

FERNANDO F. DILLMANN PAJARA

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE ADUBOS FOSFATADOS MINERAIS E
ORGANOMINERAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Paulo Roberto Ernani

**LAGES
2014**

P151d

Pajara, Fernando Francisco Dillmann

Disponibilidade de fósforo no solo em função da aplicação de adubos fosfatados minerais e organominerais / Fernando Francisco Dillmann Pajara. - Lages, 2014.

82 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Paulo Roberto Ernani

Bibliografia: p. 71-74

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

1. Solubilidade de fostatos. 2. Solos ácidos.
3. Efeito residual. I. Pajara, Fernando Francisco Dillmann. II. Paulo Roberto Ernani. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

CDD: 631.85 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

FERNANDO FRANCISCO DILLMANN PAJARA

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE ADUBOS FOSFATADOS MINERAIS E
ORGANOMINERAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca examinadora

Orientador:

Prof. Ph.D. Paulo Roberto Ernani
UDESC - Lages, SC.

Co-orientador:

Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol
UDESC - Lages, SC.



Membro Externo:

Dr. Eliseo Soprano
EPAGRI – Itajaí, SC.

Lages, SC, 31/01/2014

*“Eu tenho tanto pra te falar,
mas com palavras não sei
dizer, como é grande o meu
amor por você..”* À minha
pequena Nathália, presente de
Deus, luz para minha vida,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e a Jesus Cristo, o meu salvador;

Aos meus familiares, “in memoriam”, pelo exemplo, amor e carinho;

À Minha esposa Val, pela compreensão, pelo apoio e por entender as minhas ausências;

Ao povo brasileiro, em especial ao catarinense, que custeou os meus estudos desde o primário até a pós-graduação;

Aos meus colegas do tempo de graduação, pela amizade e crescimento proporcionados em sua companhia;

Aos meus colegas de Pós-graduação: Clovisson, Gustavo Boitt, Marco, Djalma, Késia, Jaqueline, Daniel, Toninho e Guilherme, pela ajuda, amizade e companheirismo;

Ao bolsista Ricardo Bilk, pela ajuda na condução das análises;

Ao professor Paulo Roberto Ernani, pelo conhecimento, paciência e compreensão;

A todos meus mestres, que mesmo vivendo em uma sociedade desprovida de valores, optam pelo exemplo de devoção, dedicação e competência, desempenhando a função com esmero.

“No suor do teu rosto comerás o teu pão, até que tornes ao solo, pois dele foste formado; porque tu és pó e ao pó tornarás.”

Livro de Gênesis, 3:19.

RESUMO

PAJARA, Fernando Francisco Dillmann. **Disponibilidade de Fósforo No Solo Em Função da Aplicação de Adubos Fosfatados Minerais e Organominerais**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – área: Química e Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2014.

Os solos de regiões de clima tropical geralmente são ácidos e pobres em fósforo, e neles o P é adsorvido fortemente às partículas minerais, resultando em baixa disponibilidade às plantas, mesmo após a aplicação de doses elevadas de adubos fosfatados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica de formas químicas de fertilizantes fosfatados aplicados a dois solos ácidos, em casa-de-vegetação. Foram utilizados seis fosfatos (superfosfatos triplo e simples, multifosfato magnésiano, superfosfato simples modificado, fertilizante contendo P solúvel + P natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, e fertilizante organomineral granulado). Todos foram aplicadas na instalação do experimento, nas doses de 75 e 150 mg kg⁻¹ de P no Cambissolo Háptico (CH) e 100 e 200 mg kg⁻¹ de P no Nitossolo Vermelho (NV). Foram conduzidos quatro cultivos sucessivos incluindo milho, soja, trigo e milho, durante aproximadamente 50 dias cada, em vasos com 3,0 kg de solo. Na média dos quatro cultivos conduzidos em cada um dos solos nenhum adubo fosfatado foi

superior ao superfosfato triplo em qualquer dos parâmetros avaliados, incluindo rendimento de biomassa, P absorvido, equivalente em supertriplo e índice de eficiência agrônômica. A eficiência dos fosfatos que continham fósforo não completamente solúvel em água aumentou com os cultivos, mas mesmo assim o fosfato organomineral demonstrou ser uma fonte pouco eficiente para suprir fósforo, independente do tipo de solo. O Mehlich-1 não foi um método capaz de discriminar a disponibilidade de P nos solos quando fosfatos de diferentes solubilidades em água foram usados.

Palavras-Chave: Solubilidade de Fosfatos. Solos Ácidos. Efeito residual.

ABSTRACT

PAJARA, Fernando Francisco Dillmann. **Availability of Soil Phosphorus Depending on the Application of Fertilizers Phosphate Minerals and Organominerals.** 2014. 82 p. Dissertation (MSc in Soil Management - Area: Chemistry and Soil Fertility and Plant Nutrition) - University of the State of Santa Catarina, Postgraduate Program in Agricultural Sciences, Lages, 2014.

Soils of tropical regions are generally acidic and have low available phosphorus, which is strongly adsorbed to mineral particles, resulting in low availability to plants, even after application of high rates of phosphate fertilizers. The objective of this study was to evaluate the efficiency of phosphate fertilizers to increase plant growth in two acid soils. Six phosphates were used: triple superphosphate, single superphosphate, magnesium multi phosphate, modified superphosphate, granulated organomineral, and a phosphate containing P soluble + reactive phosphate + calcium carbonate of marine origin), in addition to a control, with no added P. Phosphates were applied at rates of 75 and 150 mg kg⁻¹ in an Inceptisol and at rates of 100 and 200 mg kg⁻¹ in an Alfisol. Four successive cultivations involving maize, soybean, wheat and maize were carried out in a greenhouse, for approximately 50 days each, in pots with 3.0 kg of soil. After the harvest of each crop, soil and plant parameters were evaluated, including shoot biomass, concentration of P in the shoots, P uptake, and

superphosphate (TSP) in all determined attributes, including biomass yield, P uptake, equivalent to TSP, and agronomic efficiency index. The efficiency of phosphates containing P not completely water soluble increased overtime, but even that the organomineral phosphate was not a source able to supply P to the plants, in both soils. The Mehlich-1 was not an adequate extraction method to discriminate soil available P when phosphates of different water solubility are applied to the soils.

Key-words: Phosphate Solubility. Acid Soils. Residual Effect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Cambissolo Háplico (Etilenoglicol e Magnésio).....40
- Figura 2 - Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Cambissolo Háplico (K 25°C, K 100°C, K 350°C, K 550°C)41
- Figura 3 - Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Nitossolo Vermelho (Etilenoglicol e Magnésio).....42
- Figura 4 - Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Nitossolo Vermelho (K 25°C, K 100°C, K 350°C, K 550°C)43
- Figura 5 - Teores totais de P absorvidos por quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háplico .56
- Figura 6. – Teores totais de P absorvidos por quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho. .57
- Figura 7 – Cultivo de milho (A) e soja (B) na casa de vegetação do CAV - UDESC e Cultivo de Trigo (C) e Milho (D) na casa de vegetação do IFC - Campus Rio do Sul82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química dos solos utilizados no experimento	35
Tabela 2 – Codificação, descrição e doses dos fertilizantes nos dois solos utilizados	37
Tabela 3 – Valores de pH determinados em água dos solos	45
Tabela 4 – Biomassa da parte aérea de quatro cultivos realizados no Cambissolo Háplico.....	48
Tabela 5 – Biomassa da parte aérea de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho.....	49
Tabela 6 – Teores médios de fósforo no tecido vegetal de quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háplico.....	52
Tabela 7 - Teores médios de fósforo no tecido foliar de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho	54
Tabela 8 - Teores de fósforo no Cambissolo Háplico, extraídos pelo método de Mehlich-1, após a realização de quatro cultivos sucessivos	59
Tabela 9 - Teores de fósforo no Nitossolo Vermelho, extraídos pelo método de Mehlich-1, após a realização de quatro cultivos sucessivos	61
Tabela 10 – Equivalente Superfosfato Triplo (EqSFT) de adubos fosfatados no total de quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háplico.....	63

Tabela 11 – Equivalente Superfosfato Triplo (EqSFT) de adubos fosfatados no total de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho	64
Tabela 12 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do P de adubos fosfatados no total de quatro cultivos em Cambissolo Háplico.....	66
Tabela 13 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do P de adubos fosfatados no total de quatro cultivos em Nitossolo Vermelho.....	67
Tabela 14 – Fertilizantes utilizados no experimento	75
Tabela 15 – Características químicas dos fertilizantes utilizados no experimento	76
Tabela 16 – Teores de fósforo nos fertilizantes utilizados no experimento	77
Tabela 17 – Biomassa de raízes de quatro cultivos em Cambissolo Háplico.....	78
Tabela 18 – Biomassa de raízes em quatro cultivos em Nitossolo Vermelho.....	79
Tabela 19 – Valores médios de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ em dois solos ..	80
Tabela 20 – Valores médios de pH_{SMP} em dois solos ..	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
IFC	Instituto Federal Catarinense
FMC	Fosfato Monocálcico
OGMG	Organomineral Granulado
PSFC	P Solúvel + Fosfato Natural Reativo + Carbonato de Cálcio de Origem Marinha
SFT	Superfosfato Triplo
SFS	Superfosfato Simples
SFSM	Superfosfato Simples Modificado
TEST	Testemunha
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Fósforo
%	Percentual
mg kg ⁻¹	Miligramas por quilograma
Al	Alumínio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
2	MATERIAL E MÉTODOS	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1	pH DO SOLO.....	44
3.2	PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PLANTAS	45
3.3	TEORES DE FÓSFORO NA PARTE AÉREA...	51
3.3.1	Teores Totais De Fósforo Absorvido Pela Parte Aérea	55
3.4	DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO	57
3.4.1	P No Solo Extraído Por Mehlich-1	57
3.5	EQUIVALENTE SUPERFOSFATO TRIPLO E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRÔNOMICA DO P61	
4	CONCLUSÕES	70
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICES.....	75

1 INTRODUÇÃO

O P (fósforo) é um elemento essencial a todas as formas de vida, sendo constituinte da membrana plasmática, do complexo energético (ATP e ADP) e do DNA. A principal fonte primária do fósforo absorvido pelas formas de vida terrestres é o solo.

Em regiões de clima tropical, os solos geralmente são ácidos e pobres em fósforo disponível às culturas agrícolas, em função da adsorção de fósforo no solo, também chamada de quimiossorção. Nesta reação, as moléculas de P adicionadas ao solo na forma de fosfato (PO_4^-) reagem com a fase sólida mineral do solo, formando uma ligação química muito forte, de caráter covalente. Ainda, em condições de pH elevado e valores de cálcio disponível alto, o fosfato pode reagir com o cálcio, precipitando na forma de fosfato tricálcico, forma insolúvel de P. Estas reações de adsorção e precipitação tornam o P indisponível às plantas, mesmo após a aplicação de doses elevadas de adubos fosfatados.

