



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO

BRUNO NICCHIO

2015

BRUNO NICCHIO

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Co-orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Co-orientadora

Prof. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

N584e
2015 Nicchio, Bruno, 1990-
 Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo / Bruno
 Nicchio. - 2015.
 109 f. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Coorientador: Hamilton Seron Pereira.
Coorientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Adubação - Fosfato - Teses. 3. Fosfatos –
Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953-. II. Pereira, Hamilton
Seron. III. Lana, Regina Maria Quintão. IV. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. V. Título.

CDU: 631

BRUNO NICCHIO

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 09 de FEVEREIRO de 2015.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira (Co-orientador)	UFU
Prof ^a Dr ^a Regina Maria Quintão Lana (Co-orientadora)	UFU
Eng. Agr ^o . Dr. Robson Thiago Xavier de Sousa	CMAA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

DEDICATÓRIA

Aquele que me salvou e investe incessantemente em minha vida: Jesus! Aos meus amados pais, Mario Tadeu Nicchio e Maria Avany Matos Costa Nicchio que investiram em minha vida, com amor, entrega e educação. À minha amada esposa Mariana Vitorino Candeiro Nicchio pelo amor, carinho e doçura e aos meus irmãos Mario Tadeu Nicchio Júnior e Katarine Nicchio pelo apoio e incentivo.

Aos meus mentores Apóstolos Paulo e Rosangela Mazzali pelos conselhos, orações, decretos, direcionamentos, incentivo e carinho.

AGRADECIMENTOS

Glorifico e agradeço a Deus pela grande oportunidade de viver esse momento tão significativo em minha vida, pelas portas que se abriram, pelas oportunidades recebidas e aprendizado conquistado nesse tempo.

Sou grato à minha esposa Mariana por estar sempre ao meu lado, aos meus pais Mario Tadeu e Maria Avany Nicchio, aos meus irmãos Tadeu Júnior e Katarine Nicchio, a minha sogra e cunhada, Rita e Carolina por todo incentivo, motivação e carinho. Ao tio e Prof. Dr. Roberto Candeiro, agradeço pelo apoio e incentivo ao ingressar na pós-graduação.

Aos amigos de pós-graduação, Gustavo Alves Santos, Lucélia Alves Ramos e Marcos Vieira Faria pelo companheirismo, colaboração durante o mestrado e auxílio durante a realização dos experimentos.

Aos professores Gaspar e Hamilton, pelo investimento, confiança, orientação, auxílio e aprendizado proporcionado durante esse tempo.

À professora Regina pela orientação, carinho, apoio e incentivo.

A todos do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes “LAFER”, do Laboratório de Análises de Solo “LABAS” e do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura “GPSi” pela ajuda e auxílio.

À Dra. Lilian Aparecida de Oliveira, pela contribuição e auxílio para o aprimoramento deste trabalho.

À usina Vale do Tijuco, pelo fornecimento da área para realização do experimento, juntamente com a cooperação dos técnicos responsáveis e colaboradores para execução do trabalho.

Às empresas Agronelli S/A e Multifós S/A pelo fornecimento do material para realização da pesquisa.

Aos membros da banca Dr. Hamilton Seron Pereira, Dr. Robson Thiago Xavier de Sousa e a Dr^a. Regina Maria Quintão Lana pelos conselhos, considerações e contribuições em relação a este trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias, que permitiram a realização do mestrado, pelo suporte e conhecimentos concedidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

MUITO OBRIGADO!

EPÍGRAFE

*“Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas;
Glória, pois, a Ele eternamente. Amém.”*

Romanos 11:36

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRATC	ii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Dinâmica do fósforo em solos do Cerrado	3
2.2. Fósforo na nutrição mineral de plantas	5
2.3. Fósforo na cultura do milho	6
2.4. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar	7
2.5. Adubação Fosfatada	8
2.5.1. Fertilizantes fosfatados	8
2.5.2. Modos de aplicação das fontes de fósforo e eficiência da adubação fosfatada	11
2.5.3. Adubação fosfatada na cultura do milho	14
2.5.4. Adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar	16
RESUMO	22
ABSTRATC	23
CAPÍTULO 2: Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo em cerrado com cultivo de milho	24
2.6. INTRODUÇÃO	24
2.7. MATERIAL E MÉTODOS	25
2.7.1. Instalação	25
2.7.2. Delineamento	26
2.7.3. Descrição dos fertilizantes	26
2.7.4. Condução	27
2.7.5. Avaliações	28
2.7.6. Análises estatísticas	29
2.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
2.8.1. Teores de P, Ca, Mg e H+Al no solo	30
2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico	30
2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico	34
2.8.2. Produção de massa seca	39

2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico	39
2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico	42
2.8.2. Análise de plantas de milho	46
2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico	46
2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico	48
2.8.1.4. Acúmulo de P, Ca e Mg em plantas de milho	51
2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico	51
2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico	55
2.8.2.2. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P	57
2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico	57
2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico	60
2.9. CONCLUSÕES	63
RESUMO	
ABSTRATC	
CAPÍTULO 3: Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo em cultivo de cana planta	
3. INTRODUÇÃO	67
3.1. MATERIAL E MÉTODOS	69
3.1.1. Instalação	69
3.1.2. Delineamento	70
3.1.3. Avaliações e análises tecnológicas	71
3.1.4. Análise econômica	74
3.1.5. Análises estatísticas	74
3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.2.1. Avaliações de perfilhamento, altura e diâmetro em cana planta	75
3.2.2. Concentração foliar de P, Ca e Mg	76
3.2.3. Produtividade em cana planta	77
3.2.4. Análises tecnológicas	81
3.2.5. Teores de P, Ca, Mg e H+Al no solo	83
3.2.6. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P	87
3.3. CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Detalhe da colheita das parcelas (1A); Pesagem de massa seca de milho (1B); Detalhe da coleta de solo nas parcelas (1C), casa de vegetação, UFU, Uberlândia - MG.....	28
FIGURA 2 Plantas de milho aos 31 dias após semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	41
FIGURA 3 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	41
FIGURA 4 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	42
FIGURA 5 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	42
FIGURA 6 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	45
FIGURA 7 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	45
FIGURA 8 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 89 dias após aplicação diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	45
FIGURA 9 Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 89 dias após aplicação diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	46
FIGURA 10 Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ antes do plantio de milho em um Latossolo Vermelho distrófico.....	58
FIGURA 11. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ antes do plantio de milho em um Latossolo Vermelho distrófico.....	59

FIGURA 12 Eficiência agronômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ antes do plantio de milho em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.....	61
FIGURA 13 Eficiência agronômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ antes do plantio de milho em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.....	62
FIGURA 14 Detalhe dos espaçamentos das parcelas – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).....	69
FIGURA 15 Detalhe de amostragem, altura de plantas e biometria – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).....	71
FIGURA 16 Análise de produtividade – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).....	72
FIGURA 17 Detalhe da amostragem de solo na linha da parcela – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).....	73
FIGURA 18 Doses de SFT na produção de colmos em cana planta, Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.....	80
FIGURA 19 Eficiência agronômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na produção decana-planta, em função da aplicação de 200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no sulco de plantio de cana-de-açúcar (RB 86-7515).....	88
FIGURA 20 Eficiência agronômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na produção decana-planta, em função da aplicação de 400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no sulco de plantio de plantio de cana-de-açúcar (RB 86-7515)....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento em casa de vegetação, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.....	25
TABELA 2. Caracterização física das amostras de solo utilizadas no experimento em casa de vegetação, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.....	25
TABELA 3. Fonte de fósforo utilizada e quantidade de fósforo aplicada.....	26
TABELA 4. Caracterização dos fertilizantes fosfatados, com relação aos teores de P_2O_5 total, P_2O_5 em CNA+ H_2O , Ca, Mg e S.....	27
TABELA 5. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.....	30
TABELA 6. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.....	31
TABELA 7. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	32
TABELA 8. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	33
TABELA 9. Teores de $H+Al$, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	33
TABELA 10. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.....	34
TABELA 11. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.....	35
TABELA 12. Teores de cálcio (Ca) em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	37

TABELA 13. Teores de Magnésio (Mg) em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	38
TABELA 14. Teores de H+Al em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	39
TABELA 15. Massa seca (MS) de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	40
TABELA 16. Massa seca (MS) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 e 89 dias após a aplicação de diferentes fontes fosfatadas e total acumulada.....	43
TABELA 17. Concentração de fósforo (P) e cálcio (Ca) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	46
TABELA 18. . Concentração de fósforo (P) e cálcio (Ca) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	47
TABELA 19. Concentração de magnésio (Mg) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	48
TABELA 20. Concentração de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	49
TABELA 21. Concentração de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.....	50
TABELA 22. Acumulo de fósforo (P) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total e acumulado.....	52
TABELA 23. Acumulo de cálcio (Ca) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total e acumulado.....	53
TABELA 24. Acumulo de magnésio (Mg) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total acumulado.....	54

TABELA 25. Acumulo de fósforo (P) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatada e total acumulado.....	55
TABELA 26. Acumulo de cálcio (Ca) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatada e total acumulado.....	56
TABELA 27. Acumulo de magnésio (Mg) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35, 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatada e total acumulado.....	57
TABELA 28. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento.....	69
TABELA 29. Fonte de fósforo utilizada e quantidade de fósforo aplicada.....	70
TABELA 30. Caracterização dos fertilizantes fosfatados, com relação aos teores de P ₂ O ₅ total, P ₂ O ₅ em CNA+H ₂ O, Ca, Mg e S.....	71
TABELA 31. Produtividade de colmos em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no sulco plantio da cana planta 18 meses (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.....	77
TABELA 32. Total de açúcar por hectare (TAH) a partir do Pol% da cana planta em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.....	82
TABELA 33. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Latossolo Vermelho (0-20 cm e 20-40 cm) em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.....	84
TABELA 34. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Latossolo Vermelho (0-20 cm e 20-40 cm) em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.....	85
TABELA 35. Teores de cálcio (Ca) nas amostras de um Latossolo Vermelho em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.....	87
TABELA 36. Eficiência agrônômica relativa (EAR) na cana planta em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no sulco de plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.....	88

TABELA 37. Calculo do lucro estimado após uma safra em função da aplicação de 200 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no sulco de plantio de cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.....	90
---	----

TABELA 38. Calculo do lucro estimado após uma safra em função da aplicação de 400 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no sulco de plantio de cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.....	91
---	----

RESUMO

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo**. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

O Brasil é importante na produção de fontes de fósforo (P), pois os minérios fosfáticos são finitos. Além disso, a matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados apresenta baixa qualidade, tornando necessário o uso de tecnologias que pode encarecer o fertilizante, entretanto, existem algumas opções que podem reduzir esse custo podendo-se viabilizar o uso de fontes alternativas. Deste modo, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos do cerrado com cultivo de milho e o efeito das fontes alternativas na produção de cana-de-açúcar. Realizaram-se dois experimentos em casa de vegetação, em solo de textura argilosa e arenosa. Os tratamentos apresentaram-se pelas fontes de P (superfosfato triplo - tratamento padrão, fosfato decantado, fosfato precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado e fosfato natural alvorada), e doses de P (200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) mais o tratamento adicional (testemunha) que constou-se na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado. Observou-se que a maioria das fontes alternativas de P aplicadas em área total apresentou melhores resultados se comparados com o superfosfato triplo nos teores de P no solo, produção de massa seca e acúmulo de P em plantas de milho. O fosfato decantado, fosfato precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado apresentaram eficiência agronômica relativa (EAR) superior ao superfosfato triplo nos dois cultivos de milho e tipos de solo avaliados. Os extratores Mehlich1 e Resina superestimam a disponibilidade de P para as plantas, em solos adubados com fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado e fosfato natural alvorada. No experimento em campo com cana planta, os tratamentos apresentaram-se pelas fontes de P (superfosfato triplo - tratamento padrão, fosfato decantado, fosfato precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado), e doses de P (200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) mais o tratamento adicional (testemunha) que constou-se na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado. Verificou-se que as fontes de P testadas (superfosfato triplo, fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado) quando aplicadas no fundo do sulco de plantio da cana não proporcionaram diferenças na produção de colmos e açúcar do primeiro corte de cana, mas constatou-se aumento da eficiência agronômica relativa com aumento da dose de P com fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado. A aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via superfosfato triplo proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado às fontes alternativas de P. Mas com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o tratamento que proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado com as demais fontes de P foi o fosfato decantado.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, reatividade e efeito residual.

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-orientador) e Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-orientadora).

ABSTRACT

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Agricultural efficacy of alternative phosphorus sources.** 2015. 109f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) - Federal University of Uberlândia.¹

Brazil has an important role in the production of phosphorus (P) sources since phosphate minerals are finite. Moreover, the raw materials for the production of phosphate fertilizers present low quality, demanding the use of technologies that can turn fertilizers more expensive; however, there are some options to reduce this cost, making viable the use of alternative sources. Therefore, this study evaluated the agricultural efficacy of alternative sources of phosphate fertilizers in savanna soils cultivated with maize and of alternative sources in sugar cane. Two experiments were done in the greenhouse, in clayey and sandy soils. Treatments were P sources (triple superphosphate – standard treatment, decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one, and natural phosphate alvorada), and P doses (200 or 400 kg ha⁻¹ P₂O₅) plus a control treatment, consisting in no phosphate fertilizer application. Most of the alternative P sources applied in total area presented higher soil P contents, dry matter and P accumulation than triple superphosphate in maize. Decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed and granulated partially calcinated acidified phosphate presented greater relative agricultural efficacy (RAE) than triple superphosphate in both maize crops and soil types evaluated. The extractors Mehlich1 and Resin super estimated P availability for plants, in soils fertilized with mealed and granulated partially calcinated acidified phosphate and with natural phosphate alvorada. For the field experiment with plant cane, treatments consisted of P sources (triple superphosphate – standard treatment, decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed partially calcinated acidified phosphate, and the granulated one), and doses (200 or 400 kg ha⁻¹ P₂O₅) plus the additional treatment (control), consisting of the lack of phosphate fertilizer. It was observed that the P sources evaluated (triple superphosphate, decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed partially calcinated acidified phosphate, and the granulated one) when applied at the bottom of plant cane furrow did not resulted in differences in stalk and sugar production in the first harvest of cane; however, there was an increase in relative agricultural efficacy with inceased P dose with decanted and precipitate phosphates, mealed partially calcinated acidulated phosphate, and the granulated one. Application of P₂O₅ at 200 kg ha⁻¹ via triple superphosphate resulted in greater profitability per hectare in comparison to the alternative P sources. However, when applying P₂O₅ at 400 kg ha⁻¹, the treatment of greater profitability per hectare was decanted phosphate.

Keywords: Phosphate fertilization, reactivity and residual effect.

¹Supervising committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Supervisor), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-supervisor) and Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-supervisor).

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de grandes culturas tem crescido atualmente e um fator que tem influenciado o aumento na produtividade dessas plantas cultivadas de maneira drástica é o uso de fertilizantes (BANCO MUNDIAL, 2009; IFA, 2012; FAO, 2013). Até 2061, mais 77% do crescimento futuro na produção agrícola é esperado decorrer de aumentos de produtividade, o que torna os fertilizantes, insumos de grande importância para esse aumento (FAO, 2013). De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o consumo de “NPK” no Brasil aumentou na ordem de 23,27% no período de 2010 a 2014, com aumento na importação de 46,60%. Em relação ao período de 2013 a 2014 somente os fertilizantes fosfatados apresentaram aumento na importação de 14,8% (ANDA, 2014).

As reservas de rochas fosfáticas brasileiras se concentram nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás, mas a constituição dessas rochas (origem ígnea e metamórfica) não permite que os fosfatos naturais brasileiros sejam de boa qualidade. Para utilização dessas rochas fosfáticas, existe a necessidade de sua acidulação com ácido sulfúrico e/ou fosfórico, visando sua melhor solubilização, o que pode encarecer o processo de produção dos fertilizantes fosfatados. Para minimizar estes problemas, algumas opções são utilizadas como a acidulação parcial, calcinação dos concentrados fosfáticos e aproveitamento dos rejeitos desses concentrados (fosfatos de ferro e alumínio), obtendo-se fontes alternativas de P.

Além disso, as fontes alternativas de P podem apresentar bons resultados nos solos de cerrado, visto que em sua maioria apresenta alto poder de fixação de P no decorrer do tempo, o que pode reduzir a eficiência das fontes aciduladas. De acordo com o tipo de fonte fosfatada, outro fator a ser levado em conta para que se tenha melhor aproveitamento do P aplicado via fertilizante fosfatado é o modo de aplicação, pois fontes que apresentam maior solubilidade são indicadas que sejam aplicadas de forma localizada e as fontes de menor solubilidade em água ou totalmente insolúveis em área total visando melhor dissolução do P aplicado pela fonte fosfatada.

Em geral os fertilizantes fosfatados são agrupados em solúveis e insolúveis. As fontes solúveis como o superfosfato triplo (SFT) ou monoamônio de fosfato (MAP), são as mais utilizadas na agricultura brasileira, sendo mais eficiente para as plantas em curto prazo do que os fosfatos naturais, reativos ou pouco reativos, parcialmente acidulados ou de menor solubilidade. Em geral os fosfatos naturais, ou alternativos, apresentam em

longo prazo efeitos residuais maiores que os fosfatos solúveis, devido à solubilização do fertilizante, porém essas diferenças tendem a reduzir com o tempo. Além disso, essas fontes alternativas são atrativas economicamente, devido ao seu menor custo de produção (KORNDÖRFER, 1978; SOUSA, 2011; SANTOS et al., 2012).

Torna-se então fundamental a realização de experimentos que visam o manejo da adubação fosfatada, buscando a avaliação de novas fontes de P. Diante disso, a hipótese desta pesquisa é fundamentada em que os fosfatos alternativos, ou seja, fosfatos naturais, de menor solubilidade e parcialmente acidulados podem ser tão eficientes quanto ou superior às fontes solúveis assim como o superfosfato triplo, no fornecimento de P para plantas, disponibilidade no solo e efeito residual.

Portanto, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos do cerrado, na disponibilização de P liberado ao solo com cultivo de milho e o efeito das fontes alternativas na produção de cana-de-açúcar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. Dinâmica do fósforo em solos do cerrado

A principal forma química do P no solo é o íon ortofosfato (H_2PO_4^-). Em geral, os solos brasileiros e dos Cerrados apresentam baixo teor disponível de P, devido às reações no solo de dissolução/precipitação de minerais carreadores de P, adsorção/dessorção do fosfato das superfícies do solo e a hidrólise da matéria orgânica, controlando as quantidades de P na solução do solo (MALAVOLTA, 2006; HINSINGER, 2001).

O P já nas primeiras horas depois de aplicado no solo tende a precipitar-se com ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn), ou ainda, ser adsorvido pela superfície das argilas e dos óxidos de Fe e Al, formando compostos de menor solubilidade, consequência da mineralogia e pH desses solos (SOUSA e LOBATO, 2002; EMBRAPA, 2007; NOVAIS et al., 2007). O pH é um fator determinante na forma química de P na solução que ocorre nas formas iônicas H_2PO_4^- (fosfato diácido), HPO_4^{2-} (fosfato monoácido) ou PO_4^{3-} (fosfato) e também na eficiência de sua utilização pelas plantas (RAIJ, 1991; SILVA, 2011).

No solo, as diferentes formas de P relacionadas à sua disponibilidade são agrupadas em três frações: o fósforo em solução, o fósforo lábil e o fósforo não lábil. Na solução do solo o teor de P é normalmente baixo em solos de Cerrado, menor que $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ (em maior proporção na forma de H_2PO_4^- e em menor HPO_4^{2-}) estando em equilíbrio rápido com as formas lábeis da fase sólida. O P não-lábil (forma indisponível as plantas) está em maior proporção do P inorgânico do solo, apenas lentamente pode voltar as formas lábeis (GOEDERT et al., 1986; RAIJ et al., 1991).

A indisponibilização de P pode ser tão mais intensa quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidico for o solo (EMBRAPA, 2007). A mobilidade do P no solo é mínima e, conseqüentemente, suas perdas por lixiviação são desprezíveis (CAIONE, 2011). Com isso, tornam-se necessárias aplicações de P superiores às requisitadas pelas culturas pelo fato desses compostos serem insolúveis e indisponíveis às plantas. Assim a análise de solo é de suma importância para quantificação de P disponível (somatório do P-solução e P-Lábil) no solo e melhor recomendação de adubação (SOUSA et al., 2004; SILVA, 2011). Visto a grande afinidade deste nutriente com os componentes do solo, estima-se que a quantidade de P acumulada nos solos agrícolas, caso estivesse

disponível poderia sustentar a produção agrícola mundial por cerca de um século (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Apesar disso, é importante ressaltar que a correção dos solos ácidos pode proporcionar melhor aproveitamento do P aplicado no solo pelas plantas, devido promover a neutralização do Al, Fe e das cargas positivas livres que poderiam adsorver o fosfato (FURTINI NETO et al., 2001). A correção do solo através da calagem favorece a maior atividade de hidroxilas e carboxilas aumentando também a atividade de microrganismos responsáveis pela decomposição de compostos orgânicos (ANGHIONI, 2004; SATO; COMERFORD, 2005). Mas, o aumento do pH a neutralidade pode reduzir a disponibilidade de P, pela formação de compostos de Ca-P (NOVAIS et al., 2007 citado por DIAS, 2012). Outro fator que tem influência na disponibilização de P para as plantas segundo Sá (2004) é a matéria orgânica, pois de acordo com o seu conteúdo no solo, os sítios de adsorção de P são recobertos por radicais orgânicos, formando complexos que ficam mais disponíveis às plantas.

2.1.2. Fósforo na nutrição mineral de plantas

A maior parte do P absorvido pelas plantas é como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-), sendo pequenas quantidades do íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) absorvidas, independente da fonte aplicada, mas a relação desses íons na absorção pelas plantas depende do pH do solo (LOPES, 1989).

A capacidade de absorção de P difere entre espécies e, inclusive entre variedades (BARBOSA FILHO, 1987). A produtividade de plantas cultivadas depende, dentre outros fatores, do fornecimento adequado de nutrientes, sendo o suprimento de P pela adubação uma prática de grande importância nos solos brasileiros (STAUFFER; SULEWSKI, 2004), porém, apenas 5% a 20% são absorvido pelas plantas (DEMATTE, 1986; RAIJ et al., 1996; BASTOS et al., 2008).

Este nutriente é importante em uma série de processos fisiológicos das plantas, sendo mais conhecido pela sua função de transferência de gene e energia para o crescimento e reprodução dos vegetais. É parte integrante de várias moléculas químicas, como açúcares fosfatados, nucleotídios, coenzimas, fosfolipídios, ácido fítico, além de ser parte estrutural do difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP). Além disso, o P faz parte na formação de proteínas, processo de divisão celular, sínteses, fotossíntese, respiração, armazenamento de energia e aumento na eficiência da utilização de água que

colabora para aumentar a resistência de plantas a determinadas doenças, baixas temperaturas e falta de umidade (ALEXANDER, 1973; NAHAS, 1991; MALAVOLTA et al., 1997; KORNDÖRFER, 2004).

O P é um nutriente móvel nos tecidos das plantas estando presente nas regiões de crescimento mais ativo das plantas, apresentando deficiências inicialmente nas folhas mais velhas, tornando-as mais finas, estreitas, curtas e arroxeadas (ESTÉVES, 1986; STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Quando as plantas estão adequadamente nutridas, de 85% a 95% do P orgânico encontra-se nos vacúolos e na ocorrência de deficiência o P não metabolizado sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos mais novos (VITTI et al., 2004).

A deficiência de P como um todo tem impactos amplos e devastadores. Inúmeros dados respaldam esmagadoramente a importância agronômica, ambiental e econômica de um bom manejo de P (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Sua deficiência é mais expressamente demonstrada pela redução do crescimento da planta, devido afetar a formação das folhas, prejudicando assim a quantidade de clorofila.

Segundo Peres et al., (2014), tendo conhecimento de como as características do solo influenciam na disponibilidade de P, fica implícita a sua importância para a determinação da forma e dose aplicadas do fertilizante fosfatado, além da cultura, do clima e do sistema de cultivo adotado.

2.1.2.1. Fósforo na cultura do milho

Apesar do alto potencial produtivo que a cultura do milho apresenta, sua produtividade pode ser reduzida e a fertilidade do solo pode ser um dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade que não é responsável apenas pelos baixos níveis nutricionais presentes nos solos, mas também pelo uso inadequado de calagem e adubações, e à alta capacidade de extração do milho colhido (COELHO; FRANÇA, 2013 citado por SANTOS, 2013).

Na cultura do milho, a extração total depende do rendimento obtido e da concentração de nutrientes no grão e na palha (COELHO; FRANÇA, 2013 citado por SANTOS, 2013). Com relação ao P as quantidades requeridas para uma produção média de 6 t ha⁻¹, seria em média 23 kg ha⁻¹, porém a deficiência desse nutriente pode comprometer o desenvolvimento e produtividade da cultura. O P além de estar envolvido com o desenvolvimento do milho também está relacionado com o

crescimento das raízes, formação de grãos, fibras e com vigor das plantas (VITTI; WIT; FERNANDES, 2004).

Os sintomas de P na cultura do milho apresentam-se em sementes com poder germinativo reduzido, tornando-se lento, atraso no florescimento, folhas mais estreitas, grãos mais leves ou vazios, redução da qualidade do produto (VITTI et al., 2004). A deficiência de P pode induzir a de nitrogênio, sobretudo pela diminuição nas taxas de absorção de nitrato, e o afastamento espacial dos nutrientes pode causar menor acúmulo de ambos na parte aérea do milho (LEE et al., 1992; ALVES et al., 1998). De acordo com Büll (1993) e Silva et al. (2009), é marcante a influência do N na maior absorção de P pelo milho, pois a aplicação de P aumenta a assimilação de N proveniente da ureia e de adubos verdes pelo milho. A deficiência de magnésio (Mg) também pode influenciar a deficiência de P, porque segundo Malavolta et al. (1997), a absorção do P pode ser influenciada pela concentração de Mg na solução do solo, já que o Mg pode ser carregador do P para dentro da planta, pois acredita-se que esse fato é consequência da necessidade de Mg nas reações de transferência de energia (BERGMANN, 1992).

2.1.2.2. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar

O cultivo da cana-de-açúcar ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas, devido à extensão territorial do país. É provável que o Brasil é o único país com duas épocas de colheita anuais: a safra de parte da Região Nordeste vai de setembro a abril e a do Centro-Sul e demais regiões vão de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nessas regiões (ALFONSI et al., 1987 citado por SOUSA, 2014).

A extração de P pela cana-de-açúcar é relativamente pequena, quando comparado com o N e o potássio (K). Para uma produção de 100 t ha^{-1} , de acordo com Orlando Filho (1993), a extração de nutrientes que a cultura necessitaria seria de 143 kg de nitrogênio (N), 43 kg fósforo (P_2O_5), 210 kg potássio (K_2O). Deste modo, a exportação de P pela cultura é cerca de 8 vezes menor que a de N e K que pode variar de acordo com a variedade e do tipo de solo em que está sendo cultivada (GOMES, 2003).

No entanto, o P desempenha função-chave no metabolismo da cana-de-açúcar na formação de proteínas, no processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP e formação de sacarose (KORNDÖRFER, 2004). O fornecimento de P em

quantidade adequada é uma das principais práticas responsáveis pelos incrementos de produtividade por favorecer o enraizamento, o perfilhamento e a absorção dos demais nutrientes (SANTOS et al., 2002; CAIONE, 2011; RAMOS, 2013).

Na cana-de-açúcar a deficiência de P pode reduzir a brotação, perfilhamento, altura das plantas, diâmetro de colmo, encurtamento dos entrenós e consequentemente menor produtividade. Também reduz a absorção de nitrogênio dificultando o processo de clarificação do caldo durante a fabricação do açúcar tornando-o de menor qualidade e menor valor econômico (STUPIELLO, 1987; KORNDÖRFER, 2004; MAHADEVIAIAH et al., 2007).

2.2. Adubação Fosfatada

2.2.1. Fertilizantes Fosfatados

Mais de 50% dos fertilizantes fosfatados consumidos no Brasil são importados. O processo produtivo da agricultura brasileira atravessa uma fase em que o uso de tecnologias sustentáveis de produção vem se tornando uma constante. Esta alta demanda e a dependência de importação tem incentivado a busca por novas fontes nacionais de P. Em termos mundiais, mais de 99% dos fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de reservas de rochas fosfáticas pelo tratamento com ácidos (LOPES et al., 2004; GODOY et al., 2012).

No Brasil, a matéria-prima básica para produção de fertilizantes fosfatados são os minerais de apatita. As fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis (KORNDÖRFER et al., 1999). As principais fontes de P utilizadas são os fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples – SSP e superfosfato triplo – SFT), os fosfatos de amônio (monoamônio fosfato – MAP e diamônio – DAP) obtidos por acidulação total, termofosfato (termofosfato magnesiano) obtido por processos térmicos com consumo de elevada quantidade de energia. Os fosfatos alternativos (entre outros, parcialmente acidulados e compactados) e os fosfatos naturais (fosfatos de Arad, Gafsa, Bayóvar, Araxá e etc.) são obtidos pela moagem da rocha fosfática com reatividade e eficiência agronômica relativa dependendo da mineralogia da rocha (PROCHNOW et al., 2004; EMBRAPA, 2007).

A garantia desses produtos fertilizantes é sempre feita com base na quantidade de P_2O_5 solúvel em água (H_2O), ácido cítrico (AC) e Citrato Neutro de Amônio + H_2O

(CNA+H₂O), de tal forma que contenha elevada fração de P₂O₅ solúvel em CNA+H₂O também solúvel em água (84% a 92%; Fração de P₂O₅ solúvel em água) conforme previsto na legislação brasileira (GOERDERT; SOUSA, 1984; SOUSA; LOBATO, 2004; PROCHNOW et al., 2004). A característica mais importante dos fertilizantes fosfatados é a sua eficiência agrônômica, a qual expressa sua capacidade de promover o maior acréscimo de produtividade por unidade de P aplicado (SOUSA; LOBATO, 2004).

