

# INFLUENCIA DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE MAP REVESTIDO COM POLIMEROS DE LIBERAÇÃO GRADUAL NA CULTURA DO MILHO

## INFLUENCE OF APPLICATION OF DIFFERENT SOURCES OF MAP COATED WITH GRADUAL RELEASE POLYMERS IN CORN CULTURE

Adriane de Andrade SILVA<sup>1</sup>; Tales Souza SILVA<sup>2</sup>;

Ana Carolina Pereira de VASCONCELOS<sup>2</sup>; Regina Maria Quintão LANA<sup>3</sup>

1. Bolsista FAPEMIG, Pós-doutoranda do Instituto de Ciências Ambientais e Agrárias – ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil, [zoodrika@uol.com.br](mailto:zoodrika@uol.com.br); 2. Graduanda em Agronomia, ICIAG- UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 3. Professora Titular, ICIAG- UFU, Uberlândia, MG, Brasil, [rmqlana@iciag.ufu.br](mailto:rmqlana@iciag.ufu.br)

**RESUMO:** Entre os fatores que podem contribuir para a melhoria da produtividade da cultura do milho está o melhor aproveitamento das fontes de fertilizantes. A tecnologia de revestimento de fontes solúveis com polímeros de liberação gradual é uma das alternativas mais promissoras, sendo fundamental avaliar o seu comportamento no sistema solo-planta. O objetivo foi avaliar duas fontes de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional. Instalou-se em casa de vegetação, um ensaio em delineamento em blocos casualizados com 3 fontes e 5 doses de fósforo. Os tratamentos consistiram na aplicação do equivalente a 0, 40, 60, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de MAP sem tratamento com polímero, Phosmax e Phosmax Plus (MAP revestidos). As doses foram aplicadas em vasos de 3 kg de solo em cobertura sem incorporação e subsequente semeadura do milho. O experimento foi conduzido por 30 dias quando foram realizadas as mensurações vegetativas de diâmetro de colmo e produção de matéria seca. O uso de MAP revestido com polímeros e MAP convencional influenciaram todos os dados vegetativos e químicos avaliados. O uso de revestimento com polímero de liberação gradual permite uma disponibilização gradual do P para o solo sem reduzir a eficiência na absorção pela planta de milho. Independente da fonte aplicada o solo apresenta teor de P remanescente equivalente.

**PALAVRAS - CHAVE:** Fertilizantes encapsulados. Adsorção de fósforo. Produtividade.

### INTRODUÇÃO

A cultura do milho no Brasil é de grande importância para o agronegócio nacional, a produção nacional de milho na safra 2010/11, foi de 57,5 milhões de toneladas, sendo que a segunda safra contribuiu com 38% deste total, 21,85 milhões de toneladas (CONAB, 2011). A cultura é também base de sustentação para a pequena propriedade, (Duarte et al., 2008). Com importância na alimentação humana e de animais, bem como na indústria para a produção de amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos importantes em nosso cotidiano.

Entre os fatores que afetam a produtividade da cultura no Brasil está o mau aproveitamento dos fertilizantes fosfatados e conseqüentemente a má nutrição das plantas. A principal causa da reduzida eficiência de aproveitamento está ligada à complexa dinâmica do fósforo (P) no solo (YOST et al., 1981), especialmente nas condições de solos mais intemperizados, ácidos e argilosos, com alta capacidade de fixação de fosfatos (LOPES, 1983). O principal fator responsável pelos baixos índices de produtividade, principalmente em pequenas propriedades, é a inadequada nutrição da planta, que

aliada a pouca eficiência de algumas fontes de fertilizantes compromete o sistema de produção.

A carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros decorre da forte interação desse nutriente com os colóides do solo, proporcionando alta capacidade de fixação e baixa disponibilidade de P, concorrendo para resposta à adubação fosfatada na grande maioria dos solos brasileiros, principalmente nos Latossolos (NOVAIS et al., 2007). Apesar da sua baixa exigência pelas culturas em relação a outros macronutrientes (MALAVOLTA, 2006), sua adubação representa um investimento inicial alto pelas grandes quantidades utilizadas devido ao seu baixo teor natural e à sua alta adsorção pelos solos (SOUZA; LOBATO, 2004).

Como o fósforo tem reservas mundiais finitas o estudo de fontes mais eficientes torna-se fundamental para a sustentabilidade ambiental. Sendo assim, torna-se necessário o uso de fontes que possam disponibilizar mais lentamente o P, minimizarem os processos de fixação e favorecer a sua absorção, conseqüentemente, a maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999), e dentre elas encontra-se o encapsulamento com polímeros de liberação gradual.

Os polímeros utilizados no encapsulamento são macromoléculas que se repetem, ou seja, são monômeros que tem em sua estrutura química carbono e hidrogênio. Segundo Vasconcelos et al. (2010) é conhecido atualmente mais de 10.000 polímeros, cada qual tem um comportamento diferenciado para o encapsulamento, alguns têm sua liberação controlada pela umidade, outros pela temperatura, sendo importante saber qual o comportamento destes polímeros aplicados em adubos para que o resultado seja satisfatório.

