

Altura e diâmetro do milho cultivado em função de diferentes doses de fertilizantes fosfatados

B. L. M. Nascimento¹; I. M. A. Lima²; B. F. Iwata²; B. F. Aquino²

¹Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental /Laboratório de Saneamento Ambiental/ Universidade Federal do Ceará, CEP: 60356-000, Fortaleza-CE, Brasil

²Departamento de Ciências do Solo/ Universidade Federal do Ceará, CEP: 60356-000, Fortaleza-CE, Brasil

brunoimpma@hotmail.com

(Recebido em 30 de dezembro de 2013; aceito em 12 de agosto de 2014)

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses e fontes de fósforo na altura e diâmetro do caule das plantas de milho em condições de casa de vegetação. O ensaio foi constituído em um delineamento inteiramente casualizado e dispostos em um arranjo fatorial 4x4, sendo os fatores representados por 4 doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 mg kg⁻¹ de P) e 4 fontes de fósforo (Fosfato Natural do Tocantins-FNT, Fosfato Natural Reativo-FNR, Fosfato Natural da Bahia-FNB e Superfosfato Triplo-SFT) com 4 repetições. Foi feita análises de variância para todas as variáveis em função das fontes, doses e interação entre doses e fontes. As menores alturas e diâmetro de caules foram identificados quando o milho foi fertilizado com fosfatos naturais. Esse resultado foi diferente do que ocorreu no tratamento em que se utilizou o superfosfato triplo, onde se constatou as maiores alturas e diâmetro de caules. Dentre as fontes naturais utilizadas, o FNB é o mais indicado para promover o crescimento do milho.

Palavras-chave: *Zea mays*; Adudos; Biometria; Fosfato natural.

Height and diameter of maize cultivated in function of different levels of phosphate fertilizers

The present study aimed to evaluate the effect of different rates and sources of phosphorus in height and stem diameter of maize plants in greenhouse conditions. The study was conducted in a completely randomized block design and arranged in a factorial arrangement 4 x 4, with 4 rates of phosphorus (0, 100, 200 and 300 mg kg⁻¹ de P), 4 different P sources (rock phosphates of Tocantins-FNT, reactive rock phosphates-FNR, rock phosphates of Bahia-FNB and triple superphosphate-SFT) and with 4 replications. Therefore, the experiment consisted of 16 treatments, totalizing 64 pots as experimental units. Analysis of variance was done for all variables as sources, rates and interaction between rates and sources. The heights and smaller diameter stems were identified when the corn was fertilized with rock phosphate. This result was different from what happened in the treatment which used triple superphosphate, where it was found the greatest heights and diameter stems. Among the natural sources used, the FNB is the most suitable to promote the growth of corn.

Keywords: *Zea mays*; Fertilizers; Biometry, Rock Phosphate

1. INTRODUÇÃO

A fertilização fosfatada é intensamente utilizada para fornecer fósforo ao solo e assim proporcionar quantidades adequadas desse nutriente para que a planta possa desenvolver-se com qualidade.

Yamada e Abdalla [1] classificam três fontes de fósforo utilizadas como fertilizantes, são elas: fosfato natural de rocha, fosfatos totalmente acidulados e termofosfato. Em geral, o fosfato natural de rocha e os termosfosfatos são menos solúveis que os fosfatos acidulados devido ao tratamento químico que esses são submetidos.

Corrêa et al. [2] relatam que os fosfatos naturais podem ser divididos em duas categorias: fosfatos naturais de baixa reatividade (origem de rochas ígneas e metamórficas), e fosfatos naturais reativos (origem sedimentar). Os depósitos de fosfatos de origem ígnea, ou magmática são geralmente pobres em sílica com textura simples e rochas associadas do tipo carbonatitos e ultrabásicas, em que a fluorapatita é o principal mineral fosfático, como Jacupiranga e Catalão no Brasil e Tennessee nos EUA. Esses fosfatos representam, aproximadamente, 17% das reservas mundiais e cerca de 50% das reservas brasileiras.

