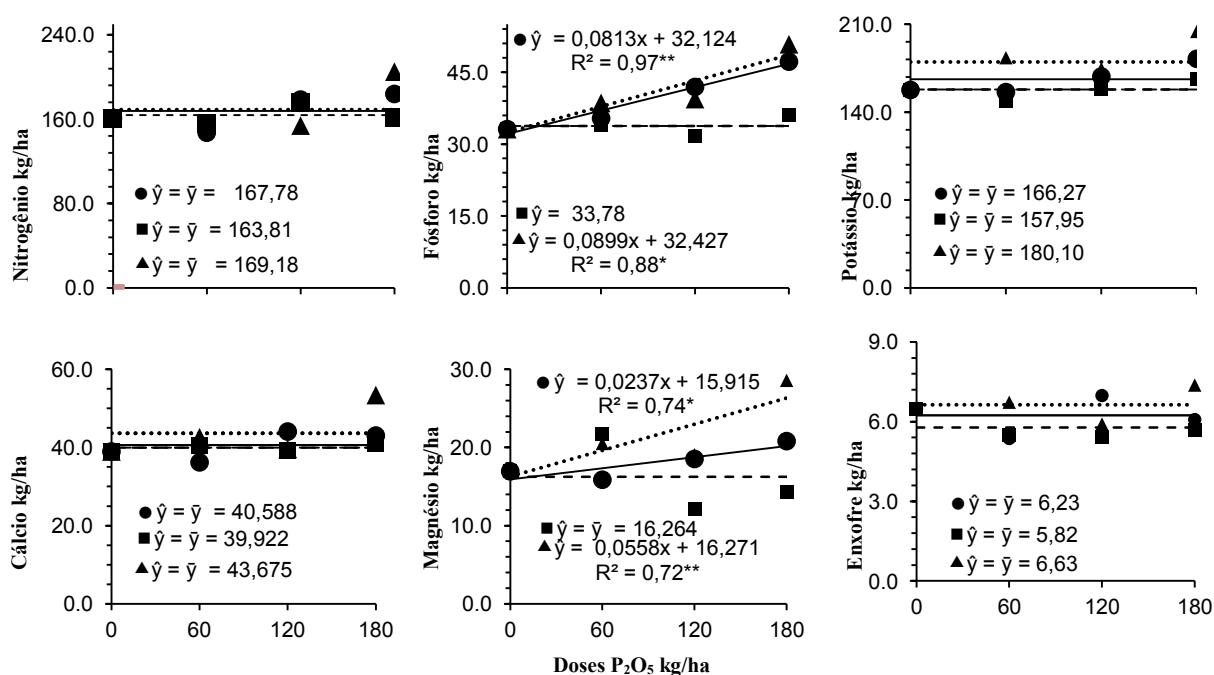


Figura 24. Efeito de fontes e doses de fósforo, aplicado antecipadamente na superfície do solo (por ocasião da semeadura do azevém) sobre o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas de soja (cultura subsequente) na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são médias de quatro repetições. (●) Superfosfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofosfato magnésiano. * e **: significativo $P < 0,05$ e $P < 0,01$ respectivamente.

O acúmulo de Mg na soja foi incrementado mediante o uso de doses de SFT e, principalmente, de TFM; todavia, o uso de doses de FNR não alterou o acúmulo deste nutriente (Figura 24). Maior acúmulo de Mg mediante o uso de fertilizantes fosfatados solúveis pode estar relacionado a melhoria do crescimento radicular proporcionado pela adição de P no sistema, incrementando a absorção de Mg. O efeito do TFM foi bem mais expressivo quando comparado ao SFT, pois o TFM possui Mg na sua composição e esta nutriente presente no adubo atingiu a parte aérea da cultura da soja. VAN RAIJ (1991) destacou que os termofosfatos são adubos eficientes em solos ácidos, sendo corretivos de acidez e fornecedores de magnésio, silício e cálcio, além de fósforo. Portanto, silício e fósforo remanescente na mesma solução que o fósforo

adsorvido no solo pode sofrer interferência do silício havendo uma competição entre os dois elementos pelos sítios de adsorção. Essa competição sugere que aplicações de termofosfatos magnesianos com a presença de silício possam deslocar fósforo dos sítios de adsorção aumentando o aproveitamento das adubações fosfatadas, apesar de o fósforo normalmente apresentar maior afinidade com sítios de adsorção (BRAIT, 2008).

A superioridade inicial do SFT em relação aos FNR foi reportada por Scholefield et al. (1999) e Oliveira Junior et al. (2008). Entretanto, com o passar do tempo, seria esperado menor efeito residual desta fonte em comparação aos FNR, os quais apresentam solubilização lenta e gradual (SCHOLEFIELD et al., 1999; RESENDE et al., 2006). Todavia, essas informações e expectativas são baseadas para sistemas simples de produção e não podem ser extrapoladas para sistemas integrados de produção (integração lavoura-pecuária).

As quantidades de macronutrientes exportados pelos grãos de soja podem ser vistos na Figura 25. Nota-se, portanto, que as doses de P não alteraram as quantidades exportadas de macronutrientes. Todavia, houve ligeira tendência para maior exportação de P e Ca mediante o uso de doses de SFT e decréscimo na exportação de Mg mediante o uso de FNR (Figura 25). A maior resposta do SFT em comparação ao FNR pode ser parcialmente explicada pelo efeito da ausência de revolvimento do solo no sistema plantio direto, pois isso favorece o efeito residual do fosfato solúvel (SOUZA et al., 2004). Por sua vez, a ausência de incorporação dos fosfatos naturais ao solo pode ter prejudicado a solubilização destes, devido ao pequeno contato de suas partículas com o solo (CORRÊA et al., 2005).

Conforme Lantmann et al. (1996), vários são os trabalhos que revelam ser a soja uma cultura com habilidade para aproveitar o efeito residual das fertilizações anteriores, sendo capaz de apresentar altos rendimentos em condições de baixa ou nenhuma adubação fosfatada, desde que a disponibilidade de P no solo esteja em níveis acima dos considerados críticos, estando os valores dentro do esperado.

O rendimento de produção dos grãos pode ser observado conforme a Figura 26. Observa-se desta forma, que não houve diferença entre as fontes e doses de P_2O_5 no aumento da produção de soja. Todavia, há tendência de maior rendimento de soja mediante o uso de TFM quando comparado às demais fontes (Figura 26).