Com a adoção dessa tecnologia procura-se diminuir as perdas por adsorção, escorrimento superficial, volatilização e lixiviação através da liberação gradual do elemento, fazendo com que o fósforo e o nitrogênio aplicado se tornem mais disponíveis para as plantas e evitando maiores perdas no solo. Assim, requerem menor frequência de aplicação, diminuindo os gastos com mão-de-obra para o parcelamento, evitam injúrias às sementes e raízes, decorrentes de aplicações excessivas, e são pouco suscetíveis a perdas, minimizando os riscos de poluição ambiental (SHAVIV, 2001).

A tecnologia de encapsulamento das fontes com o uso de polímeros vem despertando o interesse e a desconfiança de vários pesquisadores, pois seus resultados ainda não estão bem definidos. De acordo com Malhi *et al.* (2001), o uso de fertilizante fosfatado de liberação gradual poderá resultar em deficiências no início da temporada de algumas culturas, e essa deficiência pode limitar severamente o seu potencial produtivo.

Sendo assim, objetivou-se avaliar duas fontes de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional, distintos nos parâmetros vegetativos e de solo, aos 30 dias após emergência.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação. Utilizou-se um Latossolo Amarelo distrófico típico, A moderado, textura média, fase cerrado tropical subcadosifólio, relevo suave ondulado. O solo apresentava textura média (423g kg<sup>-1</sup> de areia grossa, 205 g kg<sup>-1</sup> de areia fina, 36 g kg<sup>-1</sup> de silte e 336 g kg<sup>-1</sup> de argila) e as seguintes características químicas: pH em H<sub>2</sub>O 4,8; teores de P disponível, extraído com Mellich1, de 1,7 mg dm<sup>-3</sup>; potássio disponível de 21 mg dm<sup>-3</sup>; enxofre 9 mg dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica 21,0 mg dm<sup>-3</sup>; saturação por bases de 5% obtidos de acordo com metodologia da EMBRAPA (2009). O solo não foi submetido a correção de acidez e somente foi realizada a

fertilização com o MAP pelos tratamentos e o teor de N foi ajustado para que em todos os tratamentos tenham o equivalente ao teor aplicado na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de MAP, com uso de uréia e aplicado o equivalente a 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Os tratamentos consistiram na aplicação do equivalente a 0, 40, 60, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de MAP sem tratamento com polímero (convencional), MAP encapsulado com polímero (Phosmax) e MAP revestido com uma camada de polímero e outra de carbonato (Phosmax Plus). Sendo o delineamento experimental em blocos casualizados com 3 fontes e 5 doses de fósforo e três repetições.

As doses foram aplicadas em vasos de 3 kg de solo em cobertura sem incorporação e subsequente semeadura do milho da variedade DKB 390, no dia 15 de outubro de 2009. Após a emergência foi realizado um desbaste deixando somente 2 plântulas. O experimento foi conduzido por 30 dias quando foram realizadas as mensurações vegetativas de produção de matéria seca (MS). Realizou-se a análise foliar da MS para os teores de fósforo (P) e nitrogênio (N) e conteúdo de P na MS. Entende-se por teor de P na parte aérea para a quantidade de P em mg kg<sup>-1</sup> de MS, e o conteúdo de P indica o teor de P em relação a MS produzida, com essa mensuração retira-se o efeito de diluição em que observa-se que mesmo com a maior produção de MS houve maior absorção de P. e a análise de solo para os teores de P remanescente, P Mellich-1 e pH em água. A coleta de solo foi realizada em uma amostra simples por vaso após retirada da parte aérea, com coleta de aproximadamente 500 gramas por vaso, através de coleta. Todas as análises foram realizadas segundo metodologia descrita por EMBRAPA, (2009).

As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, sendo os dados quantitativos submetidos a análise de regressão em função das doses e os dados qualitativos em função das fontes pelo teste de tukey ambos realizados com o uso do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao teor de fósforo disponível no solo (Tabela 1), nota-se que apesar das medias das fontes, independente das doses aplicadas, não terem diferido estatisticamente entre si (P<0,05), a fonte convencional apresentou um teor de fósforo no solo com teor 57,46% e 42,33% maior em relação ao Phosmax e Phosmaxplus, respectivamente.

Esse maior teor de fósforo explica-se pelo fato das fontes solúveis, quando adicionadas ao

solo, disponibilizarem o nutriente rapidamente, aumentando sua concentração, mas têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido aos processos de adsorção e fixação que ocorrem na maioria dos solos brasileiros (Novais e Smyth,

1999). Os adubos fosfatados solúveis, como o MAP, são aplicados aos solos na forma de grânulos e, ao entrarem em contacto com o solo, ocorre uma rápida absorção de umidade, ocasionando a dissolução do P (VOLKWEISS; RAIJ, 1977).

**Tabela 1.** Teor de Fósforo disponível no solo após 30 dias da aplicação de diferentes fontes de MAP polimerizados comparados com MAP convencional em solo de textura média

Dose	Convencional	Phosmax mg dm <sup>-3</sup>	Phosmax plus	Média
0	2,05 a	2,05 a	2,05 a	2,05 C
40	17,67 a	17,25 a	17,85 a	17,59BC
60	44,20 a	29,20 a	31,97 a	44,77AB
80	80,00a	46,57 b	54,32ab	57,50 A
120	93,95a	56,00 a	60,90 a	63,44 A
Média	47,57 a	30,21 a	33,42 a	
DMS %	21,63			
CV%	75,26			

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na linha e maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que, independente da fonte utilizada, houve efeito das doses aplicadas onde as maiores doses apresentaram um teor de fósforo disponível no solo superior, ou seja, tanto a fonte convencional quanto as fontes polimerizadas disponibilizaram fósforo para o meio.