Apesar de alguns solos apresentarem alto teor de P-total, isso não se reflete na disponibilidade deste nutriente, limitando o desenvolvimento da maior parte dos cultivos de importância agrícola. Esta baixa disponibilidade deve-se ao fato do P ligar-se com os colóides do solo na forma de complexos de esfera interna, com compostos estáveis de ligação muito forte, refletindo em pouca disponibilidade às plantas. A eficiência da adubação fosfatada é limitada, sendo o aproveitamento máximo deste nutriente na ordem dos 25% do total aplicado (RAIJ, 2004).

Na agricultura brasileira predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados e solúveis em água, obtidos a partir do tratamento ácido de rochas

fosfáticas. Os principais são o superfosfato triplo (SFT), com 41% de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e o superfosfato simples (SSP), com 18% de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O (citrato neutro de amônio mais água). Os dois representam, aproximadamente, 50% dos fertilizantes fosfatados fabricados no mundo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994). A eficiência destes fosfatos depende de fatores relacionados com suas características, com as propriedades do solo, com as práticas de manejo e com as características das plantas.

Estima-se que atualmente o Brasil consome aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de P_2O_5 (ANDA, 2011). Considerando que a eficiência agrônômica média de uso do P é de cerca de 20% (ARAÚJO et al., 2003), 1% no aumento desta, em função do uso de fontes de fertilizantes fosfatados mais eficientes, seria correspondente ao aumento de aproximadamente 35.000 toneladas de P_2O_5 absorvidos pelas culturas agrícolas por ano. Esta quantidade contribuiria significativamente para o aumento de produtividade da agricultura brasileira.

Nos últimos anos foram disponibilizados novos fertilizantes com P que dispõem de diferentes tecnologias embutidas no processo de fabricação com o objetivo de melhorar a eficiência agrônômica do P aplicado. Os mecanismos utilizados visam diminuir a adsorção no solo e aumentar a eficiência, sendo muito variados, indo desde a alteração da composição química do P presente no adubo até a limitação do contato com o solo através da restrição física por constituintes do fertilizante fosfatado. Alguns destes fertilizantes alternativos são produzidos através da modificação da rota de fabricação de produtos tradicionais, como o superfosfato simples e o superfosfato triplo, por exemplo.

Este processo se dá através da adição de componentes (fontes orgânicas e óxido de magnésio) no processo de acidulação do P ou por granulação conjunta com fontes orgânicas, carbonato de cálcio e fosfatos naturais reativos. Formulações contendo fontes solúveis e pouco solúveis de P em água estão disponíveis com a justificativa no sentido de que as diferentes solubilidades das fontes fornecem P de maneira gradual às culturas implantadas, aumentando o índice de aproveitamento deste nutriente no solo e conferindo mais eficiência a estes produtos. Estas características teoricamente influenciam o efeito residual do P aplicado no solo, aumentando a sua eficiência agrônômica quando em comparação às fontes de P tradicionais (Superfosfatos Simples e Triplo).

Estes fertilizantes alternativos são vendidos com preço superior às fontes de P tradicionais. Quando utilizados no campo, os resultados obtidos são os mais diversos, variando de acordo com muitos fatores, entre eles o pH do solo, o modo de aplicação, o teor inicial de P no solo, o teor de óxidos de ferro, alumínio e manganês, a quantidade de argila, o teor de matéria orgânica, entre outros. Apesar da divulgação de alguns dados sobre as características destes fertilizantes, pouco se conhece acerca dos mesmos. Informações como menor adsorção de P pelo solo, eficiência agrônômica, efeito residual, impacto sobre o crescimento e produção de raízes, interação com outros nutrientes no solo, resultado direto na produtividade, bem como dos benefícios que estes produtos podem trazer à agricultura ainda não são disponíveis para todas as fontes e carecem de dados científicos.

Diversos produtos contendo fontes solúveis e pouco solúveis de P em água estão disponíveis no

mercado. O apelo comercial destes produtos é no sentido das diferentes solubilidades das fontes fornecerem P de maneira gradual às culturas implantadas, aumentando o índice de aproveitamento deste nutriente no solo. Como alguns desses produtos são de lançamento comercial recente, ainda não existem muitos dados de pesquisa acerca das características, efeito residual, eficiência agronômica e produtividade dos mesmos, justificando assim a necessidade de estudos sobre estas fontes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados minerais e organominerais aplicados ao solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento consistiu na aplicação de duas doses de P na forma de superfosfato triplo, superfosfato simples, multifosfato magnésiano, superfosfato simples modificado, fertilizante organomineral granulado, e um fertilizante contendo P solúvel + fosfato natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha. Eles foram aplicados a amostras de dois solos, cujo volume de 4,8 litros que correspondeu a 3,0 kg de solo, foi acondicionado em vasos plásticos. Foram conduzidos quatro cultivos sucessivos (milho, soja, trigo e milho), em casa de vegetação, durante aproximadamente 50 dias cada. Os solos utilizados foram um Nitossolo Vermelho e um Cambissolo Háplico, coletados na camada de 0-20 cm de profundidade em áreas de pastagem nativa. As características químicas desses solos são descritas na Tabela 1. As amostras foram também submetidas à caracterização mineralógica por Difractometria de Raios-X (DR-X).

Tabela 1 – Caracterização química dos solos utilizados no experimento

Solo	pH	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	t	T
	H ₂ O	SMP	-----cmolc dm ⁻³ -----					
Cambissolo	4.5	4.6	1,71	0,31	5,9	21,8	8	24
Nitossolo	4.8	5.2	1,25	0,75	2,1	10,9	4	13
	M	V	M.O	Argila	P _{Mehlich-1}	Na	K	
	----- % -----		-----mg dm ⁻³ -----					
Cambissolo	73	9,2	2,9	18	5,6	9	75	
Nitossolo	49	16,7	3,6	56	1,8	4	73	

Fonte: Produção do próprio autor.

Os solos passaram por peneira de malha 5 mm e receberam calcário, sendo incubados para elevar o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ao valor próximo de 5,5.

As fontes comerciais de fósforo foram o superfosfato triplo e o superfosfato simples, usados como padrões comparativos, o multifosfato magnesiano (Fosmag), um superfosfato simples modificado (Top-Phos), um fertilizante organomineral granulado (Biocoper), e um fertilizante contendo P solúvel + fosfato natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha (Lithofertil). Os tratamentos consistiram de duas doses de P, aplicadas na instalação do experimento, e seis fontes de fósforo, além de uma testemunha sem adubação fosfatada (Tabela 2). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As amostras dos fertilizantes foram passadas em peneira 1 mm, para permitir melhor distribuição no solo. Os fertilizantes foram analisados quanto ao teor de P total, através de uma digestão sulfúrica conforme método descrito por Tedesco et al. (1995), com a determinação sendo feita pela metodologia proposta por Murphy & Riley (1962).

Em todos os tratamentos foram aplicados 100 mg kg^{-1} de K_2O , na instalação do experimento, dose suficiente para atingir o dobro do nível crítico desse nutriente no solo, e 100 mg kg^{-1} de N durante cada cultivo, este dividido em duas doses. As unidades experimentais foram mantidas com a umidade em torno de 80% da capacidade de campo, sendo o volume de água evapotranspirado, obtido por meio de pesagem dos vasos, repostado diariamente. No cultivo de soja foi necessária a aplicação de inseticida (Decis 50CE) para o controle de tripses.

Tabela 2 – Codificação, descrição e doses dos fertilizantes nos dois solos utilizados

Tratamento/ Codificação	Descrição	Cambissolo	Nitossolo
		mg kg ⁻¹ de P	
TEST	Testemunha	0	0
SFS1	Superfosfato simples	75	100
SFS2	Superfosfato simples	150	200
SFT1	Superfosfato Triplo	75	100
SFT2	Superfosfato triplo	150	200
MFM1	Multifosfato Magnésiano	75	100
MFM2	Multifosfato Magnésiano	150	200
SFSM1	Superfosfato Simples Modificado	75	100
SFSM2	Superfosfato Simples Modificado	150	200
PSFC1	Fósforo Solúvel + Fosfato Natural + Carbonato de Cálcio Marinho	75	100
PSFC2	Fósforo Solúvel + Fosfato Natural +Carbonato de Cálcio Marinho	150	200
OMG1	Organomineral Granulado	75	100
OMG2	Organomineral Granulado	150	200

Fonte: Produção do próprio autor.

Em cada unidade experimental foram semeadas dez sementes e após plena germinação e desenvolvimento as plantas foram desbastadas, ficando em cada vaso três plantas de milho da variedade Agromen 30A68 HX, cinco plantas de soja da variedade BMX Potência RR e seis de trigo da variedade Safira, conforme a sequência de cada cultivo.

O experimento foi conduzido entre os meses de dezembro de 2011 e junho de 2012 na casa de vegetação da Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, na cidade de Lages, SC, Brasil (27° 48' 58" S, 50° 19' 34" W) e posteriormente, no período de agosto de 2012 a março de 2013, na casa de vegetação do Instituto Federal

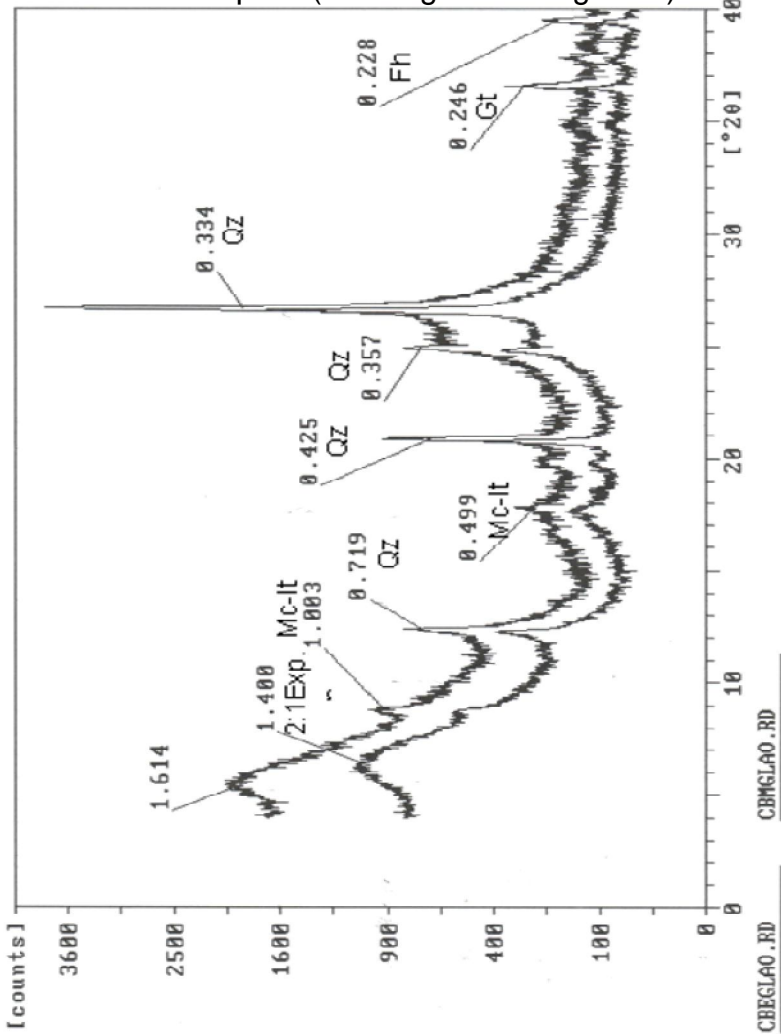
Catarinense – Campus de Rio do Sul, Na cidade de Rio do Sul, SC, Brasil (27° 12' 51" S, 49° 38' 35" W) (Apêndice D). Ao final dos períodos de cultivo, a parte aérea das plantas foi coletada e as raízes foram separadas do solo por meio do peneiramento e catação manual. A biomassa da parte aérea e das raízes foi seca a 65 °C, em estufa com circulação de ar forçada, até atingir massa constante. Posteriormente à pesagem, as amostras da parte aérea foram moídas e submetidas à digestão sulfúrica para avaliação do teor de P total, conforme método descrito por Tedesco et al. (1995), com a determinação sendo feita pela metodologia proposta por Murphy & Riley (1962). Após cada cultivo o solo foi amostrado, retirando-se 30 g para determinação do pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, segundo Embrapa (2009), pH em água, pH_{SMP} e do teor de P disponível no solo pelo método de Mehlich-1, extração feita de acordo com Tedesco et al. (1995), com a determinação sendo feita pela metodologia proposta por Murphy & Riley (1962). O aplicativo “Assistat” foi utilizado para submeter os dados à análise de variância e teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de probabilidade de 5%. As análises de fertilizantes, solo e tecido vegetal foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias do CAV-UDESC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos utilizados diferiram bastante quanto à composição química e mineralógica. Enquanto o Cambissolo Háplico possuía valores muito elevados de CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e Al trocável, o Nitossolo Vermelho apresentava CTC média e Al trocável alto (CQFS, 2004), porém em valores absolutos bem menores que o Cambissolo (Tabela 1). Tal comportamento pode ser atribuído à composição mineralógica deste solo, que apresenta minerais 2:1 expansivos, possivelmente com alumínio entre camadas (Figuras 1 e 2). Isto explica os altos valores de CTC e de acidez potencial deste solo. Na prática, estes valores de alumínio trocável não aparecem totalmente na solução do solo, pois as doses de calcário aplicadas estão bem abaixo das recomendações feitas com base em diferentes métodos e mesmo assim é possível alcançar níveis de pH desejáveis (5,5 – 7,0) para o cultivo agrícola (Figura 5.) e bom desenvolvimento das plantas.