Os fosfatos de origem sedimentar possuem história geológica complexa e variada, podendo ser detríticos, precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil (orgânica). Sua textura é subdividida em rochas consolidadas, que apresentam cimentação por sílica, carbonatos ou óxido de ferro e/ou de alumínio, rochas não consolidadas originárias de processos secundários, como reordenação, lixiviação, intemperização e processos de enriquecimento natural; onde predominam as apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, podendo ser encontradas em áreas desérticas ou de clima seco.

Diversos fosfatos naturais podem ser reativos, ou seja, serem utilizados diretamente na agricultura, como é o caso dos fosfatos naturais da Carolina do Norte-EUA, de Gafsa- Tunísia, de Sechura- Peru e de Arad-Israel. Porém, os fosfatos de origem metamórfica representam uma categoria intermediária entre as rochas sedimentares e ígneas, são rochas duras e apresentam outros minerais misturados mais intimamente entre si, conservando a estrutura básica dos sedimentos.

Cordell [3], Liu, Ayres, Schroder [4] e Smit et al. [5] estimam que aproximadamente 60% do fósforo aplicado em lavouras vem de rochas não renováveis, e o restante do fósforo é reciclado através do uso de resíduos orgânicos, como esterco, resíduos de colheitas e resíduos urbanos. Observou-se que o elevado custo da importação desses insumos é um dos motivos que faz com que muitos países usem os fosfatos naturais como medida para melhorar a produção e a mitigar os custos. No entanto, a resposta positiva no desenvolvimento de uma cultura nem sempre é alcançada, pois a eficiência agrônômica dos fosfatos naturais é bastante variável. Frente a isso, criou-se a seguinte hipótese para este trabalho: A fonte de fósforo utilizada afeta a altura e o diâmetro do caule das plantas de milho. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses e fontes de fósforo na altura e diâmetro do caule das plantas de milho em condições de casa de vegetação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo, da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, na cidade de Fortaleza-CE. A temperatura média da casa de vegetação estava entre 35 e 45 °C. O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0,00 a 0,25 m em uma área de mata nativa na Chapada do Apodi localizada no município de Limoeiro do Norte-CE. Os estudos pedológicos identificaram os solos dessa área como sendo Cambissolos Háplico Eutrófico, de textura franco argilo arenosa de acordo com Embrapa [6]. As análises químicas e físicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

As fontes de fósforo utilizadas no experimento foram: fosfato natural Tocantins (FNT), o fosfato natural de Irecê-Bahia (FNB), fosfato natural Gafsa-Tunísia (FNR) e o superfosfato triplo (SFT). As sementes de milho da cultivar EMBRAPA - BRS 2022 foram adquiridas junto à Secretaria do Desenvolvimento Agrário- DAS do Estado do Ceará. O BRS 2022 é a mais nova opção da EMBRAPA para o mercado de média tecnologia, sendo caracterizada por ser um híbrido duplo, de baixo custo, apropriada para agricultores de baixa renda e com moderada resistência a algumas doenças, como pinta branca e ferrugens branca. Estes mesmos autores relatam que o milho BRS 2022 apresenta adaptações para serem cultivados nas regiões Centro-oeste, Sudeste e Nordeste do Brasil.

Tabela 1: Características químicas e físicas do Cambissolo usado no experimento.

pH (H ₂ O)	6,8
M.O (g kg ⁻¹)	20,8
C (g kg ⁻¹)	12,0
N (g kg ⁻¹)	1,1
CE (dS m ⁻¹)	0,3
P (mg kg ⁻¹)	1,0
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,1
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,5
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	4,4
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,8
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,9
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,1
SB (%)	6,8
T (%)	8,8
V (%)	77
m(%)	1
PST	1
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	457
Silte (g kg ⁻¹)	131
Argila (g kg ⁻¹)	240
Argila natural (g kg ⁻¹)	110
Densidade Global (g cm ⁻³)	1,43
Classificação Textural	Franco Argilo Arenosa

Os fosfatos naturais depois de adquiridos foram homogeneizados e submetidos à estufa para secagem a 110 °C até peso constante. O fósforo total presente nos fosfatos naturais e no superfosfato triplo foi analisado de acordo com o método colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico descrito por Embrapa [7]. Os teores percentuais de fósforo dos adubos são: Superfosfato triplo (18%); Fosfato natural da Bahia- FNB (9,5%), Fosfato Natural do Tocantins- FNT (6,1%), Fosfato Natural Reativo da Tunísia- FNR (10,9%).