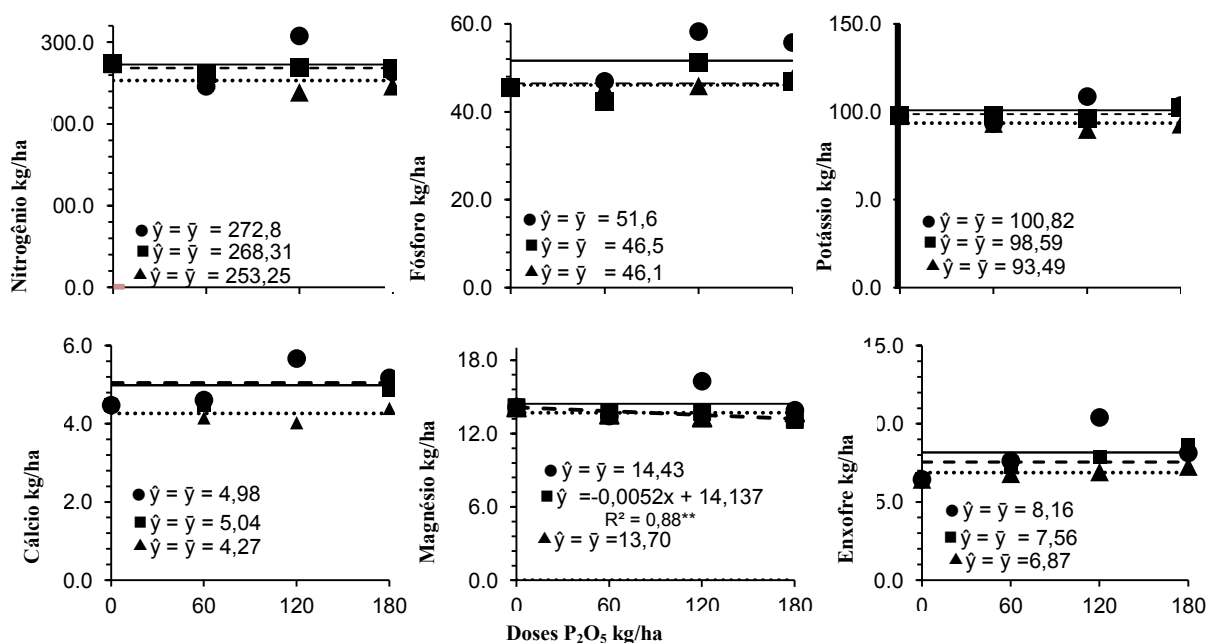


Figura 25. Efeito de fontes e doses de fósforo, aplicado antecipadamente na superfície do solo (por ocasião da semeadura do azevém) sobre os quantidades exportadas de N, P, K, Ca, Mg e S pela soja (cultura subsequente) na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são médias de quatro repetições. (●) Superfósfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofósforo magnésiano. *: significativo $P < 0,05$.

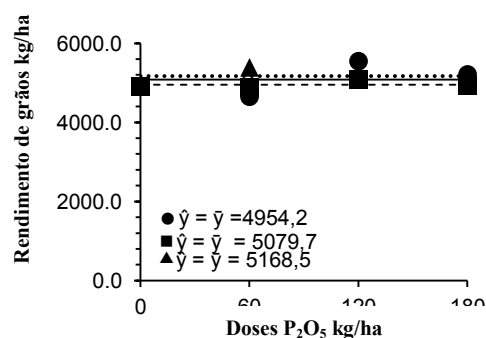


Figura 26. Efeito de fontes e doses de fósforo, aplicado antecipadamente na superfície do solo (por ocasião da semeadura do azevém) sobre o rendimento de grãos de soja na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são médias de quatro repetições. (●) Superfósfato triplo. (■) Fosfato natural reativo.

7.3.Principais resultados observados na cultura da aveia preta

Os rendimentos de massa seca em pré e pós-pastejo da aveia-preta podem ser observados na Figura 27. Ressaltando que os valores referentes ao pré-pastejo seriam as amostras coletas antes da entrada dos animais no piquete, ou seja, as que ficavam protegidas

dentro das gaiolas, não sendo acometidas pelos animais. Os resultados para pós-pastejo são valores obtidos a partir da coleta das amostras por ocasião da saída dos animais dos piquetes a uma altura média de 15 cm.

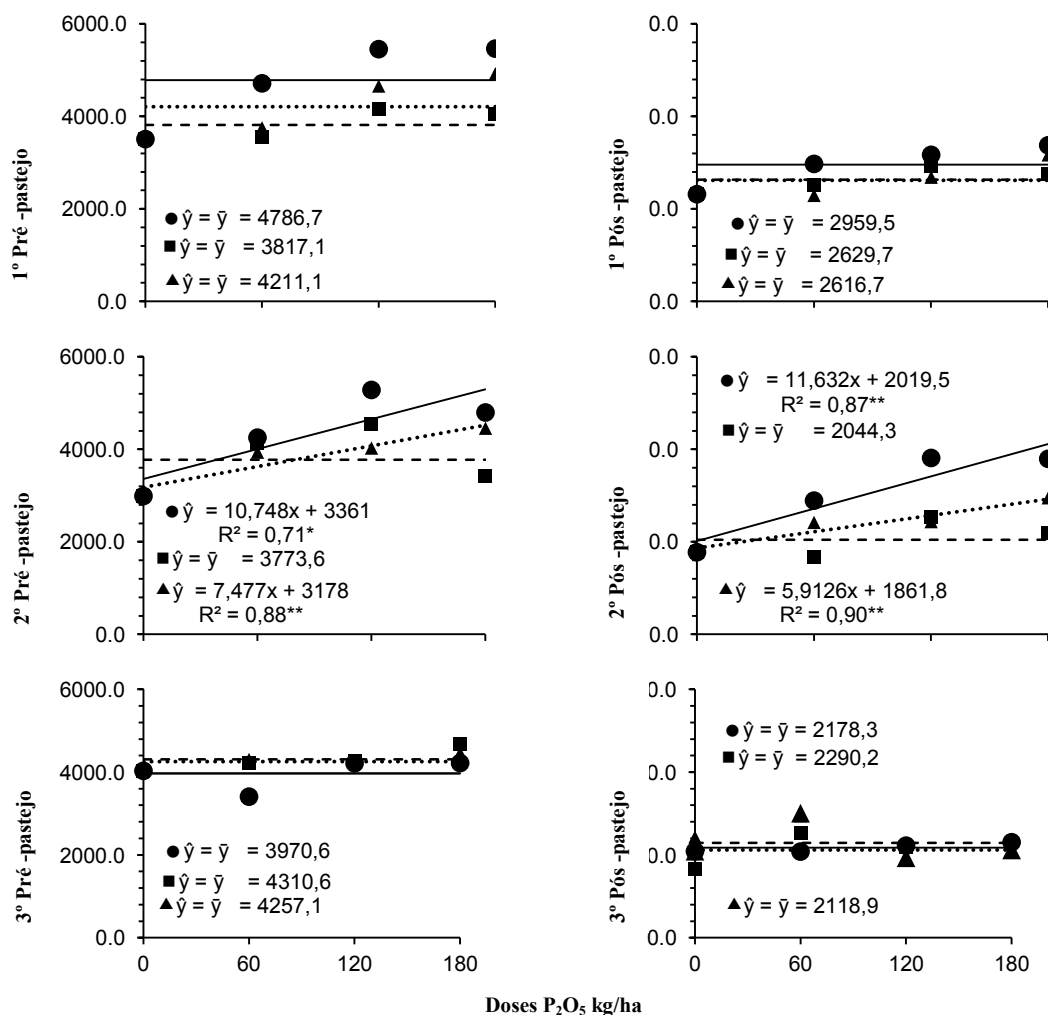


Figura 27. Efeito de fontes e doses de fósforo, aplicado na superfície do solo, sobre o rendimento de massa seca de aveia preta (pré e pós-pastejo) na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são médias de quatro repetições. (●) Superfosfato triplo. (■) Fosfato natural reativo. (▲) Termofosfato magnésiano.* e **: significativo a $P < 0,05$ e $P < 0,01$ respectivamente.

O rendimento de MS no primeiro e terceiro pré e pós-pastejo não apresentou diferença devido aos tratamentos empregados. Todavia, foi observado aumento linear no rendimento de MS no segundo pré e pós-pastejo ($P < 0,01$) devido à adição de doses de SFT e TFM. Este fato está dentro do esperado, pois o P é um nutriente fundamental no controle da emissão de folhas e perfilhos de gramíneas (GUEDES et al., 2009). Portanto, a sua aplicação, considerando a

alta solubilidade em água do SFT, não resultou em alterações no início, mas tais efeitos foram evidentes à medida que as plantas foram submetidas às situações de pastejo e perfilhamento. Essas observações estão condizentes com as encontradas por Ferreira et al. (2008). Entretanto, para o terceiro pré e pós-pastejo, observa-se que não houve incremento de massa seca devido à adição de SFT. Isto pode ser atribuído aos seguintes fatores: (i) no terceiro pastejo, houve tempo suficiente para a aveia preta desenvolver o seu sistema radicular, compensando a absorção de P; (ii) teores relativamente baixos de P no solo são suficientes para o crescimento da aveia preta, quando comparadas às culturas produtoras de grãos (culturas mais exigentes).