Essa grande disponibilidade do fósforo na solução do solo pela fonte convencional pode favorecer a maior fixação desse elemento diferentemente das fontes revestidas em que a disponibilização gradual faz com que o fósforo seja disponibilizado ao longo do ciclo da cultura. Essa redução na disponibilização demonstrada pelas fontes revestidas é o que espera-se que resulte em aumento na eficiência do fósforo no solo uma vez que segundo Gonçalves (1988), mais de 90% do P, aplicado como fonte solúvel, é adsorvido ou precipitado na primeira hora de contato com o solo.

Examinando-se as fontes revestidas com polímeros, nota-se que não houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as doses aplicadas, diferentemente da fonte convencional, que se observou diferença estatística entre a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> e as demais doses (Figura 1). Pode-se observar, que as fontes polimerizadas disponibilizaram teores menores do que as fontes convencionais, ou seja gradualmente o elemento, possibilitando uma diminuição do processo de adsorção e fixação do fósforo (Figura 1). Isso provavelmente se deve a degradação lenta do polímero e as fissuras e microporos em sua constituição, que permitirá a liberação gradual do P, pela redução do contato com o solo (LANA et al., 2010).

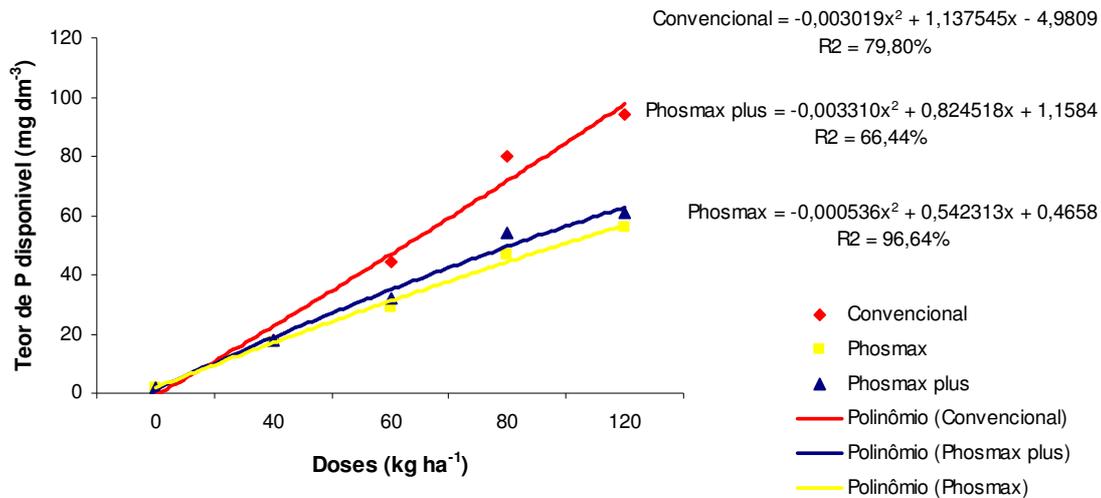
De acordo com a CFSEMG (1999) para solos com textura média o teor de fósforo disponível no solo considerado adequado é de 20 mg dm<sup>-3</sup>, ou seja, na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, independente das fontes havia fósforo disponível para atender as exigências das culturas.

Mesmo não havendo diferença ( $P < 0,05$ ) entre as fontes observa-se que na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> todas as fontes disponibilizaram teores equivalentes de fósforo. Já na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> se observa que a fonte convencional disponibilizou 15 mg dm<sup>-3</sup> e 12,23 mg dm<sup>-3</sup> a mais do que as fontes phosmax e phosmaxplus, respectivamente. Ainda neste sentido, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> e 120 kg ha<sup>-1</sup> observa-se que a diferença entre a fonte convencional e as fontes revestidas foi em média de 32 mg dm<sup>-3</sup>, evidenciando-se assim que as fontes revestidas apresentaram liberação gradual de P para o solo mais lenta que a convencional.

Analisando-se as curvas de regressão (Figura 1), verifica-se que todas as fontes apresentaram um ajuste linear, aumentando o teor de P disponível com o aumento da dose, diferenciando-se apenas pela inclinação das curvas.

As três fontes apresentaram comportamentos equivalentes até a dose de 20 kg ha<sup>-1</sup>, onde a partir desta dose a fonte convencional obteve um crescimento mais acentuado disponibilizando uma maior quantidade de P até a maior dose (120 kg ha<sup>-1</sup>), mostrando ainda uma tendência bem definida de crescimento. Os dois fertilizantes polimerizados demonstraram reações similares mostrando a liberação menor causada pelo

revestimento. A fonte Phosmaxplus apresentou liberação apenas 10,62% superior ao Phosmax.