Depois do processo de secagem, destorroamento e peneiramento, foi realizado o preenchimento dos vasos, os quais foram preenchidos com 4 kg de solo. Logo após o preenchimento dos vasos, o solo foi adubado em condições naturais com sulfato de amônio (1000 mg/vaso de N), cloreto de potássio (500 mg/vaso de K) e micronutrientes: sulfato manganoso hidratado (25 mg/vaso de Mn), Ferro-EDTA (12 mg/vaso de Fe), sulfato cúprico hidratado (5 mg/vaso de Cu), tetraborato de sódio hidratado (8 mg/vaso de B), molibdato de amônio (1 mg/vaso de Mo) e sulfato de zinco hidratado (16 mg/vaso de Zn). Entre a adubação e a semeadura foi esperado um tempo de 20 dias.

O milho, cultivar EMBRAPA BRS 2022, foi semeado com o uso de seis sementes por vaso, sendo que após a emergência, aproximadamente cinco dias, realizou-se o desbaste, deixando somente três plantas por vaso. Os vasos foram pesados e irrigados diariamente, mantendo-os na capacidade de campo.

O ensaio foi constituído em um arranjo fatorial (4 x 4), representados por 4 doses de fósforo (0, 100, 150 e 200 mg kg⁻¹ de P), 4 fontes de fósforo: fosfato natural do Tocantins (FNT); fosfato natural reativo da Tunísia (FNR); fosfato natural da Bahia (FNB) e o superfosfato triplo (SFT) e com 4 repetições. As doses avaliadas foram estimadas com base no teor de fósforo exigido nas condições de campo e no teor de fósforo do solo (Tabela 1). O tempo de adubação do fósforo à época da semeadura foi de 10 dias. Portanto, o experimento apresentou 16 tratamentos, totalizando assim 64 unidades experimentais. Aos 45 dias após o plantio, em ocasião da colheita, realizou-se a medição da altura da planta, medida desde a superfície do solo até a ponta da maior folha com o auxílio de uma trena. O diâmetro do colmo foi determinado logo após o segundo internódio com o auxílio de um paquímetro digital.

Foi feita análises de variância para altura e diâmetro do caule em função das fontes, doses e interação entre doses e fontes, sendo as médias avaliadas pelo teste Tukey a 1 e a 5% de probabilidade utilizando o programa ASSISTAT, versão 7.6 Beta, conforme instruções de Silva & Azevedo [8] além de serem submetidas à análise de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeitos significativos das fontes, doses e interação entre fontes e doses para as variáveis altura de planta e diâmetro de caule (Tabela 2). As diferentes fontes de fósforo proporcionaram alturas e diâmetros de caules com diferenças significativas em função das doses de fósforo aplicadas. Os resultados apresentados na Figura 1 demonstram que dentre as fontes avaliadas, o superfosfato triplo, em todas as doses, contribuiu para a obtenção de maiores alturas de plantas de milho em relação aos fosfatos naturais. Esse resultado também pode ser visualizado através das figuras 2, 3, 4 e 5. De acordo com a figura 1 pode-se observar que aplicações de fósforo acima de 300 com a fonte de superfosfato triplo, poderão reduzir o crescimento do milho.

Tabela 2: Resumo da análise de Variância (ANOVA) para as variáveis biométricas do milho (*Zea mays*) cultivado em casa de vegetação em função de diferentes fontes e doses de fósforo.

Teste F		
Fonte de Variação	Altura da Planta	Diâmetro de Caule
Fontes	126,83**	115,88**
Doses	208,89**	94,27**
Fontes x Doses	25,80**	19,83**