Na comparação entre os dois solos, no Nitossolo aparecem, com maior frequência, minerais mais intemperizados, principalmente os óxidos de ferro (Figuras 3 e 4), conferindo a este solo maior capacidade de adsorção de P quando comparado ao Cambissolo. Isto, de certa forma, seria esperado, pois em solos mais intemperizados há um acúmulo de óxidos de Fe e Al e por consequência disto maior adsorção de P (RHEINHEIMER et al, 2008).

Figura 1. Difratograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Cambissolo Háplico (Etilenoglicol e Magnésio)

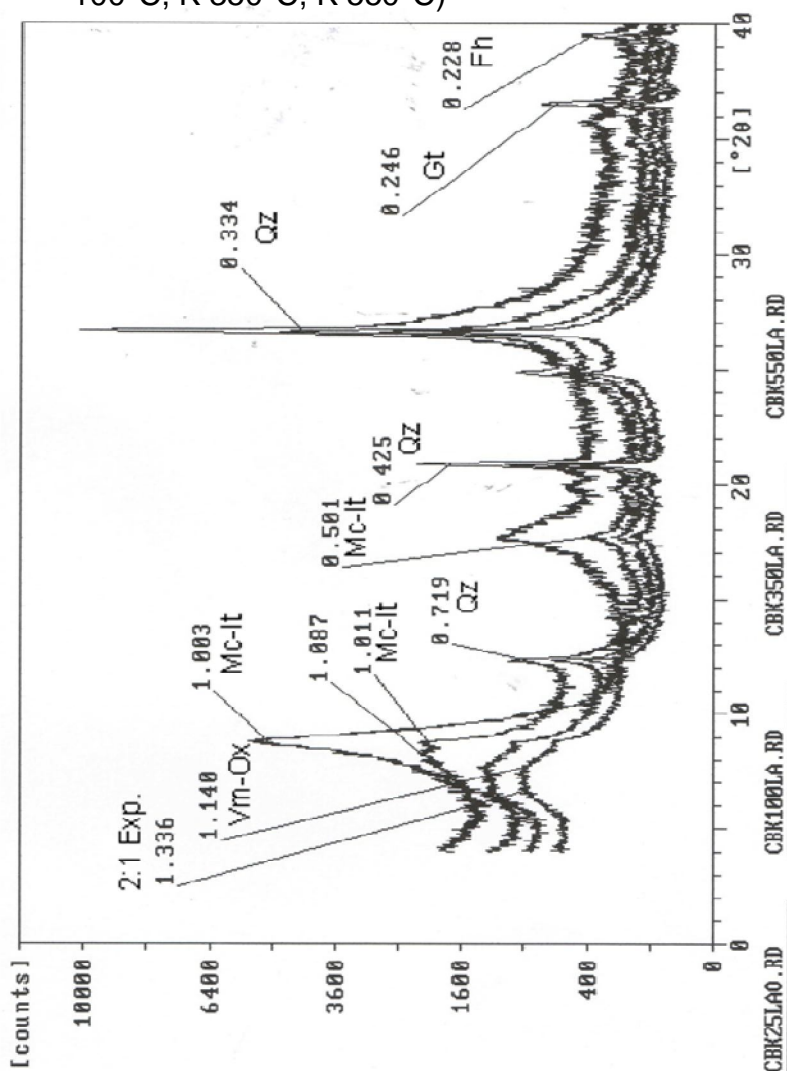


Qz=Quartzo, Fh=Ferrihidrita, Gt=Ghoetita, Mc-It=Mica-Ilita,

2:1Exp.=Mineral 2:1 expansivo

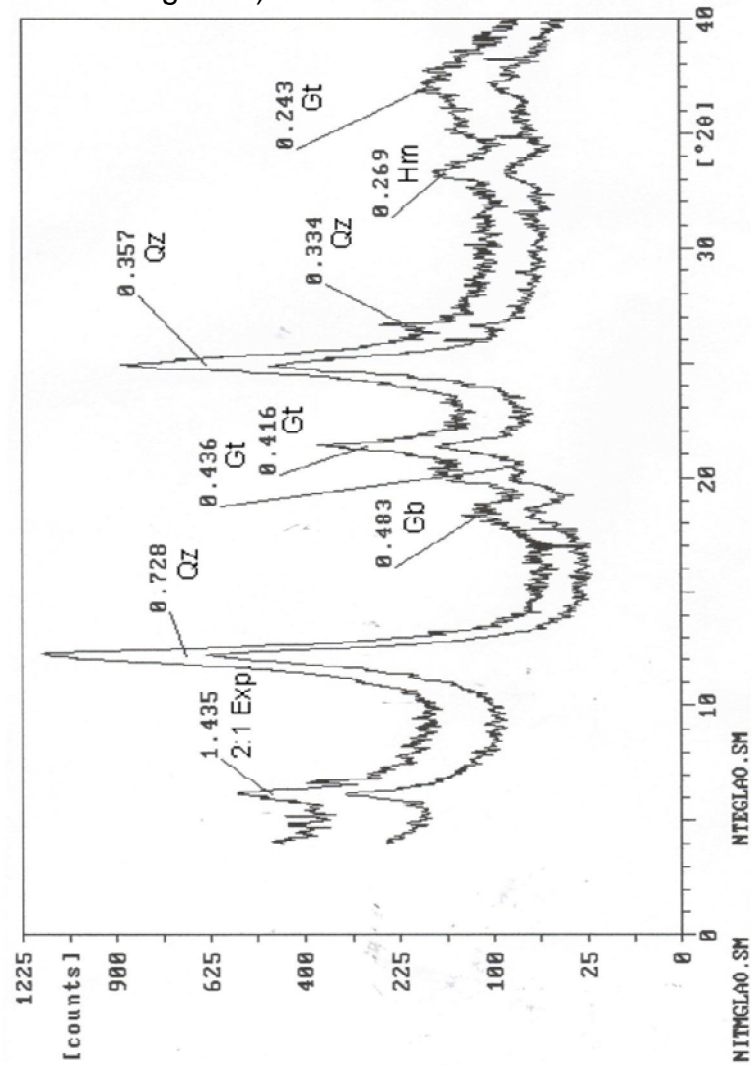
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 2. Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Cambissolo Háplico (K 25°C, K 100°C, K 350°C, K 550°C)



Qz=Quartzo, Fh=Ferrihidrita, Gt=Ghoetita, Mc-It=Mica-Ilita, Vm-Ox=Vermiculita-Oxidróxido, 2:1Exp.= Mineral 2:1 expansivo.
 Fonte: Produção do próprio autor.

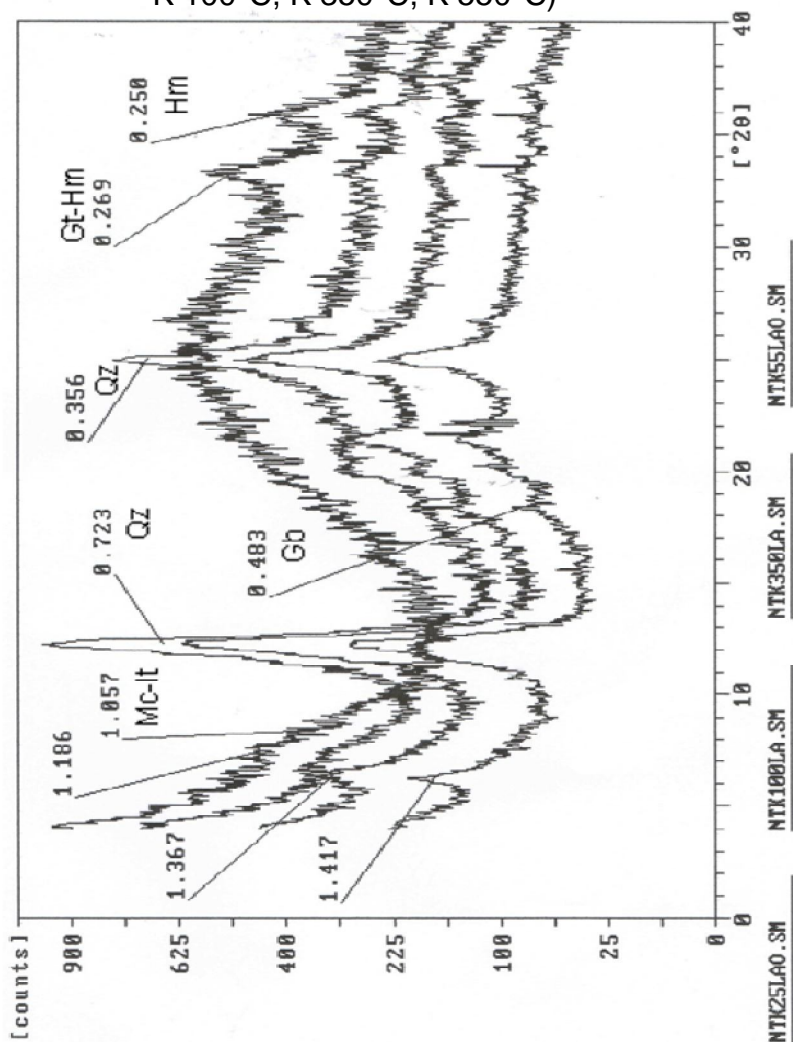
Figura 3. Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Nitossolo Vermelho (Etilenoglicol e Magnésio)



Qz=Quartzo, Hm=Hematita, Gt=Ghoetita, Gb=Gibbsita,
2:1Exp.=Mineral 2:1 expansivo.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4. Difratoograma de raios-X em lâminas orientadas de argila de um Nitossolo Vermelho (K 25°C, K 100°C, K 350°C, K 550°C)



Qz=Quartzo, Hm=Hematita,
Gb=Gibbsita, Mc-lt=Mica-ilita.