**Figura 1.** Conteúdo de Fósforo disponível no solo em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional.

Esta distinção entre as duas fontes polimerizadas pode ser justificada pelos diferentes revestimentos (polímero e carbonato), onde cada revestimento possui um comportamento diferenciado no solo. Ainda de acordo com Lana et al. (2010), o Phosmax é um revestimento que promove uma proteção física do fertilizante que reduz a ação de umidade e temperatura e há inibição de fatores químicos, como ação do pH e dissociação da fonte. Segundo esta autora o Phosmax tem microfissuras em seu revestimento permitindo que o MAP seja disponibilizado para as plantas, ou seja, esse revestimento não indisponibiliza a fonte de nutriente, permite uma liberação gradual do P e sua ação não é no grânulo e sim o seu revestimento que

apresenta uma liberação gradual, assim, reduzindo os fenômenos de fixação de P no solo.

Em relação ao teor de fósforo remanescente (Tabela 2), nota-se que na média, independente das fontes analisadas, o solo apresenta menor capacidade de adsorção com teor médio superior a  $44 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo remanescente, ou seja, com teor de P acima de  $21 \text{ mg dm}^{-3}$  encontra-se boa disponibilidade de P. Este fato pode ser explicado pela textura média do solo utilizado, com teor de argila de  $336 \text{ g kg}^{-1}$ , apresentando baixa adsorção de P. A capacidade dos solos em adsorver fósforo influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes (Moreira et al., 2006).

**Tabela 2** Teores de fósforo remanescente no solo após aplicações de diferentes fontes de MAP polimerizados comparados com MAP convencional em solo de textura média.

Dose	Convencional	Phosmax	Phosmax Plus	Média
0	42,82 b	42,82 b	42,82 b	42,82 C
40	45,07ab	44,67ab	44,05ab	45,57 B
60	45,35ab	47,00ab	45,87ab	46,35AB
80	48,52 a	47,85 a	46,95ab	46,73AB
120	49,15 a	48,52 a	47,47 a	48,17 A
Média	46,18 a	46,17 a	45,53 a	
CV %	4,71			
DMS %	1,68			

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na linha e maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Lana et al. (2010) trabalhando com um solo com baixo teor de P observou que o MAP convencional e o LGP (MAP polimerizado) apresentaram na média geral menor adsorção do que

a fonte Phosmax. Estes autores trabalhando com um solo argiloso com alto teor de P, verificaram que a fonte Phosmax, reduziu a adsorção do P em 6,5% em relação ao MAP convencional e 7,0% em

relação ao LGP. Estes resultados se mostram diferentes aos observados neste trabalho, onde a fonte Phosmax reduziu a adsorção em média 2% em relação à outra fonte polimerizada (Phosmaxplus) e foi equivalente ao MAP convencional.

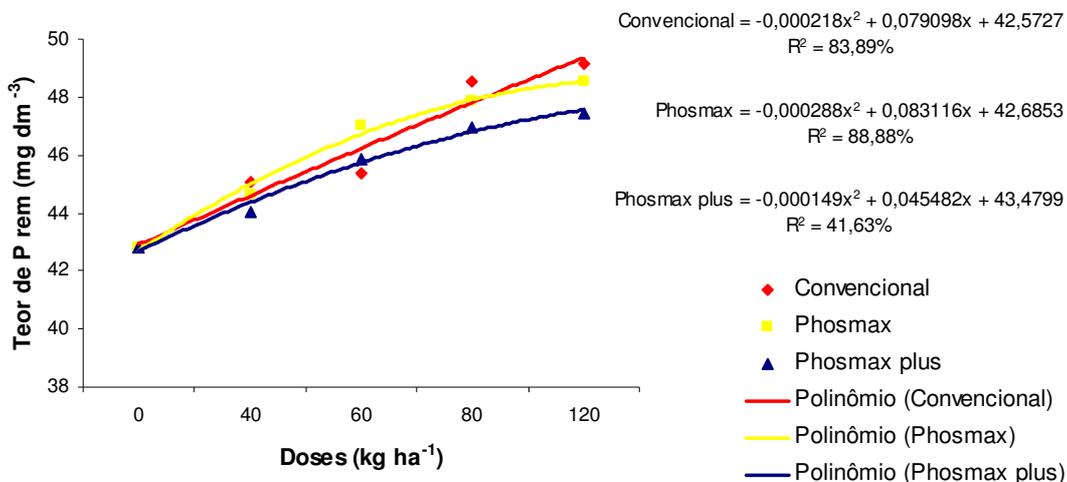
De acordo com Souza e Volkweiss (1987) os mecanismos de retenção do fósforo são influenciados pelo tipo de fertilizante empregado, cátions presentes na solução do solo e principalmente pelo conteúdo de argila e constituição mineralógica da fração argila. Ainda de acordo com Eberhardt et al. (2008) a amplitude dos valores de P remanescente esta relacionada com a variabilidade das características físico-químicas, granulométricas e mineralógicas do solo.

Mas pode-se observar que a fonte não influenciou o teor de P remanescente, apesar da tendência de aumento do teor de P-remanescente com o aumento da dose, porém de acordo com a CFSEMG (1999) ambos os teores encontram-se na mesma faixa de interpretação. Este fato também foi evidenciado por Lana et al. (2010), que notou efeito significativo das doses sobre o P remanescente, para a aplicação com MAP convencional, o LGP e o Phosmax em todas as doses aplicadas.

As curvas de regressão demonstraram um ajuste raiz quadrada em função das doses de  $P_2O_5$  adicionadas (Figura 2) mostrando um acréscimo no teor de P remanescente com o aumento da dose, sendo que a diferenciação entre as fontes evidenciava-se pela tendência das curvas.