As reservas brasileiras constituem, em sua maioria, de rochas com altos níveis de contaminantes, particularmente de óxidos de Fe e Al e possuem quantidade limitada disponível de P para as plantas (MALAVOLTA; ALCARDE 1986). Na região do Cerrado, são encontradas algumas das principais jazidas do País, todavia, devido sua origem ígnea ou metamórfica, apresentam estrutura bem cristalizada, fornecendo assim fosfatos naturais de baixa reatividade (MALAVOLTA, 1981; HOROWITZ; MEURER, 2004). A maior parte da matéria-prima utilizada na fabricação dos fosfatos é constituída de uniões de minerais agrupados sob o termo genérico de rocha fosfórica (ou fosfática ou fosfatada) que é um nome comercial que inclui uma ampla variedade de rochas quanto à composição mineralógica (PROCHNOW et al., 2004).

Assim sendo, torna-se necessário a solubilização dessas rochas fosfáticas, todavia, os processos de solubilização tornam os investimentos desses fosfatos onerosos devido às dificuldades no tratamento do minério, de acidulação e purificação da rocha fosfórica (RIEDER, 1986; PROCHNOW et al., 2004). Os fatores que interferem na eficiência dos fosfatos solúveis, em geral, podem ser bem relativos às propriedades dos fertilizantes e dos solos, as práticas de manejo e cultura empregada (CHIEN et al., 1990). Nessa forma de produto consome-se mais de 90% do P destinado à agricultura brasileira que apresentam problema no aspecto industrial e econômico, como citado anteriormente. Algumas opções vêm sendo testadas, visando minimizar estes problemas, como a acidulação parcial (acidulação em proporção estequiometricamente inferior a necessária para solubilização total do fósforo apatítico) e o tratamento térmico dos concentrados fosfáticos (CARMO, 1986; GOEDERT et al., 1990).

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação. A eficiência dos fosfatos naturais está relacionada principalmente com os seguintes fatores: origem, tamanho das partículas, propriedades do solo, modo de aplicação, preparo do solo e cultura

(HOROWITZ; MEURER, 2004). Esses fosfatos podem ser considerados como fontes alternativas em relação aos fosfatos acidulados, por serem mais baratos e agronomicamente efetivos sob certas condições de solo, manejo e cultura (SANCHEZ; UEHARA, 1980; BARBOSA FILHO, 1984; RAJAN et al., 1996; RESENDE et al., 2006).

As rochas fosfáticas podem ser divididas em rochas de alta, média e muito baixa reatividade. Em geral, as rochas de origem sedimentar apresentam alta reatividade e as de origem ígnea e metamórfica baixa reatividade. Segundo Braithwaite et al. (1990), um fosfato natural é considerado reativo quando 30% do P-total for solubilizado em solução de ácido cítrico (2%). Segundo León et al. (1986), as rochas de alta eficiência são aquelas provenientes da Tunísia (Gafsa), Israel (Arad), Peru (Bayóvar) e Carolina do Norte (USA). As de média reatividade são vindas do centro da Flórida e Tennessee (USA), Pesca e Huila (Colombia) e as de baixa eficiência são de Patos de Minas, Abaeté e as de muito baixa são as de Catalão e Tapira.

De acordo com Novais et al. (2007), as fontes fosfatadas de elevada solubilidade correspondem a mais de 90% do P_2O_5 aplicado na agricultura brasileira, e em geral, a eficiência dos fosfatos industriais solúveis em água é maior em curto prazo, pois quando adicionados ao solo aumentam rapidamente a concentração de P no solo, mas sua eficiência é reduzida com o passar do tempo devido ao processo de "adsorção" ou "fixação" de P. Porém, a eficiência dos fosfatos insolúveis aumenta com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo dissolvendo-se lentamente na solução do solo e favorecendo a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo, tornando-se fontes ideais para o manejo de longo prazo, pois acabam sendo uma fonte de liberação controlada de P (RAJAN et al., 1996; HOROWITZ; MEURER, 2004).

2.2.2. Modos de aplicação das fontes de fósforo e eficiência da adubação fosfatada

Os modos de adubação mais discutidos na literatura são a aplicação a lanço e a localizada no sulco de semeadura (MALAVOLTA, 1981). Mas para que se tenha aumento na eficiência de absorção de P pelas plantas cultivadas, deve-se levar em conta o teor de P e o seu fator capacidade no solo em relação à eficiência de localização. O efeito da localização do fertilizante fosfatado em solos com alta disponibilidade de P tende a reduzir o aumento da eficiência de absorção, ou mesmo nulo, comparado com aqueles que apresentam baixa disponibilidade do nutriente (BÜLL et al., 2004).

Segundo o mesmo autor, uma das opções para reduzir fixação do P aplicado via fertilizantes ao solo, seria o aumento da concentração do nutriente em volume restrito do solo (localização), com isso, reduzindo o volume total de solo fertilizado em contato com a dose de P aplicada. No entanto, a localização excessiva do fertilizante fosfatado pode favorecer ao desenvolvimento insuficiente do sistema radicular (NOVAIS; SMYTH, 1999). Solos mais argilosos que apresentam maior capacidade de adsorção de P necessitam de maiores dosagens quando comparados a solos mais arenosos, todavia esses solos podem favorecer a solubilização de fosfatos naturais (NOVAIS; SMYTH, 1999; VALLADARES et al., 2003). Outro fato que desse ser destacado é que as plantas podem apresentar problemas de absorção do P em posições mais afastadas das raízes, devido este elemento demonstrar menor mobilidade no solo em relação aos demais nutrientes (BARBER, 1984; RAIJ, 1991).

Os fosfatos solúveis são indicados que sejam aplicados no sulco de plantio, visando proporcionar maior contato com sistema radicular e melhorar o processo de absorção, justificando o processo de granulação de fertilizantes para reduzir o contato da fonte solúvel de P com o solo, favorecendo o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento). Já os fosfatos insolúveis são mais indicados para aplicação a lanço, objetivando aumento da superfície de contato para sua melhor dissolução devido sua granulometria ser farelada/fina, o que não implica em aumento da eficiência da adubação, mas, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam proporcionar maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas. Apesar disso, não é simples a predição das respostas à adubação. Ao considerar a produção acumulada de vários cultivos após a aplicação, verifica-se que o desempenho de alguns fosfatos naturais pode equiparar-se ao das fontes mais solúveis (MALAVOLTA, 1981; NOVAIS; SMYTH, 1999; SOUSA; LOBATO, 2003; HOROWITZ; MEURER, 2004; RESENDE et al., 2006; SOUSA, 2011).

Apesar disso, tem-se sugerido também a aplicação do fosfato insolúvel localizada na linha de plantio, de forma a privilegiar a planta no aproveitamento do P oriundo do fosfato natural, minimizando o dreno do nutriente no solo, todavia, no meio científico esses aspectos ainda permanecem contestáveis. Ainda existem muitas divergências quanto a melhor forma de utilização das diversas fontes fosfatadas disponíveis do país (NOVAIS; SMYTH, 1999; EMBRAPA, 2007).

A combinação correta da adubação corretiva a lanço e de manutenção no sulco de plantio, tem grande relevância em proporcionar aumento de produtividade. Deste modo, existe a necessidade de novos métodos de adubação fosfatada em relação à fonte, época de aplicação e localização do fertilizante (LANA et al., 2004). Na avaliação da eficiência é importante levar em conta alguns aspectos como a natureza química, o método de aplicação, granulometria e a dose do fertilizante, o pH do solo, condições climáticas, sistema de preparo do solo, interação com outros nutrientes, cultura a ser empregada e entre outros (PROCHNOW et al., 2004; GOEDERT et al., 1986; SOUSA et al., 2004).

Outro fator que deve ser considerado na avaliação de fontes de P é o extrator utilizado para mensurar o P no solo oriundo do fertilizante. Pois quando utiliza-se um fosfato natural reativo (FNR) como fonte de P e a análise for feita no ano subsequente a aplicação, Sousa; Lobato, (2004); Raij, (2004) ao avaliar a disponibilidade de P pelo extrator Mehlich1, verificaram que esse superestima a disponibilidade de P para a cultura subsequente, pois solubiliza parte do FNR ainda não dissolvido no solo. Mas segundo eles extratores o Bray 1 e a resina podem ser uma solução para esse problema (RAIJ e DIEST, 1980; BAHIA FILHO et al., 1982; BRAGA et al., 1991; KLIEMANN; LIMA, 2001).

De acordo com Korndörfer et al. (1999), o método da resina discrimina melhor o P disponível para o milho adubado com fosfatos naturais. A liberação mais lenta do P influencia diretamente o seu comportamento no solo e isso pode ser benéfico às plantas, devido ao seu fornecimento mais constante ao longo do tempo. Segundo Sousa; Rein (2012), avaliando a disponibilidade de P do solo com extratores químicos verificaram que quando aplicou-se SFT os extratores Mehlich1, Bray 1 e resina apresentaram comportamento satisfatório para disponibilidade de P do solo, destacando-se a resina. Todavia, os extratores Mehlich1 e resina superestimaram a disponibilidade de P do solo quando foi utilizado o fosfato natural reativo, o mesmo não ocorrendo com o extrator Bray 1.

Como citado anteriormente, vários fatores isolados, assim como as suas interações, interferem na eficiência da adubação fosfatada (EMBRAPA, 2007). A eficiência de fertilizantes fosfatados pode ser obtida por alguns índices como o equivalente em superfosfato triplo (EqST), cuja eficiência agronômica é aferida por meio de índices estabelecidos pela comparação com um fosfato padrão, em geral o superfosfato triplo (EMBRAPA, 2007). A eficiência agronômica de fertilizantes

fosfatados também pode ser estimada pelo índice de eficiência agronômica (IEA), também chamada de eficiência agronômica relativa (EAR), proposta por Barnes; Kamprath (1975) e empregada por diversos autores brasileiros (GOEDERT; LOBATO 1984; OLIVEIRA et al., 1984, LEÓN et al., 1986; BRAGA et al., 1991; KORNDÖRFER et al., 1999; RESENDE et al., 2006; ONO et al., 2009; SOUSA, 2011; SANTOS et al., 2012).

Outro aspecto importe na avaliação da eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados é o seu efeito residual que pode ser avaliado anualmente, conduzindo-se experimentos em áreas adjacentes para determinar a curva de resposta (aplicação recente), obtendo-se por meio dessas curvas a quantidade de P equivalente aos tratamentos residuais. Mais uma maneira de avaliar o efeito residual do P aplicado ao solo é com cultivos sucessivos da área onde foram aplicados os tratamentos, avaliando-se, além da produção de grãos e/ou de matéria seca, também o teor de P no material que está sendo exportado da área (SOUSA; LOBATO, 2003). Um maior ou menor efeito residual de fontes solúveis é resultado da solubilização das reações do P dissolvido do fertilizante com os componentes do solo. No caso dos fosfatos insolúveis, o residual é ditado pela taxa de dissolução e pela permanência do fosfato no solo ao longo do tempo (RAJAN et al., 1996).

2.2.3. Adubação na cultura do milho

Os custos com adubação fosfatada representam parte considerável dos gastos das lavouras na região dos Cerrados, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo para o retorno financeiro (SOUSA et al., 2002 citado por MACHADO, 2012), apenas na cultura do milho, os custos com correção do solo e adubação representam em média 45% do custo de produção em sistemas mais tecnificados (COELHO & ALVES, 2003 citado por MACHADO, 2012).

Recomenda-se em geral que a adubação fosfatada na cultura do milho seja realizada no momento de semeadura na linha de plantio pela baixa mobilidade do P no solo e para que se tenha o melhor aproveitamento da planta pelo nutriente aplicado via fertilizante em sua maioria aplicado pela forma solúvel (BARBAR, 1984; RAIJ, 1991; BEVILAQUA et al., 1996; RESENDE et al., 2006). Apesar disso, em solos com elevada capacidade de fixação de P, as fontes solúveis podem perder sua eficiência e

com isso as fontes insolúveis em água possam se tornar alternativas viáveis sob o ponto de vista agrônomo e econômico (BRAGA, 2006).

Avaliando o fornecimento de P para o milho e o arroz, cultivados em vasos, Malavolta et al. (1955), observaram maior eficiência da farinha de ossos no fornecimento de P para as duas culturas ao comparar com fosfatos naturais de baixa solubilidade em ácidos fracos. Bevilaqua et al. (1996), ao avaliar o efeito da localização do fertilizante no desenvolvimento de plântulas de milho em casa de vegetação, verificaram que o superfosfato triplo ao lado e abaixo da semente proporcionou maior peso de massa seca e absorção de P. Contudo, os autores destacam que a proximidade do fertilizante pode causar danos às sementes e plântulas, reduzindo a percentagem e velocidade de emergência das plântulas pelo efeito salino do fertilizante quando é colocado muito próximo à semente. Assim, o fertilizante deve localizar-se suficientemente distante da semente para não ocasionar-lhe dano, pois a absorção aumenta à medida que o fertilizante é colocado mais próximo da mesma, reduzindo a perda, por fixação ou percolação no solo.

Os modos de aplicação também podem influenciar na disponibilidade de P para plantas de milho. Collier et al. (2008), ao avaliarem a aplicação a lanço e na linha de semeadura de superfosfato simples (SFS) e fosfato natural reativo (FNA), ambos na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sobre os resíduos de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) semeado 70 dias antes do plantio de milho, verificaram que o emprego do modo de aplicação do P em faixa resultou em maior produção de grãos, independentemente da fonte de P. O uso do FNA proporcionou maior produção de grãos no tratamento submetido ao modo de aplicação de forma localizada (em faixa). Pelo maior teor de P no solo quando se utilizou o FNA, sugere-se que ocorra economia de fertilizantes fosfatados para o cultivo subsequente. Resende et al. (2006), avaliando diferentes fontes e modos de adubação fosfatada na cultura do milho, verificaram que a aplicação localizada no sulco e o parcelamento da adubação proporcionaram maior eficiência agrônoma e econômica para o fosfato reativo de Arad.

Barreto e Fernandes (2002), encontraram resultados diferentes em um Argissolo Amarelo, onde constataram que a adubação de P via SFT a lanço, resultou em maior produtividade de milho, com maior economia de adubo fosfatado, comparativamente à adubação no sulco de plantio. Mas de acordo com Anghinone e Barber (1980), este efeito tenderá a ser mais expressivo com o aumento das doses de fertilizantes utilizadas ou com a redução do poder de adsorção de P do solo. Mas, Prado et al. (2001), ao

avaliarem a resposta da cultura do milho a modos de aplicação de P, verificaram que a aplicação de doses crescentes de P aumentou a produção de grãos de milho e que os modos de aplicação do adubo fosfatado em sulco simples e sulco duplo foram mais eficientes que a aplicação a lanço.

Korndörfer et al. (1999), ao avaliarem a eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos (Gafsa e Arad) na cultura do milho, observaram que esses fosfatos apresentaram uma excelente performance, podendo ser considerados de alto valor agronômico. Bons resultados também foram observados por Scivittaro et al. (1997), com aumento na produção de massa seca de milho, em função de doses crescentes de fontes sólidas e líquidas de fertilizantes fosfatados (ácido fosfórico, suspensão coloidal, fosfato monoamônio e superfosfato Triplo).

Ono et al. (2008), avaliando um experimento em casa de vegetação em cultivo de soja e milho, observaram que as culturas responderam à adubação fosfatada independentemente da fonte de P (superfosfato triplo e fosfato natural de Arad). No primeiro cultivo (soja), o superfosfato triplo apresentou melhor desempenho e índice de eficiência agronômica para a produtividade de grãos quando comparado ao fosfato natural de Arad. Para o milho, como cultura em sucessão a soja, o fosfato natural de Arad tendeu a equiparar-se ao superfosfato triplo nos atributos avaliados (teor de P no solo, produção de massa seca e concentração foliar de P).

Miola et al. (1999), avaliando a disponibilidade de P utilizando seis solos com cultivo de milho em casa de vegetação, observaram que o aumento das doses de SFT proporcionou maior concentração foliar de P e massa seca em plantas de milho. Harger et al. (2007), também verificaram aumento na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho cultivadas em casa de vegetação com o incremento de doses de P, independentemente da fonte de P avaliada (superfosfato triplo e fosfato de Arad). O aumento das doses de P proporcionou aumentos nas concentrações foliares de P nas plantas de milho para as duas fontes estudadas. Porém, o superfosfato triplo foi a fonte de P de maior eficiência, garantindo melhor nutrição e crescimento inicial das plantas de milho.

Além de se considerar a forma de aplicação e a fonte de P utilizada, deve-se levar em conta também a granulometria do fertilizante fosfatado. Horowitz e Meurer (2003), avaliando a eficiência de fosfatos com diferentes granulometria em um primeiro cultivo de milho em casa de vegetação num Latossolo Vermelho distrófico típico, observaram que à medida que se aumentou o tamanho da partícula, houve uma redução

na eficiência dos fosfatos. Porém, a partir do segundo cultivo, os fosfatos com partículas mais grosseiras, aumentaram seus índices de eficiência agrônômica relativa (EAR). Estes resultados concordam com os obtidos por Chien; Friesen (1992), citado por Horowitz e Meurer (2003), que afirmam que, com o passar do tempo, o efeito do tamanho da partícula dos fosfatos naturais tendem a desaparecer.

2.2.4. Adubação na cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar ocupa áreas deficientes em P tendo na adubação fosfatada o suporte para obtenção de altas produtividades (SOUSA, 2011). Do P aplicado nos solos de Cerrado via adubação, somente entre 5 a 20% é aproveitado pela cultura no primeiro ano sendo de 80 a 95% desse P fixado no solo (MATAVOLTA, 1981; ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; RAIJ, 2011). A adubação fosfatada tem sido realizada comumente com aplicação de fosfatos solúveis no sulco de plantio, visando nutrição da cana e melhor estabelecimento das soqueiras. Mas, os fosfatos insolúveis podem ser vantajosos, pelo seu melhor efeito residual e aproveitamento pela cultura da cana que apresenta um ciclo médio de 18 meses para cana planta e 12 meses para cana soca (SOUSA, 2011).

Ao avaliar o efeito de doses de termofosfato aplicadas a lanço e no sulco de plantio da cana-de-açúcar em um solo arenoso de baixa fertilidade, Morelli et al. (1991), verificaram que a aplicação a lanço resultou em maiores produtividades, ratificando que em solos arenosos a aplicação de P em área total é favorecida, consequência da menor fixação de P em relação aos solos argilosos. Caione et al. (2011), conduziram um experimento, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com o objetivo de avaliar a eficiência da adubação fosfatada corretiva aplicada a lanço utilizando-se fosfato natural reativo Arad (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅) associadas à adubação fosfatada de manutenção aplicadas no sulco de plantio utilizando-se superfosfato triplo (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na produção de cana-de-açúcar forrageira. Segundo os autores, a associação de doses elevadas em área total com doses elevadas no sulco de plantio não proporcionou aumentos expressivos de produtividades na cana planta, podendo-se então nesse caso, optar por doses de 143 a 170 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em uma única forma de aplicação. Ambas as formas de aplicação de fósforo proporcionaram produtividades semelhantes, assim, a aplicação no sulco de plantio torna-se mais viável, por ser menos onerosa.

Segundo Sousa (2011), a adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar tem sua recomendação de acordo com as regiões produtoras do país e dentro de cada estado. A dose a ser aplicada depende dos teores de P disponíveis no solo e a produtividade esperada. Em geral, são recomendadas nas áreas de expansão das regiões canavieiras e nos solos de cerrado, doses acima de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 no sulco de plantio, valor que contrasta com a dosagem comumente empregada nas áreas tradicionais, da ordem de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Deste modo, Rodella; Martins (1988), preconizam que a aplicação da dose adequada de P em cana planta é de grande importância para o estabelecimento e desenvolvimento de perfilhos, o que colabora para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade, pois o P apresenta efeito reduzido quando aplicado em soqueiras. Zambello Júnior; Azeredo (1983), também justificam a maior aplicação de P no plantio da cana-de-açúcar, objetivando melhor nutrição da cana planta e das soqueiras subsequentes.

Caione (2011), ao avaliar a disponibilidade de P no solo (sulco de plantio) pela aplicação de diferentes fontes de P (farinha de ossos, fosfato de Arad e superfosfato triplo) verificou que não houve diferença significativa na produtividade de cana planta pela aplicação de diferentes fontes de P, com uma produção média de 142 t ha^{-1} . Mas ao final do segundo ciclo da cultura da cana-de-açúcar, observou maior disponibilidade de P no solo extraído por Resina no tratamento farinha de ossos em relação às demais fontes, apresentando teores elevados do nutriente. O fosfato natural reativo de Arad também apresentou comportamento satisfatório, demonstrando disponibilizar P de forma gradual, o que é importante para a cultura. O superfosfato triplo, ao final do segundo ciclo, não diferiu na disponibilidade de P em relação ao controle. Este fato comprova as características do fertilizante, visto que possui elevada solubilidade e, assim, disponibiliza P no solo de forma mais rápida que o fosfato de Arad e a farinha de ossos.

Korndörfer e Melo (2009), avaliando 3 cortes de cana pela aplicação de fontes de P na forma fluida ou sólida (Superfosfato Triplo e Simples, Ácido Fosfórico e Ácido Fosfórico + Fosfato Natural) encontraram respostas positivas na produção de colmos em cana planta pelo incremento das doses de superfosfato triplo aplicado de forma localizada, mesmo não observando diferença significativa entre fontes de P nas duas formas, apresentou-se o índice de eficiência agrônômica na seguinte ordem: superfosfato simples (110%) > superfosfato triplo (100%) > ácido fosfórico (73%) > ácido fosfórico + fosfato natural (48%). Já em outro trabalho Korndörfer et al. (1989),

estudando a eficiência de fontes de P na produtividade da cana, observaram que a eficiência agrônômica dos fertilizantes foi na seguinte ordem: superfosfato simples > superfosfato triplo > ácido fosfórico > ácido fosfórico + rocha fosfatada.

Outro aspecto importante a ser considerado na adubação fosfatada é o efeito residual que, dependendo da dose utilizada e do tipo de solo, as plantas nos cultivos sucessivos podem ser beneficiadas. Então, para se utilizar eficientemente a adubação fosfatada e obter boas produtividades, é importante estabelecer um manejo adequado, seja pela combinação apropriada das adubações corretiva e de manutenção no sulco de plantio e também devido à necessidade da racionalização da adubação fosfatada para essa cultura. Com isso, a avaliação do efeito residual pode ser feito experimentalmente pelas respostas das socas (PEREIRA et al., 1995; MIRANDA; MIRANDA, 2003).

Segundo Sousa et al. (1987), ao avaliarem o efeito residual de SFT em duas doses de P (200,0 e 400,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados a lanço e incorporadas ao solo com arado de disco e grade niveladora e com duas granulações (pó, menor que 0,84 mm de diâmetro; grão, em torno de 3 mm de diâmetro) observaram que a maior dose de P₂O₅ no sistema preparo convencional apresentou maior efeito residual. De acordo com Korndörfer e Alcarde (1992), o efeito residual de P no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior em cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido à localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais, onde observaram depois de 34,5 meses que mais de 30% do aumento nos teores de P disponíveis no solo pela adubação de plantio ainda permaneciam no solo. Pereira et al. (1995), também avaliando o efeito de níveis e resíduos de P em cana, verificaram que a adubação fosfatada proporcionou maior rendimento da cana e maiores concentrações foliares de P com as crescentes doses de P, todavia, não foi observada diferença nas características tecnológicas.

Silva (2011), também avaliando o efeito residual de fontes e doses de P na cultura da cana-de-açúcar verificou que a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, além de promover os melhores resultados produtivos na cana planta, alavancou melhores produções na soqueira. De acordo com mesmo autor, o efeito residual de fontes de P que apresentam solubilidade muito baixa, como a dos fosfatos naturais brasileiros, melhora até o terceiro ano depois de sua aplicação no solo, decrescendo a partir desse período, isso se a área estiver sendo cultivada com preparo convencional (aração e gradagem).

A aplicação de fertilizantes fosfatados mostra-se como uma prática lucrativa para a cana-de-açúcar, por isso uma característica de grande relevância a ser considerada é a sua eficiência agronômica. As formas químicas das fontes de P também devem ser levadas em conta quando se realiza adubação fosfatada (SOUSA, 2011). Caione (2011), observou que a farinha de ossos promoveu elevação dos P no solo extraído por Resina, sendo mais eficiente na disponibilização de fósforo durante três cultivos de cana, onde o superfosfato triplo foi eficiente no fornecimento de fósforo apenas no primeiro ano de cultivo.

Santos et al. (2012), avaliaram a eficiência agronômica de fosfatos (superfosfato triplo, monoamônio fosfato, o fosfato natural reativo de Arad, fosfato natural de Itafós e termofosfato magnésiano) aplicados em pré-plantio, a lancha em área total e incorporados com grade niveladora, na dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os autores verificaram que o índice de eficiência agronômica relativa dos fertilizantes testados é satisfatório e em função disso, tais insumos podem ser utilizados na adubação fosfatada da cana-de-açúcar. As fontes insolúveis sofreram aumento no seu EAR com o passar dos anos de cultivo. Korndörfer et al. (1998), também concluíram que a adubação fosfatada proporcionou aumentos lineares de produção tanto na cana-de-ano como na cana-soca. O peso médio dos colmos também foi afetado pela adubação fosfatada.

Peres (2014), ao avaliar a eficiência de fontes de P e micronutrientes na produção de cana soca, verificou que independente da fonte de P aplicada (superfosfato triplo e polifosfato), o emprego de P foi eficiente em promover aumento nos teores ao longo de 3 profundidades (0-5 cm; 10-15 cm e 15-20 cm) e a soqueira respondeu significativamente à aplicação de P. Weber et al. (1993), pesquisando a eficiência de fosfatos solúveis, fosfatos naturais e fosfatos naturais parcialmente acidulados durante 5 anos, observaram que as respostas obtidas foram proporcionais às quantidades de P solúvel fornecida e que o P liberado pelas fontes menos solúveis não restabeleceu o potencial de produção das culturas, sendo que os fosfatos naturais apresentaram eficiência agronômica de no máximo 45%.

Deve-se considerar também o teor de P nativo do solo, pois Sobral et al. (1994), relataram que em solos muito pobres em P, as plantas podem apresentar menor qualidade tecnológica. Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, a resposta da cultura à adubação fosfatada foi dependente da disponibilidade de P no solo, porém, não houve resposta da cana à adubação fosfatada quando os teores foram iguais ou superiores a 9 mg dm⁻³ de P (ALBUQUERQUE et al., 1980), conforme descrito por

Weber et al. (1993) que obtiveram resultados mais consistentes em área onde o teor de fósforo nativo encontrava-se abaixo de 9 mg dm^{-3} . Cruz et al. (2009), avaliando a produtividade da cana-de-açúcar sob efeito de doses de P (superfosfato triplo) em solo com baixo teor de P, verificaram que a dose de P de maior eficiência foi de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

De acordo com Santos (2012), além dos benefícios relacionados à produtividade no campo, a adubação fosfatada também tem grande influência na qualidade da cana-de-açúcar, essencial nas unidades industriais produtoras de açúcar. A presença de fósforo no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação, pois baixos teores de P_2O_5 no caldo dificulta a decantação de impurezas. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, por conseguinte, de reduzido valor comercial (SANTOS et al., 2010). O P também é importante para o processo de fermentação alcoólica, ou seja, para a transformação do açúcar em etanol, pois favorece a ação das leveduras, por isso a adubação fosfatada pode elevar a produção de colmos industrializáveis e de sacarose (SILVA et al., 2006; CALHEIROS et al., 2011).

Pereira et al. (1995), relataram que fatores como clima, cultivares e manejo do solo exercem influência sobre a quantidade de açúcar acumulado nos colmos da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito de fertilizantes sobre esta variável. Santos et al. (2009), concluíram que a adubação fosfatada influencia positivamente o rendimento agrícola da cana planta, sendo o superfosfato triplo a fonte de fósforo que apresentou o melhor desempenho, dentre outras estudadas. Simões Neto et al. (2009), estudando duas variedades na África do Sul, também verificaram que a adubação fosfatada em um solo deficiente deste nutriente proporcionou aumento de produtividade e qualidade tecnológica da cana. Teixeira et al. (2014) constataram que a influência os parâmetros tecnológicos da cana planta aplicando-se SFT e organomineral foram semelhantes, e que a adição das doses crescentes de P_2O_5 promoveu resposta positiva e linear sobre a produção de colmos e rendimento de açúcar da cana planta em vasos quando foi aplicado o fertilizante organomineral.

CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO EM CERRADO COM CULTIVO DE MILHO

RESUMO

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo em cerrado com cultivo de milho.** 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A baixa disponibilidade de P nos solos brasileiros limita a produtividade dos cultivos agrícolas, como na cultura do milho, o que gera a necessidade da aplicação de fontes que apresentem maior eficiência. Assim, objetivou-se avaliar através de experimentos em vasos, o efeito da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados em área total, na disponibilização de P e efeito residual em dois tipos de solo durante dois cultivos de milho em condições de casa de vegetação. Realizou-se dois experimentos em casa de vegetação, estando cada experimento em um tipo de solo, sendo em um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa e em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, textura arenosa com híbrido DKB 390 VTPRO. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 6x2+1. O primeiro fator constituiu-se pelas seis fontes de P; o segundo fator pelas doses e o tratamento adicional constou-se na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado. Os tratamentos foram: testemunha (sem aplicação de P) e doses equivalentes de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅; com superfosfato triplo (tratamento padrão em relação às fontes alternativas testadas), fosfato decantado, fosfato precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado e fosfato natural alvorada. As variáveis analisadas foram: teores de P, Ca, Mg e H⁺/Al no solo, concentrações e acúmulos de P, Ca e Mg na parte aérea e massa seca de plantas de milho. O fosfato decantado e fosfato precipitado comparados com o superfosfato triplo apresentou melhores resultados nos teores de fósforo no solo, produção de massa seca e acúmulo de fósforo em plantas de milho. A Eficiência Agronômica Relativa do fosfato decantado, fosfato precipitado e fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado, nos dois tipos de solo foram superiores ao superfosfato triplo tanto no primeiro como no segundo cultivo de milho. Os extratores Mehlich1 e Resina superestimam a disponibilidade de fósforo para as plantas em solos adubados com fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado e fosfato natural alvorada. O fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado se comparado com o fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado mostrou-se mais eficiente em aumentar os teores de fósforo nos dois tipos de solo.