F = Estatística do teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade

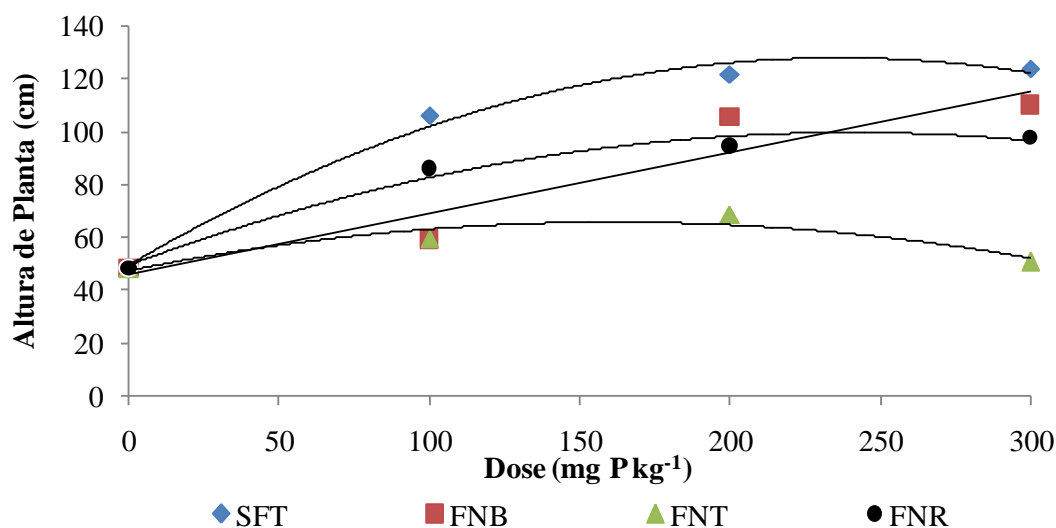


Figura 1: Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre a altura das plantas de milho (*Zea mays*).

Dentre os fosfatos naturais, o FNB, nas doses de 200 e 300, foi a fonte que proporcionou a maior altura para o milho, enquanto que o FNT, em todas as doses, foi a que causou a menor resposta quando comparado com os demais (Figura 1). A baixa solubilidade do FNT, aliada à sua origem ígnea, possivelmente seja o fator que levou a baixa resposta do milho quando

adubado com essa fonte natural. Em relação ao FNR, embora não tenham sido observadas diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey entre as doses 100, 200 e 300, pode-se notar que as maiores alturas de plantas foram observadas nas maiores doses (Figura 1).

Os resultados obtidos podem ser explicados pela diferença de solubilidade das fontes de fósforo testadas, pois o superfosfato triplo é conhecido por possuir alta solubilidade e elevada capacidade para liberar fósforo para o solo. No entanto, essas características não podem ser atribuídas aos fosfatos naturais, que são fontes de baixa solubilidade.

Pacheco et al. [9] relatam que a aplicação de fosfato natural de baixa reatividade não supre, em muitos casos, a demanda da planta por fósforo, pois a pequena quantidade de P liberada em curto tempo não é satisfatória para que as plantas cresçam adequadamente, podendo até comprometer sua produtividade. Resende et al. [10] relatam que os efeitos das diferentes solubilidade dos fosfatos resultam em diferenças na aquisição de P e conseqüentemente refletem nas taxas de produção das culturas. Resultado semelhante de altura de plantas de milho cultivadas em Latossolo amarelo e adubadas com superfosfato triplo foi encontrado por Oliveira et al. [11], cuja dose foi de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e a altura obtida foi de 108,1 cm.



Figura 2: Plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em casa de vegetação com superfosfato triplo, FNT, FNB e FNR na dose 100 mg kg^{-1} de P.



Figura 3: Plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em casa de vegetação com superfosfato triplo, FNT, FNB e FNR na dose 200 mg kg^{-1} de P.



Figura 4: Plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em casa de vegetação com superfosfato triplo, FNT, FNB e FNR na dose 300 mg kg^{-1} de P.



Figura 5: Plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em casa de vegetação sem P e cultivadas com superfosfato triplo nas doses 100, 200 e 300 mg kg^{-1} de P.

A análise de regressão que relaciona a altura das plantas de milho com as doses crescentes de fósforo está representada na Figura 1 e Tabela 3. Notou-se que as fontes Superfosfato triplo, FNT e FNR, tiveram os dados de altura de planta ajustados ao modelo quadrático de regressão. De acordo com as equações de regressão, dispostas na Tabela 3, as doses teóricas que proporcionaram o maior crescimento do milho para as fontes, superfosfato triplo, FNT e FNR, foram: 236,89; 161,84 e $240,18 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, respectivamente.

Tabela 3: Equações de regressão relacionando a altura das plantas de milho (*Zea mays*) (cm) com as doses e as fontes de fósforo.