Houve efeito significativo das doses sobre o P-remanescente, para a aplicação com MAP convencional, Phosmaxplus e o Phosmax. Porém, observa-se menor adsorção de P quando se aplicam o Phosmax, e a adsorção é reduzida com o aumento da dose, sendo esta característica visualizada até a dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ . A partir desta dose a fonte Phosmax é superada pela fonte convencional. A fonte Phosmaxplus demonstrou um teor de P remanescente inferior às demais fontes em todas as doses de  $P_2O_5$  aplicadas.

Estes resultados demonstram que há uma variação no comportamento das fontes, e que o uso do fósforo remanescente auxilia na interpretação da disponibilidade de fósforo possibilitando segundo Grilli et al. 2007, inferir sobre a capacidade tampão do solo.

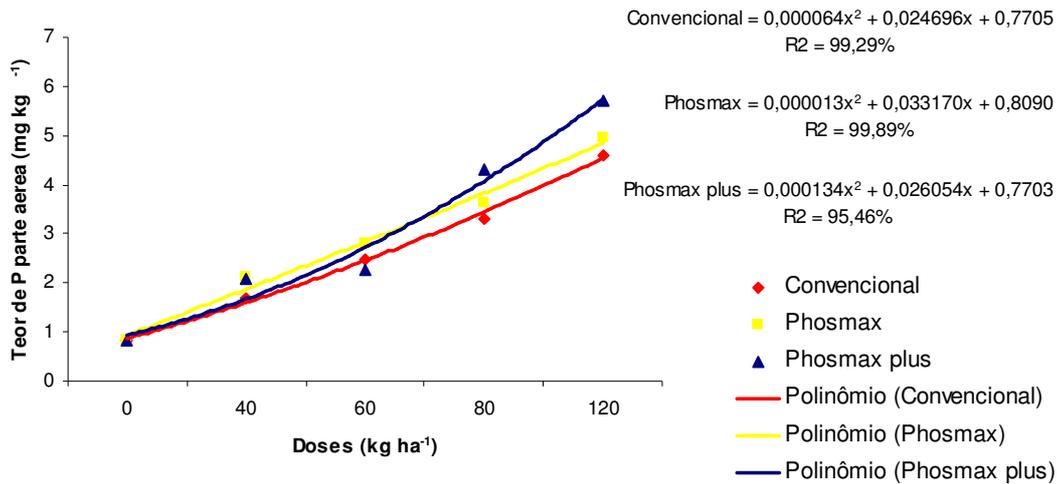


**Figura 2.** Conteúdo de Fósforo remanescente no solo em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional.

De acordo com a Figura3, nota-se que independente das fontes analisadas a maior dose aplicada apresentou o teor de fósforo na parte aérea superior às demais doses ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), alcançando um aumento de 157,86%, 102,39% e 35,46%, respectivamente. Esse efeito significativo no acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas deveu-se à elevação do teor de fósforo no tecido vegetal das mesmas com o aumento das doses de fósforo aplicadas no solo, entretanto, isto

não refletiu sobre a produção de matéria seca das plantas de milho.

Resultados semelhantes foram obtidos por Brasil et al. (2007), estudando a influência de níveis de P em solução nutritiva sobre a matéria seca e o acúmulo de nutrientes em oito genótipos de milho em Sete Lagoas, Minas Gerais, também verificaram que a maior concentração de P na solução nutritiva, proporcionou maior acúmulo de nutrientes nas plantas de milho estudadas.



**Figura 3.** Teor de Fósforo na parte aérea em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional.

Observa-se que, mesmo não diferindo estatisticamente ( $P < 0,05$ ), as fontes polimerizadas apresentaram uma absorção de P pelo milho superior à fonte convencional. Esta superioridade chegou a 17,44% para o Phosmaxplus e 10,85% para o Phosmax, o que comprova que mesmo as fontes revestidas com polímeros que promoverem uma disponibilização gradual, ela foi suficiente para o fornecimento de P para as plantas de milho superando a fonte convencional.

Os resultados observados estão de acordo com o que se espera de um revestimento, ou seja, que ele diminua a liberação de P para o solo diminuindo as reações de adsorção e fixação sem comprometer o bom aproveitamento da planta. A liberação gradual do elemento faz com que a eficiência de absorção seja maior, pois o fornecimento constante para a solução do solo deixa o nutriente disponível para a absorção por mais tempo. De acordo com Randall e Hoefl (1988), em solos pobres em P, a localização na zona radicular efetiva geralmente resulta em maior eficiência no uso do nutriente.

Segundo afirma Malhi et al. (2001), é importante salientar que uma das vantagens percebidas da liberação gradual da demanda de fosfatos para as culturas é que poderia aumentar o rendimento e recuperação do P aplicado.

As regressões em função das doses de  $P_2O_5$  para o teor de P na parte aérea (Figura 3) deram um ajuste quadrático para ambas as fontes obtendo um aumento no teor de P foliar com o aumento da dose. Nota-se que em todas as doses as fontes polimerizadas superaram a fonte convencional mostrando a eficiência dos revestimentos sobre o MAP.