Com relação ao FNR, os rendimentos de MS não foram alterados pelas doses desse produto em nenhuma fase de pastejo. Esse fato está coerente, pois o FNR é insolúvel em água e apresenta baixa solubilidade em ácido cítrico. Portanto, os efeitos da aplicação de FNR normalmente são observados ao longo dos anos, em estudos de médio-longo prazo (RESENDE et al., 2006). Todavia, esses efeitos são questionáveis para sistema integrado de produção visando altos rendimentos tanto de grãos quanto de pastagem.

Para o TFM, os rendimentos de MS não foram alterados no primeiro e terceiro pré e pós-pastejo. Porém, foram observados incrementos lineares para o uso de doses de TFM no segundo pré ($P < 0,01$) e pós-pastejo ($P < 0,01$), respectivamente. Isso demonstra a alta eficiência de adubos com presença de silício pelas plantas. A maior eficiência do TFM é devida à liberação de P ser mais lenta que o SFT, diminuindo a probabilidade de adsorção de P nos colóides do solo (BEDIN et al., 2003), aumentando, portanto, sua disponibilidade no segundo pastejo. Outro fator pode ser atribuído ao silício, onde este elemento tende a sofrer adsorção mais rápida nos colóides do solo que o fosfato, deixando este nutriente mais disponível às plantas (CARVALHO et al., 2001). Além dessas possibilidades, há o fato, já apresentado anteriormente para a cultura da soja, onde o TFM possui Mg na sua composição e este nutriente atua como carregador de P na planta, favorecendo a absorção e aproveitamento do mesmo (MALAVOLTA, 1997).

A produção de fitomassa residual, a qual foi dessecada aproximadamente 20 dias antes da semeadura do milho, com objetivo de produção de palhada para manutenção do plantio direto, pode ser observada na Figura 28. Nota-se que não houve diferença entre os tratamentos. Portanto, as diferenças no rendimento de MS observadas nos primeiros pastejos (Figura 27) tendem a desaparecer ao longo do ciclo da aveia preta. Isso se deve à menor exigência desta cultura em P. Todavia, o mais importante em sistema integrado de produção

não seria aumento no rendimento de MS devido à fertilização fosfatada, mas sim, maior acúmulo deste nutriente na parte aérea da forragem, visando garantir adequado fornecimento de P ao longo do ciclo da cultura subsequente (planta cultivada com objetivo de produção de grãos – milho ou soja).

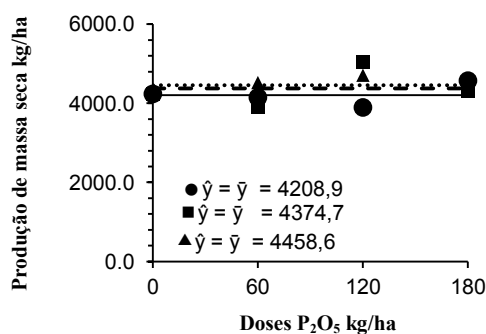


Figura 28. Efeito de fontes e doses de fósforo, aplicado na superfície do solo, sobre o a produção de aveia preta cerca de 20 dias após o último pastejo de inverno, na integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Pontos são médias de quatro repetições. (●) Superfósforo triplo. (■) Fosfato natural reativo.

Contudo, os rendimentos de MS observados no presente estudo encontram-se dentro do esperado para o cultivar IAPAR 61 Ibioporã. Esse cultivar pode atingir (durante o ciclo de 134 dias) rendimentos de 4728 e 8358 kg ha⁻¹ de MS, nas condições de cinco cortes e cultivo para cobertura do solo, respectivamente (IAPAR, 2010).

7.4. Situação atual da cultura do milho

A cultura do milho encontra-se no campo. Até o momento, apenas foi avaliado o estande. Na próxima semana ocorrerá o aparecimento da inflorescência feminina e proceder-se-á o início das avaliações e amostragens em campo.

7.5. Principais resultados observados na soja (2010-11) e na aveia preta (2011)

O uso de FNR tem se mostrado inviável do ponto de vista nutricional em sistema integrado de produção para altos rendimentos de grãos e forragem.

O uso de SFT e TFM tem se mostrado eficiente para sistema integrado de produção de grãos de soja e forragem de aveia preta.

O TFM tem proporcionado maior acúmulo de Mg nas plantas.

8. JUSTIFICATIVAS PARA CONTINUAÇÃO DOS ESTUDOS

O presente experimento tem mérito científico e aplicação prática direta para mais de 350.000 ha de lavouras na região dos Campos Gerais do Paraná. Ainda, o potencial de uso de adubação de sistema e integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil (similarmente ao adotado neste estudo) é de aproximadamente 12,5 milhões de ha.

Todavia, os dois primeiros anos de estudos não foram os que mais expressaram os tratamentos devido aos seguintes fatores:

- a) Nos anos de 2009 e 2010, a precipitação pluvial foi satisfatória para todas as culturas, sobretudo, adequada distribuição no período de cultivo de grãos de milho e soja.
- b) Os poucos períodos de estresse hídrico ocorreram coincidentemente nas épocas de cultivo de forragens de aveia preta e azevém anual (que plantas mais rústica quando comparadas ao milho e soja). Essas plantas recuperaram-se adequadamente durante seus ciclos, devido ao adequado manejo da forragem e aos altos teores de carbono orgânico total presentes no solo em questão.
- c) Por se tratar de estudo em solo sob sistema plantio direto estabilizado e com altos teores de carbono orgânico total, a reserva de fósforo orgânico no solo era considerável e, somente agora (2011-12) foi criado gradiente expressivo deste nutriente no solo. Todavia, esse fato representa a realidade da região, bem como das demais áreas de plantio direto (estabilizado) no Sul do Brasil. Daí a necessidade de estudos com fertilização fosfatada em plantio direto estabilizado se estender por médio-longo prazo para obtenção de resultados sólidos e conclusivos.

Sugere-se, portanto, a continuidade deste estudo devido aos seguintes motivos:

- a) Trata-se do único trabalho de adubação fosfatada em sistema integrado de produção no Sul do Brasil.
- b) O gradiente de P atual no solo é expressivo e o potencial de resposta vem aumentando, sobretudo, no cultivo da soja e do milho (cultura atual).
- c) Inicialmente, as respostas do SFT foram bem superiores e, atualmente, vem sendo similares e/ou inferiores ao TFM. Daí a necessidade de melhor entendimento da dinâmica da aplicação de TFM em plantio direto com ILP, visando adubar o sistema de produção.

- d) A aplicação superficial e antecipada de fosfatos é fato pouco conhecido cientificamente. Os resultados preliminares deste estudo indicam que podem ser obtidos rendimentos de aproximadamente 12 Mg ha⁻¹ de grãos de milho e 5,0 Mg ha⁻¹ de grãos de soja, além de ganho de peso animal superior a 1.100 g animal⁻¹ dia⁻¹ com aplicação superficial de SFT e TFM. Todavia, essas informações necessitam ser mais refinadas e melhor estudadas para dar mais suporte às equipes técnicas em campo.
- e) Devido à quantidade de informações geradas no presente trabalho, sugere-se oportunidade para divulgação dos resultados na sede da Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais (AEACG), em Ponta Grossa (PR). Nesse evento haverá presença de técnicos do Grupo ABC, consultores independentes (Grupo GATE), pesquisadores da Fundação ABC da área de Solos e Nutrição de Plantas (Dr. Gabriel Barth) e de Forragicultura (ME. Igor Quirrenbach de Carvalho). Esse evento poderia ser realizado, com sucesso, no mês de março/2012, em data a combinar.
- f) Finalmente, alguns mitos e fatos sobre adubação de sistema e aplicação superficial de fosfatos estão sendo melhores estudados, visando aumentar a eficiência de uso de fósforo em sistema de produção. Daí a necessidade de continuidade deste estudo até março de 2015 (período que completaria seis anos de estudo em campo).