Gt-Hm=Ghoetita-Hematita,

Fonte: Produção do próprio autor.

3.1 pH DO SOLO

O pH dos solos foi pouco influenciado pelos fosfatos (Tabela 3). O pH do Nitossolo não foi afetado pela adição de nenhuma dose de nenhum fosfato, e apresentou uma média de 6,1. No Cambissolo, no entanto, o pH diminuiu onde foi aplicado o fosfato organomineral, tendo passado de uma média de 6,0 para 5,35 na média das duas doses aplicadas. Não temos uma explicação plausível para esta diminuição ocasionada pelo adubo organomineral, porém estes valores nos asseguram que não houve comprometimento do desenvolvimento das culturas, uma vez que não propiciaram o aparecimento de formas tóxicas de alumínio no solo.

Tabela 3 – Valores de pH determinados em água dos solos

Tratamento	Dose de P mg kg ⁻¹	Cambissolo pH	Dose mg kg ⁻¹ de P	Nitossolo pH
TEST	0	5,8 abc	0	5,8 a
SFS	75	6,0 ab	100	5,9 a
SFS	150	6,0 ab	200	6,0 a
SFT	75	6,1 a	100	6,1 a
SFT	150	6,2 a	200	6,1 a
MFM	75	6,1 a	100	6,1 a
MFM	150	6,2 a	200	6,3 a
SFSM	75	6,2 a	100	6,2 a
SFSM	150	6,2 a	200	6,1 a
PSFC	75	5,9 abc	100	6,1 a
PSFC	150	5,6 abc	200	6,1 a
OGMG	75	5,3 c	100	6,0 a
OGMG	150	5,4 bc	200	6,1 a

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Médias de quatro cultivos.

Fonte: O próprio autor.

3.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PLANTAS

A produção de biomassa foi afetada pelos tratamentos em todos os cultivos, nos dois solos (Tabelas 4 e 5).

A produção de biomassa do primeiro cultivo (milho) realizado no Cambissolo proporcionada pela

maior dose aplicada (150 mg kg^{-1} de P) não diferiu entre os fosfatos, à exceção do fosfato organomineral que proporcionou rendimento semelhante ao da testemunha, onde não foi aplicado fósforo (Tabela 4). Na menor dose aplicada (75 mg kg^{-1} de P), o MFM proporcionou rendimento inferior ao proporcionado por SFS, SFT, SFSM e PSFC, e o OGMG continuou sendo o fosfato de menor eficiência, não tendo diferido da testemunha. Exceto para o OGMG, a maior dose aplicada proporcionou maior rendimento do que a menor, para todos os fertilizantes fosfatados. A quantidade de biomassa neste cultivo variou de 1,1 a 7,5 g por vaso.

No segundo cultivo realizado neste solo (soja), o rendimento de biomassa variou de 3,3 a 5,9 g por vaso. Novamente, na maior dose aplicada, todos os fosfatos foram igualmente eficientes, à exceção do organomineral que não diferiu da testemunha. Na menor dose aplicada, o PSFC foi o único fosfato onde o rendimento não aumentou com o aumento da dose (Tabela 4).

No terceiro cultivo (trigo), nas duas doses aplicadas, os resultados foram semelhantes aos cultivos anteriores, ou seja, sem diferença entre os fosfatos de origem mineral, e entre o organomineral e a testemunha (Tabela 4). O rendimento variou de 1,5 a 7,5 g por vaso, e não houve diferença entre as doses para nenhum fosfato.

No quarto cultivo, novamente de milho, o rendimento de biomassa variou de 2,8 a 10,4 g por vaso (Tabela 4), e não houve resposta à adição de 75 mg kg^{-1} de P para as fontes SFT, SFSM, PSFC, assim como para as duas doses do OGMG. Na dose de 75 mg kg^{-1} de P, apenas os tratamentos com Superfosfato Simples (SFS) e Multifosfato Magnésiano (MFM) diferiram da testemunha. Estas duas fontes tem em comum a mesma matéria prima na fabricação, sendo o Superfosfato

Simples a base para a fabricação do Multifosfato Magnésiano. Na dose de 150 mg kg^{-1} de P, com exceção do tratamento OGMG, as demais fontes não apresentaram diferenças entre doses e entre si. A fonte OGMG teve comportamento semelhante nas duas doses aplicadas e, apesar de ter produzido mais biomassa somente em relação à testemunha, produziu menos do que as fontes SFT, MFM e SFMSM aplicadas na dose de 150 mg kg^{-1} de P. É provável que tenha ocorrido um decréscimo do P disponibilizado pelas demais fontes e ao mesmo tempo um acréscimo na liberação de P a partir do OGMG. Esta fonte é composta por material resistente à degradação (maravalha presente na cama), e por fosfato natural, cuja liberação de P é lenta.

No Cambissolo, de modo geral, ocorreu uma tendência de nivelamento da produção de biomassa causada pelos vários fosfatos a partir do segundo cultivo. Provavelmente isso ocorreu em função do esgotamento do P disponível no solo, com a remoção das culturas nos cultivos anteriores, onde a diferença de produção entre as duas doses aplicadas foi maior. A dose de 75 mg kg^{-1} de P foi insuficiente para proporcionar os melhores resultados em todos os cultivos. Na dose de 150 mg kg^{-1} de P, o SFT, o MFM e o SFMSM se destacaram como os fertilizantes que proporcionaram os melhores resultados, nos quatro cultivos avaliados. O PSFC apenas não acompanhou a resposta obtida com a fonte OGMG. O P adicionado por esta fonte não supriu a demandada para o desenvolvimento e produção de biomassa das culturas nos quatro cultivos avaliados. As duas doses aplicadas (75 e 150 mg kg^{-1} de P) proporcionaram crescimento igual de biomassa, demonstrando a incapacidade desta fonte em fornecer P nas condições avaliadas.

Tabela 4 – Biomassa da parte aérea de quatro cultivos realizados no Cambissolo Háplico

Treatment	Dose	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
	mg kg ⁻¹ de P	----- g vaso ⁻¹ -----			
TEST	0	1,1 e	3,3 d	1,9 c	2,8 e
SFS	75	4,7 c	4,5 bc	6,7 a	6,7 abcd
SFS	150	6,8 a	5,6 a	7,0 a	7,5 abcd
SFT	75	5,3 bc	4,5 bc	7,0 a	6,6 abcde
SFT	150	7,1 a	5,8 a	7,4 a	9,6 ab
MFM	75	3,2 d	4,4 c	6,6 ab	8,6 abc
MFM	150	6,4 ab	5,7 a	7,2 a	10,4 a
SFSM	75	5,1 bc	4,4 c	6,8 a	6,0 bcde
SFSM	150	7,5 a	5,9 a	7,5 a	9,4 ab
PSFC	75	4,2 cd	4,5 bc	6,1 ab	4,8 de
PSFC	150	7,1 a	5,3 ab	5,1 b	7,2 abcd
OGMG	75	1,2 e	3,3 d	1,5 c	3,7 de
OGMG	150	1,5 e	3,3 d	2,0 c	5,0 cde

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

No primeiro cultivo de milho realizado no Nitossolo (Tabela 5), a maior produção de biomassa aconteceu onde foi aplicada a maior dose de SFT. Na sequência decrescente se destacam as maiores doses dos fosfatos SFSM e PSFC. A produção proporcionada pelo fosfato organomineral, independente da dose aplicada, não diferiu daquela verificada no tratamento que não recebeu P, à semelhança do que ocorreu no outro solo,

mostrando que esta é uma fonte de baixíssima eficiência agrônômica. Neste cultivo, as produções variaram de 0,8 a 4,3 g por vaso.

Tabela 5 – Biomassa da parte aérea de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho

Tratamento	Dose	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
	mg kg ⁻¹ de P	----- g vaso ⁻¹ -----			
TEST	0	0,8 f	3,2 d	0,9 f	0,8 c
SFS	100	1,3 def	3,2 d	3,8 def	4,0 a
SFS	200	1,9 cd	4,3 b	6,4 abcd	3,7 a
SFT	100	2,3 bc	4,3 b	7,3 abc	3,3 ab
SFT	200	4,3 a	5,3 a	8,9 a	3,6 a
MFM	100	1,2 ef	3,7 bcd	8,1 a	2,8 abc
MFM	200	1,6 de	3,9 bcd	7,3 ab	4,2 a
SFSM	100	1,7 cde	3,7 bcd	4,2 cde	2,4 abc
SFSM	200	2,8 b	4,2 bc	6,9 abcd	2,4 abc
PSFC	100	1,3 def	3,6 bcd	4,9 bcd	2,4 abc
PSFC	200	2,3 bc	4,3 b	7,1 abc	2,9 abc
OGMG	100	0,9 f	3,4 cd	1,6 ef	0,9 bc
OGMG	200	0,8 f	3,2 d	1,6 ef	2,0 abc

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

No segundo cultivo realizado no Nitossolo (soja), a maior produção de biomassa também ocorreu onde foi

aplicada a maior dose de SFT. Na sequência decrescente aparecem as maiores doses de todos os demais fosfatos, à exceção do fosfato organomineral que, independente da dose, novamente não diferiu do tratamento que não recebeu P. O rendimento de biomassa diferiu entre as doses aplicadas somente para o SS e o SFT. Neste cultivo, as produções variaram de 3,2 a 5,3 g por vaso (Tabela 5).

Nos dois últimos cultivos realizados no Nitossolo, de trigo e milho respectivamente, a diferença entre os fosfatos deixou de existir, principalmente em função do esgotamento de P pelas fontes mais solúveis. Na maior dose aplicada, todos os fosfatos foram igualmente eficientes, à exceção novamente do fosfato organomineral, que não diferiu da testemunha. O rendimento não variou com o aumento da dose para nenhum dos fosfatos aplicados e nestes cultivos, as produções variaram respectivamente de 0,9 a 8,1 g por vaso para o trigo e de 0,8 a 3,7 para o milho.