Todas as fontes utilizadas no presente trabalho têm como base o MAP (10% de N e 50%

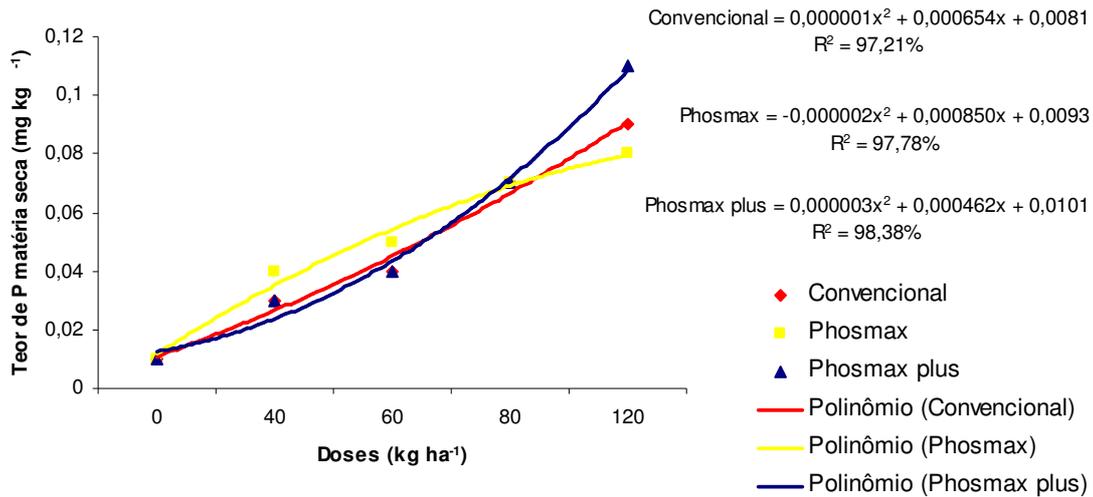
de  $P_2O_5$ ) que possui uma alta solubilidade. O revestimento não altera esta característica, somente forma uma barreira física que protege o MAP contra umidade, temperatura e fatores químicos que causariam as diversas perdas.

Analisando separadamente as fontes polimerizadas nota-se que até aproximadamente a dose de  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  a fonte Phosmax proporcionou um maior acúmulo de P na parte aérea da planta sendo ultrapassado pela fonte Phosmaxplus a partir desta dose. Esta distinção se dá pelos diferentes revestimentos de cada fonte onde cada qual tem seu comportamento diferenciado.

Analisando-se o conteúdo de fósforo na matéria seca (Figura 4), verifica-se que na média, independente das fontes utilizadas, a maior dose ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) apresentou um teor de fósforo 125% superior às doses de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e 28,57% superior à dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ . De modo geral com o aumento da dose utilizada houve um incremento de fósforo na parte aérea revestida em matéria seca.

O acúmulo de P na MS de acordo com as curvas de regressão aumentou com o aumento da dose, obtendo um ajuste raiz quadrada para todas as fontes. A fonte Phosmax possibilitou um incremento superior às demais fontes até a dose de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  sendo superada pela fonte phosmaxplus convencional, respectivamente, a partir destas doses. O fertilizante Phosmaxplus apresentou um comportamento similar à fonte convencional diferindo apenas a partir da dose de  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  mostrando um crescimento bem mais acentuado.

A fonte Phosmax apresenta uma tendência de estabilização ou redução no conteúdo de P na MS com o aumento da dose diferindo das demais fontes onde essa tendência é de crescimento.

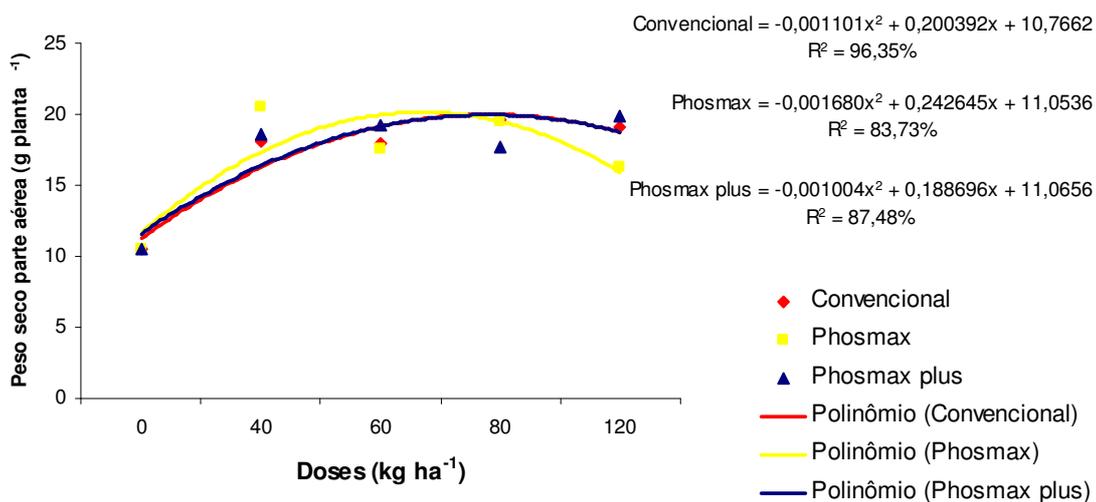


**Figura 4.** Conteúdo de Fósforo na Matéria Seca em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional, Uberlândia, 2010.