9. PROGRAMAÇÃO PARA OS PRÓXIMOS ANOS (2012-2015)

Atualmente a cultura que se encontra no campo é milho. Pretende-se colher essa cultura na primeira quinzena de março de 2012. Na sequência, proceder-se a amostragem de solo, aplicação superficial dos fosfatos, cultivar azevém anual (2012), soja (2012/13), aveia preta (2013), milho (2013-14), azevém anual (2014) e encerrar o estudo com a cultura da soja (2014/15).

Artigos científicos estão sendo preparados para abordar todos os aspectos técnicos científicos de fertilidade do solo e nutrição de plantas das culturas de aveia preta (2009), milho (2009/10), azevém anual (2010) e soja (2010/11). Esses artigos serão submetidos para periódicos científicos com corpo editorial de alto impacto. Ao final do projeto, serão redigidos artigos científicos englobando os seis anos de estudos, incluindo análises de componentes principais e programação linear.

O presente projeto tem permitido treinamento de alunos de iniciação científica e de mestrado. Pretende-se, nos anos de 2012-2015 trabalhar com a seguinte equipe neste projeto: (i) dois alunos de iniciação científica (01 bolsista da Yoorin Fertilizantes e 01 bolsista do IPND); (ii) dois alunos de mestrado (01 bolsista da Fundação Araucária e 01 bolsista da CAPES); e (iii) um aluno de doutorado (bolsista da CAPES).

Anualmente poderão ser realizados eventos técnicos ou dia de campo para divulgação dos resultados junto aos associados do Grupo ABC. A divulgação deste projeto é, na nossa concepção, tão importante quanto a geração dos dados e publicação destes em periódicos de alto impacto.

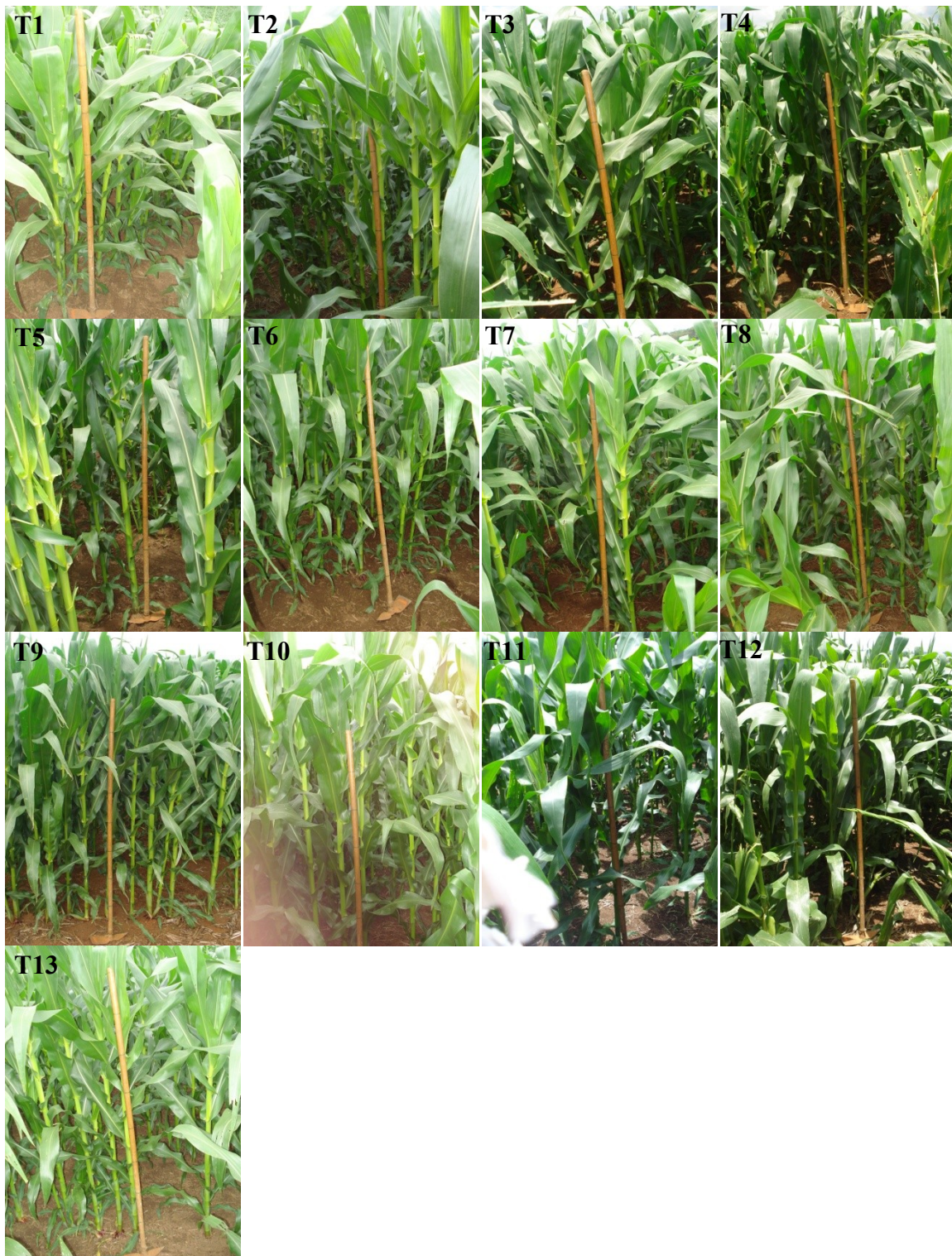
10. ANEXOS



Anexo 1. Manejo animal em área de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto, Fazenda Capão do Cipó, município de Castro (PR). A: detalhe mostrando a cultura da aveia preta (cv. IAPAR 61 Ibiporã) antes e após o pastejo animal, separado apenas por cerca elétrica de um fio. B: bovinos de corte das raças Canchim, Canchim X Angus e Simental X Brangus realizando o pastejo aos 55 dias após a emergência da aveia preta. Foto: Fonseca (2009).



Anexo 2. Vista geral do experimento aos 60 dias após a emergência do milho híbrido simples Pioneer 30F53, Fazenda Capão do Cipó, município de Castro (PR). Foto: Fonseca (2009).



Anexo 3. Fotos de plantas dos tratamentos T1-T13 aos 60 dias após a emergência do milho híbrido simples Pioneer 30F53, Fazenda Capão do Cipó, município de Castro (PR). Foto: Fonseca (2010).



Anexo 4. Vista geral do experimento durante o cultivo de azevém anual (2010). Nos detalhes podem ser visualizados os animais pastejam, diferenças entre as áreas pastejadas e em pastejo, gaiolas de exclusão (metodologia padrão utilizada para avaliação do rendimento de forragem submetida a pastejo) e fezes de animais (fator que altera a ciclagem de nutrientes nesse sistema de produção). Foto: Equipe de Nutrição de Plantas da UEPG (2010).



Anexo 5. Vista geral do experimento durante o cultivo de soja (2010-11). Plantas nos diferentes estágios: inicial, floração e no momento da colheita. Foto: Equipe de Nutrição de Plantas da UEPG (2010).



Anexo 6. Vista geral do experimento durante o ciclo da aveia preta (2011). Detalhes do pastejo animal, corte para avaliação da fitomassa e acúmulo de nutrientes, qualidade do pasto e diferenças entre áreas pastejadas e não pastejadas. Foto: Equipe de Nutrição de Plantas da UEPG (2010).



Anexo 7. Vista geral do experimento que se encontra com milho (2011-12). No detalhe, a planta encontrava-se com 20 dias após a emergência – momento que foi avaliado o estande e aplicado nitrogênio em cobertura. Foto: Equipe de Nutrição de Plantas da UEPG (2010).