Palavras-chave: *Zea mays* L., adubação fosfatada e efeito residual.

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-orientador) e Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-orientadora).

ABSTRACT

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Agricultural efficacy of alternative P sources in the savannah cultivated with maize.** 2015. 109f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) - Federal University of Uberlândia.²

The low P availability in Brazilian soils limits yield of agricultural crops, such as maize, resulting in the need to apply source with greater efficacy. Thus, the effect of broadcast phosphate application on P availability and its residual effect in two soil types in two successive maize crops was evaluated in pot experiments in the greenhouse. Two experiments were done, one in each soil type, a Dystrophic Red Latosol, clayey texture and a Quartzipsamment soil, sandy texture, with the hybrid DKB 390 VTPRO. The experimental design was completely randomized, with four replications. Treatments were arranged as a 6x2+1 factorial. The first factor consisted of six P sources, the second one by the doses, and the additional one was the lack of phosphate fertilizer application. Treatments were: control (no P application) and doses equivalent to 200 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅; with triple superphosphate (standard treatment in relation to alternative sources evaluated), decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one, and natural phosphate alvorada. The variables analyzed were: soil contents of P, Ca, Mg and H+Al, concentration and accumulation of P, Ca and Mg in the shoots and dry matter of maize. Decanted and precipitate phosphates were compared with triple superphosphate presented better results for soil phosphorus contents, dry matter production and accumulation of phosphorus un maize plants. Relative Agricultural Efficacy of decanted phosphate, precipitate phosphate and mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one, in both soil types, were greater than triple superphosphate both in the first and in the second maize crops. Extractors Mehlich1 and Resin super estimated phosphorus availability for plants in soils fertilized with mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one, and natural phosphate alvorada. Mealed partially calcinated acidified phosphate compared to the granulated one, was more effective in increasing phosphorus contents in both soil types.

Keywords: *Zea mays* L., phosphate fertilization and residual effect.

¹Supervising committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Supervisor), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-supervisor) and Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-supervisor).

2.6. INTRODUÇÃO

A produção nacional de grãos na safra 2014/2015 poderá atingir o volume de 201,55 milhões de toneladas, representando um crescimento de 4,2% (8,1 milhões de toneladas) em relação à produção obtida na safra 2013/2014, quando foram colhidas 193,46 milhões de toneladas. Em relação à cultura do milho (primeira e segunda safra), estima-se uma produção de 78,66 milhões de toneladas, o que representa uma produtividade de 5.112,0 kg ha⁻¹ com um aumento de 1,3% em relação ao ano de 2013 (CONAB, 2014).

Muitos fatores tem favorecido o aumento da produção brasileira de grãos nos últimos anos, destacando-se algumas práticas por parte dos produtores relacionadas ao sistema solo-planta, como o manejo da adubação, tipo de solo, fonte, forma de aplicação (linha ou lanço), dose e tipo de cultura. A adoção dessas práticas deve ser realizada a médio e longo prazo, o que justifica a necessidade de estudos visando à busca por fontes alternativas que apresente maior eficiência.

No cultivo de milho, os gastos com adubação fosfatada na produção da cultura na região do Cerrado são considerados elevados por grande parte dos produtores. Grande quantidade de P é aplicada nas culturas, porém o fenômeno de fixação pode reduzir a absorção de P pelas (RAIJ et al., 2011). Por isso, torna-se necessário a utilização de fontes de P que apresentem boa disponibilidade de P durante o ciclo da planta.

Considera-se então que a aplicação de novas fontes fosfatadas (fosfatos naturais e fosfatos de menor solubilidade) pode proporcionar para plantas de milho, fornecimento adequado de P assim como o SFT e, além disso, serem mais eficientes na disponibilização de P, apresentando melhor efeito residual em solos de cerrado. Assim, objetivou-se avaliar através de experimentos em vasos, o efeito da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados em área total, na disponibilização de P e o efeito residual em dois tipos de solo durante dois cultivos de milho em condições de casa de vegetação.

2.7. MATERIAL E MÉTODOS

2.7.1. Instalação

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencentes ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU) entre 10 de janeiro a 31 de maio de 2014. Foram realizados dois experimentos, um em cada tipo de solo, mas para ambos os experimentos foram realizados dois cultivos, cada um durante um período de 31 dias sendo as avaliações após o primeiro cultivo realizadas após os 35 e 89 dias da aplicação das fontes fosfatadas.

Foram utilizadas amostras de dois tipos de solo retiradas dos 20 cm superficiais, cuja classificação foi Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura argilosa e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), textura arenosa (EMBRAPA, 2009), cujas caracterizações química e física são apresentadas nas tabela 1 e 2 respectivamente:

Tabela 1. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento em casa de vegetação, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

Solo	pH H ₂ O	P	Ca	Mg	SB	CTC	V
		mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
LVd	4,4	2,0	0,2	0,0	0,2	7,30	4
RQo	4,8	6,0	0,2	0,1	0,3	5,20	7

Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); P = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); SB = Soma de Bases / V= Saturação por bases.

Tabela 2. Caracterização física das amostras de solo utilizadas no experimento em casa de vegetação, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia – MG.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----			
LVd	90	43	33	834
RQo	626	218	1	155

Análise textural pelo Método da Pipeta, realizada no LAMAS/ICIAG/UFU.

As amostras de solos coletadas foram peneiradas e, depois de secas, submetidas a processo de incubação por 15 dias, em vasos com capacidade para 6 L, contendo 5 kg de solo seco. Esse processo de incubação consistiu em deixar o solo em repouso para que a reação dos corretivos acontecesse.

Nesse caso foram aplicados CaCO₃ (P.A) e MgCO₃ (P.A.) nas seguintes proporções: LVd: 1,8 g CaCO₃ kg de solo⁻¹ (3,6 cmol_c dm⁻³); 0,54 g MgCO₃ kg de solo⁻¹

(1,2 cmol_c dm⁻³) e RQo: 1,265 g CaCO₃ kg de solo⁻¹ (2,5 cmol_c dm⁻³); 0,34 g MgCO₃ kg de solo⁻¹ (0,8 cmol_c dm⁻³), de modo que a relação Ca:Mg fosse corrigida para 3:1.

Para que ocorresse a reação dos corretivos foi adicionada água na quantidade de 200 mL kg de solo⁻¹ em cada um dos vasos de solo textura arenosa e 260 mL kg de solo⁻¹ em cada um dos vasos de solo de textura argilosa, de maneira a complementar a umidade atual do mesmo, visando favorecer o desenvolvimento das plantas.

2.7.2. Delineamento

O experimento foi instalado adotando-se delineamento experimental inteiramente casualizados (DIC) com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 6 x 2 + 1. O primeiro fator constituiu-se seis fontes fertilizantes fosfatados (sendo o SFT considerado como tratamento padrão, ou seja, controle positivo em relação às fontes alternativas testadas) e o segundo fator pelas doses dos fertilizantes. O tratamento testemunha constou na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado (Tabela 3).

Tabela 3. Fonte de fósforo utilizada e quantidade de fósforo aplicada.

Fonte de P	Dose P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹
Testemunha	0
Superfosfato Triplo (SFT)	200
Superfosfato Triplo (SFT)	400
Fosfato Decantado (FD)	200
Fosfato Decantado (FD)	400
Fosfato Precipitado (FP)	200
Fosfato Precipitado (FP)	400
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Farelado	200
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Farelado	400
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Granulado	200
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Granulado	400
Fosfato Natural Alvorada (FNA)	200
Fosfato Natural Alvorada (FNA)	400

2.7.3. Descrição dos fertilizantes

Foram utilizados seis fertilizantes fosfatados (Tabela 4): SFT (Superfosfato triplo), resultado da reação de solubilização da rocha fosfática com ácido fosfórico; Fosfatos Decantado (FD) e Precipitado (FP), rejeitos da flotação (parte do processo de produção de fosfatos solúveis), ou seja, são fosfatos de ferro e alumínio que foram

separados (resíduos) da polpa condicionada (concentrado de apatita); Fosfato Natural Alvorada (FNA) resultado do processamento parcial da rocha fosfática (que exclui a flotação), proporcionando uma fonte finamente moída; e os Fosfatos Acidulados Parcialmente Calcinados (FAPC) Farelado e Granulado obtidos pela mistura de parte do P (rejeitos) com carbonato de Ca mais ácido fosfórico (resíduos), ou seja, neutralização com carbonato de Ca oriundo do processo de produção de ácido fosfórico.

Tabela 4. Caracterização dos fertilizantes fosfatados, com relação aos teores de P_2O_5 total, P_2O_5 em CNA+ H_2O , Ca, Mg e S.

Fonte de P	P_2O_5			Ca	Mg	S
	(CNA ¹ + H_2O)	(Água)	(Total)	(Total)	(Total)	(Total)
	-----%-----					
SFT	41	37	45	13	-	-
FD	12	2,4	14	12	-	-
FP	3	1,2	7	20	-	-
FAPC Farelado	16	-	28	14	1	8
FAPC Granulado	16	-	28	14	1	8
FNA	3	-	25	20	-	-

¹CNA = citrato neutro de amônio.

2.7.4. Conclusão

Os tratamentos foram aplicados ao volume total de solo de cada vaso, na data da semeadura. Todos os tratamentos receberam a mesma dose de N (200 kg ha⁻¹, fonte (NH₄)₂SO₄), K₂O (166 kg ha⁻¹, fonte KCl) e micronutrientes (50 kg ha⁻¹, fonte FTE BR12), variando somente as fontes e doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 3).

Em seguida, foi realizada a semeadura de 10 sementes de milho (híbrido DKB 390 VTPRO) a aproximadamente 3 cm de profundidade e com 10 dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste das plantas, deixando apenas as quatro plantas mais vigorosas por vaso. Aos 21 e 28 DAS foram feitas adubações foliares com micronutrientes para correção de sintomas iniciais de deficiência. Para tal, foi utilizado fertilizante foliar (5% N; 4,7 % S; 0,3% B; 0,3% Cu; 3% Mn; 5% Zn) na concentração de 10 mL L⁻¹ e volume de aplicação de 17 mL vaso⁻¹. Aos 15 e 25 DAS foi realizada aplicação da adubação nitrogenada de cobertura na dose de 100 kg ha⁻¹ N e para isso utilizou-se (NH₄)₂SO₄ em solução, com concentração de 50 g L⁻¹ e volume de aplicação de 10 mL kg de solo⁻¹.

Durante todo o experimento, o fornecimento de água se deu por meio de colocação manual nos recipientes (pratos) colocados sob cada um dos vasos, e em

situações de alta concentração de sais na superfície do solo, a água passava a ser aplicada diretamente ao solo. Em ambas as situações a quantidade fornecida foi suficiente para que se tivesse água disponível no solo.

Após o primeiro cultivo, os solos dos vasos foram peneirados para a remoção das raízes de milho, prosseguindo o segundo cultivo de milho implantado no dia 19/04/2014 foram reaplicadas somente as fontes $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KCl e o FTE BR12 nas mesmas quantidades do primeiro cultivo, com os mesmos procedimentos de condução conforme realizado no primeiro cultivo para cada experimento.

2.7.5. Avaliações

Após 35 dias da aplicação das diferentes fontes fosfatadas ao final do experimento as plantas foram cortadas e, em seguida acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60° C até atingirem peso constante (Figura 1A). Depois de secas, as plantas foram submetidas à pesagem de matéria seca em balança de precisão com duas casas decimais (Figura 1B).

Para as análises de P (fósforo), Ca (cálcio) e Mg (magnésio) na parte aérea, o material vegetal foi moído em moinho tipo Willey, e acondicionado em sacos plásticos até a realização das análises segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Com os dados de massa seca e concentração de P, Ca e Mg, realizou-se o cálculo de acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas de milho, através da multiplicação da produção de massa seca na parte aérea (g), pela concentração de nutrientes na parte aérea (%) multiplicado por 10.

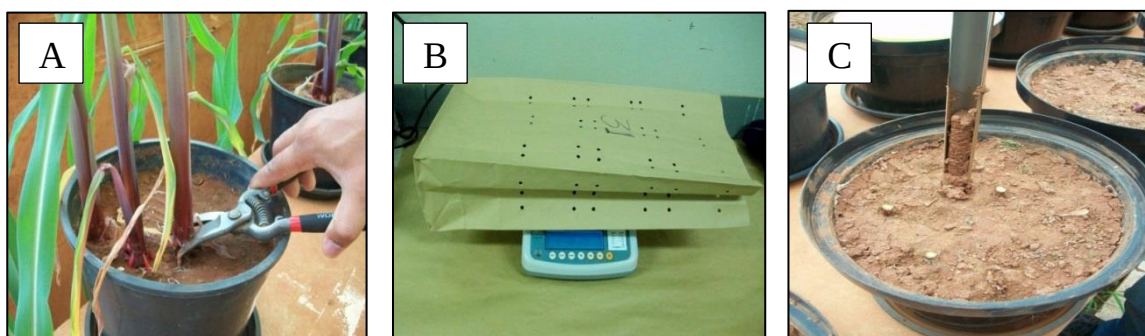


Figura 1. Detalhe da colheita das parcelas (1A); Pesagem de massa seca de milho (1B); Detalhe da coleta de solo nas parcelas (1C), casa de vegetação, UFU, Uberlândia - MG.

Com o auxílio de um mini-trado para vasos, foram coletadas amostras de solo (quatro sub-amostras para cada amostra de cada parcela) para serem secas ao ar e posteriormente peneiradas e acondicionadas em sacos plásticos para determinar o P disponível no solo pelo extrator Mehlich1 e pelo extrator Resina (Figura 1C). Ainda após a colheita, além do P foram analisados os teores de Ca, Mg e H+Al do solo pela metodologia descrita por Raij et al. (2001). As mesmas avaliações que foram realizadas após o primeiro cultivo, igualmente foram realizadas após o segundo cultivo de milho.

O Cálculo do Índice de Eficiência Agronômica Relativa (EAR) foi realizado segundo Korndörfer e Melo (2009), utilizando a soma da massa seca da parte aérea (MSPA) dos dois cortes consecutivos do milho de cada experimento. Calculou-se a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P para cada tipo de solo conforme a seguinte expressão:

$$\text{EAR (\%)} = \frac{\text{MSPA da fonte} - \text{MSPA sem fósforo}}{\text{MSPA com SFT} - \text{MSPA sem fósforo}} \times 100$$

Considerou-se, em cada fonte e em cada dose, o SFT como tratamento padrão para aplicação da fórmula.

2.7.6. Análises estatísticas

Inicialmente, para cada experimento realizaram-se os testes de pressuposições do modelo: normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk, à 0,01 de significância) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene, à 0,01 de significância), utilizando o software SPSS 17.0 (SPSS, 2008).

Em seguida, os resultados dos tratamentos qualitativos foram submetidos à análise de variância, com auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). Em caso de significância do teste F, as médias foram comparadas entre si pelos testes de Scott-Knott e para comparação com a testemunha o teste Dunnett a 0,05 de significância, respectivamente.

2.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.8.1. Teores de P, Ca, Mg e H+Al no solo

2.8.1.1. Latossolo Vermelho distrófico

No Latossolo Vermelho distrófico aos 35 e 89 daa (dias após aplicação) de diferentes fontes fosfatadas no volume total de solo de cada vaso, foram observados acréscimos nos teores de fósforo (P) extraídos por Mehlich1 com uso do fosfato decantado (FD) apresentando 73,1 e 28,4 mg dm⁻³ em relação aos demais tratamentos na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 5). Porém, o tratamento com SFT apresentou menores teores de P em relação aos demais tratamentos aos 35 e 89 daa.

Tabela 5. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.

P – Mehlich1								
Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³							
35 daa								
0	0,3	-	-	-	-	-	-	0,3
200	-	2,3a	10,8a	6,5a	8,4a	1,9a	10,6a	6,7
400	-	4,5d	73,1a*	25,0c*	24,1c*	4,2d	45,5b*	29,4
Média	0,3	3,4	41,9	15,7	16,3	3,1	28,0	
89 daa								
0	0,9	-	-	-	-	-	-	0,9
200	-	3,6d	12,1b*	9,0c*	7,5c*	3,0d	17,8a*	8,8
400	-	6,2e*	28,4a*	24,9b*	14,3d*	4,2e*	17,4c*	15,9
Média	0,9	4,8	20,2	16,9	10,9	3,6	17,6	

35 daa - CV % = 35,77; DMS = 12,28:

35 daa - CV % = 35,77; DMS = 12,28;

89 daa - CV % = 11,90; DMS = 2,80;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Semelhante ao observado com extrator Mehlich1, maiores acréscimos nos teores de P no solo pelo extrator Resina foram observados aos 35 daa no tratamento FD (19,3 e 43,4 mg dm⁻³), com incremento médio em torno de 195% em relação ao SFT (Tabela 6). Ao comparar os fosfatos granulados, o FAPC (Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado) granulado em relação ao SFT, verificou-se que na dose de 400 kg ha⁻¹ aos 89 daa maiores teores de P extraídos por Resina foram constatados.

Tabela 6. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.

P – Resina								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----mg dm ⁻³ -----								
35 daa								
0	2,9	-	-	-	-	-	-	2,9
200	-	6,7b	19,3a*	12,3b	9,8b	6,2b	6,8b	10,2
400	-	14,3c	43,4a*	30,3b*	20,1c*	16,6c*	10,0c	22,4
Média	2,9	10,5	31,3	21,3	14,9	11,4	8,4	
89 daa								
0	1,8	-	-	-	-	-	-	1,8
200	-	1,4b	4,2b	1,9b	2,8b	3,4b	10,9a*	4,1
400	-	3,0c	1,7c	1,7c	2,2c	12,7b*	27,6a*	8,1
Média	1,8	2,1	2,9	1,8	2,5	8,1	19,3	
35 daa - CV % = 39,85; DMS = 12,51;								
89 daa - CV % = 68,86; DMS = 9,0;								

35 daa - CV % = 39,85; DMS = 12,51;

89 daa - CV % = 68,86; DMS = 9,0;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Na maioria dos tratamentos, aos 89 daa baixos teores de P foram verificados, mas um maior efeito residual foi apresentado com o tratamento fosfato natural alvorada (FNA) apresentando 10,9 e 27,6 mg dm⁻³ nas duas doses de P₂O₅. A maioria dos tratamentos com fertilizantes fosfatados demonstraram uma redução no teor de P de uma época de avaliação para outra, exceto a FNA, que por ser um fosfato natural e insolúvel em água, se dissolve lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo conforme observado por diversos autores na literatura (KORNDÖRFER, 1978; SOUSA, 2011; SANTOS et al., 2012).

Por outro lado o efeito do extrator pode demonstrar uma superestimação do P extraído por Mehlich1 no solo para o tratamento com FNA que apresentou elevados teores de P aos 35 daa sendo superiores aos 89 daa, diferente dos resultados obtidos pelo extrator Resina. Quando utiliza-se fosfato natural como fonte de P, a disponibilidade de P pode ser superestimada quando avaliada pelo extrator Mehlich1, devido o extrator solubilizar parte do fosfato ainda não dissolvido no solo. Deste modo, a Resina pode ser uma alternativa para esse problema (SOUSA; LOBATO, 2004; RAIJ, 2004), pois, segundo Korndörfer et al. (1999), o método da resina discrimina melhor o P disponível para o milho adubado com fosfatos naturais.

Em relação aos teores de Ca e Mg aos 35 daa, foi observado que o solo adubado com SFT apresentou maior teor médio de Ca ($6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca) comparado às outras fontes, semelhante ao observado com aplicação de FAPC farelado nos teores de Mg (Tabela 7). Na comparação com a testemunha, somente na dose de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 com SFT foi observado maiores teores de Ca ($7,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca). E em relação aos teores de Mg na dose de 200 kg ha^{-1} acréscimos foram verificados nos tratamentos FAPC farelado e granuloso (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P_2O_5 kg ha^{-1}	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granuloso	FNA ⁶	Média
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$								
Ca no Solo								
0	4,3	-	-	-	-	-	-	4,3
200	-	5,4	4,8	4,8	3,5	2,9	3,6	4,1
400	-	7,3*	5,4	4,5	4,4	3,6	3,1	4,7
Média	4,3	6,3a	5,1b	4,7b	3,9c	3,3c	3,3c	
Mg no Solo								
0	0,8	-	-	-	-	-	-	0,8
200	-	0,7	1,2	1,5	1,8*	1,6*	1,5	1,4
400	-	1,7*	2,1*	1,3	2,2*	1,5	1,3	1,6
Média	0,8	1,2b	1,6b	1,4b	2,0a	1,6b	1,4b	

Ca - CV % = 26,26; DMS = 2,40;

Mg - CV % = 26,19; DMS = 0,79;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Conforme a tabela 8, aos 89 daa não houve diferença nos teores de Ca e Mg. Ao contrário do observado por Stefanutti et al. (1995), que após 7 cultivos consecutivos de milho em vasos, ao avaliarem a aplicação de diferentes fonte de P e granulometrias (superfosfato simples granuloso, termofosfato magnésiano pó, grosso e granuloso), observaram que os tratamentos com maior dose ($0, 100, 200$ e 300 kg ha^{-1} de P) e granulometria apresentaram maiores teores de Ca no solo.

Tabela 8. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P_2O_5 kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
cmol _c dm ⁻³								
Ca no Solo								
0	3,5	-	-	-	-	-	-	3,5
200	-	3,7	3,3	4,3	4,0	3,6	4,3	3,8
400	-	3,6	4,4	4,9	4,8	4,8	4,6	4,2
Média	3,5	3,8a	3,9a	4,6a	4,4a	4,2a	4,4a	
Mg no Solo								
0	1,5	-	-	-	-	-	-	1,5
200	-	1,7	1,4	1,7	1,8	1,7	1,9	1,7
400	-	1,5	1,8	1,4	2,0	2,0	1,9	1,8
Média	1,5	1,6a	1,6a	1,6a	1,0a	1,8a	1,9a	

Ca - CV % = 30,68; DMS = 2,61;

Mg - CV % = 29,68; DMS = 1,05;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Em relação aos teores de acidez potencial (H+Al), notou-se diferença entre as médias dos fertilizantes, verificando-se no tratamento com SFT maiores acréscimos nos teores de H+Al aos 35 e 89 daa. O tratamento com FAPC farelado aos 35 daa, apresentou acréscimos nos teores de H+Al (Tabela 9).

Tabela 9. Teores de H+Al, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

H+Al								
Dose de P_2O_5 kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
cmol _c dm ⁻³								
35 daa								
0	1,3	-	-	-	-	-	-	1,3
200	-	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	0,9*	1,2
400	-	1,6	1,2	1,1	1,4	1,3	1,3	1,3
Média	1,3	1,4a	1,2b	1,2b	1,4a	1,2b	1,1b	
89 daa								
0	1,6	-	-	-	-	-	-	1,6
200	-	2,0	1,8	1,5	1,7	1,6	1,5	1,7
400	-	1,7	1,5	1,3	1,6	1,5	1,5	1,5
Média	1,6	1,9a	1,7b	1,4c	1,7b	1,5c	1,5c	

35 daa - CV % = 13,67; DMS = 0,35;

89 daa - CV % = 13,22; DMS = 0,43;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os fosfatos precipitado (FP), FAPC granulado e FNA apresentaram menores teores de H+Al nas duas épocas de avaliação. Semelhante ao observado nesse trabalho, Stefanutti et al. (1995), após 7 cultivos de milho, observaram, mesmo não diferindo estatisticamente, maiores acréscimos nos teores de H+Al no solo que recebeu aplicação de SFT em relação aos demais tratamentos.

Em geral, notou-se que a aplicação dos fertilizantes fosfatados no volume total de solo em cada vaso apresentou respostas diferentes em relação aos teores de P, Ca, Mg e H+Al nas duas épocas de avaliação. O SFT explicitou menores respostas em relação aos fosfatos de menor solubilidade.

2.8.1.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico

No Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas, foram observados acréscimos nos teores de fósforo (P) extraídos por Mehlich1 com uso do FD e FNA em relação aos demais tratamentos na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e com fosfato precipitado (FP) e FAPC farelado na dose de 400 kg ha⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.

P – Mehlich1								
Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
kg ha ⁻¹	-----mg dm ⁻³ -----							
35 daa								
0	1,9	-	-	-	-	-	-	1,9
200	-	5,9d	23,8a*	16,8b*	9,7c*	3,7d	21,4a*	13,5
400	-	10,8c*	17,0b*	26,5a*	25,6a*	6,5c	17,3b*	17,3
Média	1,9	8,3	20,4	21,7	17,6	5,1	19,4	
89 daa								
0	3,8	-	-	-	-	-	-	3,8
200	-	7,3b	21,5a*	18,1a*	14,5b*	9,4b	24,0a*	15,8
400	-	12,6e	59,1b*	46,3c*	33,7d*	10,1e	71,0a*	38,8
Média	3,8	9,9	40,3	32,2	24,1	9,7	47,5	

35 daa - CV % = 21,65; DMS = 6,40;

89 daa - CV % = 17,24; DMS = 9,02;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Aos 89 daa melhores resultados foram verificados no tratamento com FD e FP na dose de 200 kg ha⁻¹. O tratamento com SFT apresentou menores teores de P extraídos por Mehlich1 nos dois momentos de avaliação, todavia quando comparado com Latossolo Vermelho distrófico os teores de P extraídos por Mehlich1 foram maiores, que pode ser justificado por este tipo de solo apresentar menor fixação de P.

Os resultados em relação aos teores de P extraídos por Resina são bem maiores que os teores extraídos por Mehlich1. Os tratamentos com FD e FP nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ e nos dois momentos de avaliação apresentaram maiores teores de P extraídos por Resina. O tratamento que recebeu aplicação de FAPC farelado, aos 35 daa também apresentou maiores teores de P extraídos por Resina na dose de 200 kg ha⁻¹ e aos 89 daa na dose de 400 kg ha⁻¹ (Tabela 11).

Tabela 11. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 35 e 89 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes e doses de fósforo.

P – Resina								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----mg dm ⁻³ -----								
35 daa								
0	2,7	-	-	-	-	-	-	2,7
200	-	5,8b	18,5a*	18,3a*	20,1a*	4,0b	8,9b	12,6
400	-	10,9c	32,2a*	37,4a*	20,7b*	7,1c	9,2c	19,6
Média	2,9	8,3	25,3	27,8	20,4	5,6	9,1	
89 daa								
0	5,6	-	-	-	-	-	-	5,6
200	-	7,3c	20,5a*	24,9a*	15,6b	7,0c	14,8b	15,0
400	-	14,1b	34,8a*	32,9a*	37,8a*	13,1b	18,9b*	25,3
Média	5,6	10,7	27,6	28,9	26,7	10,1	16,9	
35 daa - CV % = 29,41; DMS = 8,79:								

35 daa - CV % = 29,41; DMS = 8,79;

89 daa - CV % = 25,68; DMS = 10,03;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

As diferenças nos resultados de P podem ter sido influenciadas pelo efeito dos extratores (Mehlich1 e Resina) sobre os fertilizantes associados a seu comportamento no solo, assim superestimando os teores de P no solo. Segundo Korndörfer et al. (1999) o método da resina discrimina melhor o P disponível para o milho adubado com fosfatos naturais. A liberação mais lenta do P influencia diretamente o seu comportamento no solo e isso pode ser benéfico às plantas, devido ao seu fornecimento mais constante ao longo do tempo. Sousa; Lobato, (2004); Raij, (2004) ao avaliar a

disponibilidade de P pelo extrator Mehlich1, verificaram que esse superestima a disponibilidade de P para a cultura subsequente, pois solubiliza parte do fosfato natural reativo ainda não dissolvido no solo. Mas segundo eles, extratores como o Bray 1 e a Resina podem ser uma solução para esse problema (RAIJ; DIEST, 1980; BAHIA FILHO et al., 1982; BRAGA et al., 1991; KLIEMANN; LIMA, 2001).

Em geral, o FAPC farelado, granulado e FNA apresentaram melhor disponibilidade de P na segunda época de avaliação do que na primeira nos dois extratores avaliados, que pode ser explicado pelo melhor efeito residual, ou pelo efeito do extrator superestimando o P (Mehlich1). Entretanto, a forma farelada apresentou maiores acréscimos nos teores de P (Mehlich1 e Resina) no solo em relação à forma granulada. Esses resultados diferem dos constatados por Stefanutti et al. (1995), que após 7 cultivos consecutivos de milho em vasos, ao avaliarem a aplicação de diferentes fontes de P e granulometrias (superfosfato simples granulado, termofosfato magnesiano pó, grosso e granulado), observaram que os tratamentos granulados na maior dose (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P) apresentaram maiores teores de P extraídos por Resina.

Ao comparar os fosfatos granulados, SFT em relação ao FAPC granulado, notou-se que não houve diferença entre as fontes na disponibilidade de P, para os dois extratores, porém o SFT apresentou menores teores de P em relação aos demais tratamentos. A redução na eficiência do SFT pode ter ocorrido devido sua aplicação ter sido realizada na forma de pó no volume total de solo de cada vaso, confirmando os resultados obtidos por Bevilaqua et al. (1996), que ao avaliarem o efeito da localização do fertilizante no desenvolvimento de plântulas de milho em casa de vegetação, verificaram que o superfosfato triplo ao lado e abaixo da semente proporcionou maior peso de massa seca e absorção de P.