Fonte	Equação de Regressão	R ²
Superfosfato Triplo	$y = -0,001399x^2 + 0,660950x + 49,79$	0,988
FNB	$y = 0,231440x + 45,99$	0,897
FNT	$y = -0,000722x^2 + 0,23305x + 47,07$	0,872
FNR	$y = -0,000865x^2 + 0,415515x + 49,53$	0,981

A fonte FNB proporcionou altura ajustada à equação de regressão linear (Tabela 3), a qual indica que o uso de 1 mg kg^{-1} de P proporciona aumento de $0,23 \text{ cm}$ na altura das plantas de milho. Os elevados coeficientes de determinação encontrados indicam que existe uma relação consistente e significativa entre a altura das plantas de milho e as doses de fósforo, fato esse que comprova a importância do fósforo para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os diâmetros das plantas de milho adubadas com diferentes doses e fontes de fósforo estão representados na Figura 6. Verificou-se que as plantas adubadas com superfosfato triplo, em todas as doses, foram as que proporcionaram os maiores diâmetro de caule em relação aos valores obtidos quando o milho foi adubado com as fontes naturais. Não foi observado diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey para o diâmetro do caule das plantas de milho adubadas com as doses 100, 200 e 300 mg kg^{-1} de P do superfosfato triplo. Oliveira et al. [11] ao utilizarem o superfosfato triplo como fonte de fósforo para o milho cultivado em vasos de 20 L com Latossolo amarelo observaram resposta positiva do diâmetro do caule em relação às doses aplicadas, sendo que a dose de 150 kg ha^{-1} de P proporcionou diâmetro do caule em torno de $21,6 \text{ mm}$. Lucena et al. [12] também relataram resposta positiva no diâmetro de caule das plantas de milho cultivadas em Latossolo amarelo em função do fósforo aplicado.

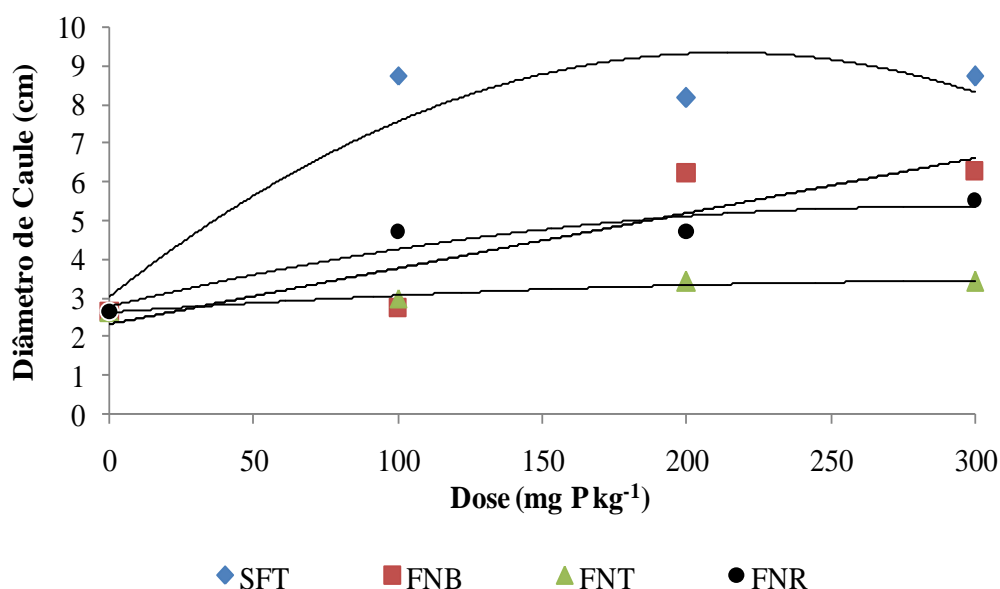


Figura 6: Efeitos das doses de fósforo de diferentes fontes sobre o diâmetro de caule das plantas de milho (*Zea mays*).