10.1. Determinação de outros atributos de solo visando melhor caracterização da área no início do experimento

10.1.1. Análises físicas das amostras de solo

A partir da TFSA procedeu-se à análise granulométrica, mediante o emprego do método da pipeta, utilizando solução de NaOH $0,1\text{mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação por 16 horas, conforme Embrapa (1997).

As amostras indeformadas, após a toaleta, foram lentamente umedecidas por elevação gradual de uma lâmina de água até a completa saturação das mesmas e procedeu-se a determinação do volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo. O volume total de poros foi determinado pela expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho (macro e microporosidade) foi determinada nas amostras com estrutura indeformada, utilizando-se tensão de 5,88 kPa, conforme Grohmann (1960). Na seqüência, as amostras indeformadas foram secas a 105°C durante 24 horas e procedeu-se a determinação da densidade do solo, conforme Blake & Hartge (1986).

Nos agregados (60 por bloco) foram sendo realizadas as medidas de resistência tênsil (RT). Cada agregado foi pesado individualmente, para a determinação da umidade gravimétrica e, em seguida, submetido a um teste de tensão indireta, para a determinação da RT. Para medir a tensão dos agregados, foi utilizado um dinamômetro digital eletrônico de precisão, composto por célula de carga de pressão máxima de 0,20 kPa e conectado a um microcomputador para a aquisição e armazenamento dos dados. A resistência tênsil foi medida utilizando-se o procedimento descrito por Imhoff et al. (2002) e testado por Giarola et al. (2003).

Todas as determinações laboratoriais dos atributos físicos do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da UEPG. A próxima avaliação dos atributos físicos do solo será realizada aos 36 meses após o início do experimento (abril/2012).

10.1.2. Análises microbiológicas

Para a análise da respirometria, foram incubados 100 g de cada amostra em frascos hermeticamente fechados contendo 20 mL de solução de NaOH $0,5\text{mol L}^{-1}$ em béquer para capturar o dióxido de carbono (CO_2) liberado. As amostras tiveram suas respectivas

concentrações de água ajustadas para 60% da máxima capacidade de retenção de água (CRA). A quantificação do CO₂ foi feita por titulometria da solução de NaOH remanescente com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, em períodos estabelecidos durante oito dias (ALEF, 1995).

A biomassa microbiana de carbono (BMC) foi estimada pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987). Duas alíquotas de 25 g de solo foram pesadas e uma delas fumigada por 24 horas a 25°C com clorofórmio livre de etanol, após correção da umidade das amostras para 60% da máxima CRA. Após 24 horas de fumigação, foi realizada a extração com solução de sulfato de potássio 0,5 mol L⁻¹ e filtração. O carbono orgânico no extrato das duas alíquotas de solo foi quantificado pela oxidação com solução de dicromato de potássio e titulação do remanescente com sulfato ferroso amoniacal (ANDERSON & INGRAM, 1993). A BMC foi calculada com base na diferença entre o C da amostra fumigada e o da amostra não fumigada, utilizando-se um fator KC = 0,33. O coeficiente metabólico (q_{CO_2}) (ANDERSON & DOMSCH, 1993) será calculado pela razão entre a quantidade de CO₂ desprendida em 24 horas e a biomassa microbiana.

As atividades das fosfatases ácida e alcalina foram sendo avaliadas com base na hidrólise da solução *p*-nitrofenil fosfato 0,05 mol L⁻¹ como substrato (TABATABAI & BREMNER, 1969), sendo as amostras de solo incubadas no respectivo tampão (pH 6,5 e 11) a 37°C por uma hora. Após a paralisação da reação com CaCl₂ e NaOH, a mistura foi filtrada e o *p*-nitrofenol quantificado por EAM. A atividade da desidrogenase foi avaliada, conforme Casida (1977).

Todas as análises microbiológicas (e bioquímicas) do solo foram realizadas no Laboratório de Ecologia Microbiana da UEL, mediante parceria desta instituição com a UEPG. Salienta-se que as análises microbiológicas foram realizadas no início e aos 12 meses após o início do experimento.

10.2. Resultados da caracterização da área

Na Tabela 6 são apresentados os valores de taxa diária de liberação de CO₂ (respirometria) e biomassa microbiana de carbono (BMC) por ocasião da instalação do experimento (tempo zero). Valores similares de respirometria e BMC têm sido comumente observados em outros experimentos sob SPD estabilizado, como relatado em Giacomini et al. (2008) e Silva et al. (2007), respectivamente.

Tabela 6. Taxa diária de liberação de dióxido de carbono (CO₂) e biomassa microbiana de carbono (BCM) na camada 0-10 cm do solo por ocasião da instalação do experimento (abril/2009).

Tratamento ⁽¹⁾	Taxa diária de liberação de CO ₂ do solo ($\mu\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$)			BMC ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
	Média	Desvio	CV ⁽²⁾	Média	Desvio	CV
T1	51	10,4	20,6	654	239	36,5
T2	57	2,1	3,7	706	51	7,2
T3	51	10,2	20,3	537	84	15,6
T4	48	11,0	22,6	622	96	15,5
T5	60	10,7	18,0	575	104	18,0
T6	61	10,9	18,0	622	73	11,7
T7	43	4,7	11,1	681	93	13,6
T8	58	8,4	14,5	604	93	15,3
T9	58	6,2	10,7	609	88	14,4
T10	54	15,2	28,0	579	292	50,4
T11	44	9,6	21,8	562	167	29,7
T12	52	4,3	8,3	713	138	19,4
T13	51	9,1	17,7	518	119	22,9

⁽¹⁾ Essa amostragem foi realizada no tempo zero, ou seja, os tratamentos ainda não haviam sido empregados.

⁽²⁾ Coeficiente de variação, expresso em porcentagem (%).

Com relação aos atributos físicos, o solo da área experimental apresenta textura argilosa a muito argilosa (Tabela 7), baixa densidade e alta porosidade total (Tabela 8). Essa baixa densidade se deve à textura argilosa-muito argilosa e, principalmente, devido ao fato de ser um solo sob SPD estabilizado, apresentando elevadas concentrações de matéria orgânica, sobretudo, na camada superficial (dados não apresentados). De acordo com Libardi (2000), solos com alta concentração de argila, nas condições normais de manejo, geralmente apresentam densidade inferior a 1200 kg m^{-3} e têm alta porosidade total. Ainda, o incremento de matéria orgânica no solo (por exemplo, devido ao SPD) resulta em diversas melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos, inclusive, diminuição e aumento da densidade e porosidade total, respectivamente (Lal, 2004).

Tabela 7. Resultados de análises granulométricas das parcelas (17 x 25 m) do experimento em um Cambissolo Háplico, localizado na Fazenda Capão do Cipó, município de Castro (PR).

Tratamento	Areia (g kg ⁻¹)			Silte (g kg ⁻¹)			Argila (g kg ⁻¹)		
	Média	Desvio	CV ⁽¹⁾	Média	Desvio	CV	Média	Desvio	CV
<i>Camada 0-10 cm</i>									
T1	217	45	20.7	183	34	18.5	600	16	2.7
T2	271	50	18.6	194	70	36.0	535	100	18.7
T3	276	73	26.5	184	34	18.5	540	85	15.7
T4	281	74	26.2	169	36	21.2	550	81	14.7
T5	284	90	31.8	181	27	15.2	535	85	16.0
T6	308	94	30.6	167	28	17.0	525	75	14.4
T7	272	71	26.1	148	21	13.9	580	59	10.2
T8	289	64	22.1	151	16	10.4	560	49	8.7
T9	248	36	14.5	167	32	19.4	585	41	7.0
T10	248	39	16.0	167	41	24.6	585	38	6.5
T11	235	25	10.8	175	35	19.7	590	26	4.4
T12	233	30	12.8	187	19	10.3	580	16	2.8
T13	232	31	13.4	178	37	20.6	590	35	5.9
<i>Camada 10-20 cm</i>									
T1	198	50	25.3	167	58	34.9	635	47	7.4
T2	264	37	14.0	112	50	44.9	625	66	10.6
T3	263	90	34.1	177	25	14.2	560	71	12.7
T4	255	82	32.2	126	24	19.1	620	63	10.2
T5	261	92	35.2	164	41	25.2	575	84	14.6
T6	267	95	35.5	128	27	20.9	605	100	16.5
T7	249	75	30.2	132	14	10.4	620	65	10.5
T8	271	70	25.9	129	28	21.4	600	43	7.2
T9	232	57	24.4	143	33	22.9	625	30	4.8
T10	212	50	23.6	158	13	8.1	630	38	6.1
T11	221	42	18.8	139	18	12.7	640	43	6.8
T12	210	34	16.2	141	25	18.0	650	53	8.1
T13	223	34	15.3	152	53	35.1	625	44	7.1

⁽¹⁾ Coeficiente de variação, expresso em porcentagem (%).