As respostas diferentes obtidas entre os dois solos podem ser explicadas em função da diferente composição química dos mesmos e das características variadas das fontes de fertilizantes aplicadas. O Nitossolo apresenta em sua composição maior frequência de óxidos de Fe e de Al (Figuras 3 e 4) e maior teor de argila (Tabela 1), o que proporciona maior capacidade de adsorção do P aplicado em relação ao Cambissolo, que possui minerais primários e os menores teores de argila que o Nitossolo. Os fertilizantes MFM, PSFC e OGMG possuem em sua composição fontes de P com baixa solubilidade em água, o que limita a liberação inicial de P para a solução do solo nos períodos iniciais subsequentes à aplicação ao solo. Vale lembrar que o primeiro cultivo teve duração de aproximadamente 50 dias. Estes dados se assemelham

aos obtidos por FONTOURA et al. (2010), que, ao compararam fontes de diferentes solubilidades em plantio direto, obtiveram melhores resultados em curto prazo com as fontes de maior solubilidade em água.

No primeiro cultivo realizado, em ambos os solos, o multifosfato magnesiano (MFM), quando aplicado na dose mais baixa (75 e 100 mg kg⁻¹ de P respectivamente no CH e NV), proporcionou menor produção de biomassa da parte aérea do que as proporcionadas pelos fosfatos solúveis (SFS e SFT). Este comportamento é explicado pela menor solubilidade em água do MFM, assim como pelo curto prazo de cultivo (50 dias), onde o P do MFM não deve ter sido totalmente solubilizado. Nos cultivos seguintes, com a progressiva solubilização de P, a produção de biomassa da parte aérea do tratamento com este fertilizante se igualou a dos fosfatos solúveis.

Os tratamentos com o SFSM e com PSFC não superaram os fertilizantes padrões, nos dois solos avaliados (Tabelas 4 e 5), ficando com menor ou semelhante produção de biomassa da parte aérea.

3.3 TEORES DE FÓSFORO NA PARTE AÉREA

No primeiro cultivo realizado sobre o Cambissolo, os teores de P no tecido vegetal não diferiram entre as doses (75 e 150 mg kg⁻¹ de P) para os tratamentos com MFM, SFSM, PSFC e OGMG (Tabela 6). Apenas os tratamentos com SFS e SFT proporcionaram teores de fósforo diferentes entre as duas doses aplicadas. Os maiores teores de P foram obtidos na dose de 150 mg kg⁻¹ de P nos tratamentos com SSP, SFT e SFSM. Na dose de 150 mg kg⁻¹ de P, os tratamentos com MFM e PSFC proporcionaram teores de P no tecido

semelhantes ao do SFS, porém apresentaram menores teores do que os tratamentos com SFT e SFMS. Acompanhando o comportamento verificado no crescimento de biomassa da parte aérea, os menores valores de P foram encontrados no tratamento testemunha e naquele com OGMG, neste independente da dose aplicada.

Tabela 6 – Teores médios de fósforo no tecido vegetal de quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háptico

Tratamentos	Doses	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
-----mg kg ⁻¹ de P-----					
TEST	0	404 e	287 d	343 d	656 a
SFS	75	600 d	477 abc	768 c	947 a
SFS	150	779 abc	479 abc	995 ab	907 a
SFT	75	652 cd	437 bcd	849 bc	935 a
SFT	150	818 ab	469 abc	1085 a	537 a
MFM	75	630 cd	383 bcd	716 c	661 a
MFM	150	656 cd	610 a	891 abc	603 a
SFSM	75	679 abcd	506 ab	768 c	843 a
SFSM	150	827 a	601 a	1043 ab	536 a
PSFC	75	588 d	495 abc	725 c	788 a
PSFC	150	667 bcd	524 ab	1013 ab	555 a
OGMG	75	403 e	291 d	398 d	630 a
OGMG	150	430 e	339 cd	418 d	677 a

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFMS: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

No primeiro cultivo realizado no Nitossolo, novamente, à exceção dos tratamentos com SFS, nas doses de 100 e 200 mg kg⁻¹ de P, e com SFT na dose de 200 mg kg⁻¹ de P, os demais proporcionaram valores semelhantes de P. Para esta cultura (soja), as doses dos demais tratamentos não diferiram entre si.

No segundo cultivo (soja) realizado no Cambissolo, as doses aplicadas não proporcionaram diferenças no teor de P, dentro de cada tratamento. Na dose de 150 mg kg⁻¹ de P, com exceção do tratamento com OGMG, onde os teores de P foram os menores, não houve diferença entre as fontes de P.

No terceiro cultivo (trigo) realizado sobre o Cambissolo, o tratamento com OGMG proporcionou teores de P no tecido semelhante ao encontrado na testemunha, sem adubação com P, nas duas doses aplicadas. Na dose de 75 mg kg⁻¹ de P, todos os demais tratamentos foram iguais entre si, porém diferiram dos resultados obtidos com a dose de 150 mg kg⁻¹ de P. Exceção feita ao tratamento com MFM, onde as duas doses aplicadas proporcionaram teores de P no tecido vegetal semelhantes.

No quarto cultivo (milho) realizado, tanto no Cambissolo, quanto no Nitossolo, todos os tratamentos e doses proporcionaram teores de P no tecido semelhantes. Isto provavelmente ocorreu em função da diminuição da disponibilidade de P ao longo do tempo, uma vez que os fosfatos foram aplicados aos solos somente por ocasião da semeadura do primeiro cultivo. Contribuíram para isso os cultivos sucessivos, a extração de P pelas plantas e a sua posterior exportação via tecido vegetal, associado às reações de adsorção de P no solo, que se acentuaram com o revolvimento do

mesmo por ocasião da coleta de amostras de solo após cada cultivo.

No Nitossolo, exceto na maior dose do terceiro cultivo, o tratamento com fertilizante organomineral proporcionou o mesmo teor de P no tecido vegetal que a testemunha (Tabela 7), mostrando que esta não é uma boa fonte de P para as plantas.

Tabela 7 - Teores médios de fósforo no tecido foliar de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho

Tratamentos	Doses	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
-----mg kg ⁻¹ de P-----					
TEST	0	336 c	337 b	246 f	260 c
SFS	100	428 ab	373 b	600 d	543 ab
SFS	200	454 a	431 ab	695 bcd	594 a
SFT	100	360 bc	442 ab	710 abc	637 a
SFT	200	427 ab	486 a	795 a	567 a
MFM	100	295 c	354 b	683 bcd	537 ab
MFM	200	306 c	378 b	682 bcd	592 a
SFSM	100	315 c	376 b	622 cd	586 a
SFSM	200	355 c	388 ab	658 bcd	651 a
PSFC	100	310 c	406 ab	659 bcd	595 a
PSFC	200	328 c	440 ab	727 ab	662 a
OGMG	100	349 c	368 b	315 ef	354 C
OGMG	200	300 c	418 ab	392 e	409 bc

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnesiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

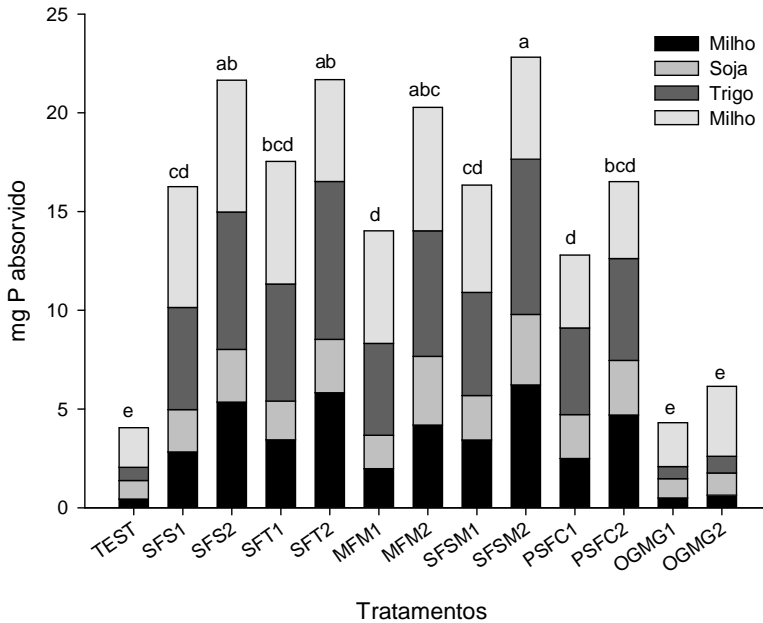
Fonte: O próprio autor.

Os tratamentos com aplicação de SFSM e PSFC não foram os que se destacaram no fornecimento de P para a parte aérea das plantas, pois sempre foram iguais ou inferiores aos fosfatos solúveis (SFS e SFT), nos dois solos. O tratamento com PSFC demorou a disponibilizar P às plantas após a aplicação e o teor no tecido vegetal foi menor no primeiro cultivo em relação aos demais. Isto provavelmente ocorreu em função desta fonte possuir parte do P não solúvel em água, necessitando de um tempo maior de contato e de condições específicas para melhorar a dissolução do fosfato, e só depois disso liberar quantidades significativas de P para as culturas.

3.3.1 Teores Totais De Fósforo Absorvido Pela Parte Aérea

Os teores totais de P absorvidos no somatório dos quatro cultivos realizados no Cambissolo variaram entre os fosfatos. Os maiores valores absorvidos ocorreram na maior dose dos seguintes fosfatos: SFS, SFT, MFM e SFSM. Na sequência decrescente, vem o PSFC e, por último, o organomineral, o qual não diferiu do tratamento que não recebeu P. Na menor dose aplicada, não houve diferença entre os fosfatos, à exceção do organomineral que, novamente, foi o menos eficiente, não tendo diferido da testemunha (Figura 5).

Figura 5 - Teores totais de P absorvidos por quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háplico

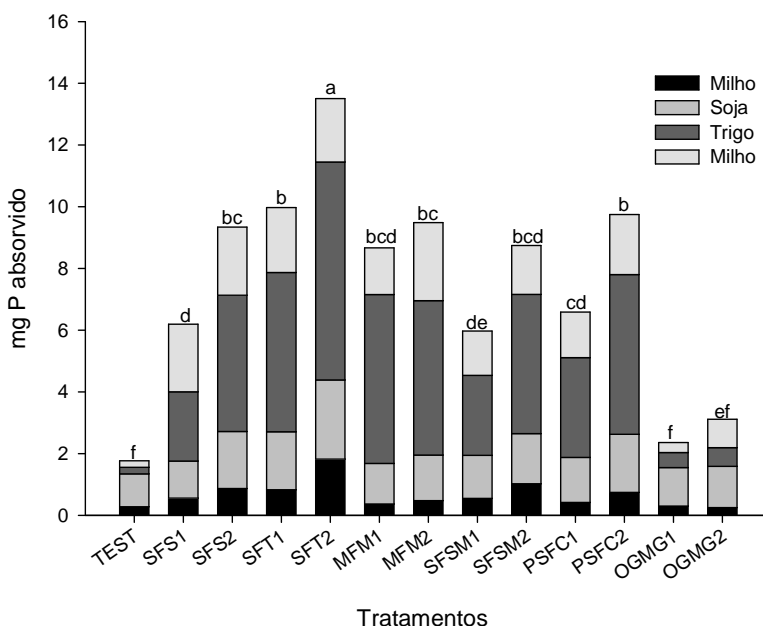


Fonte: O próprio autor.