Em geral, notou-se em cada experimento nos dois extratores utilizados, que o SFT apresentou menor disponibilização de P devido à sua aplicação na forma de pó em área total. Esse tipo de fosfato é indicado que seja aplicado de forma localizada, visando proporcionar maior contato com sistema radicular e melhorar o processo de absorção, justificando o processo de granulação de fertilizantes para reduzir o contato da fonte solúvel de P com o solo, favorecendo o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento). Já os fosfatos de menor solubilidade são mais indicados para aplicação em área total, objetivando aumento da superfície de contato para sua melhor dissolução e melhor aproveitamento por culturas de ciclo longo (MALAVOLTA, 1981; NOVAIS; SMYTH, 1999; KORNDÖRFER et al., 1999;

SOUSA; LOBATO, 2003; HOROWITZ; MEURER, 2004; BÜLL et al., 2004). Mas, deve-se lembrar de que os solos mais argilosos apresentam maior capacidade de adsorção de P, necessitando de maiores dosagens quando comparados a solos mais arenosos, entretanto esses solos também podem favorecer a solubilização de fosfatos naturais (NOVAIS; SMYTH, 1999; VALLADARES et al., 2003; BRAGA, 2006).

Os resultados dos teores de Ca no solo demonstram que o tratamento FP apresentou maiores teores médios em relação aos outros fertilizantes, nas duas épocas de avaliação (Tabela 12). O tratamento FNA também apresentou maiores teores médios de Ca aos 89 daa. Ao observar o solo adubado com FAPC farelado em relação o solo adubado com às fontes granuladas (FAPC granulado e SFT), aos 35 daa melhores resultados foram apresentados para os teores de Ca. Stefanutti et al. (1995), após 7 cultivos consecutivos de milho em vasos, observaram resultados semelhantes ao avaliarem os teores de Ca no solo pela aplicação de diferentes fontes de P e granulometrias, constataram que os tratamentos com termofosfato magnésiano grosso e granulado na maior dose de P apresentaram maiores teores de Ca no solo em relação ao SFT granulado e termofosfato magnésiano em pó.

Tabela 12. Teores de cálcio (Ca) em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Ca no Solo								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----cmol _c dm ⁻³ -----								
35 daa								
0	3,2	-	-	-	-	-	-	3,2
200	-	3,0	4,0	5,1*	4,4	3,6	3,1	3,8
400	-	4,1	5,3*	6,0*	4,6*	4,3	4,0	4,7
Média	3,2	3,4c	4,6b	5,6a	4,5b	3,9c	3,5c	
89 daa								
0	3,1	-	-	-	-	-	-	3,1
200	-	2,6	3,5	3,9	2,6	3,6	4,3	3,4
400	-	3,3	3,5	5,2*	3,2	3,8	4,2	3,8
Média	3,1	2,9b	3,5b	4,5a	2,9b	3,7b	4,2a	
35 daa - CV % = 15,30; DMS = 1,31;								
89 daa - CV % = 21,81; DMS = 1,61;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os resultados dos teores de Mg não demonstraram grandes diferenças entre os tratamentos. O tratamento FNA (0,7 cmol_c dm⁻³) apresentou menores teores de Mg aos

35 daa. Aos 89 daa não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 13). Semelhante aos resultados obtidos por Stefanutti et al. (1995), que não observaram diferenças nos teores de Mg no solo que recebeu aplicação de diferentes fontes de P após 7 cultivos consecutivos de milho.

Tabela 13. Teores de Magnésio (Mg) em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Mg no Solo							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴	FAPC ⁵	FNA ⁶	
					Farelado	Granulado		
					cmol _c dm ⁻³			
35 daa								
0	0,6	-	-	-	-	-	-	0,6
200	-	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9
400	-	1,0	1,1	0,8	1,2	0,9	0,6	0,9
Média	0,6	0,9a	1,0a	0,9a	1,1a	0,9a	0,7b	
89 daa								
0	1,1	-	-	-	-	-	-	1,1
200	-	1,0	1,2	1,1	1,1	1,4	1,5	1,2
400	-	1,3	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2
Média	1,1	1,1a	1,2a	1,2a	1,1a	1,4a	1,3a	

35 daa - CV % = 25,80; DMS = 0,47;

89 daa - CV % = 20,99; DMS = 0,52;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os resultados dos teores de H+Al demonstram que aos 35 daa maiores teores de acidez potencial foram observados nos tratamentos FAPC farelado e FNA (Tabela 14). Já Stefanutti et al. (1995), observaram, mesmo não diferindo estatisticamente, maiores acréscimos nos teores de H+Al no solo que recebeu aplicação de SFT em relação aos demais tratamentos. Porém, na segunda época de avaliação não foi constatada diferenças significativas. É importante destacar que o incremento dos teores de Ca, Mg e H+Al se deve à correção dos solos com carbonatos ao início de cada cultivo, porém percebe-se também o fornecimento, principalmente de Ca, dos fertilizantes como o FP.

Tabela 14. Teores de H+Al em amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

H+Al no Solo								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----cmol _c dm ⁻³ -----								
35 daa								
0	2,1	-	-	-	-	-	-	2,1
200	-	1,9	1,9	1,8	2,2	2,0	2,1	2,0
400	-	1,9	1,8	1,6	2,2	2,0	2,3	2,0
Média	2,1	1,9b	1,8b	1,7b	2,2a	2,0b	2,2a	
89 daa								
0	2,1	-	-	-	-	-	-	2,1
200	-	2,5	2,2	2,1	2,1	1,9	2,4	2,2
400	-	2,4	2,1	2,0	2,2	2,2	2,0	2,2
Média	2,1	2,5a	2,1a	2,0a	2,2a	2,1a	2,2a	
35 daa - CV % = 15,61; DMS = 0,61;								
89 daa - CV % = 14,13; DMS = 0,63;								

35 daa - CV % = 15,61; DMS = 0,61;

89 daa - CV % = 14,13; DMS = 0,63;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

2.8.2. Produção de massa seca

2.8.2.1. Latossolo Vermelho distrófico

Os resultados de produção de massa seca do primeiro cultivo mostraram que, com aplicação de FD e FAPC granulado nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹, foram capazes levaram as plantas de milho a uma maior produção de massa seca em relação às plantas dos demais tratamentos (Tabela 15). Em relação ao SFT, os incrementos médios de massa seca foram de 28 e 23,5%. O tratamento FNA apresentou menor produção de massa seca de milho no primeiro cultivo, pois segundo Sousa (2011), os fosfatos naturais disponibilizam pouco P no primeiro momento após a sua aplicação.

No segundo cultivo, os tratamentos FD e FP (6,6 e 5,3 g vaso⁻¹) proporcionaram maior produção média de massa seca, com o tratamento SFT apresentando menor produção. A menor produção de massa seca de milho no tratamento SFT deu-se provavelmente pela sua aplicação na forma de pó e em área total, pois conforme Bevilaqua et al. (1996), ao avaliar o efeito da localização do fertilizante do desenvolvimento de plântulas de milho em casa de vegetação, constataram que o superfosfato triplo ao lado e abaixo da semente proporcionou maior peso de massa seca e absorção de P.

Tabela 15. Massa seca (MS) de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico, aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Massa Seca							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴	FAPC ⁵	FNA ⁶	
					Farelado	Granulado		
-----g vaso ⁻¹ -----								
1º Cultivo (35 daa)								
0	3,3	-	-	-	-	-	-	3,3
200	-	5,4b*	6,8a*	5,8b*	5,7b*	6,9a*	3,6c	5,7
400	-	8,2b*	10,7a*	8,8b*	8,6b*	9,8a*	3,9c	8,3
Média	3,3	6,8	8,7	7,3	7,1	8,4	3,8	
MS - CV % = 13,17; DMS = 1,82;								
2º Cultivo (89 daa)								
0	2,2	-	-	-	-	-	-	2,2
200	-	2,5	6,2	4,9	2,9	3,3	2,9	3,8
400	-	3,4	7,0	5,7	5,7	4,5	2,5	4,8
Média	2,2	2,9b	6,6a	5,3a	4,3b	3,9b	2,7b	
MS - CV % = 43,21; DMS = 3,66;								
Acumulado								
0	5,4	-	-	-	-	-	-	5,4
200	-	8,0	13,0*	10,7*	8,5	10,2*	6,5	9,5
400	-	11,5*	17,7*	14,5*	14,3*	14,3*	6,4	13,1
Média	5,4	9,7c	15,3a	12,6b	11,4b	12,2b	6,4d	
MS - CV % = 20,36; DMS = 4,54;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os fosfatos levaram a diferenças no acúmulo de massa seca de milho, semelhante aos resultados encontrados em experimento de campo por Ono et al. (2009), verificando que a cultura do milho em sucessão com a soja apresentou respostas positivas à adubação fosfatada, apresentando produção de massa seca da parte aérea do fosfato natural equivalente do SFT.

Estes resultados demonstram um maior fornecimento de P por parte dos fosfatos alternativos (FD e FP), que provavelmente apresentaram uma liberação mais lenta e constante no decorrer do desenvolvimento da cultura do milho nos dois cultivos realizados (Tabela 15). Na produção acumulada o tratamento FD (15,3 g vaso⁻¹) apresentou maior massa seca em relação aos demais tratamentos. Barreto e Fernandes (2002), encontraram resultados diferentes em um Argissolo Amarelo, onde constataram que a adubação de P via SFT a lanço, resultou em maior produtividade de milho, com maior economia de adubo fosfatado, comparativamente à adubação no sulco de plantio. Mas, de acordo com Anghinone e Barber (1980) este efeito tenderá a ser mais

expressivo com o aumento das doses de fertilizantes utilizadas ou com a redução do poder de adsorção de P do solo. Mas, Prado et al. (2001), ao avaliarem a resposta da cultura do milho a modos de aplicação de P, verificaram que a aplicação de doses crescentes de P aumentou a produção de grãos de milho e que os modos de aplicação do adubo fosfatado em sulco simples e sulco duplo foram mais eficientes que a aplicação a lanço.

O resultado visual da aplicação dos diferentes fertilizantes fosfatados nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ aos 35 daa pode ser observado nas figuras 2 e 3 e aos 89 daa nas figuras 4 e 5.

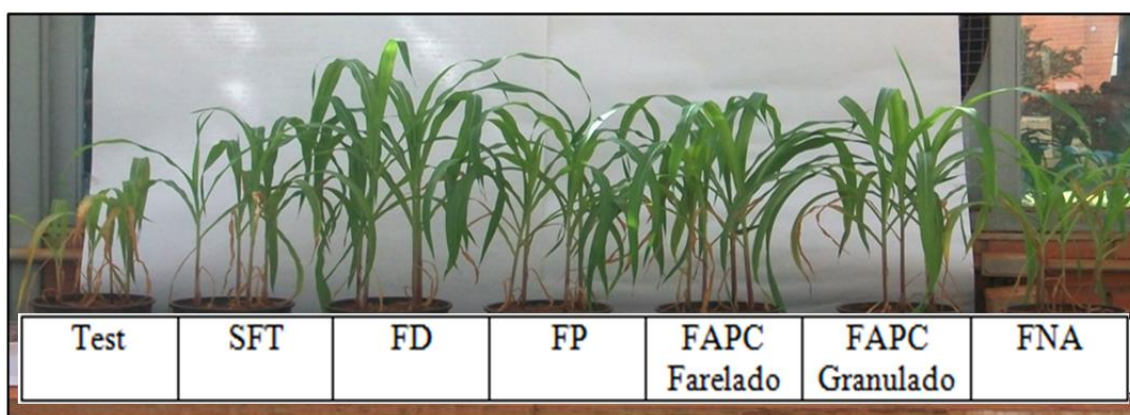


Figura 2. Plantas de milho aos 31 dias após sementeira em um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

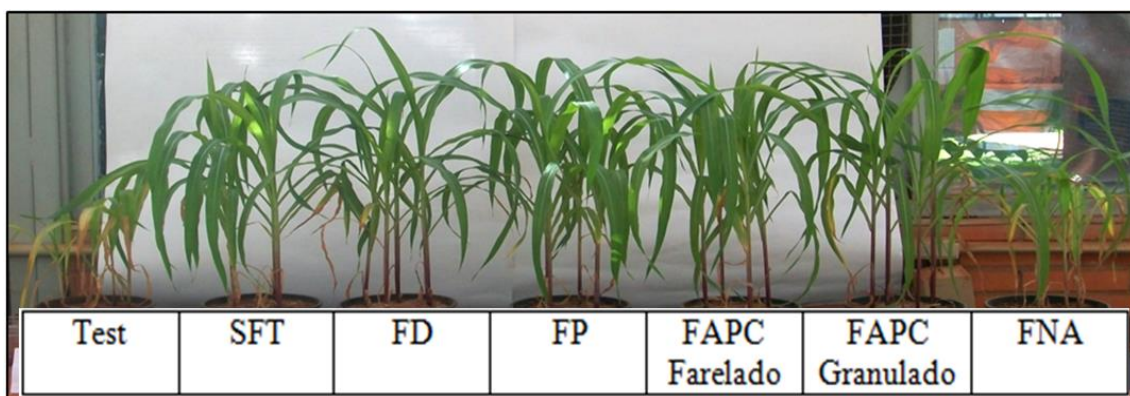


Figura 3. Plantas de milho aos 31 dias após a sementeira em um Latossolo Vermelho distrófico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

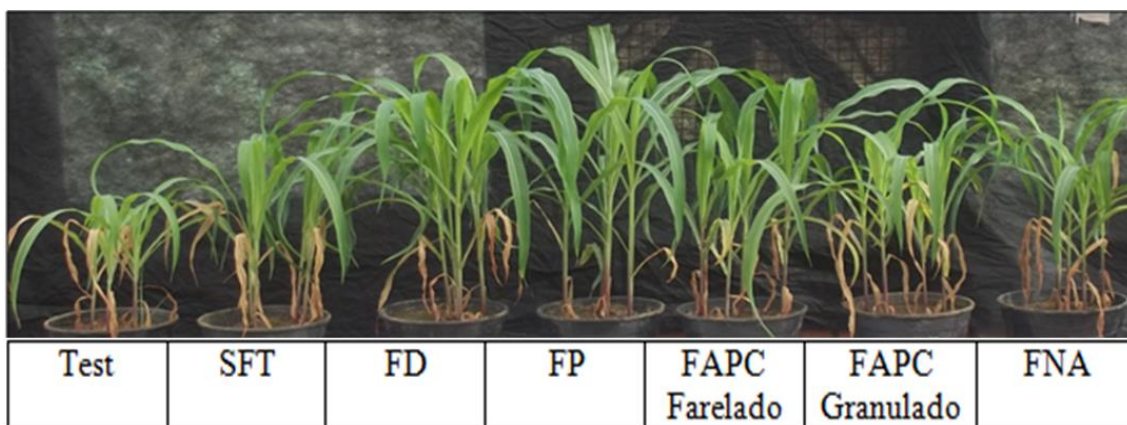


Figura 4. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

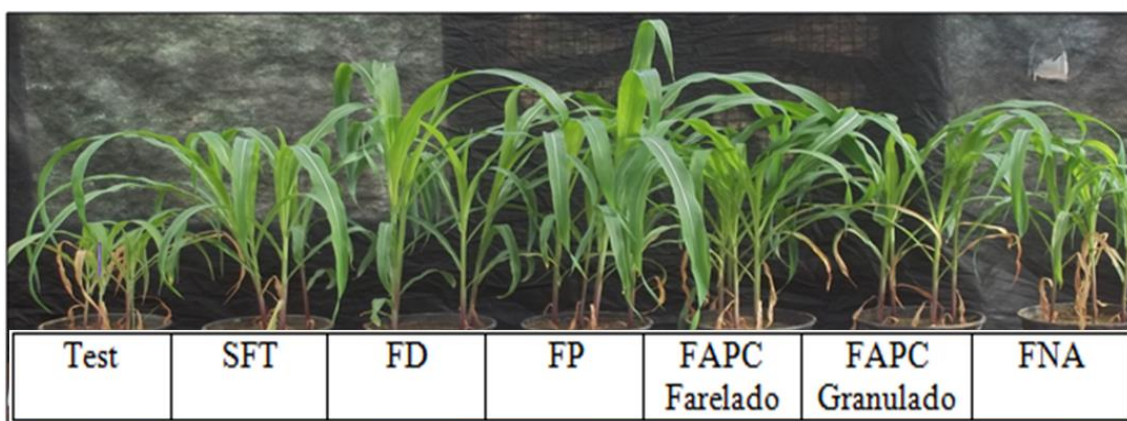


Figura 5. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Latossolo Vermelho distrófico aos 89 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

2.8.2.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico

A adubação com FD e FP foi responsável por um incremento médio no crescimento de plantas de milho no primeiro cultivo de 16 e 14,5 g vaso⁻¹, em relação às demais fontes fosfatadas. Os incrementos médios de massa seca desses tratamentos em relação ao SFT no primeiro cultivo foram de 53,8 e 39,4% e de 125% para FD na dose de 400 kg ha⁻¹ no segundo cultivo.

No segundo cultivo de milho e total acumulado, observou-se também, que os tratamentos FP e FD proporcionaram maior incremento na produção de massa seca nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ (Tabela 16). Os tratamentos que apresentaram menor produção de massa seca no primeiro cultivo foram SFT e FNA, mas no segundo cultivo esses tratamentos não diferiram de outros tratamentos, como FAPC farelado e granulado.

Tabela 16. Massa seca (MS) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 e 89 dias após a aplicação de diferentes fontes fosfatadas e total acumulada.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Massa Seca							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴	FAPC ⁵	FNA ⁶	
					Farelado	Granulado		
1º Cultivo (35 daa)								
0	4,5	-	-	-	-	-	-	4,5
200	-	8,6	13,5*	11,4*	11,2*	11,6*	8,7	10,8
400	-	12,3*	18,6*	17,6*	14,4*	14,0*	10,3*	14,5
Média	4,5	10,4c	16,0a	14,5a	12,8b	12,8b	9,5c	
MS - CV % = 24,30; DMS = 4,41;								
2º Cultivo (89 daa)								
0	2,5	-	-	-	-	-	-	2,5
200	-	3,6b	4,3b	7,0a*	4,2b	3,6b	3,5b	4,3
400	-	4,3b	10,8a*	8,9b*	4,4b	6,0b*	4,2b	6,5
Média	2,5	4,0	7,5	7,9	4,3	4,8	3,8	
MS - CV % = 28,25; DMS = 3,00;								
Total Acumulado								
0	6,7	-	-	-	-	-	-	6,7
200	-	12,2b*	17,8a*	18,4a*	15,4a*	15,2a*	12,2b	15,1
400	-	16,6c*	29,4a*	26,5a*	18,8b*	20,0b*	14,5c*	21,0
Média	6,7	14,4	23,5	22,5	17,1	17,6	13,3	
MS - CV % = 14,90; DMS = 5,27;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada;; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Assim como demonstrado no Latossolo Vermelho distrófico, os fosfatos aplicados no Neossolo Quartzarênico Órtico típico levaram a diferenças no acúmulo de massa seca de milho, resultado do maior fornecimento de P por parte dos fosfatos alternativos, que provavelmente apresentaram uma liberação mais lenta e constante no decorrer do desenvolvimento das plantas de milho (Figuras 8 e 9).

Corroborando com Scivittaro et al. (1997), que observaram aumento na produção de massa seca de milho em função de doses crescentes de fontes sólidas e líquidas de fertilizantes fosfatados (ácido fosfórico, suspensão coloidal, fosfato monoamônio e superfosfato Triplo). Ao contrário do que se observou neste trabalho, Ono et al. (2007), não observaram diferenças na produção de massa seca em plantas de milho em sucessão com a soja em função de diferentes fontes de P. Estes resultados também diferem dos obtidos por Miola et al. (1999), que avaliando a disponibilidade de P utilizando seis solos com cultivo de milho em casa de vegetação observaram que o aumento das doses de SFT proporcionou maior massa seca em plantas de milho. Já

Harger et al. (2007), constataram aumento na produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho cultivadas em casa de vegetação com o incremento de doses de P, independentemente da fonte de P avaliada (superfosfato triplo e fosfato de Arad).

Esperava-se que o acumulado de massa seca no tratamento FAPC granulado fosse menor que o FAPC farelado, todavia, não foi constatada diferença significativa em nenhuma das doses. Ao observar os fertilizantes granulados, o FAPC granulado comparado com SFT, verificou-se maior acumulado de massa seca nas duas doses de P_2O_5 . Estes resultados confirmam que aplicação de fontes solúveis na forma de pó em área total tem sua eficiência reduzida confirmando os resultados obtidos por Bevilaqua et al. (1996). Collier et al. (2008), ao avaliarem aplicação a lanço e na linha de semeadura de superfosfato simples (SFS) e fosfato natural reativo (FNA), ambos na dose de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 sobre os resíduos de feijão-de-porco semeado 70 dias antes do plantio de milho, observaram que o emprego do modo de aplicação do P em faixa resultou em maior produção de grãos, com uso de FNA. Resende et al. (2006), avaliando diferentes fontes e modos de adubação fosfatada na cultura do milho, verificaram que a aplicação localizada no sulco e o parcelamento da adubação proporcionaram maior eficiência agrônômica e econômica para o fosfato reativo de Arad.

Barreto e Fernandes (2002), em experimento de campo encontraram resultados diferentes aos observados nesse trabalho, verificando em um Argissolo Amarelo, que a adubação de P via SFT a lanço, resultou em maior produtividade de milho, com maior economia de adubo fosfatado, comparativamente à adubação no sulco de plantio. Mas de acordo com Anghinone e Barber (1980), este efeito tende a ser mais expressivo com o aumento das doses de fertilizantes utilizadas ou com a redução do poder de adsorção de P do solo.

O resultado visual da aplicação dos diferentes fertilizantes fosfatados nas doses de 200 e 400 kg ha^{-1} aos 35 daa pode ser observado nas figuras 6 e 7 e aos 89 daa nas figuras 8 e 9.

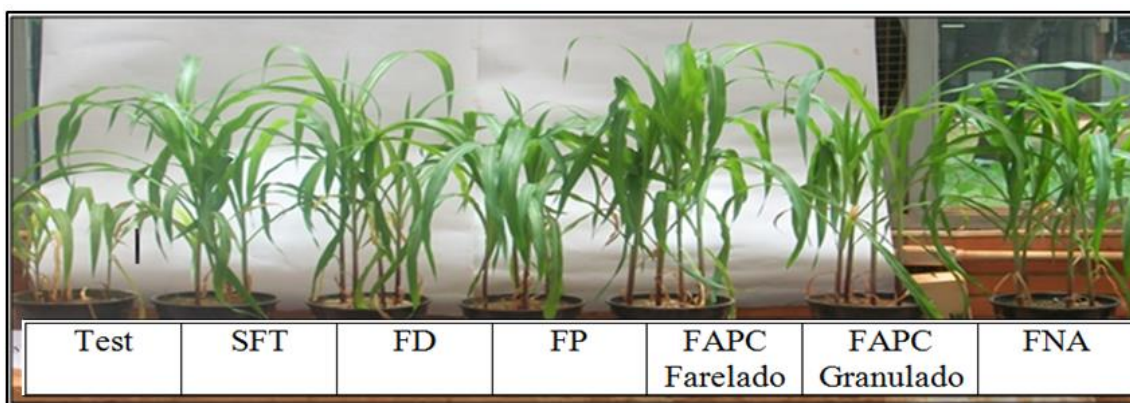


Figura 6. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

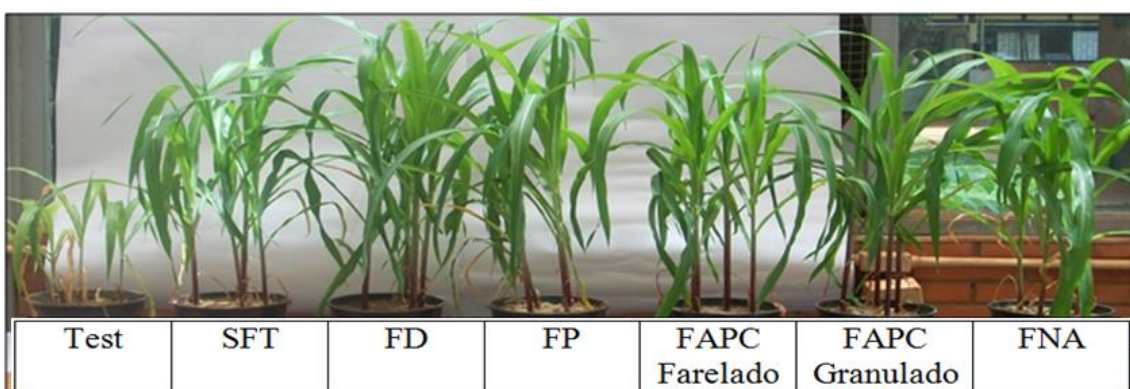


Figura 7. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 35 dias após aplicação de diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

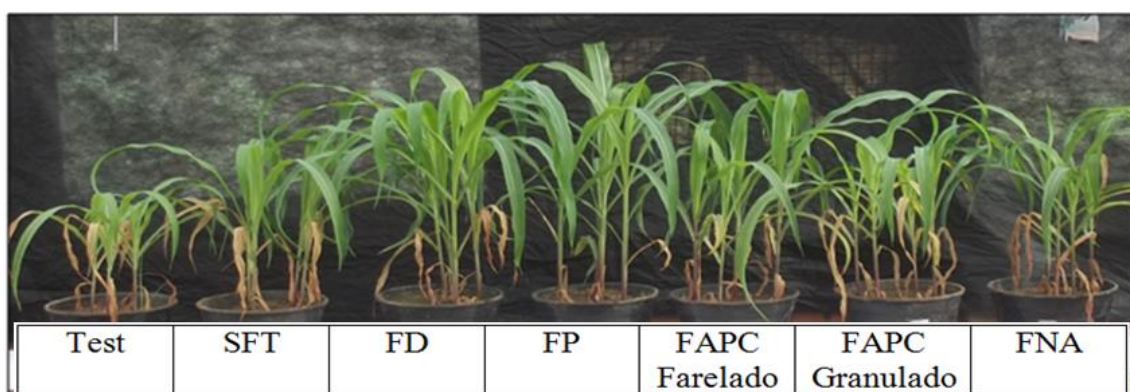


Figura 8. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 89 dias após aplicação diferentes fontes fosfatadas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

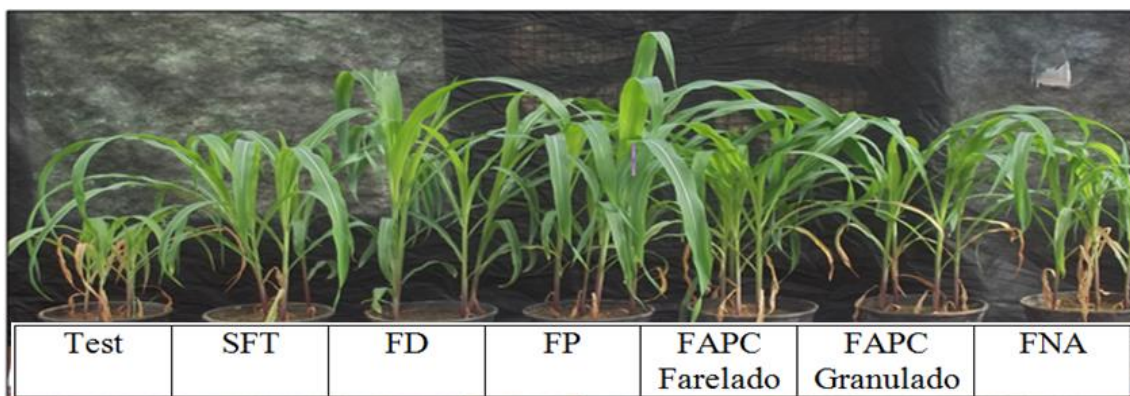


Figura 9. Plantas de milho aos 31 dias após a semeadura em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico aos 89 dias após aplicação diferentes fontes fosfatadas na dose de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

2.8.3. Análise de planta

2.8.3.1. Latossolo Vermelho distrófico

Os resultados para concentração média de P na parte aérea entre os tratamentos variaram de 2,1 a $3,7 \text{ g kg}^{-1}$, mesmo assim não foi observada diferença significativa na concentração média de P. Apesar disso, comparado com a testemunha, os tratamentos FD, FP e FAPC farelado apresentaram uma concentração média superior de 38,2% (Tabela 17).

Tabela 17. Concentração de fósforo (P) e cálcio (Ca) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P_2O_5 kg ha^{-1}	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
P na planta								
0	2,1	-	-	-	-	-	-	2,1
200	-	3,0	3,2	3,0	3,8*	2,7	2,5	3,0
400	-	3,3	3,2	3,5	3,6*	3,1	2,8	3,2
Média	2,1	3,1a	3,2a	3,3a	3,7a	2,9a	2,6a	
Ca na planta								
0	5,7	-	-	-	-	-	-	5,7
200	-	11,4*	10,1*	10,6*	7,9	11,3*	13,7*	10,8
400	-	9,8*	9,7*	10,6*	10,3*	10,9*	13,1*	10,7
Média	5,7	10,6b	9,9b	10,6b	9,1b	11,1b	13,4a	

P - CV % = 22,28; DMS = 1,40;

Ca - CV % = 16,57; DMS = 3,50;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Esses mesmos fosfatos apresentaram maior concentração em relação ao SFT, resultando em maior produção de massa seca. Diferente dos resultados obtidos, Valderrama et al. (2011), em experimento a campo, observaram resposta significativa na concentração de P foliar em função do aumento de doses de P aplicadas via SFT com e sem revestimento. Mas Ono et al. (2009), não observaram diferenças significativas nas concentrações de P em folhas de plantas de milho, avaliando-se diferentes fontes de P.

Aos 89 daa, maiores concentrações médias de P foram observadas nos tratamentos FD, FP e FAPC farelado (Tabela 18). Em relação à concentração de Ca na planta aos 35 daa, o tratamento com FNA (13,4 g kg⁻¹) foi superior em relação aos demais tratamentos, mesmo sendo constatada menor produção de massa seca neste tratamento (Tabela 17). Porém, aos 89 daa não foi verificada diferença significativa na concentração de Ca em plantas de milho (Tabela 18).