Tabela 8. Densidade do solo e porosidade total nas camadas 0-10 e 10-20 cm da área aos 40 dias após a instalação do experimento, antes do primeiro pastejo animal.

Tratamento	Densidade (kg m ⁻³)			Porosidade total (%)		
	Média	Desvio	CV ⁽¹⁾	Média	Desvio	CV
<i>Camada 0-10 cm</i>						
T1	992	75	7,5	64,6	1,8	2,8
T2	978	71	7,3	63,3	4,0	6,3
T3	1015	104	10,3	63,2	4,6	7,3
T4	1012	72	7,1	63,7	2,8	4,5
T5	1001	108	10,8	62,8	4,6	7,4
T6	1011	100	9,8	62,0	2,2	3,6
T7	1040	83	7,9	64,4	3,6	5,6
T8	1045	47	4,5	63,4	2,3	3,6
T9	969	51	5,3	64,6	3,9	6,0
T10	980	57	5,8	65,1	1,4	2,1
T11	978	16	1,6	62,6	3,7	6,0
T12	999	36	3,6	64,4	2,1	3,2
T13	1004	61	6,1	64,6	2,9	4,6
<i>Camada 10-20 cm</i>						
T1	1084	20	1,8	61,8	2,5	4,0
T2	1089	82	7,5	59,4	0,8	1,4
T3	1073	72	6,7	59,0	2,4	4,1
T4	1116	75	6,7	61,1	3,4	5,5
T5	1139	50	4,4	59,2	3,5	5,9
T6	1143	56	4,9	60,9	1,8	3,0
T7	1112	71	6,4	60,4	1,6	2,7
T8	1092	77	7,0	60,5	2,8	4,7
T9	1085	73	6,8	60,2	1,7	2,8
T10	1092	41	3,7	61,0	2,0	3,2
T11	1036	32	3,1	63,4	2,8	4,5
T12	1111	73	6,6	62,3	0,4	0,7
T13	1111	13	1,2	63,3	2,5	4,0

⁽¹⁾ Coeficiente de variação, expresso em porcentagem (%).

De modo geral, os atributos físicos estudados indicam que, até o momento, o solo apresenta boas características agronômicas e não há fator limitante ao desenvolvimento radicular das plantas. Ainda, devido ao alto teor de matéria orgânica (Tabela 1) e à textura argilosa-muito argilosa, a quantidade de microporos é bem superior à dos macroporos (Tabela 9), indicando que o solo possui boas condições para armazenamento de água (Libardi, 2000). Salientamos que no próximo relatório haverá mais informações sobre a caracterização física desse solo, permitindo monitorar adequadamente, ao longo do tempo, o efeito do pastejo animal sobre a qualidade física do solo.

Tabela 9. Macro e microporosidade do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm da área aos 40 dias após a instalação do experimento, antes do primeiro pastejo animal.

Tratamento	Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
	Média	Desvio	CV ⁽¹⁾	Média	Desvio	CV
<i>Camada 0-10 cm</i>						
T1	24,9	4,4	17,6	39,7	4,5	11,3
T2	24,8	4,5	18,0	38,5	1,2	3,2
T3	25,1	5,4	21,7	38,2	3,1	8,2
T4	26,1	2,7	10,3	37,6	2,4	6,4
T5	23,7	5,0	20,9	39,1	2,9	7,5
T6	22,5	4,3	19,2	39,5	2,3	5,8
T7	25,2	2,8	10,9	39,2	2,9	7,3
T8	24,3	3,3	13,5	39,0	2,4	6,1
T9	26,9	5,5	20,3	37,7	2,2	5,9
T10	25,0	3,4	13,7	40,1	3,5	8,6
T11	24,8	3,5	14,0	37,8	1,5	4,0
T12	23,5	2,4	10,2	40,8	3,6	8,9
T13	24,0	3,1	12,8	40,5	3,6	8,9
<i>Camada 10-20 cm</i>						
T1	19,9	1,9	9,5	41,9	4,2	9,9
T2	19,3	1,4	7,4	40,1	1,6	4,0
T3	22,9	4,0	17,4	36,1	4,2	11,7
T4	20,3	1,4	7,0	40,8	3,6	8,8
T5	17,9	1,6	9,0	41,4	4,1	10,0
T6	19,9	3,8	19,0	41,0	2,1	5,1
T7	20,6	2,6	12,4	39,9	3,0	7,6
T8	21,7	3,3	15,1	38,8	2,0	5,2
T9	20,4	3,9	19,1	39,8	2,4	6,1
T10	20,3	1,2	6,0	40,7	1,1	2,7
T11	22,9	3,6	15,5	40,5	3,5	8,7
T12	21,0	6,1	28,8	41,3	6,1	14,7
T13	20,8	2,8	13,3	42,5	3,3	7,8

⁽¹⁾ Coeficiente de variação, expresso em porcentagem (%).

10.3. Estimativa do desempenho animal

No outono-inverno de 2009, os animais (raças Canchim, Canchim X Angus e Simental X Brangus) foram pesados mensalmente e apresentaram ganho médio diário (GMD) de 710 g animal⁻¹ dia⁻¹. Esse valor de GMD foi menor que o observado (812 g animal⁻¹ dia⁻¹) por Macari et al. (2006), provavelmente, devido ao déficit hídrico que houve no início do desenvolvimento da cultura, afetando o seu rendimento e qualidade para o pastejo animal. Todavia, o GMD observado no presente estudo está coerente com o potencial forrageiro da

aveia preta (cv. IAPAR 61 Ibiporã). Grise et al. (2002) estudaram esse cultivar sob condições de distintas de altura de pastejo e observaram GMD de 497 a 1017 g animal⁻¹ dia⁻¹, conforme o manejo adotado.

No outono-inverno de 2010, o ganho de peso animal ultrapassou 1.100 g dia⁻¹, devido ao fato de as condições nutricionais das plantas terem sido adequadas (conforme discutido nos capítulos anteriores) e ainda, a forrageira cultivada ter sido azevém anual – forrageira com qualidades bromatológicas bem superiores a aveia preta (planta cultivada em 2009).

Os dados do outono-inverno de 2011 estão sendo compilados e serão apresentados no próximo Relatório Anual.

11. REFERÊNCIAS

- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.214-219.
- ANDERSON, T.H., DOMSCH, K.H.. The metabolic quotient form CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- ANDERSON, J.M., INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB international, Wallingford. 1993. 240p.
- AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p. 101-108, 1994.
- ALMEIDA, J.A, ERNANI, P.R e MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.29, p.651-656, 1999.
- ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; COUTINHO, E.M.L.; Produção de milho em plantio direto com adubaçãonitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1691-1698, 2008.
- ARAUJO, F. F.; TIRITAN, C.S.; PEREIRA, H.M.; JUNIOR, O.C. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.507-511, 2008.
- ARATANI, R.G.; FREDDI, O. da S., CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I.; Qualidade física de um latossolo vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.
- ARGENTA, G.; DA SILVA, P.R.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BOHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho a redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.71-78, 2001.
- ASSMANN, T.S.; ASSMANN, J.M.; CASSOL, L.C.; DIEHL, R.C.; MANTELI, J.M.; MAGIERO, E.C.; Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1515-1523, 2007.
- ASSMANN, A.L.; ASSMANN, T.S.; SOARES, A.B. **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: IAPAR, 2008. 49p.
- ASSMANN, T.S.; JÚNIOR RONZELLI, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A.L.; KOEHLER, H.S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 675-683, 2003.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, p.1925-1933, 2009.
- BARBOSA FILHO, M.P. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Informações Agronômicas**, n.28, p.12, 1984.
- BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.26, p.151-156, 2002.