Os teores totais de P absorvidos no somatório dos quatro cultivos realizados no Nitossolo variaram entre as doses e entre os fosfatos. Na maior dose aplicada, os maiores valores foram proporcionados pelo SFT. Na sequência, vieram todos os demais fosfatos, à exceção do organomineral, o qual, mais uma vez, não diferiu do tratamento que não recebeu P. Na menor dose aplicada, o SFT foi o mais eficiente e o organomineral o menos eficiente, evidenciando que este fertilizante não é uma boa fonte de fornecimento de P para as culturas em

solos com baixa disponibilidade de fósforo. O teor total de P absorvido aumentou com o aumento da dose somente nos fosfatos: SFS, SFT e PSFC.

Figura 6. – Teores totais de P absorvidos por quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho.



Fonte: O próprio autor.

3.4 DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO

3.4.1 P No Solo Extraído Por Mehlich-1

Nas amostras de solo coletadas após o primeiro cultivo realizado no Cambissolo, com milho (Tabela 8), não houve diferença nos valores de P no solo entre as doses aplicadas dentro de cada tratamento. Houve, entretanto, variação em relação ao teor de P no solo proporcionado pelas diferentes fontes aplicadas. Os valores de P extraídos do Cambissolo no tratamento testemunha, onde não foi aplicado P, foram semelhantes aos extraídos com a adição de 75 mg kg^{-1} de P utilizando-se SFS, SFT e OGMG, e isto mostra pouca sensibilidade do método analítico. Os maiores teores de P no solo, extraídos pelo método de Mehlich-1, neste solo, foram verificados nas maiores doses dos seguintes fosfatos: PSFC, MFM e SFMS, mas somente o MFM diferiu dos demais, cujos valores variaram de 1,3 a $18,9 \text{ mg kg}^{-1}$. No último cultivo, os valores variaram de 0,8 a $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$, com os maiores valores na maior dose dos fosfatos: PSFC, SFMS e organomineral.

Como o método de Mehlich-1 é ácido, ele dissolve partículas de fosfato natural indisponíveis para as plantas. Por isto, este método não deve ser usado para avaliar a disponibilidade de P no solo caso fosfatos naturais ou fertilizantes que tenham estes materiais tenham sido aplicados.

No segundo cultivo (soja) no Cambissolo, diferentemente do primeiro, houve diferença entre as doses aplicadas nos tratamentos com MFM, PSFC e OGMG. Não houve variação em relação ao teor de P na dose de 75 mg kg^{-1} de P entre as fontes aplicadas, onde apenas o tratamento com SFMS diferiu da testemunha. Os maiores valores de P no solo foram obtidos com a dose de 150 mg kg^{-1} de P de todas as fontes. No Nitossolo, todas as fontes foram iguais à testemunha quando aplicadas na dose de 100 mg kg^{-1} de P. Dentro de cada fonte, as doses diferentes proporcionaram

resultados semelhantes nos tratamentos com SFS, SFSM, PSFC e resultados significativamente diferentes nos tratamentos com SFT, MFM e OGMG. Com exceção do SFS, os maiores resultados de P disponível no solo foram obtidos com a dose de 200 mg kg⁻¹ de P das demais fontes.

Tabela 8 - Teores de fósforo no Cambissolo Háplico, extraídos pelo método de Mehlich-1, após a realização de quatro cultivos sucessivos

Tratamentos	Doses	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
-----mg kg ⁻¹ de P-----					
TEST	0	1,3 f	0,9 e	0,9 d	0,8 f
SFS	75	5,5 def	4,4 de	4,3 bc	2,2 ef
SFS	150	10,4 bcde	8,4 abcd	9,0 a	5,3 bc
SFT	75	6,9 cdef	4,6 cde	2,3 cd	2,1 f
SFT	150	11,5 bcd	7,5 abcd	6,3 ab	4,4 cde
MFM	75	13,2 abc	4,5 de	1,6 cd	2,8 def
MFM	150	18,9 a	10,2 ab	3,9 bcd	5,5 bc
SFSM	75	10,9 bcde	7,2 abcd	0,9 d	4,6 cd
SFSM	150	14,9 ab	11,6 a	1,8 cd	7,5 ab
PSFC	75	9,3 bcde	5,9 bcde	0,9 d	4,6 cd
PSFC	150	15,6 ab	12,4 a	2,8 cd	7,9 a
OGMG	75	4,1 ef	3,6 de	3,5 bcd	5,1 c
OGMG	150	9,6 bcde	10,0 abc	3,3 bcd	7,9 a

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

No terceiro cultivo (trigo) no Cambissolo, apenas nas fontes SFS e SFT houve diferença entre as doses aplicadas dentro de cada tratamento. Os maiores teores de P no solo foram obtidos quando foram adicionados 150 mg kg^{-1} de P a partir do SFS e SFT, considerados padrões comparativos neste trabalho. No Nitossolo, não houve diferença no teor de P no solo entre os fertilizantes na dose de 100 mg kg^{-1} . Na dose 200 mg kg^{-1} de P, apenas o SFMS diferiu das demais.

No quarto cultivo (milho) no Cambissolo houve variação entre as doses aplicadas dentro de cada fonte. Na dose de 75 mg kg^{-1} de P, as fontes SFS, SFT e MFM foram iguais entre si e não diferiram da testemunha. Nesta dose, também não houve diferença entre as fontes SFMS, PSFC e OGMG. Na dose de 150 mg kg^{-1} de P, os tratamentos com SFS, SFT e MFM foram semelhantes e os maiores valores foram obtidas com as fontes SFMS, PSFC e OGMG.

Diferentemente dos cultivos anteriores, os fosfatos solúveis (SFS e SFT) não proporcionaram os maiores valores de P disponível no solo. No Nitossolo, ocorreram diferenças entre as doses aplicadas dentro de cada fonte apenas nos tratamentos com SFT e MFM (Tabela 9). A dose 100 mg kg^{-1} de P nos tratamentos com SFS, SFT e SFMS proporcionou o mesmo resultado que no tratamento testemunha.

Comparando-se os resultados obtidos com a aplicação de 100 mg kg^{-1} de P, apenas o tratamento com OGMG apresentou resultado diferente. Entre os tratamentos com a aplicação de 200 mg kg^{-1} de P, houve diferença significativa apenas nas fontes MFM e OGMG, sendo que as demais apresentaram resultados semelhantes.

Tabela 9 - Teores de fósforo no Nitossolo Vermelho, extraídos pelo método de Mehlich-1, após a realização de quatro cultivos sucessivos

Tratamentos	Doses 1º Milho		2º Soja	3º Trigo	4º Milho	
	mg kg ⁻¹ de P					
TEST	0	0,5	g	0,3 D	0,4 d	0,8 f
SFS	100	4,5	fg	0,7 D	4,9 abcd	2,5 ef
SFS	200	10,0	defg	1,8 Bcd	5,8 abcd	4,3 cde
SFT	100	11,0	cdef	1,6 Cd	3,9 abcd	2,6 ef
SFT	200	25,3	a	4,3 Ab	8,2 abc	5,6 abcd
MFM	100	6,9	efg	1,1 Cd	3,3 cd	4,4 cde
MFM	200	20,0	abcd	4,9 a	10,6 ab	7,8 ab
SFSM	100	7,5	efg	1,3 cd	4,0 abcd	3,5 def
SFSM	200	16,3	abcde	3,3 abc	10,9 a	5,5 bcd
PSFC	100	7,3	efg	2,4 abcd	1,1 cd	3,8 cde
PSFC	200	20,7	abc	4,3 ab	3,6 bcd	6,3 abcd
OGMG	100	11,5	bcdef	1,1 cd	6,5 abcd	6,3 abc
OGMG	200	21,4	ab	4,2 ab	3,9 abcd	8,4 a

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

3.5 EQUIVALENTE SUPERFOSFATO TRIPLO E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO P

A produtividade das culturas em resposta à adição dos fertilizantes foi calculada em equivalente de superfosfato triplo (EqSFT, %) para cada dose aplicada,

obtido pela seguinte fórmula: $\text{EqSFT}(\%) = \left[\frac{\text{Produção de Biomassa da parte aérea da cultura no tratamento/Biomassa da parte aérea da cultura no tratamento com SFT}}{100} \right]$ (Tabelas 10 e 11).

No Cambissolo Háplico, o EqSFT variou com o cultivo, com a dose e com os fosfatos (Tabela 10). Na menor dose aplicada, no primeiro cultivo, o SFS e o SFMS proporcionaram valores superiores a 90%, enquanto que o PSFC proporcionou valor de 80% e o organomineral de apenas 23%. Com o passar do tempo, o EqSFT de todos os fosfatos aumentou, porém na média dos quatro cultivos, o PSFC atingiu 85% e o organomineral apenas 44%. Na maior dose aplicada, todos os fosfatos, à exceção do organomineral apresentaram EqSFT superior a 90%, desde o primeiro cultivo, mostrando que a dose aplicada foi maior do que a necessidade das plantas. Na média dos quatro cultivos desta dose, o EqSFT do organomineral foi de apenas 44% (Tabela 10).

No Nitossolo Vermelho, a resposta dos fosfatos foi diferente da ocorrida no Cambissolo Háplico, em função da maior capacidade de adsorção de P do NV em relação ao CH (Tabela 11). O EqSFT também variou com o tipo de fosfato, com o cultivo e com a dose aplicada. Na menor dose aplicada, no primeiro cultivo, nenhum dos fosfatos atingiu 80% em relação ao SFT. Na média dos quatro cultivos, entretanto, todos os fosfatos atingiram valores iguais ou maiores do que 75%, à exceção do organomineral que atingiu apenas 42%. Na maior dose aplicada, todos os fosfatos apresentaram EqSFT superior a 70% já a partir do segundo cultivo, à exceção do organomineral. Na média dos quatro cultivos desta dose, o EqSFT do organomineral foi de apenas 38% e dos demais ao redor de 75% (Tabela 11).

Tabela 10 – Equivalente Superfosfato Triplo (EqSFT) de adubos fosfatados no total de quatro cultivos sucessivos realizados no Cambissolo Háplico

Tratamento	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho	Média
----- EqSFT % -----					
Dose	----- 75 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	89,5	100,0	96,5	101,0	97,2
SFT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MFM	59,8	98,5	93,8	131,0	95,8
SFSM	95,8	99,1	97,4	91,5	96,0
PSFC	80,0	99,8	87,5	72,7	85,0
OGMG	23,2	74,7	22,1	56,3	44,1
Dose	----- 150 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	95,4	96,8	95,2	78,5	91,5
SFT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MFM	89,3	98,4	97,8	108,0	98,4
SFSM	105,0	101,0	102,0	98,4	101,0
PSFC	98,9	91,8	69,5	75,2	83,9
OGMG	20,8	57,5	27,2	52,6	39,5

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições. Fonte: O próprio autor.

Tabela 11 – Equivalente Superfosfato Triplo (EqSFT) de adubos fosfatados no total de quatro cultivos sucessivos realizados no Nitossolo Vermelho

Tratamento	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho	Média
----- EqSFT % -----					
Dose	----- 100 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	55,8	75,1	52,1	119,0	75,5
SFT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MFM	53,6	87,2	111,0	85,7	84,5
SFSM	75,2	86,6	57,3	73,5	73,1
PSFC	57,7	84,0	67,5	73,4	70,6
OGMG	37,6	79,5	21,3	27,9	41,6
Dose	----- 200 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	44,8	81,2	71,5	103,0	75,3
SFT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MFM	36,5	74,1	82,6	118,0	77,9
SFSM	66,5	79,6	77,1	66,8	72,5
PSFC	53,2	81,8	79,7	80,8	73,9
OGMG	19,4	60,5	17,5	65,4	38,5

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnésiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições. Fonte: O próprio autor.