Dentre os fosfatos naturais avaliados, o FNB nas doses 200 e 300 mg kg^{-1} de P e o FNR na dose 300 mg kg^{-1} de P foram os que proporcionaram maiores diâmetro de caule para as plantas de milho. Os menores diâmetros de caule foram observados quando o milho foi adubado com o FNT, cuja resposta obtida com o aumento das doses foi significativamente igual ao tratamento testemunha (Figura 6). Diante disso, pode-se afirmar que o FNT foi a fonte que menos contribuiu para o desenvolvimento do diâmetro do caule das plantas de milho.

A análise de regressão que relaciona o diâmetro do caule das plantas de milho com as doses crescentes de fósforo está representada na Figura 6 e Tabela 4. Verificou-se que os dados referentes ao diâmetro do caule em função das doses de fósforo adequaram-se ao modelo quadrático de regressão para as fontes superfosfato triplo, FNT e FNR. De acordo com as equações de regressão foi possível verificar que as doses teóricas que proporcionaram o maior diâmetro de caule utilizando as fontes Superfosfato triplo, FNT e FNR foram 212,98; 330,62; e 289,75 mg kg^{-1} de P respectivamente.

A fonte FNB apresentou valores de diâmetro de caule que se adequaram ao modelo de regressão linear, sendo que a aplicação estimada de 1 mg kg^{-1} de P resultará no aumento de

0,014 mm no diâmetro do caule do milho cultivado com essa fonte. De acordo com os coeficientes de determinação que se encontram na tabela 4, os diâmetros das plantas de milho obtidos neste trabalho foram explicados em torno de 88, 81, 96 e 91% pelas doses de fósforo aplicadas com as fontes Superfosfato triplo, FNB, FNT e FNR, respectivamente.

Tabela 4: Equações de regressão relacionando o diâmetro das plantas de milho (*Zea mays*) (mm) com as doses e fontes de fósforo dentro de cada fonte.

Fonte	Equação de Regressão	R ²
Superfosfato Triplo	$y = -0,000139x^2 + 0,059210x + 3,031$	0,883
FNB	$y = 0,014x + 2,308$	0,819
FNT	$y = -0,000008x^2 + 0,005290x + 2,614$	0,967
FNR	$y = -0,000031x^2 + 0,017965x + 2,781$	0,910

4. CONCLUSÃO

Todas as fontes de fosfato proporcionaram aumento na altura e diâmetro nas condições estuda. De modo geral, a dose de 300 mg kg de P foi a que mais influenciou na altura e no diâmetro do milho em todas as doses avaliadas.

Entre as fontes utilizadas, o superfosfato triplo e o FNB são as fontes mais viáveis para serem utilizadas na adubação do milho, pois as mesmas promovem maior altura e diâmetro do caule.

1. Yamada T, Abdalla SRS. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. 726 p.
2. Corrêa RM, Nascimento CWA do, Souza SK de S, Freire FJ, Silva GB da. Gafsa phosphate and triple superphosphate for dry matter production and uptake by corn. *Sci Agric*. 2005; 62(2):159-164.
3. Cordell D. The story of phosphorus. Sustainability implications of global Phosphorus scarcity for food security. Linköping University; 2010.
4. Liu YVG, Ayres, RU, Schroder H. Global phosphorus flows and environmental impacts from a consumption perspective. *Journal of Industrial Ecology*. 2008;12:229-47.
5. Smit AL, Bindraban PS, Schroder JJ, Conjin JG, Van Der Mee HG. Phosphorus in agriculture: global resources trends and developments. Wageningen. Plant Research International, Report n. 282, 2009.
6. EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013.
7. EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Embrapa. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2º ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2009. 627 p.
8. Silva F de AS, Azevedo CAV de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 2002; 4(1):71-78.
9. Pacheco AC, Tiritan CS, Marquez PAA, Silva AF da. Efeito da aplicação de fosfato natural em plantas de fáfia cultivadas a campo. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*. 2012;5(1):175-186.
10. Resende AV, Neto AEF, Alves VMC, Muniz JÁ, Curi N, Faquin V, Kirnpara DI, Santos JZL, Carneiro LF. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 2006;30(3):453-466.
11. Oliveira FA de, Cavalcante LF, Silva I de F, Pereira WE, Oliveira JC de, Filho JF da C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2009;4(3):238-244.
12. Lucena L de FC, Oliveira FA de, Silva I de F, Andrade AP de. Respostas do milho a diferentes níveis de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2000;4(3):334-337.