- BARTHAM, G.T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. **Hill Farming Research Organization/Biennial Report**. p.30, 1985.
- BAZIRAMAKENGA, R. SIMARD, R.R. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.557-561, 1998.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.27, p.639-646, 2003.
- 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**, v.28, p.1045-1054, 2004.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, pp.363-375.
- 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.
- BORKET, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, L.R.; JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.143-153, 2003.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BRAIT, M.A.H. **Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás – UFG. Jataí - GO, 2008.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p.357-364, 2002.
- CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as function of lime and gypsum applications. **Ciência Agronômica**, v.63, p.370-379, 2006.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSHENER, H. Partitioning of shoot and root dry carbohydrate in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.45, p.1245-1250, 1994.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solo. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. pp.262-276.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; VAN RAIJ, B. Determinação da matéria orgânica. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. pp.173-180.
- CARAMBULA, M. **Produccion y manejo de pasturas sembradas**. Montevideo: Hemisfério Sur, 1977.
- CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; DAMACENA, E.S.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; da SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; WESP, C.L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. 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.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interação silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.557-565, 2001.

CASIDA, L.E. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 4, p.630-636, 1977.

CHIEN, S.H. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock: a general review. In: **International Meeting on direct application of the phosphaterock and related tecnologia: latest developments and practical experiences**, 2001, Kuala-Lumpur, Malasia.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Dordrecht**, v.41,p.227-234, 1995.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento, média de rendimento de milho no Brasil. Disponível em <www.conab.gov.br/conteudos>. Acesso em:1 nov.2011.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; SOUZA, S.K.S.; FREIRE, F.J. & SILVA, G.B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agricola**, 62:159-164, 2005.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; STUPIELO, J.J.; CARNIER, P.E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, v.19, p.93-1104, 1991a.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A.S.; SITTA, D.S. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1393-1399, 1991b.

COUTO, W.; LEITE, G.; SANZONOWICZ, C. The effectiveness of three phosphorus sources for pasture fertilization in a Cerrado soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.423-430, 1989.

CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M.; CASSIA, R.; ALVAREZ, F.; LIMA, E.V.; TIRITAN, C.S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, v.64, p.643-649, 2005.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. v.1, pp.443-461.

DA SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em latossolo da região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.697-704, 2006.

DA SILVA, F.N.; FURTINI, A.E.; CARNEIRO, L.F.; MAGALHÃES, C.A.S.; CARNEIRO, D.N.M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1220-1227, 2009.

DE ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.515-522, 2005.

DE SOUZA, F. S.; FARINELLI, R.; ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, p. 387-392, 2007.

DOS SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, p.576-586, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <www.embrapa.br>. Acesso em: 1 nov. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, p.939-946, 2001.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDPD) - Evolução da área cultivada em plantio direto. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/download/informativoB>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PERREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, p.131-138, 2001.

FERREIRA, E.M.; SANTOS, A.C.; ARAUJO, L.C.; CUNHA, O.F.R. Características agronômicas do *Panicum maximum* cv. Mombaça submetido a níveis crescentes de fósforo. **Ciência Rural**, v.38, p.484-491, 2008.

FIRME, D.J.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural. II. Testes biológicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.14, p.249-259, 1990.

FLARESSO, J.A.; GROSS, C.D.; ALMEIDA, E.X. Epoca e densidade de semeadura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb. e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, p.1969-1974, 2001.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, F.P.C.D.; LEITE, J.G.D.B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.

FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, F.P.C.D. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2385-2396, 2008.

FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S.; CALONEGO, J.C.; JUNIOR, J.A.; Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p.1147-1155, 2008.

FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1721-1732, 2009.

FRESCO, L.O. plant nutrients: what we know, guess and not know. **Agriculture Conference: Global Food Security and the Role of Sustainability Fertilization**. Rome - ITA, IFA/FAO, p.8, 2003.

FRANCO, H.C.J. **Avaliação agrônômica de fontes e doses de fósforo para o capim Tifton-85**. 2003. 97f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, São Paulo, 2003.

FUNDAÇÃO ABC, **Dados climáticos**, Castro-PR, Brasil, 2011.

GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Ames, Iowa: Iowa University Press, 1985. 327p.

GIACOMINI, S.J., AITA, C.; MIOLA, E.C.C.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2661-2668, 2008.

GIAROLA, N.F.B.; DA SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A.R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**, v.113, p.95-108, 2003.

GOEDERT, W.J. Management of the cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, v.34, p.405-428, 1983.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.25, p.521-530, 1990.

GOMIDE, J. A. Fatores de produção de leite a pasto. In: Congresso Nacional dos Estudantes de Zootecnia. **Anais**. Viçosa - MG. v.1, p.32, 1998.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. Importance of early season phosphorus nutrition. **Better Crops**, v.85, p.2.

GRISE, M.M.; CECATO, U.; MORAES, A.; FACCIO, P.C.C.; CANTO, M.W.; JOBIM, C.C.; RODRIGUES, A.M. Avaliação do desempenho animal e do pasto na mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) e ervilha forrageira (*Pisus arvense* L.) manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1085-1091, 2002.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.19, p.319-328, 1960.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, p.189-204, 2005.

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

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de forrageiras no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1984, 152p.

HERRERO, M.; THORNTON, P.K.; NOTENBAERT, A.M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H.A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; VAN DE STEEG, J.; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v.327, p.822-825, 2010.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1656-1661, 2002.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina-PR, p.45, 1994.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Aveia preta Iapar 61 Iporã**. Disponível em: <www.cppse.embrapa.br/arquivos> Acesso em 5 de mai. de 2010.

KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Núcleo Regional Sul), 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)

KEULEN, V.H.; SCHIRE, H. Crop-livestock systems: old wine in new bottles. **Proceedings of the International Crop Science**, Brisbane-AUS, 26sep-01oct, 2004.

KORNDÖRFER, G.A.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças de cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, n.70, p.1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G.H.; LARA-CABEZAS, W.A. HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, v.56, p.391-396, 1999.

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation & Development**, v.17, p.197-209, 2006.

LANTMANN, A.F.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; BORKET, C.M. Produtividade e análise de alternativas para nutrição da soja em latossolo roxo distrófico sob semeadura direta. In. Embrapa soja. **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja-2000**. Londrina, 2000. pp.12-15.

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic potencial of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.798-802, 1986.

LESAMA, M. F.; MOOJEN, E. L. Produção animal em gramíneas de estação fria com fertilização nitrogenada ou associadas com leguminosa, com ou sem fertilização nitrogenada. **Ciência Rural**, v.29, p.123-128, 1999.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: Paulo Leonel Libardi, 2000. 509p.

LINDSAY, W. I. Chemical equilibria in soils. **John Wiley**, New York-USA, 1979, 449p.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P.C.F.; TREIN C.R.; COSTA, J.A.; CAUDURO, G.F.; BARBOSA, C.M.P.; AGUINAGA, A.A.Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidade de pastejo. **Ciência Rural**, v.38, p.795-801, 2008.

MA, J. F.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organics acids. **Trends in Plant Science**, v.6, p.273-278, 2001.