Tabela 18. Concentração de fósforo (P) e cálcio (Ca) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
P na planta								
0	1,0	-	-	-	-	-	-	1,0
200	-	0,9	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0	1,0
400	-	1,1	1,4*	1,2	1,0	1,2	1,1	1,2
Média	1,0	1,0b	1,3a	1,2a	1,0b	1,2a	1,1b	
Ca na planta								
0	10,1	-	-	-	-	-	-	10,1
200	-	10,7	10,3	10,6	11,4	10,1	10,1	10,5
400	-	10,4	9,63	10,0	9,3	10,0	9,8	9,8
Média	10,1	10,6a	10,0a	10,3a	10,3a	10,0a	9,9a	

P - CV % = 8,72; DMS = 0,35;

Ca - CV % = 9,52; DMS = 1,85;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Avaliando a eficiência de fontes e doses de P, Santos e Kliemann (2005; 2006), observaram que a utilização do superfosfato triplo proporcionou maior concentração de P na parte aérea do milheto, quando comparado às fontes alternativas (fosfato de Arad, fosfato de Al e Ca e fosfato de Araxá). Harger et al. (2007), também verificaram que o aumento das doses de P proporcionou aumentos nas concentrações foliares de P nas plantas de milho, para as duas fontes estudadas (superfosfato triplo e fosfato de Arad).

Os fatores que interferem na eficiência dos fosfatos solúveis, em geral, podem ser bem relativos às propriedades dos fertilizantes e dos solos, as práticas de manejo e cultura empregada (CHIEN et al., 1990).

Conforme a tabela 19, também não foi constatada diferença entre os tratamentos, na concentração de Mg em plantas de milho. Contudo, nas duas doses de P_2O_5 , aos 35 daa a concentração de Mg foi significativamente menor que da testemunha nos tratamentos com fertilizantes fosfatados, que pode ser explicado pelo efeito de diluição entre os tratamentos, por isso a importância da avaliação no nutriente acumulado/vaso.

Tabela 19. Concentração de magnésio (Mg) da parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico aos 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Mg na Planta								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----g kg ⁻¹ -----								
35 daa								
0	7,2	-	-	-	-	-	-	7,2
200	-	4,7*	4,1*	4,0*	2,9*	4,2*	4,6*	4,1
400	-	4,1*	3,9*	4,0*	4,0*	4,3*	4,2*	4,1
Média	7,2	4,3a	4,0a	4,0a	3,4a	4,2a	4,4a	
89 daa								
0	5,6	-	-	-	-	-	-	5,6
200	-	5,9	5,2	5,4	5,9	5,2	5,5	5,5
400	-	6,0	6,0	5,3	5,0	5,1	4,8	5,4
Média	5,6	6,0a	5,6a	5,4a	5,4a	5,1a	5,1a	
35 daa - CV % = 18,55; DMS = 1,60;								
89 daa - CV % = 11,69; DMS = 1,30;								

35 daa - CV % = 18,55; DMS = 1,60;

89 daa - CV % = 11,69; DMS = 1,30;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

2.8.3.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico

A concentração média de P na parte aérea do primeiro cultivo de plantas de milho que receberam aplicação de FNA (4,1 g vaso⁻¹) foi superior à das plantas que receberam aplicação dos demais fertilizantes fosfatados (Tabela 20). Assim como observado no acumulado de massa seca de milho, esperava-se que o tratamento FAPC granulado apresentasse menor concentração de P em relação ao FAPC farelado, todavia não diferiram entre si. As plantas de milho no solo adubado com SFT (3,2 g vaso⁻¹) também apresentaram menores concentrações foliares de P em relação às plantas no

solo adubado com FNA, porém maiores concentrações foram observadas na dose 200 kg ha⁻¹ quando comparado com a testemunha.

Tabela 20. Concentração de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
P na planta								
0	2,5	-	-	-	-	-	-	2,5
200	-	3,6*	3,6*	3,3	3,1	3,0	3,9*	3,4
400	-	2,8	3,2	2,8	2,7	2,5	4,3*	3,0
Média	2,5	3,2b	3,4b	3,0b	2,9b	2,7b	4,1a	
Ca na planta								
0	8,7	-	-	-	-	-	-	8,7
200	-	8,3	6,1*	6,8	5,3*	5,3*	4,6*	6,1
400	-	7,7	5,9*	5,8*	5,2*	5,5*	4,3*	5,7
Média	8,7	8,0a	6,0b	6,3b	5,2c	5,4c	4,5c	
Mg na planta								
0	5,9	-	-	-	-	-	-	5,9
200	-	6,4	6,2	6,1	5,9	6,0	6,8	6,3
400	-	6,5	7,2	5,9	5,0	5,8	5,9	6,9
Média	5,9	6,4a	6,7a	6,0a	6,4a	5,9a	6,3a	

P - CV % = 16,47; DMS = 1,07;

Ca - CV % = 18,75; DMS = 0,23;

Mg - CV % = 11,03; DMS = 1,44;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Em relação à concentração de Ca, o tratamento FNA apresentou menor concentração média em relação ao SFT, FD e FP. A concentração média de Ca no tratamento FAPC granulado (5,4 g vaso⁻¹) foi menor que o SFT (8,0 g vaso⁻¹). A concentração de Mg entre plantas de milho ao primeiro cultivo não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 20).

No segundo cultivo, a concentração de P em plantas de milho variou de 1,0 a 2,2 g kg⁻¹ (Tabela 21). Os resultados demonstram que o tratamento FD nas duas doses de P₂O₅ apresentou maiores concentrações de P em plantas de milho, apresentando concentração de 57,1% superior ao tratamento SFT, fato que pode ser justificado pelo melhor efeito residual do fertilizante e consequente aproveitamento pelas plantas de milho no segundo cultivo. Prado et al. (2001), trabalhando com diferentes dose de P no milho, também verificaram efeitos positivos nas concentrações de P foliar. Mas Ono et

al. (2009), não encontraram diferenças significativas nas concentrações de P foliares na cultura do milho em função de diferentes fontes de P.

Tabela 21. Concentração de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 89 dias após a aplicação.

Dose de P_2O_5 kg ha ⁻¹	P na planta							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
0	1,0	-	-	-	-	-	-	1,0
200	-	1,3a*	1,4a*	1,4a*	1,2b	1,2b	1,0c	1,3
400	-	1,4c*	2,2a*	1,6b*	1,4c*	1,5c*	1,4c*	1,6
Média	1,0	1,3	1,8	1,5	1,3	1,4	1,2	
Ca na planta								
0	8,9	-	-	-	-	-	-	8,9
200	-	9,3a	8,4b	8,1b	8,9a	9,3a	8,9a	8,8
400	-	8,8b	9,8a	8,4b	9,4a	8,3b	9,3a	9,0
Média	8,9	9,1	9,1	8,3	9,1	8,8	9,1	
Mg na planta								
0	4,1	-	-	-	-	-	-	4,1
200	-	4,1a	4,1a	4,1a	4,1a	3,6a	4,0a	4,2
400	-	4,2b	5,5a*	3,8b	4,1b	3,9b	3,8b	4,0
Média	4,1	4,1	4,7	3,9	4,1	3,7	3,9	

P - CV % = 8,34; DMS = 0,24;

Ca - CV % = 5,44; DMS = 0,99;

Mg - CV % = 9,70; DMS = 0,81;

¹Superfósforo Triplo; ²Fósforo Decantado; ³Fósforo Precipitado; ^{4,5}Fósforo Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fósforo Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os tratamentos FAPC farelado, granulado e FNA apresentaram menores concentrações de P em plantas de milho nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹. Ao comparar o FAPC granulado e farelado, nota-se que não houve diferença significativa, todavia ao comparar o SFT ao FAPC granulado na dose de 200 kg ha⁻¹ constou-se com SFT maior concentração de P. Semelhante aos resultados obtidos Miola et al. (1999), onde observaram que o aumento das doses de SFT proporcionou maior concentração foliar de P em milho cultivado em casa de vegetação.

As plantas de milho que cresceram no solo adubado com FD e FP apresentaram menores concentrações de Ca em relação aos demais tratamentos na dose de 200 kg ha⁻¹, porém, na maior dose, as menores concentrações foram constatadas com os tratamentos SFT, FP e FAPC granulado (Tabela 21). Assim como esperado, ao comparar os tratamentos FAPC farelado e granulado na dose de 400 kg ha⁻¹, observou-

se maior concentração de Ca em plantas de milho que cresceram em solo que recebeu aplicação de FAPC farelado.

No segundo cultivo, as concentrações de Mg em plantas de milho que cresceram no solo adubado com FD foram maiores na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentando um incremento de 14,6% em relação ao tratamento SFT (Tabela 21). Verificou-se que as plantas que tiveram melhor aproveitamento do Mg disponível, consequentemente, apresentaram melhor aproveitamento na absorção de P, como o tratamento FD, mesmo não sendo observada diferença significativa nos teores de Mg no solo para a maioria dos tratamentos. De acordo com Malavolta et al. (1997), esse fato pode ser justificado devido a absorção do P ser influenciada pela concentração de Mg na solução do solo, já que o Mg pode ser carreador do P para dentro da planta. Com isso, acredita-se que essa inter-relação desses dois íons é consequência da necessidade de Mg nas reações de transferência de energia (BERGMANN, 1992).

As diferenças observadas no primeiro e segundo cultivo demonstram que os fertilizantes aplicados influenciaram no melhor aproveitamento do P, Ca e Mg aplicados ao solo, o que resultou em maior concentração desses nutrientes nas plantas de milho, como foi observado no tratamento FD.

2.8.4. Acúmulo de P, Ca e Mg na Planta

2.8.4.1. Latossolo Vermelho distrófico

As doses de P₂O₅ não influenciaram o acúmulo de P pela aplicação dos fertilizantes fosfatados, ou seja, a concentração P não influenciou a produção de massa seca em cada dose de P₂O₅. Contudo, constatou-se diferença significativa entre as fontes, nos dois cultivos e o total acumulado, ou seja, soma do 1º e 2º cultivo (Tabela 22). Maiores acúmulos de P foram observados nas plantas no solo adubado com FD e FAPC farelado (22,1 e 22,5 mg vaso⁻¹) na dose de 200 kg ha⁻¹ em relação à testemunha (7,1 mg vaso⁻¹) no primeiro cultivo de milho. Em relação ao SFT, esses mesmos tratamentos apresentaram incrementos de 31,6 e 25,1%, respectivamente.

Ao avaliar o acúmulo de P no segundo cultivo de milho, os tratamentos com FD e FP, apresentaram acúmulo superior às demais fontes. Vale ressaltar que o acúmulo proporcionado pelo tratamento com FD em plantas de milho, foi mais de 171% em relação às plantas ao tratamento com SFT. Isso pode ser explicado, pelo melhor

aproveitamento das plantas pelo P disponibilizado via FD e FP e seu efeito residual (Tabela 22). Ao comparar o FAPC farelado e granulado não foi observado diferença significativa, mas Horowitz e Meurer (2003), observaram maior acúmulo de P na parte aérea em plântulas de milho com fosfatos naturais na forma farelada.

Tabela 22. Acúmulo de fósforo (P) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total e acumulado.

Acúmulo de P								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	Média
-----mg vaso ⁻¹ -----								
1º Cultivo (35 daa)								
0	7,1	-	-	-	-	-	-	7,1
200	-	16,3	22,1*	17,6	22,5*	19,0	9,1	17,7
400	-	26,8*	34,5*	31,0*	31,3*	31,3*	11,0	26,6
Média	7,1	21,5a	28,3a	24,3a	26,9a	25,1a	10,0b	
2º Cultivo (89 daa)								
0	2,1	-	-	-	-	-	-	2,1
200	-	2,4	7,0	6,2	2,9	3,8	2,8	4,1
400	-	3,7	10,6*	7,1	5,4	5,5	2,6	5,8
Média	2,9	3,1b	8,4a	6,6a	4,1b	4,5b	2,6b	
Total Acumulado								
0	9,2	-	-	-	-	-	-	9,2
200	-	18,7	29,1*	23,8	25,4*	22,8	11,9	21,9
400	-	30,6*	45,1*	38,1*	36,7*	36,8*	13,6	33,5
Média	9,2	23,0a	37,1a	31,0a	31,0a	29,8a	12,7b	
35 dias - CV % = 29,22; DMS = 12,90;								
89 dias - CV % = 53,79; DMS = 5,28;								
Acumulado - CV % = 27,75; DMS = 14,98;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os resultados de acúmulo de Ca e Mg por plantas de milho no primeiro cultivo de milho foram influenciados pelas doses de P_2O_5 em relação aos fertilizantes fosfatados, ou seja, a relação da concentração com a produção de massa seca foi significativa em cada dose de P_2O_5 (Tabelas 23 e 24).

O FD e FAPC granulado, nas duas doses de P_2O_5 avaliadas, proporcionaram com sua aplicação maior acúmulo de Ca por plantas de milho no primeiro cultivo (Tabela 23). Mas nos tratamentos com FAPC farelado e FNA acúmulos de Ca foram menores. Como observado na tabela ao segundo cultivo de milho e total acumulado, as plantas que se desenvolveram no solo adubado com FD e FP tiveram maiores acúmulos

médios de Ca, que pode ser explicado devido à maior concentração de Ca e maior produção de massa seca em plantas de milho. No total acumulado verifica-se que o tratamento FAPC granulado apresentou maiores acúmulos de Ca, quando comparado com o tratamento SFT e FAPC farelado.

Tabela 23. Acúmulo de cálcio (Ca) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total e acumulado.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Acúmulo de Ca							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
	-----mg vaso ⁻¹ -----							
	1º Cultivo (35 daa)							
0	19,8	-	-	-	-	-	-	19,8
200	-	61,8a*	69,7a*	62,3a*	41,9b	77,4a*	49,6b*	60,4
400	-	80,5b*	103,7a*	92,8b*	89,0b*	106,2a*	51,3c*	87,2
Média	19,8	71,1	86,7	77,6	65,4	91,8	50,4	
2º Cultivo (89 daa)								
0	22,1	-	-	-	-	-	-	22,1
200	-	27,2	62,4*	52,0	32,5	33,3	29,5	39,4
400	-	35,3	67,9*	57,2*	52,3	45,4	26,2	47,3
Média	22,1	31,3b	65,2a	54,6a	42,4b	39,4b	27,9b	
Total Acumulado								
0	41,8	-	-	-	-	-	-	41,8
200	-	89,0	132,2*	114,3*	74,3	110,7*	79,2	99,9
400	-	115,7*	171,6*	150,0*	141,3*	151,6*	77,5	134,6
Média	41,8	85,2b	151,9a	132,2a	107,8b	131,1a	78,3c	
35 dias - CV % = 17,23; DMS = 24,65;								
89 dias - CV % = 40,64; DMS = 34,87;								
Acumulado - CV % = 21,77; DMS = 49,81;								

35 dias - CV % = 17,23; DMS = 24,65;

89 dias - CV % = 40,64; DMS = 34,87;

Acumulado - CV % = 21,77; DMS = 49,81;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Na avaliação do acúmulo de Mg por plantas no primeiro cultivo, os tratamentos FD e FAPC granulado proporcionaram acúmulo de Mg superior às demais fontes. Mas na comparação com a testemunha, somente na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ esses tratamentos apresentaram maior acúmulo de Mg (Tabela 24). No segundo cultivo de milho e total acumulado, maior acúmulo médio de Mg foi observado nos tratamentos com FD (38,1; 73,4 mg mg vaso⁻¹). Mesmo não constatada diferença significativa na concentração de Mg em plantas de milho, uma maior massa seca foi observada nos tratamentos que apresentaram maior acúmulo de Mg.

Tabela 24. Acúmulo de magnésio (Mg) por plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total acumulado.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Acúmulo de Mg							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
	-----mg vaso ⁻¹ -----							
1º Cultivo (35 daa)								
0	24,3	-	-	-	-	-	-	24,3
200	-	25,6b	28,1a	23,7a	15,4b	28,7a	16,4b	22,9
400	-	34,3b	42,4a*	35,3b	34,5b	42,2a*	16,6c	34,2
Média	24,3	29,9	35,2	29,5	25,0	35,4	16,5	
2º Cultivo (89 daa)								
0	12,0	-	-	-	-	-	-	12,0
200	-	15,3	31,7	26,9	16,9	17,1	15,8	20,6
400	-	20,2	44,5*	30,8	27,1	23,1	12,7	26,4
Média	12,0	17,7b	38,1a	28,9a	22,0b	20,1b	14,3b	
Total Acumulado								
0	36,3	-	-	-	-	-	-	36,3
200	-	40,9	59,8	50,6	32,3	45,8	32,2	43,6
400	-	54,4	86,9*	66,0*	61,6	65,2*	29,3	60,6
Média	36,3	47,6c	73,4a	58,3b	46,9c	55,5b	30,8d	
35 dias - CV % = 19,31; DMS = 11,20;								
89 dias - CV % = 46,02; DMS = 21,37;								
Acumulado - CV = 25,46; DMS = 26,59;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

É importante ressaltar que, em geral, as plantas que apresentaram maior concentração de P, Ca e Mg, nos dois cultivos, foram aquelas em que o P aplicado pelos fertilizantes fosfatados esteve mais disponível, possibilitando assim uma maior produção de massa seca e acúmulo de P, Ca e Mg em plantas de milho como o FD que com sua aplicação apresentou concentração de P, Ca e Mg em média 50% superior em relação ao SFT aos 89 daa.

Segundo Sousa e Lobato (2003), uma das maneiras de se avaliar o efeito residual de fontes de P aplicadas ao solo é a realização de cultivos sucessivos na área onde foram aplicados os tratamentos, avaliando-se, além da produção de grãos e/ou de matéria seca, também o teor de P no material que está sendo exportado da área. Um maior ou menor efeito residual de fontes solúveis é resultado da solubilização das reações do P dissolvido do fertilizante com os componentes do solo. No caso dos fosfatos alternativos, o residual é ditado pela taxa de dissolução e pela permanência do fosfato no solo ao longo do tempo (RAJAN et al., 1996). Há de se considerar que para avaliar o

o efeito residual de fontes fosfatadas, o tempo de avaliação é muito importante, por isso deve-se observar com um maior período de tempo o efeito dos fertilizantes na disponibilização de P no solo.

2.8.4.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico

O acúmulo médio de P na parte aérea de plantas de milho no primeiro cultivo variou de 11,4 a 53,5 mg vaso⁻¹ (Tabela 25). O tratamento FD apresentou maior acúmulo médio de P em relação às demais fontes fosfatadas e a testemunha no primeiro cultivo e total acumulado.

Tabela 25. Acúmulo de fósforo (P) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatada e total acumulado.

Fontes fosforada e total acumulado.								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Acúmulo de P							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
	-----mg vaso ⁻¹ -----							
	1º Cultivo (35 daa)							
0	11,4	-	-	-	-	-	-	11,4
200	-	30,9*	48,1*	37,0*	33,5*	34,6*	34,6*	36,4
400	-	33,9*	58,9*	49,8*	39,0*	35,2*	44,0*	43,4
Média	11,4	32,4b	53,5a	43,4b	36,3b	34,9b	39,3b	
2º Cultivo (89 daa)								
0	2,7	-	-	-	-	-	-	2,7
200	-	4,8b	6,5b	10,1a*	5,0b	4,5b	3,6b	5,8
400	-	6,5c	23,4a*	14,8b*	6,3c	9,2c*	5,9c	11,0
Média	2,7	5,7	14,9	12,5	5,7	6,8	4,7	
Total Acumulado								
0	14,1	-	-	-	-	-	-	14,1
200	-	35,8*	54,6*	47,1*	38,6*	39,0*	38,1*	42,2
400	-	40,4*	82,3*	64,4*	45,3*	44,4*	49,9*	54,5
Média	14,1	38,1c	68,4a	55,8b	41,9c	41,7c	44,0c	
35 dias - CV % = 21,37; DMS = 16,57;								
89 dias - CV % = 17,91; DMS = 16,80;								
Acumulado - CV % = 30,63; DMS = 5,00;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No segundo cultivo de milho, o maior acúmulo de P observado foi com as plantas de milho que cresceram nos solos adubados com FP na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e FD na maior dose de P₂O₅, em relação ao SFT. Os tratamentos que apresentaram maior extração de P por plantas de milho foram aqueles onde uma maior concentração

de P e produção de massa seca foram observadas. Isso pode ter ocorrido devido a solos com alto efeito residual, fertilizantes de menor solubilidade ter um papel importante, promovendo a solubilidade gradual e eficiente do P (SOUSA, 2011).

Em relação ao acúmulo de Ca, além do FD, as plantas nos solos adubados com SFT e FP responderam favoravelmente no primeiro cultivo de milho, todavia a aplicação de FNA não causou o mesmo resultado (Tabela 26). Ao comparar o acúmulo de Ca por plantas de milho no primeiro cultivo em solos adubados com fosfatos granulados, o SFT comparado com FAPC granulado apresentou maior acúmulo de Ca. No segundo cultivo essa diferença não foi observada. Ao comparar os tratamentos FAPC granulado e farelado, não foi verificada diferença significativa em nenhum dos dois cultivos de milho.

Tabela 26. Acúmulo de cálcio (Ca) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas e total acumulado.

Fontes Residualas e total acumulado:								
Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Acúmulo de Ca							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
	-----mg vaso ⁻¹ -----							
	1º Cultivo (35 daa)							
0	26,0	-	-	-	-	-	-	26,0
200	-	47,7*	55,1*	51,9*	37,9	41,2	27,4	43,5
400	-	62,2*	71,6*	68,6*	49,5*	52,8*	28,8	55,6
Média	26,0	54,9a	63,4a	60,3a	43,7b	47,0b	28,1c	
	2º Cultivo (89 daa)							
0	22,1	-	-	-	-	-	-	22,1
200	-	33,8b	36,9b	56,7a*	37,5b	32,7b	30,9b	38,1
400	-	38,5c	105,6a*	75,9b*	41,4c	50,0c*	39,1c	58,4
Média	22,1	36,1	71,3	66,3	39,5	41,3	35,0	
	Total Acumulado							
0	48,2	-	-	-	-	-	-	48,2
200	-	81,5b*	92,0a*	108,6a*	75,4b	73,9b	58,3b	81,6
400	-	100,7c*	177,3a*	144,5b*	91,0c*	102,8c*	67,9d	114,0
Média	48,2	91,1	134,6	126,6	83,2	88,3	63,1	
35 dias - CV % = 19,20; DMS = 18,82;								
89 dias - CV % = 27,75; DMS = 26,35;								
Acumulado - CV % = 15,74; DMS = 30,38;								

35 dias - CV % = 19,20; DMS = 18,82;
 89 dias - CV % = 27,75; DMS = 26,35;
 Acumulado - CV % = 15,74; DMS = 30,38;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Em relação ao acúmulo de Mg em plantas de milho, foi superior nos dois cultivos de milho no solo adubado com FD (Tabela 27). No primeiro cultivo o

tratamento FAPC farelado apresentou maior acúmulo de Mg na dose de 400 kg ha⁻¹ em relação ao FAPC granulado e FNA.

Tabela 27. Acúmulo de magnésio (Mg) por plantas de milho cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico 35 e 89 dias após a aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatada e total acumulado.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Acúmulo de Mg							Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	FNA ⁶	
	mg vaso ⁻¹							
1º Cultivo (35 daa)								
0	26,8	-	-	-	-	-	-	26,8
200	-	55,9a	83,2a*	70,3a*	65,7a*	70,8a*	59,8a*	67,6
400	-	79,3c*	134,7a*	105,5b*	98,0b*	84,0c*	60,5c*	93,7
Média	26,8	67,2	109,0	87,9	81,8	77,4	60,2	
2º Cultivo (89 daa)								
0	10,2	-	-	-	-	-	-	10,2
200	-	15,3	17,1	26,8*	17,2	14,0	13,0	17,2
400	-	17,6	59,6*	37,6*	18,3	21,7	17,0	28,5
Média	10,2	16,5b	38,2a	32,2a	17,8b	17,8b	15,0b	
Total Acumulado								
0	37,0	-	-	-	-	-	-	37,0
200	-	71,2a	100,4a*	97,1a*	82,9a*	84,7a*	72,8a*	84,8
400	-	97,0c*	194,3a*	143,1b*	116,4c*	105,6c*	77,6d*	122,3
Média	37,0	84,1	147,3	120,1	99,6	95,2	75,2	
35 dias - CV % = 20,33; DMS = 31,93;								
89 dias - CV % = 30,39; DMS = 13,70;								
Acumulado - CV % = 17,21; DMS = 34,78;								

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

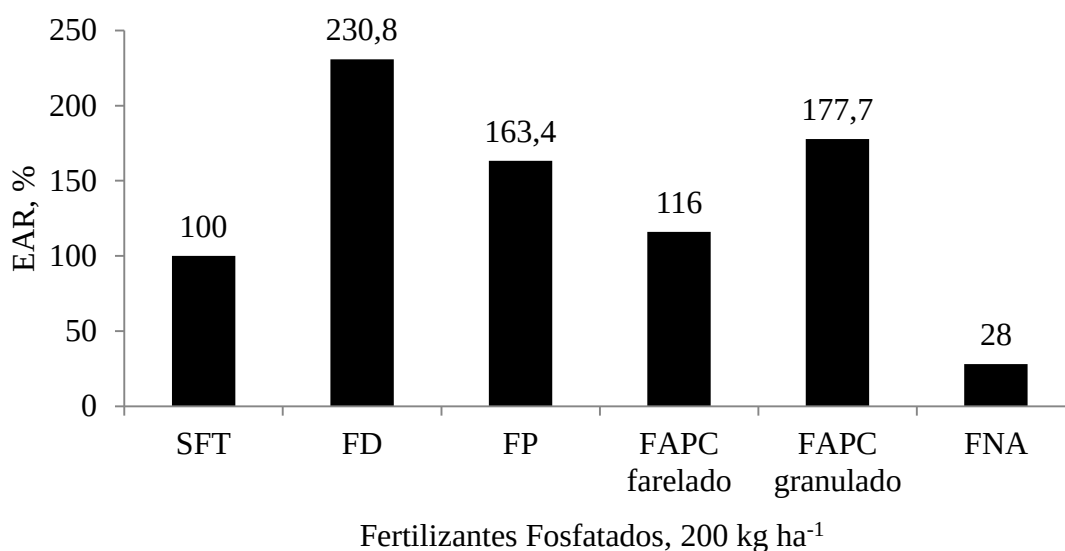
Pode-se dizer que o aumento no acúmulo de Ca e Mg em plantas de milho se deu pelo aumento de massa seca proporcionado não só pela correção do solo com carbonatos mas principalmente pela aplicação dos fertilizantes fosfatados em área total, como FD e FP. Segundo Peres et al., (2014), tendo conhecimento de como as características do solo influenciam na disponibilidade de P, fica implícita a sua importância para a determinação da forma e dose aplicadas do fertilizante fosfatado, além da cultura, do clima e do sistema de cultivo adotado.

2.8.5. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P

2.8.5.1. Latossolo Vermelho distrófico

Utilizando a produção de massa seca de dois cultivos de milho calculou-se a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) através da aplicação de diferentes fosfatos (Figuras 10 e 11). Nas duas doses de P_2O_5 , notou-se aumento da eficiência agronômica (EAR) das fontes alternativas de P, com exceção do FNA que apresentou baixo EAR.

Em geral, o FD aplicado em área total do vaso apresentou o maior EAR, sendo mais expressivo (230,8 e 176,8%) na dose de 200 e 400 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 10 e 11). Resultados diferentes foram observados por Resende et al. (2006), que ao avaliar diferentes fontes de P e modos de adubação fosfatada na cultura do milho, verificaram que a aplicação localizada no sulco e o parcelamento da adubação proporcionaram maior eficiência agronômica e econômica para o fosfato reativo de Arad.

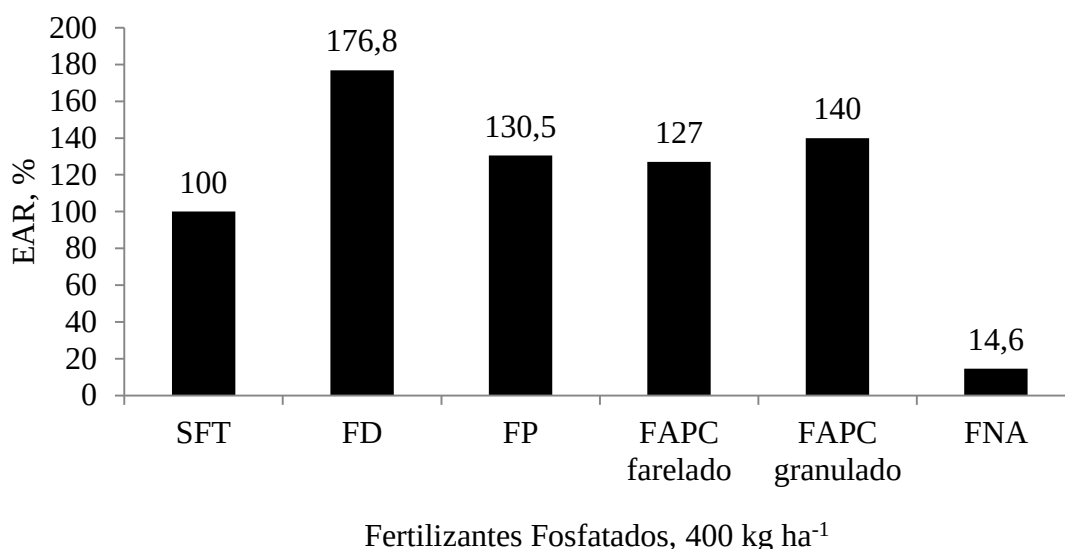


SFT: Superfosfato Triplo; FD: Fosfato Decantado; FP: Fosfato Precipitado; FAPC: Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; FNA: Fosfato Natural Alvorada.

Figura 10. Eficiência agronômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 antes do plantio de milho em um Latossolo Vermelho distrófico.

Conforme a figura 11 observou-se que na dose de 400 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 o índice de eficiência agronômica relativa aumentou na seguinte ordem: FNA (14,6%) > SFT (100%) > FAPC farelado (127%) > FP (130,5%) > FAPC granulado (140%) > FD (176,8%). O EAR dos fertilizantes fosfatados, com exceção da FNA, nas doses de 200 e 400 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 indicam que esses fertilizantes apresentam boas perspectivas quando aplicados no volume total de solo em relação ao SFT. Isso pode ser explicado porque, os fosfatos de menor solubilidade de boa qualidade são as fontes ideais para o

manejo ao longo do tempo, pois acabam sendo uma fonte de liberação controlada de P (RAJAN et al., 1996).