As fontes encapsuladas disponibilizaram quantidades adequadas para a nutrição do milho assim como o fertilizante convencional, mostrando que no crescimento inicial, até os 30 dias de cultivo, não houve diferença entre o uso ou não dos polímeros (Figura 5). De acordo com Malhiet *al.* (2001), o uso de fertilizante fosfatado de liberação gradual poderá resultar em deficiências no início da temporada de algumas culturas, e essa deficiência pode limitar severamente o seu potencial produtivo. Este fato não foi observado neste trabalho mostrando que o revestimento é eficiente até os 30 dias de cultivo.

O uso do MAP sem ou com revestimento mostrou-se eficaz no desenvolvimento inicial da cultura, pois na média todas as doses foram estatisticamente iguais diferindo apenas da testemunha.

Esta característica foi evidenciada no peso seco da parte aérea da planta (Figura 5). Analisando-se essa figura, verifica-se que não houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre as fontes utilizadas, porém todas as doses adicionadas apresentaram resultados estatisticamente iguais aumentando o peso seco da parte aérea, diferindo apenas da testemunha.



**Figura 5.** Massa seca da parte aérea em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional, Uberlândia, 2010.

O incremento em todas as variáveis analisadas foi ocasionado pelo fornecimento adequado de P, pois as raízes do vegetal se espalharam por todo o vaso, possibilitando que a

planta explorasse todo o recipiente, aumentando a eficiência de absorção do fósforo e outros nutrientes. Segundo Randall e Hoeft (1988), em solos pobres em P, a localização na zona radicular

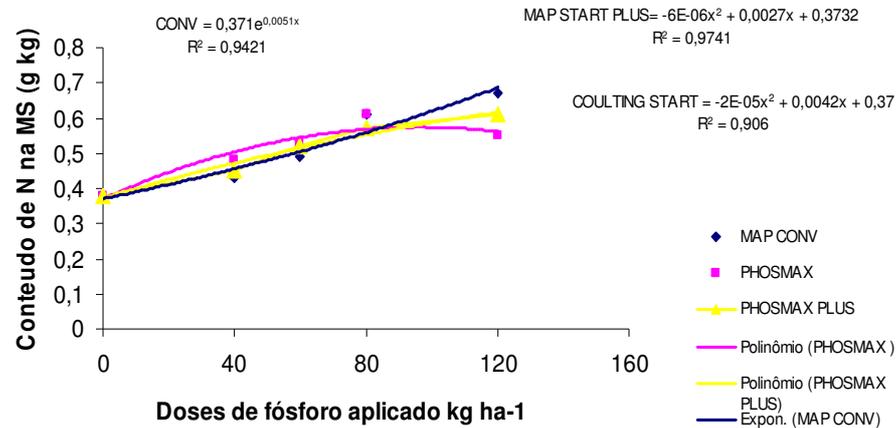
efetiva geralmente resulta em maior eficiência no uso do P. O contato do maior volume de raízes possível com o P é condição para maior crescimento do milho (NOVAIS et al., 1985). Grant et al., (2001) afirma que o P afeta o desenvolvimento da cultura desde as fases iniciais.

Além disto, o solo utilizado possui uma baixa disponibilidade natural de fósforo, conseqüentemente as respostas à adubação fosfatada pode ser vista em qualquer dose adicionada. Respostas generalizadas das culturas à adubação fosfatada também são reportadas por Oliveira et al. (1982) para a grande maioria dos Latossolos brasileiros.

De acordo com a Figura 5, o peso seco da parte aérea, apresentou um ajuste quadrático em todas as fontes em função das doses de  $P_2O_5$  adicionadas.

As três fontes (Convencional, Phosmax e Phosmaxplus) obtiveram um crescimento na massa seca da parte aérea do milho (Figura 5) até as doses de  $91 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $72 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $94 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, alcançando um incremento na matéria seca de aproximadamente  $20 \text{ g planta}^{-1}$ . O acúmulo médio de matéria seca obtido no referente estudo foi cerca de 10% menor que os obtidos por Vieira et al. (2007), em estudos em casa de vegetação com a cultura do milho cultivada por 39 dias em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes doses de lodo de parboilização de arroz.

Em relação ao teor de nitrogênio na matéria seca (Figura 6), nota-se que na média não houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre as fontes analisadas, entretanto proporcionaram características semelhantes em relação às doses aplicadas.



**Figura 6.** Conteúdo de nitrogênio na Matéria Seca em função de diferentes doses de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual e MAP convencional, Uberlândia, 2010

Os acúmulos de N na MS das plantas de milho foram influenciados estatisticamente pelas doses de P aplicadas ao solo antes do plantio das plantas de milho a 5% de probabilidade onde em média as maiores doses ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) apresentaram um acréscimo de aproximadamente 60% em relação à testemunha e 35% em relação a menor dose ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2009), em estudos com doses de N e P em um Latossolo Vermelho distroférrico, típico, A moderado, textura argilosa cultivado com milho em casa de vegetação, onde verificaram que a aplicação de fósforo aumentou a assimilação de nitrogênio proveniente da uréia e de adubos verdes pelo milho.

Para Malavolta (1974), a alta taxa de quantidades acumuladas de nitrogênio está

correlacionada diretamente ao desenvolvimento vegetativo em plantas novas, isto porque os processos de multiplicação e diferenciação celulares mantêm-se sempre em fluxos contínuos.