MAACK, R.; BODZIACK, JR. C. Contribuição ao conhecimento dos solos dos campos gerais do estado do Paraná. **Arquivo de Biologia e Tecnologia**, v.1, p.197-214, 1946.

MACARI, S.; ROCHA, M.G.; PILAU, J.R.A.; FREITAS, F.K.; NEVES, F.P. Avaliação da mistura de cultivares de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) sob pastejo. **Ciência Rural**, v.36, p.910-915, 2006.

MACHADO, M.O.; VIANNA, A.C.T.; CASALINHO, H.D. Calcário e fontes e doses de fósforo: influência no rendimento da soja e na química do solo Pelotas (Alfissolo). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.721-727, 1983.

MAGDOFF, F.R.; HRYSHKO, C.; JOKELA, W.E.; DURIEUX, R.P.; BU, Y. Comparison of phosphorus soil test extractants for plant availability and environmental assessment. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p.999-1006, 1999.

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

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), Disponível em: <<http://www2.cead.ufv.br/espacoProdutor>>. Acesso em 30 abr. 2011.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.163-170, 2006.

MARINS, V. R.; DE PAULA, F.J.F.; ROCHA, C.A.S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuários do rio Jaguaribe costa nordeste oriental Brasileira. **Química Nova**, São Paulo-SP v.30, n.5, p.1208-1214, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 1.ed. London-ING: Academic Press, 1986, 647p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2.ed. Academic Press: London-ING, 1995. 899p.

MAZZA, L. M. **Estado nutricional, acúmulo de matéria seca e desenvolvimento radicular do azevém anual submetido a doses de fósforo**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant - a modification of Mehlich-2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.15, p.1409-1416, 1984.

MELLO, L.M.M.; YANO, E.H.; NARIMATSU, K.C.P.; TAKAHASHI, C.M.; BORGHI, É. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.121-129, 2004.

MENDES, C.I.; SOUZA, V.L.; RESCK, D.S.V.; GOMES, A.C. Propriedade biológica em agregados de um Latossolo Vermelho escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.435-443, 2003.

MORAES, A.; MOOJEN, E.L.; MARASCHIN, G.E. Comparação de métodos de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27, 1990, SBZ, 1990. p.332.

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

MIAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. The effect of plant material on soil acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p.411-416, 1993.

NASCIMENTO, J.L.; ALMEIDA, R. DE A.; SILVA, R.S.M.; MAGALHÃES, L.A.F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, p.7-11, 2002.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v.64, p.441-445, 2005.

NAKAGAWA, J.; NAKAGAWA, J.; IMAIZUMI, I.; ROSSETO, C.A. Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.421-431, 1993.

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, v.55, p.183-190, 1998.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, v.27, p.655-663, 2003.

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

OLIVEIRA, F.H.T.; ARRUDA, J.A.; SILVA, I. de F.; ALVES, J.C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.973-983, 2007.

ONO, B. F.; MONTAGNA, J.; NOVELLINO, J.O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agrônômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.727-734, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L.I. & KLEPKER, D. Eficiência agrônômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.4, p.623-631, 2008.

PASSOS, R.R.; FAQUIN, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R.; VILLA, R. Fontes de fósforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em amostras de um Latossolo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.227-233, 1997.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Fundação ABC: Castro. v.2, 2004. 86p.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)

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**, v. 32, p.911-920, 2008.

PFANN, A.Z.; FARIA, M.V.; ANDRADE, A.A.; NASCIMENTO, I.R.; FARIA, C.M.D.R. Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. **Ciência Rural**, v.29, p.635-641, 2009.

POLI, C. H. E. C.; MONTEIRO, A. L.; BARROS, C. S.; MORAES, A.; FERNANDES, M.A.M.; PIAZZETTA, H.V.L.; Produção de ovinos de corte em quatro sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.666-673, 2008.

POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P.T.G.; ROMANIELLO, M.M.; EDSON, A.P.; CARVALHO, J.G. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, p.970-976, 2002.

PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M.; VALE, D.W. Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa de vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.527-533, 2006.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/ANDA, 2003. CD-ROM.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, 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, p.453-466, 2006.

RAJAN, S.S.S. Ways of improving the agronomic effectiveness of phosphate rocks, In: ZAPATA, F.; ROY, R.N. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Rome: FAO 2004, cap.9, pp.85-97.

RAO, I.M.; BORRERO, V.; RICAURTE, J. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils 2. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.323-352, 1996.

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

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, 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, p.453-466, 2006.

SCHOLEFIELD, D.; SHOELDRICK, R.D.; MARTYN, T.M. & LAVENDER, R.H. A comparison of triple superphosphate and Gafsa ground rock phosphate fertilizers as P-sources for grass - clover swards on a poorly-drained acid clay soil. **Nutrien Cycling in Agroecosystems**, v.53, p.147-155, 1999.

RHEINHEIMER, D.S. GATIBONI, L.C. KAMINSKI, J. **Mitos e verdades sobre o uso de fosfatos naturais na Agroecologia**. Nota técnica número 1. Santa Maria: UFSM, 2001.

RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura e seus efeito no componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.231-236, 1994.

ROSO C.; RESTLE J.; SOARES A.B. Produção e qualidade de forragem da mistura de gramíneas anuais de estação fria sob pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.459-467, 1999.

ROSSI, C.; MONTEIRO; F.A. Parâmetros produtivos, nutrição em fósforo e atividade foliar da fosfatase ácida no capim braquiária cultivado em solução nutritiva. **Boletim da Indústria Animal**, v.56, p.127-135, 1999.

SAS System. **SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc® 9.1.2.** Cary, NC: SAS Institute, 2004.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; IGNACZAK, J.C.; ZOLDAN, S.M. Conversão e balanço energéticos em sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistemas de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.743-752, 2000.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O.; SPERA, S.T. Efeito de sistemas mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.545-552, 2003.

SANTOS, J.Z.L.; FURTINI, A.E.N.; VILELA, A.D.R.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F.; GIGANTE, S.E. Frações de fósforo em solo adubado com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivo com milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p.705-714, 2008.

SANZONOWICZ, C.; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. Efeito residual da calagem e de fontes de fósforo numa pastagem estabelecida em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.233-243, 1987.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SEAB). **Média de rendimento de milho no estado do Paraná.** Disponível em: <www.seab.pr.gov.br>. Acesso em: 1 nov.2011.

SILVA, M.B.; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M.; LANNA, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1755-1761, 2007.

SOARES, W.V.; LOBATO, E.R.; MARTINHÃO, D.; SOUSA, 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.

SHAFQAT, M. N.; PIERZYNSKI, G. M.; XIA, K. Phosphorus source effects on soil organic phosphorus: A P NMR Study. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, p.1722-1746, 2009.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.249-254, 1985.

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

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S. (Eds.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. pp.157-200.

TABATABAI, M. Soil Enzymes. In: Soil Science Society of America. **Methods of Soil Analysis**, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties, 1994. pp.775-833. (Book series, 5)

TERRA LOPES, M.L.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T.; AGUINAGA, A.A.Q.; FLORES, J.P.C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia-preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, p.1499-1506, 2009.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, v.63, p.405-413, 2004.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S.. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** Agrônômica Ceres/Potafos: Piracicaba-SP, 1991. 343p.

VAN RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.547-566, 1986.

VILELA, L.; MACEDO, M.C.M.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.

VITTI, G.C.; SUZUKI, J.A. **A determinação do enxofre – sulfato pelo método turbidimétrico**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 1978. 13p.

VOLKEISS, S.J.; VAN RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: Ferri M.G. (Coord.). **Simpósio sobre o cerrado: bases para utilização agropecuária**. 4, Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, 1977. pp.317-332,

YAMADA, T.; ABDALLA S.R.S.; VITTI, G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. IPNI: Piracicaba-SP, v.1, 2007. 714p.

Ponta Grossa, 31 de dezembro de 2011.



Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca
Eng. Agr. CREA-PR 47.842/D