SFT: Superfosfato Triplo; FD: Fosfato Decantado; FP: Fosfato Precipitado; FAPC: Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; FNA: Fosfato Natural Alvorada.

Figura 11. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ antes do plantio de milho em um Latossolo Vermelho distrófico.

É importante destacar também que, em geral, o FAPC granulado apresentou melhores resultados de EAR em relação ao FAPC farelado. Esse baixo EAR apresentado pode ser devido ao alto poder de fixação de P por esse solo, pois solos que apresentam textura mais argilosa proporcionaram maior capacidade de adsorção de P (VALLADARES et al., 2003). Por esses fosfatos apresentarem maior superfície de contato com esse solo mais argiloso a fixação de P pode ter sido facilitada reduzindo a eficiência desses fertilizantes. Todavia, essas fontes de P podem ainda não ter disponibilizado o P ao solo.

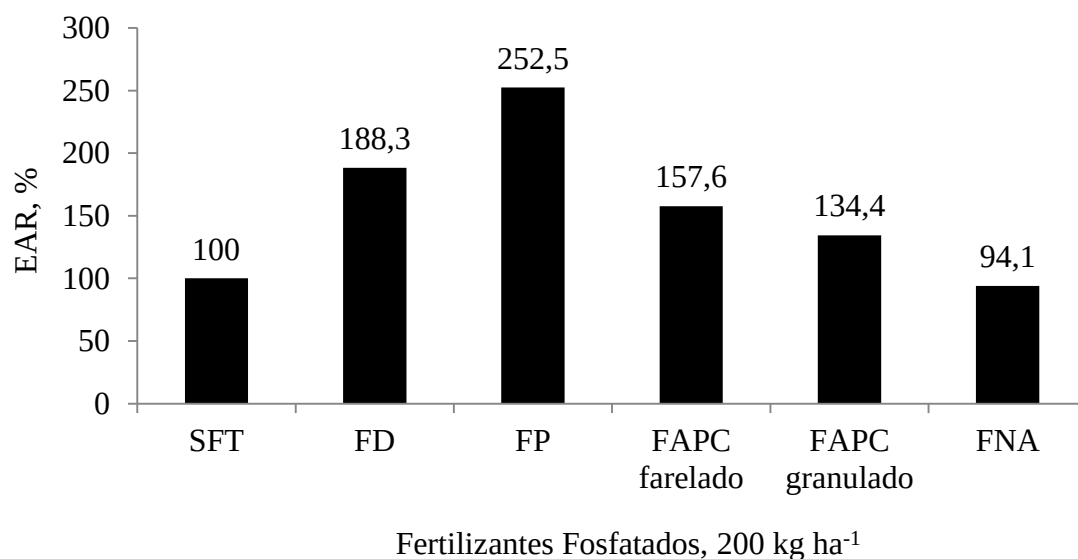
Horowitz; Meurer (2003), observaram resultados diferentes com fosfatos granulados, onde à medida que aumentou o tamanho da partícula, houve uma redução na eficiência dos fosfatos em um primeiro cultivo de milho em casa de vegetação num Latossolo Vermelho distrófico típico. Porém, a partir do segundo cultivo, os fosfatos com partículas mais grosseiras, aumentaram seus índices de eficiência agrônômica (IEA). Estes resultados concordam com os obtidos por Chien; Friesen (1992), citado por Horowitz; Meurer (2003), que afirmam que, com o passar do tempo, o efeito do

tamanho da partícula dos fosfatos naturais tendem a desaparecer. Segundo Stefanutti et al. (1995), após 7 cultivos consecutivos de milho em vasos, constataram que o termofosfato na forma pó, apresentou efeito residual semelhante ao do superfosfato simples granulado, a granulometria mais grosseira do produto termofosfato resultou em menor recuperação do fósforo residual.

2.8.5.2. Neossolo Quartzarênico Órtico típico

Para este solo também realizou-se o cálculo da Eficiência Agronômica Relativa (EAR). Nota-se na figura 12 que o índice acumulado na dose de 200 kg ha⁻¹ aumentou na seguinte ordem: FNA (94,1%) > SFT (100%) > FAPC granulado (134,3%) > FACP farelado (157,6%) > FD (188,3%) > FP (252,5%). Diferente do que foi observado com Harger et al. (2007), que verificaram que o superfosfato triplo foi a fonte de P de maior eficiência no desenvolvimento de plantas de milho. Santos; Kliemann (2005; 2006), avaliando a eficiência de fontes e doses de P em milheto, observaram que as fontes alternativas apresentaram a seguinte ordem decrescente de eficiência agronômica: fosfato de Arad > fosfato de Al e Ca > fosfato de Araxá.

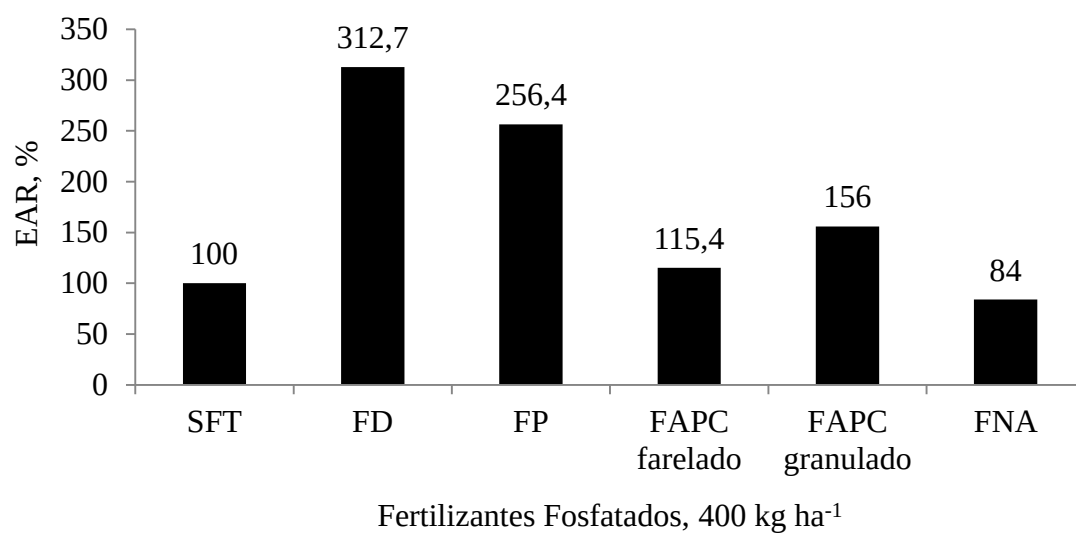
Como esperado, o FAPC farelado apresentou melhores resultados de EAR em relação ao FAPC granulado e FNA (Figura 12). Essa maior eficiência agronômica relativa demonstrada por esses fertilizantes fosfatados alternativos se dão principalmente pela sua aplicação no volume total de solo, que proporciona melhor superfície de contato com as partículas do solo favorecendo melhor disponibilidade de P e melhor aproveitamento pelas plantas (SOUSA, 2011; BÜLL et al., 2004).



SFT: Superfosfato Triplo; FD: Fosfato Decantado; FP: Fosfato Precipitado; FAPC: Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; FNA: Fosfato Natural Alvorada.

Figura 12. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ antes do plantio de milho em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

Na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o índice acumulado aumentou na seguinte ordem: FNA (84%) > SFT (100%) > FAPC farelado (115,4%) > FAPC granulado (156%) > FP (256,4%) > FD (312,7%) (Figura 13). Assim como observado no solo de textura argilosa, o EAR dos fertilizantes fosfatados alternativos nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ indicam que esses fertilizantes apresentam boas perspectivas quando aplicados em área total em relação ao SFT. Mas, a aplicação desta fonte solúvel em área total pode ter favorecido o aumento na diferença de eficiência das fontes alternativas, uma vez que na forma de pó e em área total o SFT reduz a sua eficiência na disponibilização de P, apesar disso, deve-se levar em conta que apesar de mostrarem-se como melhor opção de eficiência, o custo operacional pode ser elevado. Por isso, além de avaliar se a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados é de grande importância, deve-se levar em conta a avaliação de lucratividade. Igualmente como Korndörfer et al. (1999), que ao avaliarem a eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos (Gafsa e Arad) na cultura do milho, observaram que esses fosfatos apresentaram uma excelente performance, podendo ser considerados de alto valor agrônômico.



SFT: Superfosfato Triplo; FD: Fosfato Decantado; FP: Fosfato Precipitado; FAPC: Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; FNA: Fosfato Natural Alvorada.

Figura 13. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na média de massa seca de dois cultivos consecutivos de milho em função da aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ antes do plantio de milho em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

2.9. CONCLUSÕES

O fosfato decantado e fosfato precipitado comparados com o superfosfato triplo apresentou melhores resultados nos teores de fósforo no solo, produção de massa seca e acúmulo de fósforo em plantas de milho.

A Eficiência Agronômica Relativa do fosfato decantado, fosfato precipitado e fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado, nos dois tipos de solo foram superiores ao superfosfato triplo tanto no primeiro como no segundo cultivo de milho.

Os extratores Mehlich1 e Resina superestimam a disponibilidade de fósforo para as plantas em solos adubados com fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado e farelado e fosfato natural alvorada.

O fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado se comparado com o fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado mostrou-se mais eficiente em aumentar os teores de fósforo nos dois tipos de solo.

CAPÍTULO 3: EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO EM CULTIVO DE CANA PLANTA

RESUMO

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo em cultivo de cana planta**. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

O fósforo (P) tem papel fundamental no acúmulo de reservas e no rendimento da cana-de-açúcar, com isso, a adubação fosfatada influencia de forma direta na sua produtividade. Deste modo, objetivou-se avaliar o desempenho de fertilizantes aplicados ao solo no sulco de plantio da cana planta, na produtividade agroindustrial do primeiro corte de cana-de-açúcar (variedade RB 86-7515), cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico álico. O experimento foi conduzido em área comercial da Usina Vale do Tijuco, no município de Uberaba-MG, durante 18 meses. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial $5 \times 2 + 1$. O primeiro fator constituiu-se pelas cinco fontes de P, o segundo fator pelas doses e o tratamento adicional constou-se na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado. Os tratamentos foram: testemunha (sem aplicação de P) e doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅; com superfosfato triplo (SFT), fosfato decantado, fosfato precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado. As variáveis analisadas durante o ciclo da cultura foram: perfilhamento, altura e diâmetro de plantas, concentração foliar (P, Ca e Mg), produção de colmos, variáveis tecnológicas, açúcar produzido por hectare e amostras de solo (após a colheita do experimento). As fontes de fósforo (fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado) quando aplicadas no fundo do sulco de plantio da cana não foram eficientes em aumentar a produção de colmos e açúcar comparados ao padrão (superfosfato triplo). A Eficiência Agronômica Relativa do fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado foi maior com aumento da dose de fósforo aplicada. A Eficiência Agronômica Relativa calculada com base na produtividade do primeiro corte da cana diminuiu na seguinte ordem: superfosfato triplo (100%) > fosfato precipitado (78%) > fosfato decantado (76%) > fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado (69,7%) > fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado (49,3%). A aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via superfosfato triplo proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado às fontes alternativas de fósforo. Mas com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o tratamento que proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado com as demais fontes de fósforo foi o fosfato decantado.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, produtividade e *Saccharum* spp.

¹Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-orientador) e Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-orientadora).

ABSTRACT

NICCHIO, BRUNO NICCHIO. **Agricultural efficacy of alternative phosphorus sources for plant cane cultivation.** 2015. 109f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) - Federal University of Uberlândia¹.

Phosphorus (P) plays a fundamental role in reserve accumulation and yield of sugar cane; thus, phosphate fertilization directly affects its yield. Therefore, the performance of fertilizers applied in the bottom of plant cane furrows on agro industrial yield in the first harvest of cane (cultivar RB 86-7515), was evaluated on a Latossolo Vermelho distrófico álico. The experiment was done in a commercial field of Vale do Tijuco Mill, in the county of Uberaba-MG, for 18 months. The experimental design was randomized blocks, with four replications. Treatments were arranged as a 5 x 2 + 1 factorial. The first factor consisted of five P sources, the second one by doses, and the additional treatment consisted of the lack phosphate fertilization. Treatments were: control (no P fertilization) and doses of 200 or 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ using triple superphosphate (SFT), decanted phosphate, precipitate phosphate, mealed natural phosphate and granulated natural phosphate. The variables analyzed during the crop cycle were: tillering, plant height and diameter, leaf concentration (P, Ca and Mg), stalk production, technological variables, sugar production per hectare and soil samples (after harvest of the experiment). Phosphorus sources (decanted and precipitate phosphates, mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one), when applied at the bottom of plant cane furrows were not effective on increasing stalk and sugar production in comparison to the standard (triple superphosphate). Relative Agricultural Efficacy of decanted and precipitate phosphates, mealed partially calcinated acidified phosphate and the granulated one were greater with increasing phosphorus application. Relative Agricultural Efficacy was determined based on yield of the first harvest of cane and decreased in the following order: triple superphosphate (100%) > precipitate phosphate (78%) > decanted phosphate (76%) > mealed partially calcinated acidified phosphate (69.7%) > granulated partially calcinated acidified phosphate (49.3%). Application of 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ via triple superphosphate resulted in greater profitability per hectare in comparison to the alternative phosphorus sources. However, after applying 400 kg ha⁻¹ P₂O₅, the most profitable treatment per hectare was decanted phosphate.

Keywords: Phosphate fertilization, yield, *Saccharum* spp.

¹Supervising committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Supervisor), Hamilton Seron Pereira – UFU (Co-supervisor) e Regina Maria Quintão Lana – UFU (Co-supervisor).

3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), cuja cadeia produtiva gera milhões de postos de trabalho, desenvolvimento de novas tecnologias e produção dos mais variados produtos, como açúcar, etanol, celulose, biogás, energia pela biomassa (bagaço), palha até a venda de créditos de carbono. Isso justifica as crescentes pesquisas voltadas para obtenção de maiores incrementos na produtividade. Na safra 2014/2015, a produção total de cana-de-açúcar foi estimada em 659,10 milhões de toneladas em uma área total de 9.098,03 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores, com Minas Gerais representando 8,8% (800,91 mil hectares) com uma expansão de 21,08 mil hectares (CONAB, 2014).

Conforme descrito na literatura o P é um dos nutrientes essenciais que exerce função chave no metabolismo dessa cultura, sendo importante em uma série de processos fisiológicos das plantas como desdobramento de açúcar e formação de sacarose (matéria-prima para a produção de açúcar e álcool). O melhor enraizamento, perfilhamento e absorção de outros nutrientes são favorecidos pelo provimento deste nutriente em quantidade e forma correta, pela prática da adubação fosfatada. Apesar disso, somente de 10 a 15% do P aplicado nos solos de Cerrado via adubação é aproveitado pela cultura o que eleva os custos de produção devido aos problemas enfrentados nos solos de Cerrado (MALAVOLTA, 1981; RAIJ, 2011).

Na cultura da cana-de-açúcar a adubação fosfatada tem sido realizada comumente com aplicação de fosfatos solúveis, que também encarece o manejo da adubação na cultura. Entretanto, têm-se como fontes alternativas, os fosfatos de menor solubilidade que apresentam menor custo. Além disso, esses fosfatos apresentam maior efeito residual e com isso podem favorecer o melhor aproveitamento pela cultura da cana que apresenta um ciclo médio de 18 meses para cana planta e 12 meses para cana soca (SOUSA, 2011). Vários estudos na literatura indicam que as fontes solúveis proporcionam melhores resultados em curto prazo, já as fontes insolúveis apresentam melhores efeitos residuais depois de certo tempo ou resultados semelhantes às fontes solúveis (KORNDÖRFER, 1978; SOUSA, 2011; SANTOS et al., 2012).

Diante do exposto, estabeleceu-se como hipótese que o uso de fontes alternativas de P na cultura da cana-de-açúcar aplicadas no sulco de plantio pode proporcionar incremento na produtividade, semelhante às fontes solúveis comumente utilizadas. Desta forma, objetivou-se avaliar o desempenho de fertilizantes fosfatados aplicados ao

solo no sulco de plantio da cana planta, na produtividade agroindustrial do primeiro corte de cana-de-açúcar (variedade RB 86-7515), cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico álico.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Instalação

O experimento foi instalado em uma área comercial de cana (cana planta) na Usina Vale do Tijuco, fazenda Paraíso II, em área sem fosfatagem localizada no município de Uberaba-MG. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico álico, com 20% de argila cujas características químicas são apresentadas na tabela 28.

Tabela 28. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento.

pH CaCl ₂	P	P-Res	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	CTC a pH 7,0	V
	---mg dm ⁻³ ---				-----cmol _c dm ⁻³ -----			----%----	
5,3	9,1	6,0	0,3	1,6	1,0	1,10	2,9	4,0	72

Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); P = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); V= Saturação por bases.

Para a correção do solo aplicou-se 5,0 t ha⁻¹ de calcário + 1,0 t ha⁻¹ de gesso. O plantio foi realizado no dia 17/03/2013 através de Antoniosi com a média de 22 gemas sadias por m⁻¹ com a variedade RB 86-7515, na profundidade de 35 - 40 cm. Foi realizada adubação de plantio manualmente com aplicação dos tratamentos e 45 kg ha⁻¹ N (150 kg ha⁻¹ NH₄NO₃) + 150 kg ha⁻¹ K₂O (250 kg ha⁻¹ KCl) e no quebra lombo com OM (Organomineral) 05-12-22 + 0,5 % B na dose de 530 kg ha⁻¹. No cobridor foi utilizado Regente (0,25 kg ha⁻¹) mais Comet (0,5 L ha⁻¹).

As parcelas experimentais consistiram de cinco linhas de 10 m de comprimento (75 m²), espaçadas em 1,5 m entre si, que corresponde ao espaçamento atualmente adotado no país para colheita mecânica (Figura 14A).

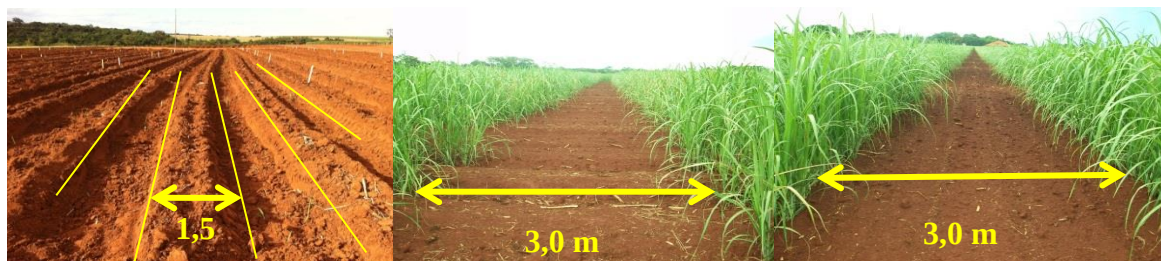


Figura 14A

Figura 14B

Figura 14C

Figura 14. Detalhe dos espaçamentos das parcelas – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).

Os tratamentos fonte e dose foram aplicados apenas no sulco de plantio, isto é, em linha e no fundo e na lateral do sulco de plantio, imediatamente antes do plantio da

canaplanta (Tabela 29). Entre cada uma das parcelas também foi adotado um espaçamento de 3 m nas cabeceiras (Figura 14B) e nas laterais (Figura 14C), para melhor separação de cada uma das parcelas experimentais.

3.2.2. Delineamento

O experimento foi instalado adotando-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 5 x 2 + 2. O primeiro fator constituiu-se de cinco fontes de fertilizantes fosfatados (sendo o SFT considerado como tratamento padrão, ou seja, controle positivo em relação às fontes alternativas testadas), e o segundo fator pelas doses de P_2O_5 . O tratamento testemunha constou na ausência da aplicação de fertilizante fosfatado. Também utilizou-se o tratamento com 100 kg ha⁻¹ de SFT objetivando calcular o equivalente em SFT (Tabela 29 e Tabela 30).

Tabela 29. Fonte de fósforo utilizada e quantidade de fósforo aplicada.

Fonte de P	Dose P_2O_5 kg ha ⁻¹
Testemunha	0
Superfosfato Triplo (SFT)	100
Superfosfato Triplo (SFT)	200
Superfosfato Triplo (SFT)	400
Fosfato Decantado (FD)	200
Fosfato Decantado (FD)	400
Fosfato Precipitado (FP)	200
Fosfato Precipitado (FP)	400
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Farelado	200
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Farelado	400
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Granulado	200
Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado (FAPC) Granulado	400

Tabela 30. Caracterização dos fertilizantes fosfatados, com relação aos teores de P_2O_5 total, P_2O_5 em CNA+ H_2O , Ca, Mg e S.

Fonte de P	P_2O_5			Ca	Mg	S
	(CNA ¹ + H_2O)	(Água)	(Total)	(Total)	(Total)	(Total)
	-----%-----					
SFT	41	37	45	13	-	-
FD	12	2,4	14	12	-	-
FP	3	1,2	7	20	-	-
FAPC Farelado	16	-	28	14	1	8
FAPC Granulado	16	-	28	14	1	8
FNA	3	-	25	20	-	-

¹CNA = citrato neutro de amônio.

3.2.3. Avaliações e análises tecnológicas

Aos 192 DAP (dias após o plantio) realizou-se a contagem de perfilhos nas três linhas centrais de cada parcela e a análise de falha (espaço maior que 49 cm sem cana nascida) em todas as linhas da parcela. A quantidade de perfilhos analisada foi determinada de acordo com o cálculo do número de perfilhos por metro linear (obtido a partir da contagem dos perfilhos) descontando-se a quantidade de falhas presentes (resultado da análise de falhas).

Além disso, uma planta de cada uma das três linhas centrais foi marcada (figura 15A) para que fossem medidos sua altura e seu diâmetro de colmo. Essas medições foram feitas em duas épocas em todo o experimento, sendo aos 334 e 528 DAP. Esta medida corresponde à altura do colmo desde o nível do solo até o TVD (top visible dewlap), isto é, última lígula visível, que corresponde à terceira folha a partir do ápice feita com régua adaptada (Figura 15B). Logo a medida de diâmetro de colmo foi tomada com a utilização de paquímetro a 35 cm de altura do solo (Figura 15C).



Figura 15A



Figura 15B



Figura 15C

Figura 15. Detalhe de amostragem, altura de plantas e biometria – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).

Aos 334 DAP foi realizada coletas de amostras para a análise foliar de P, Ca e Mg. Cada amostra foi composta pelo terço médio de 10 folhas (primeira folha da planta com o dewlap visível). Essas amostras foram lavadas em solução contendo água e detergente neutro, posteriormente foram enxaguadas em água corrente e depois em água destilada. Retirou-se a nervura central de cada folha, acondicionando-as em sacos de papel com furos, as quais foram para secar em estufa de circulação de ar, a 65 °C, até atingirem o peso constante. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey, e acondicionado em sacos plásticos identificados até ser submetido à análise laboratorial.

Na época de colheita (528 DAP), a cana de cada parcela foi cortada crua e manualmente, despontada e em seguida pesada com o auxílio de uma garra (16A) acoplada a uma célula de carga (figura 16B) para determinação do peso de cada uma das parcelas (Figura 16C e D).



Figura 16A



Figura 16B



Figura 16C



Figura 16D

Figura 16. Análise de produtividade – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).

No momento da colheita, realizou-se a retirada de amostras do material colhido para envio ao laboratório e determinação das variáveis tecnológicas coletando-se, oito colmos aleatoriamente na parcela. O material retirado foi submetido à análise tecnológica no laboratório da Usina Vale do Tijuco, considerando a análise do Brix do Caldo, Fibra da Cana, Pol da cana e Pureza do caldo adotando-se a metodologia descrita por Copersucar (1980). Também foi calculado o Açúcar Teórico Recuperado (ATR) (kg TC^{-1}) conforme metodologia descrita por Tanimoto (1964).

Descrição das variáveis segundo Fernandes (2003):

Brix do Caldo: afere o teor de sacarose na solução, que é expresso pela porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose.

Por consenso, admite-se o brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

Fibra da Cana: é a matéria insolúvel em água contida na cana.

Pol: é definida como a quantidade de sacarose, em porcentagem, presente na cana ou no caldo da cana-de-açúcar.

Pureza do Caldo: porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis.

Com base na variável tecnológica Pol % cana (PCC) e na produtividade da cana-de-açúcar, calculou-se o total de açúcar produzido por hectare (TAH).

Segundo Korndörfer; Melo (2009), utilizando produção de colmos do 1º corte (cana planta), calculou-se o Índice de Eficiência Agrônômica Relativa (EAR) das fontes de P conforme a seguinte expressão:

$$\text{EAR (\%)} = \frac{\text{Produção da fonte} - \text{Produção da Testemunha}}{\text{Produção com SFT} - \text{Produção da Testemunha}} \times 100$$

Considerou-se, para cálculo do EAR em cada fonte e em cada dose o SFT como referência para aplicação da fórmula.

Após a colheita foram retiradas amostras de solo (0-20 cm e 20-40 cm) em cada parcela para análise de P, Ca, Mg e H+Al no solo, visando a quantificação da disponibilização de P proveniente dos fertilizantes. A extração das amostras foi realizada com auxílio de um trado acoplado em um motor a gasolina, com um ponto em cada uma das cinco linhas, para cada amostra composta (Figura 17).



Figura 17. Detalhe da amostragem de solo na linha da parcela – Us. Vale do Tijuco (F. Paraíso II).

Depois de homogeneizadas, as amostras foram secas ao ar e posteriormente peneiradas e acondicionadas em sacos plásticos para determinação de P disponível no solo com os extratores Mehlich1 e Resina. As análises químicas de rotina seguiram os procedimentos analíticos descritos em Embrapa (2009) e por Raij et al. (2001).

3.2.4. Análise econômica

Segundo Sousa (2011), utilizando a diferença de produtividade entre os tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes fosfatados e a testemunha, calculou-se o lucro estimado com a aplicação de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via fertilizantes fosfatados (Tabela 29) antes do plantio da cana-de-açúcar levando em consideração o preço do kg de P₂O₅ pago na usina, o custo de aplicação desses fertilizantes, o ganho de produtividade (lucro) dos fertilizantes fosfatados em relação à testemunha e o preço médio pago pela tonelada de cana-de-açúcar.

3.2.5. Análises estatísticas

Inicialmente, realizaram-se os testes de pressuposições do modelo: normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk, à 0,01 de significância), homogeneidade das variâncias (teste de Levene, à 0,01 de significância) e aditividade de blocos (teste de Tukey, à 0,01 de significância), utilizando o software SPSS 17.0 (SPSS, 2008).

Em seguida, os resultados dos tratamentos qualitativos foram submetidos à análise de variância, com auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). As médias foram comparadas entre si pelos testes de Scott-Knott e Dunnett (comparação com a testemunha) a 0,05 de significância, respectivamente, em caso de significância do teste F. As doses crescentes de SFT foram submetidas à análise de regressão.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Avaliações de perfilhamento, altura e diâmetro em cana planta

A aplicação dos fertilizantes fosfatados não influenciou o perfilhamento da cana, o qual atingiu média entre as fontes de 22,8 perfilhos por metro. Observou-se que os resultados não diferiram entre os fertilizantes o que também não apresentou diferença quanto ao número de perfilhos encontrados na testemunha.

Santos et al. (2009), ao avaliar fontes de P também não observaram diferença significativa sobre perfilhamento de cana planta, porém, os autores notaram aumento no número de perfilhos até os quatro meses após o plantio, variando de 23 plantas por metro linear quando se usou fosfato de gafsa comparado às 27 plantas encontradas quando se usou MAP. Pasuch et al. (2012) ao avaliar o efeito residual de diferentes fontes de P aplicados no plantio da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, também verificaram na primeira soca que não houve influência da aplicação de P no número de perfilhos por linha da parcela.

Contudo, os resultados obtidos nesse trabalho diferem de Korndörfer e Alcarde (1992), que estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que este nutriente proporcionou aumento no perfilhamento. Semelhante a Bezerra (2014), que ao avaliar fontes de P e substâncias húmicas com cultivo de cana em casa de vegetação, constatou aumento na quantidade de perfilhos nas maiores doses de P. Rodella; Martins (1988), preconizam que a aplicação da dose adequada de P em cana planta é de grande importância para o estabelecimento e desenvolvimento de perfilhos, pois o P desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular, o que colabora para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade, pois o P apresenta efeito reduzido quando aplicado em soqueiras (SANTOS et al., 2002; CAIONE, 2011).

Sobre a altura de plantas, não foi verificada influência pela aplicação das fontes de P em nenhuma das épocas de avaliação, apresentando altura média de 2,4 m⁻¹ entre as fontes aos 334 dias após o plantio (DAP) e 3,3 m⁻¹ aos 528 DAP, respectivamente. Também estudando a influencia de fertilizantes fosfatados em cultivo de cana planta, Factor (2008), não constatou diferença significativa na altura das plantas avaliadas aos 180 DAP, assim como de acordo com verificado por Pasuch et al. (2012). Já Santos (2006), avaliando fontes de P encontrou valores de 1,86 m aos 240 DAP, utilizando superfosfato triplo.

Mas, aos 528 DAP constatou-se na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ maior altura de plantas que cresceram no solo que recebeu aplicação de FAPC natural farelado em relação à testemunha. Assim como Caione (2011), avaliando fontes de P aplicadas no sulco de plantio em cana-planta também observou melhores resultados para altura de plantas entre as fontes (superfosfato triplo, fosfato de Arad e farinha de ossos) em relação ao controle. Corroborando com Sousa (2011), verificando que a altura de plantas (cana planta) aumentou com adubação fosfatada quando se utilizou termofosfato magnésiano e SFT.