Esta distinção de comportamentos entre as fontes polimerizadas pode ser justificada devido à diferença de composição de seus revestimentos, pois cada revestimento possui um comportamento diferenciado. Segundo Vasconcelos et al. (2010), atualmente são conhecidos mais de 10.000 polímeros, cada qual tem um comportamento diferenciado para o encapsulamento, alguns têm sua liberação controlada pela umidade, outro pela temperatura, sendo assim, é importante saber qual o comportamento destes polímeros aplicados em adubos para que o resultado seja satisfatório.

Neste sentido, torna-se necessário a realização de estudos complementares sobre os

diferentes tipos de revestimentos para compreender os seus comportamentos em relação à liberação, absorção e acúmulo dos nutrientes.

## CONCLUSÕES

O uso de MAP revestido com polímeros e MAP convencional influenciaram todos os dados vegetativos e químicos avaliados.

O uso de revestimento com polímero de liberação gradual permite uma disponibilização

gradual do P para o solo sem reduzir a eficiência na absorção pela planta de milho.

Independente da fonte aplicada o solo apresenta teor de P remanescente equivalente.

## AGRADECIMENTOS

À Adfert pela doação das fontes revestidas e apoio para a realização deste experimento. Ao Instituto de Ciências Ambientais e Agrárias (ICIAG) e laboratório de análises de solos (LABAS) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pelo apoio à pesquisa.

**ABSTRACT:** Among the factors than can contribute to improving the productivity of maize is the best use of fertilizer sources. Is available coating technology with soluble polymers gradual release and it is essential to evaluate the behavior in soil-plant system. He settled in a greenhouse at the Federal University of Uberlândia-UFU, an essay in randomized block design with three sources and five doses of phosphorus. The treatments consisted of applying the equivalent of 0, 40, 60, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> MAP without treatment with conventional polymer, and PhosmaxPhosmax Plus (MAP coated). The doses were applied to pots of 3 kg of soil cover without incorporation and subsequent seeding of corn. The experiment was conducted for 30 days and made measurements of vegetative, dry matter (DM). The use of polymers coated with MAP and MAP conventional influenced all vegetative and chemical data measured. The use of polymer coating allows a gradual release of the gradual release to soil P without reducing the efficiency of uptake by the corn plant. Regardless of the source has applied to the soil P content remaining equal

**KEYWORDS:** Encapsulated fertilizer. Phosphorus adsorption. Productivity.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 704-712, maio/jun., 2007.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa – MG, 1999. 359p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em 03 de outubro de 2011.

DUARTE, J.O. Cultivo do milho: importância econômica. <http://www.sistemasdesproçãp.cnptia.embrapa.br/Fontes.HTML/Milho/CultivodoMilho/importância.htm>. 22 Fev. 2008.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, N. 3, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA, 2009. 627 p.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**.Lavras: UFLA/DEX, 2000. 66p.  
GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. Informações agronômicas. Potafos, n. 95, 2001.

GRILLI, J. F.; ALVES, E. O.; CAMPOS, F. R. Determinação e interpretação dos teores de fósforo dos solos do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Trabalhos...** Porto Alegre: SBCS, 2007. CD-ROM.

GONÇALVES, J. L. M. **Cinética de transformação de fósforo lábil em não lábil em amostras de solos de cerrado**. 1988. 62p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LANA, R. M. Q.; JUNIOR, A. C. S.; SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q. Teores de fósforo remanescente após aplicação de doses crescentes de MAP revestido com polímero de liberação gradual. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Trabalhos...** Teresina: Embrapa meio-norte, 2010. CD-ROM.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

MALHI, S. S.; HADERLEIN, L. K.; PAULY, D. G.; JOHNSTON, A. M. Improving fertilizer phosphorus use efficiency. **Better Crops Plant Food**. Norcross: International Plant Nutrition Institute, v. 85, n. 2, p. 18-23, 2001.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas**. São Paulo. Livraria Pioneira Editora, 1974, 752 p.

MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Rev. Ciênc. Agron.**, n. 37; 2006, p. 7-12.

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

NOVAIS, R. F.; FERREIRA, R. P.; NEVES, J. C. L. & BARROS, N. F. Absorção de P e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 749-754, 1985.

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

RANDALL, G. W.; HOEFT, R. G. **Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review**. **J. Prod. Agric.**, 1:70-79, 1988.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 118-127, fev. 2009.

SOUZA, D. M. G.; VOLKWEISS, S. J. Efeito residual do superfosfato triplo aplicado em pó e em grânulos no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 141-146, maio/ago. 1987.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVAO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004, p. 13-53.

VASCONCELOS, A. C. P.; JUNIOR, A. C. S.; SILVA, A. A.; LANA, R. M Q. Conteúdo de fósforo e nitrogênio na massa seca do milho após aplicação de diferentes fontes de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Trabalhos...** Teresina: Embrapa meio-norte, 2010. CD-ROM.

VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. **Produção de matéria seca e estado nutricional de milho em solo acrescido de lodo de parboilização de arroz.** In: XVI Congresso de Iniciação Científica, Universidade Federal de Pelotas, 2007.

VOLKWEISS, S. J.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., 1976, Brasília. Bases para utilização agropecuária. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p. 317-332.

YOST, R. S.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G.C.; LOBATO, E. Residual effects of phosphorus adsorvingOxisol of Central Brazil. **Soil Science Societyof American Journal**, Madison, v. 45, p. 540-543, 1981.