O Índice de eficiência agronômica do P aplicado através dos fertilizantes foi calculado para cada dose aplicada através da seguinte fórmula: IEA (%) = $\{[(P_{\text{absorvido fonte}} - P_{\text{absorvido testemunha}}) / (P_{\text{absorvido SFT}} - P_{\text{absorvido testemunha}})] \times 100\}$. (Tabelas 12 e 13) (adaptado de NOVAES, 2007).

No primeiro cultivo realizado no Cambissolo, na menor dose aplicada, o índice de eficiência agrônômica de nenhum tratamento superou ao do SFT (Tabela 12), sendo que o do SFMS foi próximo de 100% e o do organomineral foi de apenas 1,8%. Com o passar do tempo, os valores de todos os fosfatos aumentaram relativamente ao SFT e, na média dos quatro cultivos, o SFS e o SFMS apresentaram valores próximos de 100%, enquanto que o MFM e o PSFC tiveram IEA na faixa dos 70%, enquanto que o IEA do fosfato organomineral se manteve extremamente baixo, em 2,4%. Na maior dose aplicada, o SFMS apresentou valores maiores do que 100% desde o primeiro cultivo. Na média dos quatro cultivos, para esta dose, somente o PSFC, com valor de 76%, e o organomineral, com valor de 16%, não superaram o SFT, mostrando que a dose aplicada neste solo foi maior do que a necessidade das plantas.

Tabela 12 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do P de adubos fosfatados no total de quatro cultivos em Cambissolo Háplico

Tratamento	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho	Média
----- EqsFT % -----					
Dose	----- 75 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	79,5	117	85,7	97,9	95,2
SFT	100	100	100	100	100
MFM	51,4	73,5	75,7	88,0	72,1
SFSM	99,9	127	86,6	81,6	99,0
PSFC	68,4	125	70,8	40,0	76,2
OGMG	1,8	3,6	-1,0	5,3	2,4
Dose	----- 150 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	91,2	98,2	85,8	148,0	105,8
SFT	100	100	100	100	100
MFM	69,6	144	77,7	134	106
SFSM	107	149	92,2	100	113
PSFC	79,0	103	61,3	59,8	76,0
OGMG	3,6	10,5	2,4	48,9	16,4

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnesiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições. Fonte: O próprio autor.

No Nitossolo Vermelho, solo com a maior capacidade de adsorção de P, na menor dose aplicada, nenhum fosfato superou o SFT, tanto no primeiro cultivo quanto na média dos quatro cultivos (Tabela 13). Apesar de que o IEA dos fosfatos aumentou com os cultivos em relação ao SFT, nenhum deles, na média dos cultivos, ultrapassou IEA de 60%, enquanto que o organomineral

teve um IEA médio de apenas 9,5%. Na maior dose aplicada neste solo, o IEA dos fosfatos também aumentou em relação ao SFT, porém, na média dos cultivos, nenhum deles atingiu valor superior a 70% em relação ao SFT (Tabela 13).

Tabela 13 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do P de adubos fosfatados no total de quatro cultivos em Nitossolo Vermelho

Tratamento	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho	Média
----- EqsFT % -----					
Dose	-----100 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	50,9	16,4	41,3	104	53,2
SFT	100	100	100	100	100
MFM	16,4	30,5	106,3	68,8	55,5
SFSM	49,4	40,3	48,2	64,6	50,6
PSFC	25,2	48,2	61,2	66,7	50,3
OGMG	4,6	22,0	5,7	5,8	9,5
Dose	----- 200 mg kg ⁻¹ de P -----				
SFS	38,2	52,3	61,5	108,2	65,0
SFT	100	100	100	100	100
MFM	12,9	27,5	70,0	125,8	59,0
SFSM	48,2	37,5	62,8	74,4	55,7
PSFC	30,3	54,3	72,5	94,2	62,8
OGMG	-1,8	18,1	5,9	38,5	15,2

TEST: testemunha, SFS: superfosfato simples, SFT: superfosfato triplo, MFM: multifosfato magnesiano, SFSM: superfosfato simples modificado, PSFC: fosfato solúvel + fosfato Natural reativo + carbonato de cálcio de origem marinha, OGMG: fosfato organomineral granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, dentro do mesmo solo, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições. Fonte: O próprio autor.

Resultados semelhantes de eficiência agronômica também foram obtidos por Quispe (2004), que comparando o MFM com uma fonte padrão (fosfato monocálcico) obteve valores inferiores, mas que aumentaram com o passar do tempo, evidenciando a solubilização mais lenta deste material. O mesmo resultado encontrou Braga (2006), que estudando o MFM em solos com capacidade de fixação aumentada concluiu que fontes com menor solubilidade de P em água têm a sua eficiência agronômica aumentada com o aumento da capacidade de fixação de P pelo solo.

Entre os trabalhos realizados comparando-se fontes tradicionais de P às fontes alternativas, destacamos: NAKAYAMA et al., (1998), estudando fontes de P em cultivo de plantas de arroz em casa de vegetação obtiveram 6% de eficiência agronômica superior do Multifosfato Magnésiano (MFM) em comparação com o Superfosfato Simples (SSP). Esta fonte, apesar de não ser totalmente solúvel em água, pode ser uma alternativa vantajosa para a substituição das fontes tradicionais de P. Em parte estes resultados foram confirmados por PROCHNOW et al. (2006), que, cultivando plantas de milho em solos com alta e baixa capacidade de adsorção de P, obtiveram eficiência agronômica superior do MFM no solo com alta capacidade de adsorver P. Porém, no solo de baixa capacidade de adsorção, a fonte com maior solubilidade em água (fosfato monocálcico, FMC) apresentou a maior eficiência. Também LANA et al. (2007), encontraram respostas à aplicação a lanço de Multifosfato Magnésiano na cultura da soja, com aumento expressivo da produtividade e aumento do teor de P absorvido, quando em comparação com Superfosfato Simples e o Superfosfato Triplo.

Os resultados obtidos neste trabalho com o fertilizante OGMG diferem dos encontrados por FRAZÃO (2013), que estudando a eficiência proporcionada pela aplicação de Cama de aviário granulada com SFT e Fosfatos Naturais Reativos, encontrou maiores eficiências destas fontes quando comparadas ao SFT. Os resultados diferentes são explicados em função da qualidade da fonte de fonte de P adicionada na granulação do fertilizante OGMG, pois quanto maiores forem as solubilidades destas, maior a capacidade de fornecimento de P às plantas do produto final.

Resultados parcialmente semelhantes aos deste trabalho foram encontrados por JUNIOR et al. (2008), que comparando a aplicação de SFT e FNR a lanço e no sulco, encontraram eficiências agrônômicas contrastantes em relação ao modo de aplicação. Para aplicação no sulco, o SFT apresentou o melhor desempenho em fornecimento de P às plantas de milho. Quando a aplicação foi feita a lanço, o resultado do FNR foi superior, corroborando a idéia de que fontes com pouca solubilidade do P em água necessitam de maior área de contato com o solo para sua dissolução.

Os resultados encontrados neste trabalho são diferentes dos encontrados por SCIVITTARO et al. (1997), que comparando fontes de P em plantas de milho, encontraram equivalência entre as fontes fluidas (ácido fosfórico e suspensão coloidal de P) e sólidas de P (fosfato monoamônico e superfosfato triplo), concluindo que essas fontes possuem a mesma eficiência agrônômica, sendo comparáveis às fontes de P tradicionais.

4 CONCLUSÕES

Na média dos quatro cultivos realizados em cada um dos dois solos, nenhum dos fosfatos foi superior ao superfosfato triplo em qualquer dos atributos de solo ou de planta avaliados. A eficiência dos fosfatos não completamente solúveis aumentou com o tempo de cultivo dos solos, porém o fosfato organomineral demonstrou ser uma fonte de baixíssima eficiência para suprir fósforo em solos deficientes neste nutriente. Por ter características ácidas, o Mehlich-1 não foi um bom método para avaliar a disponibilidade de P do solo quando fosfatos de diferentes solubilidades em água são usados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA. Associação Nacional Para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes Para 2010. São Paulo, comitê de Estatística, 2011.

ARAÚJO, I. B.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C. & SANTOS, J.Z.L. **Eficiência Nutricional do Milho em Resposta a Fontes e Modos de Aplicação de Fósforo.** Revista Ceres, 50:27-39, 2003.

BRAGA, G. **Eficiência de Fosfatos Com Solubilidade Variável em Água em Solos Com Capacidade de Fixação de Fósforo Induzida.** Dissertação de mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, 2006. 82 p.

CQFS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de Adubação e Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10^a Ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, RJ, 1999. 412 p.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de Suelos Con Ênfasis en Suelos de América Latina.**

San José: Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura, 1994. 420 p.

FONTOURA, S. M. V., VIEIRA, R. C. B., BAYER, C. ERNANI, P. R., MORAES, P. R. **Eficiência Técnica de Fertilizantes Fosfatados Aplicados em Latossolo Sob Plantio Direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:1907-1914. 2010.

FRAZÃO, J. J. **Eficiência Agronômica de Fertilizantes Organominerais Granulados à Base de Cama de Frango e Fontes de Fósforo**. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia, 2013. 88 p

JUNIOR, A. O., PROCHNOW, L. I., KLEPKER, D. **Eficiência Agronômica de Fosfato Natural Reativo na Cultura da Soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. V. 43 n. 5. p 623-631. Maio de 2008.

LANA, R. M. Q., BUCK, G. B. LANA, A. M. Q., PEREIRA, R. P. **Doses de Multifosfato Magnesiano Aplicados a Lanço em Pré-semeadura, Sob Sistema Plantio Direto: Cultura da Soja**. Ciência e Agrotecnologia, vol.31, Dez. 2007, nº6, p 1654-1660.

MATIAS, G.C.S. **Eficiência Nutricional de Fontes de Fósforo de Solubilidade Variável em Água em Cultivares de Arroz (*Oriza sativa L.*)**. Dissertação de

Mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, 2006. 93 p.
McBRIDE, M.B. **Environmental Chemistry of Soils**. New York, Oxford University Press, 1994. 406 p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. **A Modified Single Solution Method For The Determination of Phosphate in Natural Waters**. Analytica Chemica Acta, Oxford, v.27, p.31-36, 1962.

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 Agricola, Vol. 55, n.2. Piracicaba, maio/agosto de 1998.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p 471-550.

QUISPE, J. F. S. **Eficiência Agronômica de Fosfatos Com Solubilidade Variável em Água em Solos Distintos Quanto a Capacidade de Fixação de Fósforo**. Dissertação de mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, 2004. 57 p.

RAIJ, B. Van. **Fósforo no Solo e Interação com Outros Elementos**. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., Eds. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba. Potafos, 2004.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C. & KAMINSKI, J. **Fatores Que Afetam a Disponibilidade do Fósforo e o Manejo da Adubação Fosfatada em Solos Sob Sistema Plantio Direto**. *Ci. Rural*, 38:576-586, 2008.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico nº 5).