O diâmetro de colmos, na primeira e segunda época de avaliação (334 e 528 DAP) também não variou em função da aplicação dos fertilizantes e doses de P₂O₅, apresentando diâmetro médio nas duas épocas de avaliação de 33,8 e 31,3 mm⁻¹, respectivamente. Estes resultados assemelham-se aos observados por Pasuch et al. (2012), ao avaliar o diâmetro de colmos da primeira soqueira da cana-de-açúcar. Análogo também ao verificado para perfilhamento e altura de plantas, Bezerra (2014), constatou incremento no diâmetro de colmos com aumento das doses de P.

3.3.2. Concentração foliar de P, Ca e Mg

As concentrações foliares de P, Ca e Mg não foram influenciadas pela aplicação dos fertilizantes fosfatados. Observou-se uma concentração média de P de 1,5 g kg⁻¹ foliar, que segundo Raij e Cantarella (1996), pode ser considerada adequada para cultura (1,5 a 3,0 g kg⁻¹).

Os resultados obtidos assemelham-se ao verificado por Korndörfer e Alcarde (1992), que não encontraram diferença na concentração de P foliar, variando de 2,8 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹ entre os tratamentos com superfosfato triplo e simples, ácido fosfórico e ácido fosfórico + fosfato natural. Porém, Pereira et al. (1995), avaliando o efeito de níveis e resíduos de P em cana, verificaram que a adubação fosfatada proporcionou maior rendimento da cana e maiores concentrações foliares de P com as crescentes doses de P. Santos (2006), também verificou maior concentração do nutriente na folha utilizando o superfosfato triplo (3,0 g kg⁻¹), em relação ao superfosfato simples, Fosmag, Foscana, MAP, formulado, composto e superfosfato simples parcelado. Assim como Caione (2011), verificou efeito significativo para a farinha de ossos na concentração de P, demonstrando melhor eficiência, resultando em maiores concentrações quando comparado com o tratamento controle e o superfosfato triplo.

É importante considerar que os atributos de cada tipo de solo podem interferir na absorção de P pelas plantas, além do teor disponível do elemento no solo (CAIONE, 2011). Semelhante ao que Maule et al. (2001), encontraram em dois solos (Planossolo e Podzólico), que mesmo apresentando teores semelhantes do nutriente, diferenças na absorção de P pela cana foram constatados. Os resultados das concentrações de Ca e Mg não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com concentração média de 4,1 g kg⁻¹ e 2,2 g kg⁻¹, que de acordo com Raij e Cantarella (1996), são consideradas dentro do nível adequado para cultura.

3.3.3. Produtividade em cana planta

Os resultados abaixo (tabela 31) indicam que não foi observada influência significativa das doses de P₂O₅ entre as fontes de P no aumento de produtividade. No entanto, maiores acréscimos nas médias de produtividade com aplicação de SFT (184,4 t ha⁻¹), e FP (175,7 t ha⁻¹) foram apresentados. Embora não se verificou diferença significativa, o tratamento com SFT proporcionou produtividade de 30,7 t ha⁻¹ superior ao tratamento testemunha, assim como os tratamentos com fosfato precipitado e decantado com 21,9 e 20,1 t ha⁻¹. Apesar de não ser demonstrada diferença significativa, segundo Santos et al. (2009), a adubação fosfatada influencia positivamente o rendimento agrícola da cana planta. Os autores verificaram que o superfosfato triplo apresentou o melhor desempenho, dentre outras estudadas. Teixeira et al. (2014), indicaram que a produção de colmos e o rendimento de açúcar da cana planta aumentaram com as doses de P₂O₅ fornecidas por SFT e organomineral.

Tabela 31. Produtividade de colmos em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no sulco plantio da cana planta 18 meses (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Produtividade						Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	
0	153,7	-	-	-	-	-	153,7
200	-	188,8	173,8	165,4	176,1	158,7	172,6
400	-	180,0	178,7	185,9	173,6	175,9	178,8
Média	153,7	184,4a	176,3a	175,7a	174,9a	167,3a	

CV % = 10,24; DMS = 36,36;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Mesmo não sendo observada diferença significativa, observou-se que a produtividade em plantas que receberam aplicação de SFT de forma localizada (sulco), foi superior em uma avaliação de primeiro ano. Korndörfer e Melo (2009), observaram respostas positivas na produção de colmos em cana planta pelo incremento das doses de superfosfato triplo aplicado de forma localizada, mesmo não observando diferença significativa entre fontes de P nas formas fluída e sólida (Superfosfato Triplo e Simples, Ácido Fosfórico e Ácido Fosfórico + Fosfato Natural). Caione (2011), também não observou diferença significativa na produtividade de cana planta pela aplicação de diferentes fontes de P no sulco de plantio (fosfato de Arad, farinha de ossos e SFT), apresentando uma produção média de colmos de 142 t ha⁻¹.

Mesmo não sendo observada diferença significativa, o tratamento SFT apresentou menor produtividade na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (180,0 t ha⁻¹), em relação a dose de 200 kg ha⁻¹ (188,8 t ha⁻¹). O tratamento com FP na maior dose de P₂O₅ (185,9 t ha⁻¹) apresentou acréscimo 5,9 t ha⁻¹ de produtividade de colmos em relação ao tratamento com SFT (180,0 t ha⁻¹). Ao comparar os fosfatos granulados, SFT em relação ao FAPC granulado, verifica-se que o tratamento SFT apresentou uma produtividade média de 10,22% (17,1 t ha⁻¹) acima do FAPC granulado. Nota-se também que o fosfato farelado apresentou um incremento de produtividade de 4,55% (7,6 t ha⁻¹) em relação ao FAPC granulado.

Verifica-se que não houve diferenças significativas das fontes de P aplicadas no sulco de plantio nas avaliações de plantas e produtividade em cana planta. Semelhante a Sousa (2011), também não observou influência na produtividade de cana planta na aplicação de diferentes fontes fosfatadas em área total. Por isso, para que se tenha aumento na eficiência de absorção de P pelas plantas cultivadas, deve-se levar em conta o teor de P e o seu fator capacidade no solo em relação à eficiência de localização. O efeito da localização do fertilizante fosfatado em solos com alta disponibilidade de P tende a reduzir o aumento da eficiência de absorção, ou mesmo nulo, comparado com aqueles que apresentam baixa disponibilidade do nutriente (BÜLL et al., 2004).

Segundo Büll et al. (2004), os fosfatos solúveis são indicados que sejam aplicados no sulco de plantio visando proporcionar maior contato com sistema radicular e melhorar o processo de absorção, justificando o processo de granulação de fertilizantes para reduzir o contato da fonte solúvel de P com o solo e os fosfatos insolúveis são mais indicados para aplicação a lanço objetivando aumento da superfície

de contato para sua melhor dissolução devido sua granulometria ser farelada/fina o que minimizariam os processos de fixação e poderiam proporcionar maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas.

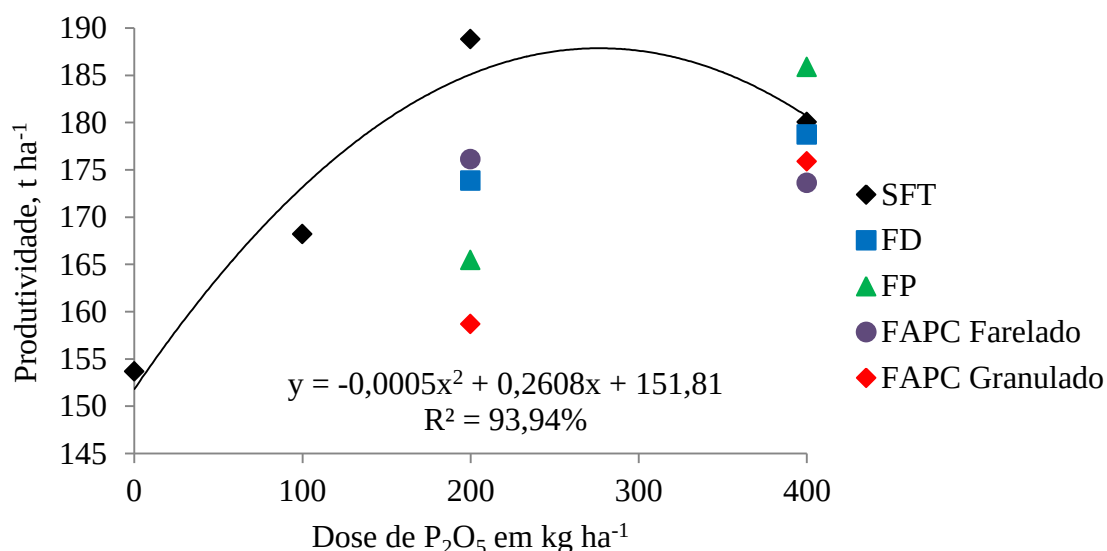
Solos mais argilosos que apresentam maior capacidade de adsorção de P, necessitam de maiores dosagens quando comparados a solos mais arenosos, porém esses solos podem favorecer a solubilização de fosfatos naturais (NOVAIS; SMYTH, 1999; VALLADARES et al., 2003). Assim como proposto neste experimento, uma das opções para reduzir a fixação do P aplicado via fertilizantes ao solo seria o aumento da concentração do nutriente em volume restrito do solo (localização), com isso, reduzindo o volume total de solo fertilizado em contato com a dose de P aplicada. No entanto, a localização excessiva do fertilizante fosfatado pode favorecer ao desenvolvimento insuficiente do sistema radicular (NOVAIS; SMYTH, 1999). Apesar disso, tem-se sugerido também a aplicação do fosfato insolúvel localizada na linha de plantio, de forma a privilegiar a planta no aproveitamento do P oriundo do fosfato natural, minimizando o dreno do nutriente no solo, todavia, no meio científico esses aspectos ainda permanecem contestáveis. Ainda existem muitas divergências quanto a melhor forma de utilização das diversas fontes fosfatadas disponíveis do país (NOVAIS; SMYTH, 1999; EMBRAPA, 2007).

Ao avaliar o efeito de doses de termofosfato aplicadas a lanço e no sulco de plantio da cana-de-açúcar em um solo arenoso de baixa fertilidade, Morelli et al. (1991), verificaram que a aplicação a lanço resultou em maiores produtividades, ratificando que em solos arenosos a aplicação de P em área total é favorecida, consequência da menor fixação de P em relação aos solos argilosos.

Outro fato que deve ser destacado e assim como observado nesse experimento, que apresentou teores de $9,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P extraídos por Mehlich1 e Resina, Albuquerque et al. (1980), em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Alagoas, verificaram que a resposta da cultura à adubação fosfatada foi dependente da disponibilidade de P no solo, porém, não houve resposta da cana à adubação fosfatada quando os teores foram iguais ou superiores a 9 mg dm^{-3} de P, assim como descrito por Weber et al. (1993), que obtiveram resultados mais consistentes em área onde o teor de fósforo nativo encontrava-se abaixo de 9 mg dm^{-3} .

Em relação à eficiência agrônômica relativa (EAR), observou-se efeito das doses com aplicação de SFT na produção de colmos em cana planta, que apresentou uma produtividade máxima estimada de $185,81 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 18). Contudo, para o alcance

dessa produtividade seria necessária aplicação de 260,80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT. Para o cálculo da dose equivalente entre SFT (fonte padrão - controle positivo em relação às fontes testadas) e os fertilizantes fosfatados alternativos, ou seja, a dose de SFT que produziria a mesma quantidade de colmos com os fertilizantes fosfatados alternativos realizou-se análise de regressão com a produtividade em função da aplicação de SFT (Figura 18).



Superfosfato Triplo; Fosfato Decantado; Fosfato Precipitado; Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado.

Figura 18. Doses de SFT na produção de colmos em cana planta, Usina Vale do Tijuco, Uberaba – MG.

Conforme apresentado na figura, para que a produtividade com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FD, FP, FAPC farelado e granulado sejam alcançada com SFT, seria necessário aplicação de 105,9, 58,8, 121,5 e 28 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT, respectivamente. Para alcançar a mesma produtividade com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, via FD, FP, FAPC farelado e granulado, necessitaria de aplicação de 141,6, 247,4, 104,6 e 120,1 kg ha⁻¹ via SFT, respectivamente.

Esses resultados demonstram que a partir da dose máxima obtida, as diferenças de produtividade diminuem dadas as elevadas concentrações de P no sulco de plantio que pode ter influenciado em um maior consumo de P pela cultura, além de sua necessidade, pois a extração de P pela cana-de-açúcar é relativamente pequena quando comparado com o N e o potássio (K). Para uma produção de 100 t ha⁻¹, de acordo com Orlando Filho (1993), a extração de P seria de 43 kg P₂O₅ podendo variar de acordo com a variedade e do tipo de solo em que está sendo cultivada (GOMES, 2003).

3.3.4. Análises tecnológicas

Assim como na análise foliar, as variáveis tecnológicas também não foram influenciadas pela aplicação de fertilizantes fosfatados, sendo apresentado resultados semelhantes de Fibra, Pureza, Pol da cana (PCC), Brix e ATR, do mesmo modo como observado por Rossetto et al. (2002). O teor de fibra variou entre 13,3 e 14,3% considerado acima no nível ideal conforme Fernandes (2003), que devem variar de 10 a 13%, que de acordo com Lavanholi (2010), é importante para o balanço energético da indústria, devido à utilização das fibras para sua queima nas caldeiras que ao gerar vapor resultará em energia elétrica para abastecimento da própria usina e venda do excedente.

Em relação à pureza, verificou-se maior porcentagem na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ quando aplicou-se SFT em relação à testemunha. A pureza média de colmos de cana-de-açúcar entre os tratamentos foi de 89,9%. Diferente do observado neste experimento, Marinho et al. (1976), em solos do Estado de Alagoas, notaram resultados positivos na concentração de Pol e pureza de acordo com aumento das doses de P₂O₅. É ideal que se tenha pureza acima de 75%, pois conforme as regras de qualidade da matéria prima escritas pelo CONSECANA (2006), conforme citado por Sousa (2014), pode-se recusar o recebimento pelas unidades industriais.

A porcentagem de Pol da cana (PCC) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, assim como Pereira et al. (1995), não observaram variação no pol da cana com o aumento das doses de P₂O₅ aplicados no solo na forma de SFT (60, 120, 180, 240 e 300 kg ha⁻¹ P₂O₅). A média de Pol% foi de 15,6%, que de acordo com Almeida et al. (2005) é acima do valor mínimo de 13,0% exigido pela indústria, já que sob uma perspectiva econômica e dentro da prática agrônômica, a cana é considerada madura, ou em condição de ser industrializada, quando apresentar teor mínimo de sacarose (Pol% da cana) acima de 12,275% do peso do colmo, que representa a porcentagem aparente de sacarose contida num solução de açúcares (FERNANDES 2000; DEUBER, 1988).

Como relatado anteriormente, não foi observada diferença significativa de Brix, que apresentou de 21,1%, considerado acima do valor ideal citado por Marques et al. (2001), assim como de ATR de 154,7 kg açúcar TC⁻¹. Semelhante ao observado nesse trabalho, Pasuch et al. (2012), trabalhando com SFT, Fosfato de Arad, Farinha de ossos

e na ausência de P_2O_5 não verificaram incrementos significativos nos teores de Brix. Segundo Lavanholi (2010), e Santos et al. (2005), o Brix tem relação direta com teor de açúcares do caldo (18-25% do total) e ART representa todos os açúcares da cana, na forma de açúcares invertidos, embora outras substâncias redutoras, presentes no caldo de cana, possam estar incluídas.

Os resultados dos totais de açúcar por ha^{-1} (TAH) não foram influenciados pelas fontes e doses de P_2O_5 . Porém, na dose de $400\text{ kg }ha^{-1}$ de P_2O_5 os tratamentos com SFT e FAPC farelado, quando aplicados apresentaram diferença de TAH de 2,1 e $0,5\text{ t }ha^{-1}$ nos mesmos tratamentos. Mesmo não sendo observada diferença significativa, o tratamento SFT e FD apresentou acréscimo no TAH de 3,7 e $3\text{ t }ha^{-1}$ em relação à testemunha. Avaliando a produção acumulada de açúcar (cana planta + cana-soca), Korndörfer et al. (1998), observaram um aumento de 17,8 para $21,6\text{ t }ha^{-1}$ com aumento de doses de P_2O_5 . Também Teixeira et al. (2014), verificaram que a adição das doses crescentes de P_2O_5 promoveu resposta positiva e linear sobre o rendimento de açúcar da cana planta em vasos quando foi aplicado o fertilizante organomineral.

Tabela 32. Total de açúcar por hectare (TAH) a partir do Pol% da cana planta em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Dose de P_2O_5 $kg\text{ }ha^{-1}$	Total de açúcar por hectare (TAH)						Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	
0	24,1	-	-	-	-	-	24,1
200	-	30,2	27,1	25,6	27,8	24,9	27,1
400	-	28,1	28,6	28,6	27,3	27,0	27,9
Média	24,1	29,1a	27,8a	27,1a	27,5a	26,0a	

CV % = 6,35; DMS = 11,43;

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

De acordo com Santos (2012), além dos benefícios relacionados à produtividade no campo, a adubação fosfatada também tem grande influência na qualidade da cana-de-açúcar, essencial nas unidades industriais produtoras de açúcar. A presença de fósforo no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação, pois baixos teores de P_2O_5 no caldo dificulta a decantação de impurezas. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, por conseguinte, de reduzido valor comercial (SANTOS et al., 2010). O P também é importante para o

processo de fermentação alcoólica, ou seja, para a transformação do açúcar em etanol, pois favorece a ação das leveduras, por isso a adubação fosfatada pode elevar a produção de colmos industrializáveis e de sacarose (SILVA et al., 2006; CALHEIROS et al., 2011).

Ao avaliar a influência da adubação fosfatada na qualidade da cana-de-açúcar, deve-se considerar o teor de P nativo do solo, pois Sobral et al. (1994) relataram que em solos muito pobres em P, as plantas podem apresentar menor qualidade tecnológica. Simões Neto et al. (2009), estudando duas variedades na África do Sul, verificaram que a adubação fosfatada em um solo deficiente deste nutriente proporcionou aumento de produtividade e qualidade tecnológica da cana. Contudo, Albuquerque et al. (1980), verificaram que não houve resposta da cana à adubação fosfatada quando os teores foram iguais ou superiores a 9 mg dm^{-3} de P. Conforme Pereira et al. (1995), não verificaram que a adubação fosfatada não proporcionou diferença nas características tecnológicas. Segundo os autores, fatores como clima, variedades e manejo do solo exercem influência sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito dos fertilizantes sobre esses parâmetros.

3.3.5. Teores de P, Ca, Mg e H+Al no solo

Os resultados dos teores de fósforo (P) extraídos por Mehlich1 na profundidade de 0 – 20 cm demonstram que o tratamento FP (34 mg dm^{-3}) apresentou maiores teores médios (Tabela 33). Na dose de 400 kg ha^{-1} também foram observados incrementos nos teores de P extraídos por Mehlich1 no tratamento FD ($33,3 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação à testemunha ($7,3 \text{ mg dm}^{-3}$). Na profundidade de 20 – 40 cm não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, porém nota-se que os maiores incrementos nos teores de P extraídos por Mehlich1 foram observados nos tratamentos FP, FD e SFT (Tabela 33).

Assim como esperado, verificou-se que o FAPC farelado ($19,4 \text{ mg dm}^{-3}$) apresentou maior teor médio de P em relação ao FAPC granulado ($16,6 \text{ mg dm}^{-3}$), mesmo não sendo observada diferença significativa e, nas duas profundidades e doses de P_2O_5 o tratamento SFT apresentou maiores teores de P extraídos por Mehlich1 em relação ao FAPC granulado.

Tabela 33. Teores de fósforo extraídos por Mehlich1, em um Latossolo Vermelho (0-20 cm e 20-40 cm) em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	P – Mehlich1						Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	
	-----mg dm ⁻³ -----						
	0-20 cm						
0	7,3	-	-	-	-	-	7,3
200	-	15,2	10,0	35,4*	9,3	13,3	16,6
400	-	23,0	33,3*	32,6*	17,4	20,3	25,3
Média	7,3	19,1b	21,7b	34,0a	13,3b	16,8b	
20-40 cm							
0	5,4	-	-	-	-	-	5,4
200	-	16,9	19,5	25,4	8,0	8,8	15,7
400	-	39,4	33,9	46,7	30,8	24,4	35,0
Média	5,4	28,1a	26,7a	36,0a	19,4a	16,6a	
P (0-20 cm) = CV % = 62,49; DMS = 25,25;							
P (20-40 cm) = CV % = 87,04; DMS = 41,95;							

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Porém deve-se lembrar de que o extrator Mehlich1 pode superestimar os teores de P disponíveis em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais ou de menor solubilidade, devido este extrator solubilizar uma porção do P (P não disponível) que ainda não reagiu com o solo (RAIJ; DIEST, 1980; BAHIA FILHO et al., 1982; BRAGA et al., 1991). A resina de troca aniônica tem apresentado resultados satisfatórios em relação a outros extratores como o Mehlich1, cujos princípios básicos seriam de simular o comportamento do sistema radicular na absorção de fósforo no solo sem proporcionar alterações químicas nas propriedades naturais dos solos (WILLIAMS 1951, citado por KLIEMANN e LIMA, 2001; KORNDÖRFER, 2004).

De acordo com a tabela 34, maiores incrementos nos teores de P extraídos por Resina na profundidade de 0 – 20 cm foram observados nos tratamentos FP e FD na dose de 400 kg ha⁻¹ em relação à testemunha. Porém não foi observada diferença significativa nos teores de P entre as fontes de P nas duas profundidades.

Semelhante aos resultados observados, Caione (2011), constatou que a farinha de ossos promoveu elevação dos P no solo extraído por Resina, sendo mais eficiente na disponibilização de fósforo durante três cultivos de cana, onde o superfosfato triplo foi eficiente no fornecimento de fósforo apenas no primeiro ano de cultivo.

Tabela 34. Teores de fósforo extraídos por Resina, em um Latossolo Vermelho (0-20 cm e 20-40 cm) em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	P – Resina						Média
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	
	-----mg dm ⁻³ -----						
	0-20 cm						
0	4,5	-	-	-	-	-	4,5
200	-	13,6	11,8	33,0	11,4	15,6	17,1
400	-	26,4	36,2*	33,1*	11,9	12,7	24,0
Média	4,5	20,0a	23,9a	33,0a	11,7a	14,1a	
20-40 cm							
0	4,6	-	-	-	-	-	4,6
200	-	17,1	16,6	22,4	8,2	11,0	15,1
400	-	50,2	32,5	49,0	15,15	11,3	31,6
Média	4,6	33,7a	24,6a	35,7a	11,7a	11,0a	
P (0-20 cm) = CV % = 73,05; DMS = 28,55;							
P (20-40 cm) = CV % = 104,30; DMS = 46,25;							

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Na profundidade de 20 – 40 cm, mesmo não sendo observada diferença significativa, quando aplicou-se 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o tratamento SFT (50,2 mg dm⁻³) apresentou maiores incrementos nos teores de P extraídos por Resina, seguido do fosfato precipitado e decantado com 49 e 32,5 mg dm⁻³ (Tabela 34). Diferente dos resultados obtidos, Peres (2014), ao avaliar a eficiência de fontes de P e micronutrientes na produção de cana soca, verificou que independente da fonte de P utilizada (superfosfato triplo e polifosfato), houve aumento nos teores de P ao longo de 3 profundidades (0-5 cm; 10-15 cm e 15-20 cm) e a soqueira respondeu significativamente à aplicação de P.

Nos dois extratores avaliados, os teores de P no tratamento SFT, FD e FP, apresentaram-se no nível considerado “MUITO BOM” (> 18 mg dm⁻³) de acordo com a 5ª – Aproximação – CFSEMG, (1999). Os demais tratamentos estiveram no nível considerado “MÉDIO” (8,1 - 12 mg dm⁻³) e “BOM” (12,1 - 18 mg dm⁻³), exceto a testemunha que esteve no nível BAIXO” (4,1 – 8,0 mg dm⁻³) conforme descrito por CFSEMG, (1999).

É importante ressaltar que os dados apresentados neste trabalho são somente do primeiro ano. De acordo com Sousa e Lobato (2003), os adubos fosfatados adicionados ao solo, além do efeito imediato sobre a cultura que se segue à adubação, apresentam

também efeito residual nas culturas subsequentes ou na estabelecida (cana-de-açúcar). Segundo Pereira et al. (1995), a avaliação do efeito residual de P através de ciclos de culturas subsequentes, como a cultura da cana-de-açúcar, é de suma importância, devido a necessidade da racionalização da adubação fosfatada para essa cultura, assim a avaliação do efeito residual pode ser feito experimentalmente pelas respostas das socas (MIRANDA; MIRANDA, 2003). Conforme Silva (2011), o efeito residual de fontes de P que apresentam solubilidade muito baixa, como a dos fosfatos naturais brasileiros, melhora até o terceiro ano depois de sua aplicação no solo, decrescendo a partir desse período, isso se a área estiver sendo cultivada com preparo convencional (aração e gradagem).

Segundo Sousa et al. (1987), ao avaliarem o efeito residual de SFT em duas doses de P (200,0 e 400,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados a lanço e incorporadas ao solo como arado de disco e grade niveladora e na forma de pó e grão observaram que a maior dose de P₂O₅ no sistema preparo convencional apresentou maior efeito residual. Segundo Korndörfer e Alcarde (1992), o efeito residual de P no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior em cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido à localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais. Confirmando os resultados obtidos por Silva (2011), ao avaliar o efeito residual de fontes e doses de P na cultura da cana-de-açúcar verificou que a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ além de promover os melhores resultados produtivos na cana planta promoveu melhores produções na soqueira.

Os resultados dos teores de Ca na profundidade de 0 – 20 cm demonstram que maiores incrementos foram observados no solo que recebeu aplicação de FP (Tabela 35). Em relação aos teores de Mg e acidez potencial (H+Al), observou-se que não houve diferença significativa na mesma profundidade, apresentando teores médios entre os tratamentos de 0,8 e 1,4 cmol_c dm⁻³ nos níveis considerados “MÉDIO” e “BAIXO” (1,01 – 2,5 cmol_c dm⁻³) de acordo com CFSEMG, (1999).

Na profundidade de 20 – 40 cm os resultados dos teores de Ca demonstram também maior incremento no tratamento FP (Tabela 35). Caione (2011) observou aumento nos teores de Ca no solo cultivado com cana quando aplicou-se farinha de ossos em relação ao fosfato de Arad e SFT. Em relação aos teores de Mg e H+Al observou-se teores médios de 0,7 e 1,4 cmol_c dm⁻³. Segundo os mesmos autores também não constatarem diferença significativa nos teores de Mg no solo durante 3 cultivos de

cana-de-açúcar, todavia ao avaliar-se os teores de H+Al após o terceiro cultivo de cana, maiores teores foram observados no tratamento com SFT.

Tabela 35. Teores de cálcio (Ca) nas amostras de um Latossolo Vermelho em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

(Variedade RB 60 7515), Cond. Vale do Rio Negro, Uberaba - MG.							
Dose de P ₂ O ₅	Ca						FNA
	Test.	SFT ¹	FD ²	FP ³	FAPC ⁴ Farelado	FAPC ⁵ Granulado	
kg ha ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----						
	0-20 cm						
0	1,4	-	-	-	-	-	1,4
200	-	1,6	1,6	2,0*	1,7	1,6	1,7
400	-	1,7	1,6	2,0*	1,6	1,7	1,7
Média	1,4	1,7b	1,6b	2,0a	1,6b	1,6b	
	20-40 cm						
0	1,4	-	-	-	-	-	1,4
200	-	1,5	1,5	2,0*	1,5	1,6	1,6
400	-	1,7	1,6	2,1*	1,7	1,6	1,8
Média	1,4	1,6b	1,6b	2,1a	1,6b	1,6b	
Ca - CV % = 14,73; DMS = 0,52;							
Ca - CV % = 16,26; DMS = 0,56;							

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os resultados de pH em CaCl₂ demonstram que não foi observada diferença significativa entre os tratamentos apresentando pH médio de 5,8 e 4,8 na camada de 0-20 e 20-40 cm. Diferente de Caione (2011), que constatou que a farinha de ossos em relação ao SFT, fosfato de Arad e testemunha, promoveu elevação do pH do solo em CaCl₂ durante 3 cultivos de cana-de-açúcar.

3.3.6. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P

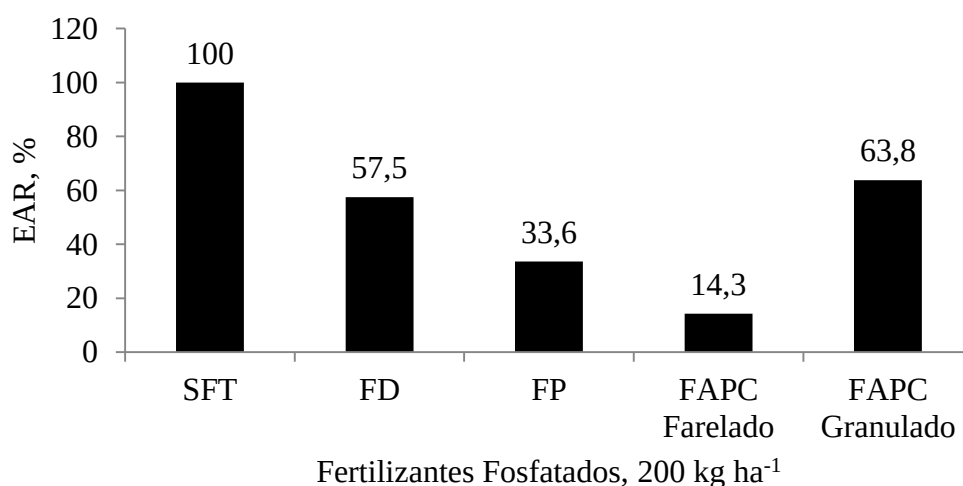
Utilizando a produção de colmos de cana planta, calculou-se a eficiência agronômica relativa (EAR) dos fosfatos aplicados. O FAPC granulado e FP apresentou maior EAR em relação aos fertilizantes alternativos na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o tratamento FP apresentou maior EAR em relação ao SFT (Tabela 36).

Tabela 36. Eficiência agrônômica relativa (EAR) na cana planta em função da aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados no sulco de plantio da cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Fertilizantes	Eficiência Agrônômica Relativa (EAR)		
	200*	400*	Média
	-----%-----		
SFT ¹	100,0	100,0	100,0
FD ²	57,5	94,8	76,2
FP ³	33,6	122,1	77,9
FAPC ⁴ farelado	14,3	75,5	69,7
FAPC ⁵ granulado	63,8	84,2	49,3

*Doses em kg ha⁻¹ de P₂O₅; ¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado.

Conforme observado a seguir (figura 19), verificou que esse índice na dose de 200 kg ha⁻¹ diminuiu na seguinte ordem: SFT (100%) > FD (57,5%) > FAPC Granulado (63,8%) > FP (33,6%) > FAPC Farelado (14,3%). Santos et al. (2012), utilizando a soma da produção de três cortes da cana-de-açúcar na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ constataram que esse índice diminuiu na seguinte ordem: SFT (100 %) > Termofosfato yoorin (89%) > MAP (80%) > Fosfato Itafós (67%) > Fosfato Arad (60%). Segundo o autor, o EAR das fontes indica que esses fertilizantes oferecem boas perspectivas de uso na cana-de-açúcar.

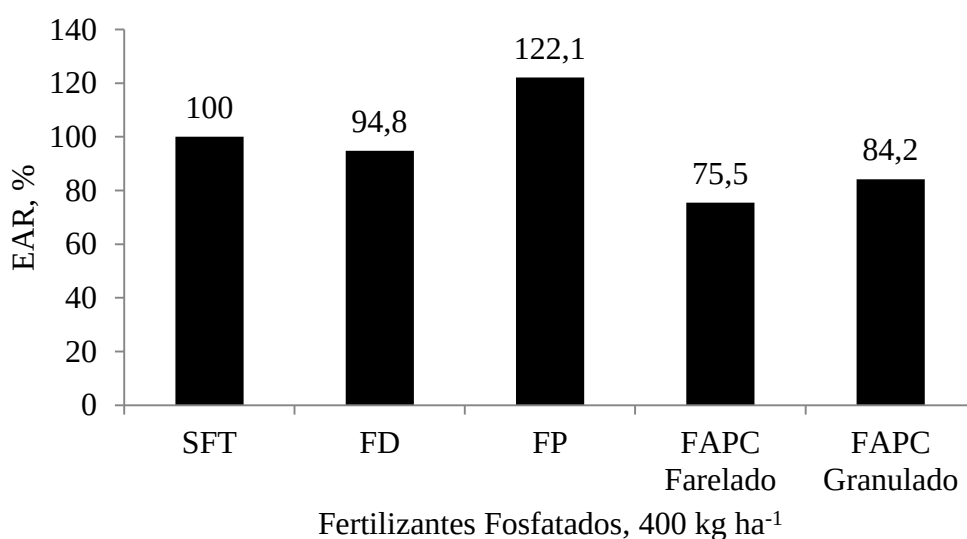


Superfosfato Triplo; Fosfato Decantado; Fosfato Precipitado; Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado;

Figura 19. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na produção de cana planta, em função da aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio de cana-de-açúcar (RB 86-7515).

Em relação à dose de 400 kg ha⁻¹, conforme a figura 20 observa-se uma diferença na diminuição desse índice: FP (122,1%) > SFT (100%) > FD (94,8%) > FAPC Granulado (84,2%) > FAPC Farelado (75,5%). Korndörfer et al. (1989), também estudando a eficiência de fontes de P na produtividade da cana, observaram que a eficiência agrônômica dos fertilizantes foi na seguinte ordem: superfosfato simples > superfosfato triplo > ácido fosfórico > ácido fosfórico + rocha fosfatada. Weber et al. (1993), pesquisando a eficiência de fosfatos solúveis, fosfatos naturais e fosfatos naturais parcialmente acidulados durante 5 anos, observaram que as respostas obtidas foram proporcionais às quantidades de P solúvel fornecida e que o P liberado pelas fontes menos solúveis não restabeleceu o potencial de produção das culturas, sendo que os fosfatos naturais apresentaram eficiência agrônômica de no máximo 45%.

Assim como observado por Santos et al. (2012), o EAR da maioria das fontes indica que esses fertilizantes podem oferecer boas perspectivas de uso ao longo do tempo em solo de cerrado para cultura da cana. Assim, deve-se avaliar as respostas das fontes nos próximos cultivos de cana (soca e ressoca).



Superfosfato Triplo; Fosfato Decantado; Fosfato Precipitado; Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado;

Figura 20. Eficiência agrônômica relativa (EAR) dos fertilizantes fosfatados, calculado com base na produção de cana planta, em função da aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio de cana-de-açúcar (RB 86-7515).

Observando os valores gastos com a aplicação dos fertilizantes fosfatados na época da instalação do experimento e fixando o valor da tonelada de cana-de-açúcar em R\$ 56,30, calculou-se o lucro estimado conforme proposto por Sousa (2011). Verificou-

se que para a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ os tratamentos mais vantajosos foram: SFT, FD e FAPC farelado (Tabela 37). Esses tratamentos aplicados apresentaram uma receita que paga a aplicação dos fertilizantes fosfatados gerando um lucro compensatório. Sousa (2011), ao avaliar aplicação de diferentes fontes de P em área total na dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ verificou que os tratamentos economicamente mais vantajosos foram o SFT seguido do termofosfato Yoorin, MAP, fosfato natural de Itafós e fosfato reativo de Arad.

Tabela 37. Cálculo do lucro estimado após uma safra em função da aplicação de 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no sulco de plantio de cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Fertilizantes*	A**	B	C	D	E	F	G	H
	R\$ t ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ t ⁻¹	---- t ha ⁻¹ ----		---- R\$ ha ⁻¹ ----	
Test	--	--	--	--	153,7	--	--	--
SFT ¹	1427,0	3,17	18,52	634,22	188,8	35,1	1976,13	1341,91
FD ²	190,0	1,36	17,91	271,43	173,8	20,1	1131,63	860,20
FP ³	190,0	2,71	35,83	542,86	165,4	11,7	658,71	115,85
FAPC ⁴ farelado	824,0	2,94	29,43	588,57	176,1	22,4	1261,12	672,55
FAPC ⁵ granulado	829,0	2,96	29,43	592,14	158,7	5,0	281,50	-310,64

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado; ⁶Fosfato Natural Alvorada.

*As formulações de fertilizantes fosfatados usadas em cada experimento estão apresentadas na Tabela 30.

**Valor do fertilizante obtido na tabela de Fevereiro de 2014.

A- Preço do fertilizante na Usina

B- Preço do P₂O₅ na Usina

C- Custo da aplicação do fertilizante (R\$ 25,00 até 600 kg de fertilizante aplicado, R\$ 28,84 de 0,7 a 3 t de fertilizantes aplicado e R\$ 35,00 acima de 3 t; valor baseado na aplicação de SFT)

D- Preço de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicado

E- Produtividade (1º corte de cana)

F- Ganho de produtividade em relação à testemunha

G- Ganhos em reais pelo preço da tonelada de cana comercializada (R\$ 56,30)

H- Lucratividade, receita – gastos pela aplicação de P₂O₅ = (G-D)

Em relação à dose de 400 kg ha⁻¹ P₂O₅, verificou-se que os tratamentos que apresentaram maior lucro compensatório foram: FD, FP, SFT e FAPC granulado (Tabela 38). Aplicando-se 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FD e FP foram observados os maiores ganhos, R\$ ha⁻¹ de R\$ 864,6 e R\$ 727,1 respectivamente. Contudo, a maior dose de P₂O₅ não foi à dose que trouxe maiores lucros, mesmo com uma maior

produção para maioria dos tratamentos, devido aos maiores custos com o produto por hectare.

Tabela 38. Cálculo do lucro estimado após uma safra em função da aplicação de 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ de diferentes fertilizantes fosfatados aplicados no sulco de plantio de cana planta (Variedade RB 86-7515), Usina Vale do Tijuco, Uberaba - MG.

Fertilizantes*	A**	B	C	D	E	F	G	H
	R\$ t ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ t ⁻¹	---- t ha ⁻¹ ----		---- R\$ ha ⁻¹ ----	
Test	--	--	--	--	153,7	--	--	--
SFT ¹	1427,0	3,17	37,04	1268,44	180,0	26,3	1480,69	212,25
FD ²	190,0	1,36	35,83	542,86	178,7	25,0	1407,50	864,64
FP ³	190,0	2,71	71,65	1085,71	185,9	32,2	1812,86	727,15
FAPC ⁴ farelado	824,0	2,94	58,86	1177,14	173,6	19,9	1120,37	-56,77
FAPC ⁵ granulado	829,0	2,96	58,86	1184,29	175,9	22,2	1249,86	65,57

¹Superfosfato Triplo; ²Fosfato Decantado; ³Fosfato Precipitado; ^{4,5}Fosfato Acidulado Parcialmente Calcinado.

*As formulações de fertilizantes fosfatados usadas em cada experimento estão apresentadas na Tabela 30.

**Valor do fertilizante obtido na tabela de Fevereiro de 2014.

A- Preço do fertilizante na Usina

B- Preço do P₂O₅ na Usina

C- Custo da aplicação do fertilizante (R\$ 25,00 até 600 kg de fertilizante aplicado, R\$ 28,84 de 0,7 a 3 t de fertilizantes aplicado e R\$ 35,00 acima de 3 t; valor baseado na aplicação de SFT)

D- Preço de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicado

E- Produtividade (1º corte de cana)

F- Ganho de produtividade em relação à testemunha

G- Ganhos em reais pelo preço da tonelada de cana comercializada (R\$ 56,30)

H- Lucratividade, receita – gastos pela aplicação de P₂O₅ = (G-D)

A aplicação dos fertilizantes alternativos trouxe uma receita menor em comparação ao SFT com aplicação de 200 kg ha⁻¹. Mas quando aplicou-se 400 kg ha⁻¹ somente os FAPC farelado e granulado apresentaram menor receita em relação ao SFT. Mesmo que essas fontes apresentem maiores receitas que o SFT, deve-se destacar a inviabilização na aplicação desses fertilizantes alternativos no sulco de plantio, já que seria necessária aplicação de grande quantidade de fertilizante para atingir a dose de P₂O₅ proposta. Por exemplo: para aplicar-se 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FP (tratamento que apresentou acréscimo de 5,9 t ha⁻¹ produtividade em relação ao SFT), necessitaria de aplicar-se 5,7 t ha⁻¹ desse fertilizante no sulco de plantio o que inviabilizaria sua aplicação. Contudo, já que esses fosfatos alternativos apresentaram vantagens em maior

receita em relação ao SFT como dito anteriormente, poder-se-ia avaliar a aplicação desses fosfatos em área total.

3.4. CONCLUSÕES

As fontes de fósforo (fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado) quando aplicadas no fundo do sulco de plantio da cana não foram eficientes em aumentar a produção de colmos e açúcar comparados ao padrão (superfosfato triplo).

A Eficiência Agronômica Relativa do fosfato decantado e precipitado, fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado e granulado foi maior com aumento da dose de fósforo aplicada.

A Eficiência Agronômica Relativa calculada com base na produtividade do primeiro corte da cana diminuiu na seguinte ordem: superfosfato triplo (100%) > fosfato precipitado (78%) > fosfato decantado (76%) > fosfato acidulado parcialmente calcinado farelado (69,7%) > fosfato acidulado parcialmente calcinado granulado (49,3%).

A aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via superfosfato triplo proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado às fontes alternativas de fósforo. Mas com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o tratamento que proporcionou maior lucratividade por hectare quando comparado com as demais fontes de fósforo foi o fosfato decantado.

REFERÊNCIAS

- ALBULQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J. T. Competição de fontes de fósforo em cana-de-açúcar . In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1., 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1980. v. 2, p. 319-322.
- ALCARDE, J. C.; PONCHIO, C. O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 4, p. 196-200, 1980.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e as eficiências das adubações**. São Paulo: Associação Nacional Para Difusão de Adubos - ANDA, 1998. 35p. (Boletim Técnico, n.3).
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752p.
- ALMEIDA, J. C. V.; LEITE, C. R. F.; SOUZA, J. R. P. Efeitos de maturadores nas características tecnológicas da cana-de-açúcar com e sem estresse hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 441-448, 2005.
- ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V. de; NOVAIS, R. F. de; BAHIA FILHO, A. F. de C.; OLIVEIRA, C. A. de; FRANÇA, C. C. de M. Localização de fósforo e de nitrogênio afetando os parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio em milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 10, p. 197-201, 1998.
- ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA. São Paulo. Disponível em: <(http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por)> Acesso em: 15 dez. 2014.
- ANGHINONE, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. P. 537-558.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Amsterdam, v. 44, p. 1016-1020, 1980.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A.; ASSIS, F. **Assistat** – Assistência Estatística. Disponível em: <(http://www.assistat.com/indexp.html)>. Acesso em: 15 ago. 2014.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; C. A. VASCONCELLOS, H. L.; SANTOS, J. F. MENDES, G. V. E.; PITTA A. C. O. Formas de fósforo “disponível” em um latossolo vermelho-escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 99-104, 1982.

BANCO MUNDIAL. **Awakening Africa's Sleeping Giant, Prospects for Commercial Agriculture in the Guinea Savannah Zone and Beyond 2009**. The International Bank for Reconstruction and Development: The World Bank, 2009. 236p.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**. New York: John Willey e Sons, 1984. 398p.

BARBOSA FILHO, M.A.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre fósforo "extraível", frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 147-55, 1987.

BARNES, J. S.; E. J.KAMPRATH. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soil**. Agricultural Station. North Carolina, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, 229).

BARRETO, 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. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 26, p. 151-156, 2002.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 27, p.639-646, 2003.

BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants; development, visual, and analytical diagnosis**. New York: Gustave Fischer Verlag, 1992. 741p.

BEVILAQUA, G. A.; BROCH, D. L.; POSSENTI, J. C.; VILLELA, F. A. Posição do fósforo e potássio na adubação da semente e no crescimento de plântulas de milho. **Rev. Bras. de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 2, p. 87-92, 1996.

BEZERRA, P. S. S. **Substâncias húmicas e fontes de fósforo: teor de fósforo disponível em solos e absorção pela cana-de-açúcar**. 2014, 76f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2014.

BRAGA, G. **Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida**. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

BRAGA, J. M.; MASCARENHAS, H. A. A.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. & RAIJ, B. van. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p.36-39, 1980.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.315-19, 1991.

BRAITHWAITE, A. C.; EATON, A. C.; GROOM, P. S. Factors affecting the solubility of phosphate rock residues in 2% citric acid and 2% formic acid. **Fertilizer research**, v. 23, p. 37-42. 1990.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. 301p.

BÜLL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 516-521, 2004.

CAIONE, G. **Avaliação de fontes de fósforo no desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica de cana-de-açúcar**. 2011, 74f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2011.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W. ; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; LIMA, G. S. A.; ARISTIDES, E.V.S. Acúmulo de nutrientes e produção de sacarose de duas variedades de cana-de-açúcar na primeira rebrota, em função de doses de fósforo. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 1, p. 26-29, 2011.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Mineralogy of the clay fraction of Alfisols in two slope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 295-306, 2013.

CARMO, A. J. B. Fertilizantes e matúrias-primas: preços, produção e consumo de 1980 e 1985. **Fertilizantes**, v. 8, n.2, p.1-5, 1986.

CHIEN, S. H.; SALE, P. W. G.; FRIESEN, D. K. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in the solubility. **Fert. Res.**, Dordrecht, v. 24, p. 149-157, 1990.

COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba: 2003. **Anais...** Piracicaba, Potafós/ANDA, 2003, 31p. (CD-ROM).

COLLIER, L. S.; CORREIRA, M. A.; RAMOS, L. N.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; NUNES, T. V. Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. **Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 109-116, 2008.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, agosto/2014 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos, janeiro/2015 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2015.

CONSECANA-SP. **Conselho dos produtores de cana-de-açúcar e álcool do estado de São Paulo:** Manual de Instruções. CONSECANA, Piracicaba, 2006. Disponível em: <(http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf)>. Acesso em 15 nov. 2013.

COPERSUCAR. **Amostragens e análise de cana-de-açúcar.** São Paulo: Centro de Tecnologia Copersucar, 1980. 37p.

CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. S. C; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 110-116, 2009.

DEFILIPPE, G. Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., São Paulo, 1990. **Anais...** São Paulo, IBRAFOS, p.5-9, 1990.

DEMATTE, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: Estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGRO INDUSTRIAL. 5.. e SEMANA “LUIZ DE QUEIROZ”. 29., **Anais...** Piracicaba, 1986. (Mimeografado).

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia COOPERSUCAR, 1988. p. 33-40.

DIAS, K. G. L. **Fontes e doses de foto do cafeeiro: produtividade, dinâmica de nutrientes no solo e nutrição mineral de plantas.** 2012, 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

DIAS, L. et al. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 373-380, 1994.

ELAMIN, E. A.; ELTILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; IBRAHIM, S. H.; ELSHEIKH, M. A.; BABIKER, E. E. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of Sudan. **Journal of Applied Sciences**, Taiwan, v. 7, p. 2345-2350, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

ERISMAN J. W.; et al, Como um século de síntese de amônia mudou o mundo. **Nature Geoscience** 1, p. 636-639. 2008.

ESTÉVES, A. A. Fisiologia de la caña de azucar. In: OSORIO C. E. B. (Ed.). **El cultivo de la caña de azucar**. Cali: Tecniacana, 1986. p. 27-41.

FACTUR, V. D. **Fontes de fósforo associadas á adubação orgânica no plantio da cana-de-açúcar**. 2008, 27 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP. 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Relatório Anual da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura** – FAO. 26/06/2013, 2013.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**, 2. ed. Piracicaba: STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 2003. 240p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Stab: Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 11, p. 55-65, 2000.

FURTINI NETO, A. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252p.

GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 328p.

GODOY, L. J. G.; PINOTTI, É. B.; FURUYA, F. E. S.; ALBANAZ, A. A.; FELISBERTO, G.; CARVALHO, P. A.; FEHR, R. M. Disponibilidade de fósforo (Resina e Mehlich-1) em dois solos utilizando o fosfato magnesiano a base de fosforita. In: FERTBIO 2012: À responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola. **Anais...** Maceió, 2012.

GOEDERT, W. J. et al. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesq. agropoc. bras.**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-530, 1990.

GOEDERT, W. J.; E. LOBATO. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.1, p.97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesq. agropoc. bras.**, Brasília, v.15, n.3, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W. J.; LOPES, A. S. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. In: SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, São Paulo, 1987. **Anais...** São Paulo, IBRAFOS, 1987. p. 24-49.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p. 129-166.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*)**. 2003. 75f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by rootinduced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Crawley, v. 237, p. 173-195, 2001.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, POTAFOS, 2004. p. 665-682.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.41-47, 2003.

IBGE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2010. Disponível em: <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/Panorama2010.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

IFA - International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris – France. Disponível em: < www.fertilizer.org > Acesso em: 10 jan. 2015.

IFDC - International Fertilizer Development Center. Paris, France. 2012. Disponível em: <<https://ifdcorg.files.wordpress.com/2015/05/2012annualreport.pdf> > Acesso em: 10 jan. 2015.

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 2008. 64p.

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

KLIEMANN, H. J. LIMA, D. V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.

KORNDÖRFER, G. H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo**. Porto Alegre, 1978. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1978.

KORNDÖRFER, G. H. FARIA, R. J.; MARTINS, M. Efeito do fósforo na produção da cana-de-ano e cana-soca em solo de cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 33, n. 10, p. 667- 673, 1998.

KORNDÖRFER, G. H. **Fertilizantes fosfatos e fluídos na cana-de-açúcar**. 1990. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP, 1990.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Piracicaba, 2004. **Anais...** São Pedro: POTAFOS, 2003, p.291-305.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004. São Pedro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 291-305.

KORNDORFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acumulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.

KORNDÖRFER, G. H.; CABEZAS, W. A. L.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais na cultura do milho. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.56, n.2, p.32-39, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33 n.1, p. 92-97. 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; VIEIRA, G. G.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L. A. **Resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo**. São Paulo, 1989. p. 31-37. (Boletim Técnico Copersucar, 45).

KUMAR, V.; VERMA, K. S. Influence of phosphorus application on soil available phosphorus, yield and juice quality of sugarcane grown on P deficient soil. **Indian Sugar**, New Delhi, v. 39, p. 579-587, 1999.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p.525-528, 2004.

LAVANHOLI, M. das G. D. P. **Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de açúcar e álcool**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. de; LANDELL, M. G. A. de (Ed.) Cana-de-açúcar. 2 ed. Campinas: IAC, 2010. cap. 32, p. 697-722.

LEE, R. B.; PURVES, J. V.; RATCLIFFER, R. G.; SAKER, L. R. Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. **Journal of Experimental Botany**, v. 43, p. 1385-1396, 1992.

LEHR, J. R.; G. H. MCCLELLAN. **A revised laboratory reactivity for evaluating phosphate rocks for direct application.** Muscle shoals. National Fertilizer Development Center, Alabama. 1972. 36p. (Bulletin, Y-43).

LÉON, L. A.; FENSTER, W. E.; HAMMOND, L. L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Boulder, v. 50, p. 798-802, 1986.

LOBO, M. G.; SILVA, R. M. Produção de fertilizantes fosfatados, In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A. J. ANAIS DO SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. p.73-101. CD-ROM

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo.** Piracicaba: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFÓS, 1983. 162p.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato 2004. p. 11-34.

MACHADO, V. J. **Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros.** 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

MAHADEVAIAH, M. S.; KUMAR, Y.; GALIL, M. S. A.; SURESHA, M. S.; SATHISH, M. A.; NAGENDRAPPA, G. A simple spectrophotometric determination of phosphate in sugarcane juices, water and detergent samples. **E-Journal of Chemistry**, Daves, v. 4, p. 467-473, 2007.

MARINHO, M. L.; CAVALCANTI, G. A. P.; AMORIM, A. L. C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industrial dos canaviais de Alagoas. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 1, p. 193-201, 1976.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola:** adubos e adubação. 3ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p.

MALAVOLTA, E.; ALCARDE, J. C. Adequação da legislação sobre fosfato às tecnologias visando o aproveitamento de fosfatos brasileiros na produção de fertilizantes. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3., Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: IBRAFOS, 1986. p. 177-198.

- MALAVOLTA, E.; COURY, T.; ARZOLLA, J. P.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. Aproveitamento de alguns adubos fosfatados pelo milho (*Zea mays*) e pelo arroz (*Oriza sativa*) em Terra Roxa Misturada. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 185–197, 1955.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- MARINIO, M. L.; CAVALCANTI, C. A.; AMORIN, A. L. C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industriais dos canaviais de Alagoas. **Brasil Açucareiro**, v. 86, n. 6, p. 19-29, 1975.
- MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar**: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.
- MARTINS, M. B. G.; CASTRO, P. R. C. Efeitos de giberilina e ethephon na anatomia de plantas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, 1999.
- MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 58, p. 295-301, 2001.
- MEYER, J. H.; WOOD, R. A. The effects of soil fertility and nutrition on sugarcane quality: a review. **South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 75, p. 242-245, 2001.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. **Efeito residual da adubação fosfatada para a cultura do arroz em solo de Cerrado**. Planaltina: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2003. 3p. (Comunicado Técnico, 87).
- MIOLA, G. R.; TEDESCO, M. J.; BISSANE, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. de O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.5, p.813-819, 1999.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; BAPTISTELLA, J. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 57-61. 1991.
- MOURA, M. V. P. F.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V. ; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M. ; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p.753-760, 2005.

NAHAS, E.; ASSIS, L. C. Efeito da adição ao solo de fosfato solúvel obtido por via microbiológica a partir de fluorapatita. **Revista Latinoamericana de Microbiologia**, México, v. 33, n. 2/3, p. 225-229, 1991.

NOVAIS, R. F. **Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade**. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, 1999. p. 62-64.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 1017p, 2007.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. P. 471-550.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development/FAO. **Environmental Outlook to 2050: the consequences of inaction**, Paris 2012. Disponível em: <(http://www.oecd.org/document/31/0,3746,en_2649_37465_49742047_1_1_1_37465,00.html)> Acesso em: 10 jan. 2015.

OLIVEIRA, E. L.; MUZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, M. T. T. Avaliação da eficiência agrônômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 63-67, 1984.

ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, 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. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 727-734, 2009.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S., OLIVEIRA, E. A. M (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.133-146.

ORLANDO FILHO, J.; BOARETTO, A.E.; GLÓRIA, N.A. Adubação potássica em cana-de-açúcar: I - Efeitos na produtividade agrícola, qualidade da matéria-prima e longevidade. **STAB Açúcar, Álcool Subpr.**, Piracicaba, v. 12, p. 22-26, 1993.

PASUCH, B. D.; CAIONE, G.; RODRIGUES, M.; DRESCHER, A. H.; FERNANDES, F. M.; Desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica da primeira soqueira da cana-de-açúcar em função de fontes de fósforo. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, n. 4, p. 263-270, 2012.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B.; MORGADO, L. B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em vertissolo. **Pes. Agropec. Bra.**, Brasília, v. 30, v. 1, p. 43-48, 1995.

PERES, C. E. B. **Eficiência agronômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a produtividade e qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar.** 2014. 116f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 83-90, 2001.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. **Anais...** Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 67p. CD-ROM

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. e (Eds.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. p. 605-651.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC. 1997. 285p. (Boletim 100).

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAIJ, B. van. Métodos de Diagnose de Fósforo no Solo em Uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. e (Eds.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. p. 563-587.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAIJ, B.; DIEST, B. Phosphate supplying power in na Oxisol. **Plant & Soil**, Crawley, p. 55-97, 1980.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Adv. Agron.**, New York, v. 57, p. 77-159, 1996.

RAMOS, L. A. **Resíduos orgânicos e fertilizantes minerais na cultura da cana-de-açúcar e alterações nas características químicas do solo.** 2013. 90f. Tese (Doutorado

em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

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

RIEDER, J. H. Destinação racional dos jazimentos fosfáticos nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3. Brasília, DF, 1986. **Anais...** São Paulo IBRAFOS, 1986. p.139-72.

RODELLA, A. A.; MARTINS, M. Efeitos de fontes e formas de aplicação de fósforo na produtividade da cana-de-açúcar, em cana-planta. **Álcool e Açúcar**, Piracicaba, v. 45, n. 8, p. 26-30, 1988.

ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GIL, M. A.; SILVA, S.F. Eficiência agrônômica do fosfato natural na cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2002, Recife. **Anais...** Recife-PE: STAB, 2002. p 276-282.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. **Fósforo**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.271-287.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 201-222.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing LA and PVA in tropical America. **Adv. Agron.**, New York, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. chap. 17, p. 471-514.

SANTOS, D. H. **Adubação da cana-de-açúcar com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. 35f. Dissertação (Mestrado) – UNIOESTE, Presidente Prudente, 2009.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de Cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 139-146, 2005.

SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de fosfatos naturais relacionada à produtividade de milho em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 75-81, 2006.

SANTOS, G. A. **Formas de adição de micronutrientes a um formulado NPK e seu efeito sobre o desenvolvimento do milho**. 2013, 65f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANTOS, G. A.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Lucratividade em função do uso e índice de eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados aplicados em pré-plantio de cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 846-851, 2012.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ, V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.173-182, 2002.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SANTOS, V. R.; FILHO, M. G.; ALBULQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in humid Brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694, 2005.

SCIVITTARO, W. B.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 505-511, 1997.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

SILVA, J. A.; SILVA, F. L. H.; ALVES, R. N. N.; SANTANA, D. P. Influência das variáveis nitrogênio, fósforo e oBrix na produção dos metabólitos secundários contaminantes totais da fermentação alcoólica. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 695-698, 2006.

SILVA, T. W. S. **Efeito residual de doses de fósforo no crescimento, produção e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar**. 2011. 35f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB. 2011.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 840-848, 2009.

SOBRAL, B. W. S.; BRAGA, D. P. V.; LAHOOD, E. S.; KEIM, P. Phylogenetic analysis of chloroplast restriction enzyme site mutations in the Saccharinae Griseb. Subtribe of the Andropogoneae Dumort. tribe. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 87, n. 7, p. 843-853, 1994.

SOUSA, 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, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004, p.157-200.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.102, p.1-16, 2003. (Encarte técnico). SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 283-316.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, A. T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. Disponibilidade de fósforo em latossolo de cerrado sob plantio direto adubado com duas fontes de fósforo avaliada por diferentes extratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32. **Anais...** 2012.

SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E. **Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para culturas anuais nos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC,1987a. 7 p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado Técnico, 51).

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Instituto de Ciências agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SOUSA, R. T. X. **Fertilizantes fosfatados para cana-de-açúcar aplicados em pré-plantio (fosfatagem)**. 2011, 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa-CPAC, 2004. p. 147-168.

SOUZA, E. C. A. **Uso agronômico do fosfato natural**. 2. ed. rev. São Paulo: Unesp, 1996.

SOUZA, R. M.; SOBRAL, F. L.; VIEGAS, P. R. A.; JUNIOR, A. O.; FONTES JUNIOR, R. C.; VALENÇA, A. R. Exportação de P pelo milho influenciado por doses de manutenção e efeito residual de fosfatos naturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. Florianópolis, 2013. **Anais**. Florianópolis, SBCS, 2013. p. 1-4.

SPSS v.17.0.0. **SPSS**. Chicago, Illinois, 2008. CD-ROM

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo – essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 1-11.

STEFANUTTT, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo derivado de um termofosfato magnesiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Sci. Agri.**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 233-238, 1995.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. v. 2. Campinas, 1987.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, Hawaii, v. 57, p. 133-150, 1964.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TOMAZ, H. V. Q. **Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo na cana-de-açúcar**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2009.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 41, p. 254-263, 2011.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas. Piracicaba: Potafós, 2002. 16p.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 690-694.

WEBER, H.; BOLSANELLO, J.; AZEREDO, D. F. Doses e fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5, 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 70-75.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AZEREDO, D. F. Adubação na região Centro-Sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 289-313.