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fertilizantes Utilizados No Experimento

Tabela 14 – Fertilizantes utilizados no experimento

Símbolo	Nome comercial
SSP	Superfosfato Simples
SFT	Superfosfato Triplo
MFM	Fosmag
SFSM	Top Phos
PSFC	Lithofertil
OGMG	Biocoper

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE B – Características Químicas dos Fertilizantes Utilizados no Experimento

Tabela 15 – Características químicas dos fertilizantes utilizados no experimento

Fertilizante	Características
Superfosfato Simples (SFS)	Ataque sulfúrico à rocha apatítica. Fósforo solúvel.
Superfosfato Triplo (SFT)	Ataque à rocha apatítica com ácido fosfórico. Fósforo solúvel.
Multifosfato Magnésiano (MFM)	Adição de Óxido de Magnésio ao Superfosfato Simples pó. Fósforo com solubilidade variável e gradual.
SFS Modificado (SFSM)	Adição de uma molécula orgânica no processo de fabricação do Superfosfato Simples. Fósforo solúvel.
P solúvel + FNR* + carbonato de cálcio marinho (PSFC)	Mistura de fontes de P com diferentes solubilidades (monoamônio fosfato e SFT) e granulação com carbonato de cálcio c/ origem marinha. Fósforo com solubilidade variável e gradual.
Organomineral Granulado (OGMG)	Fosfato Natural Reativo granulado com cama de aviário. Fósforo com baixa solubilidade.

*FNR: Fosfato Natural Reativo.

Fonte: Produção do próprio autor.

APÊNDICE C – Caracterização Química dos Fertilizantes Utilizados no Experimento

Tabela 16 – Teores de fósforo nos fertilizantes utilizados no experimento

Fertilizante	Analisado	Garantias			
		-----% P ₂ O ₅ -----			
	-----total-----	CNA+água*	ác.cit.**	água	
SSP	19,73	-	18	-	15
SFT	41,48	-	46	-	39
MFM	17,39	-	18	-	8
SFSM	28,22	28	-	22	18
PSFC	15,53	21	-	15	11
OGMG	20,62	15	-	3	-

SFS: Superfosfato Simples, SFT: Superfosfato Triplo, MFM: Multifosfato Magnésiano, SFSM: Superfosfato Simples Modificado, PSFC: Fósforo Solúvel com Fosfato Natural Reativo e Carbonato de Cálcio de Origem Marinha, OGMG: Organomineral Granulado. Média de duas repetições.

*Citrato Neutro de Amônio + Água.

**Ácido Cítrico a 2%.

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE D – Biomassa de Raízes no Cambissolo

Tabela 17 – Biomassa de raízes de quatro cultivos em Cambissolo Háplico

Tratamento	Dose	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
	mg P kg ⁻¹	----- g vaso ⁻¹ -----			
	Solo				
TEST	0	0,8 d	2,0 d	1,9 c	1,0 e
SFS1	75	2,1 bc	2,7 a	6,7 a	2,6 cde
SFS2	150	2,3 ab	2,9 a	7,0 a	2,4 de
SFT1	75	2,0 bc	2,6 ab	7,0 a	2,4 de
SFT2	150	2,2 abc	3,0 a	7,4 a	6,0 a
MFM1	75	1,7 c	2,3 bc	6,6 ab	3,2 bcd
MFM2	150	2,7 a	2,4 bc	7,2 a	4,9 ab
SFSM1	75	2,3 ab	2,3 bc	6,8 a	2,4 de
SFSM2	150	2,4 ab	2,6 ab	7,5 a	4,7 abc
PSFC1	75	1,8 bc	2,5 bc	6,1 ab	1,9 de
PSFC2	150	2,2 abc	2,3 bc	5,1 b	2,6 cde
OGMG1	75	0,7 d	1,9 d	1,6 c	1,5 de
OGMG2	150	1,0 d	2,2 d	2,0 c	1,9 de

TEST: Testemunha, SFS: Superfosfato Simples, SFT: Superfosfato Triplo, MFM: Multifosfato Magnesiano, SFSM: Superfosfato Simples Modificado, PSFC: Fósforo Solúvel com Fosfato Natural Reativo e Carbonato de Cálcio de Origem Marinha, OGMG: Organomineral Granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE E – Biomassa de Raízes no Nitossolo

Tabela 18 – Biomassa de raízes em quatro cultivos em Nitossolo Vermelho

Tratamento	Dose mg P kg ⁻¹ Solo	1º Milho	2º Soja	3º Trigo	4º Milho
		----- g vaso ⁻¹ -----			
TEST	0	0,7 g	2,8 e	0,9 f	0,6 c
SFS1	100	1,2 defg	3,0 de	3,8 def	2,3 ab
SFS2	200	1,9 bc	4,1 cd	6,4 abcd	2,5 a
SFT1	100	1,9 bcd	3,5 bc	7,3 abc	1,5 abc
SFT2	200	2,8 a	3,4 a	8,9 a	2,3 ab
MFM1	100	1,2 efg	3,6 de	8,1 a	1,5 abc
MFM2	200	1,4 cdef	3,2 de	7,3 ab	1,9 abc
SFSM1	100	1,7 bcde	3,6 cd	4,2 cde	1,3 abc
SFSM2	200	2,2 ab	3,3 bc	6,9 abcd	1,2 abc
PSFC1	100	2,1 b	5,1 de	4,9 bcd	1,1 bc
PSFC2	200	1,2 defg	2,1 bc	7,1 abc	1,2 abc
OGMG1	100	0,8 fg	2,9 e	1,6 ef	0,6 c
OGMG2	200	0,8 fg	3,2 e	1,6 ef	1,2 abc

TEST: Testemunha, SFS: Superfosfato Simples, SFT: Superfosfato Triplo, MFM: Multifosfato Magnésiano, SFSM: Superfosfato Simples Modificado, PSFC: Fósforo Solúvel com Fosfato Natural Reativo e Carbonato de Cálcio de Origem Marinha, OGMG: Organomineral Granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de significância de 5%. Média de quatro repetições.

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE F – pH em Cloreto de Cálcio

Tabela 19 – Valores médios de pH_{CaCl2} em dois solos

Tratamento	Dose	Cambissolo	Dose	Nitossolo
	mg P kg ⁻¹ Solo	pH	mg P kg ⁻¹ Solo	pH
TEST	0	5,7 c	0	5,8 abc
SFS1	75	5,9 ab	100	6,0 ab
SFS2	150	5,9 b	200	6,0 ab
SFT1	75	6,0 ab	100	6,1 a
SFT2	150	6,0 a	200	6,2 a
MFM1	75	6,0 ab	100	6,1 a
MFM2	150	6,1 a	200	6,2 a
SFSM1	75	6,1 a	100	6,2 a
SFSM2	150	6,1 a	200	6,2 a
PSFC1	75	5,9 ab	100	5,9 abc
PSFC2	150	5,4 d	200	5,6 abc
OGMG1	75	5,3 d	100	5,3 c
OGMG2	150	5,3 d	200	5,4 bc

TEST: Testemunha, SFS: Superfosfato Simples, SFT: Superfosfato Triplo, MFM: Multifosfato Magnesiano, SFSM: Superfosfato Simples Modificado, PSFC: Fósforo Solúvel com Fosfato Natural Reativo e Carbonato de Cálcio de Origem Marinha, OGMG: Organomineral Granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de significância de 5%. Médias de quatro cultivos.

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE G – pH SMP

Tabela 20 – Valores médios de pH_{SMP} em dois solos

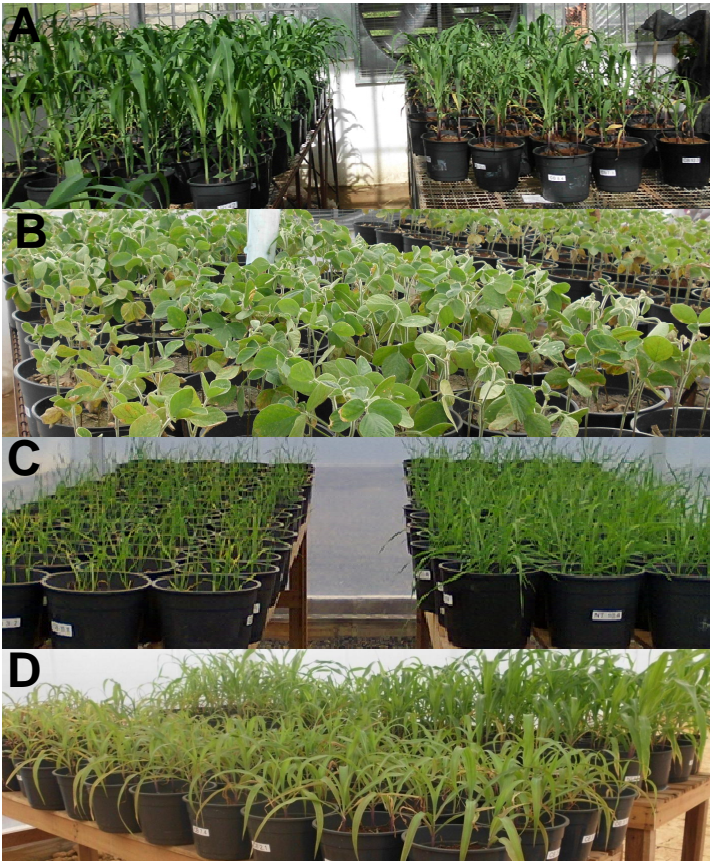
Tratamento	Cambissolo		Nitossolo	
	Dose mg P kg ⁻¹ Solo	pH	Dose mg P kg ⁻¹ Solo	pH
TEST	0	6,7 c	0	6,7 b
SFS1	75	6,9 ab	100	6,8 ab
SFS2	150	6,9 ab	200	6,8 ab
SFT1	75	6,9 ab	100	6,9 ab
SFT2	150	6,9 ab	200	6,7 b
MFM1	75	6,9 ab	100	6,8 ab
MFM2	150	7,0 a	200	6,8 ab
SFSM1	75	6,9 ab	100	6,8 ab
SFSM2	150	7,0 a	200	6,9 ab
PSFC1	75	6,9 ab	100	6,8 ab
PSFC2	150	6,7 c	200	6,8 ab
OGMG1	75	6,6 c	100	6,9 a
OGMG2	150	6,8 bc	200	6,9 a

TEST: Testemunha, SFS: Superfosfato Simples, SFT: Superfosfato Triplo, MFM: Multifosfato Magnésiano, SFSM: Superfosfato Simples Modificado, PSFC: Fósforo Solúvel com Fosfato Natural Reativo e Carbonato de Cálcio de Origem Marinha, OGMG: Organomineral Granulado. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de significância de 5%. Médias de quatro cultivos.

Fonte: O próprio autor.

APÊNDICE H – Cultivos Realizados no Experimento

Figura 7 – Cultivo de milho (A) e soja (B) na casa de vegetação do CAV - UDESC e Cultivo de Trigo (C) e Milho (D) na casa de vegetação do IFC - Campus Rio do Sul



Fonte: O próprio autor.