

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

LOREN CHISTÉ

**TECNOLOGIA EM FERTILIZANTES FOSFATADOS E
NITROGENADOS: PRODUTIVIDADE DO MILHO E DISPONIBILIDADE DE
P NO SOLO**

Alegre – ES

2020

LOREN CHISTÉ

**TECNOLOGIA EM FERTILIZANTES FOSFATADOS E
NITROGENADOS: PRODUTIVIDADE DO MILHO E DISPONIBILIDADE DE
P NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade

Alegre – ES

2020

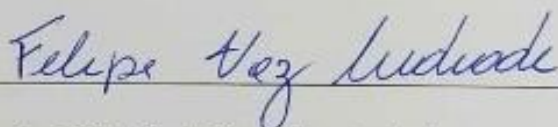
LOREN CHISTÉ

**TECNOLOGIA EM FERTILIZANTES FOSFATADOS E
NITROGENADOS: PRODUTIVIDADE DO MILHO E DISPONIBILIDADE DE
P NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 03 de Agosto de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Sc. Felipe Vaz Andrade

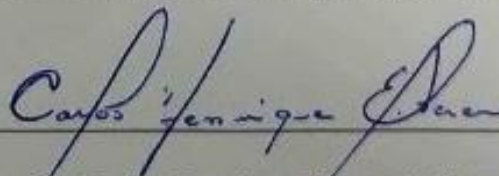
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – UFES

Orientador



Prof. Dr. Sc. Renato Ribeiro Passos

Centro de Ciências Agrárias e Engenharia – UFES



Prof. Dr. Sc. Carlos Henrique Eiterer de Souza

Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas – SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Chisté, Loren, 1994-
C542t Tecnologia em fertilizantes fosfatados e nitrogenados :
produtividade do milho e disponibilidade de P no solo / Loren
Chisté. - 2020.
59 f. : il.

Orientador: Felipe Vaz Andrade.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1 . Milho. 2. Adsorção. 3. Polímero. 4. Fósforo. 5. Nitrogênio. I.
Andrade, Felipe Vaz. II. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 63

Aos meus pais Alceu e Zilma, pelo exemplo de coragem e persistência em suas metas. A minha irmã Hérica e ao meu namorado Daniel, por tanto amor e compreensão, que me fortaleceram na concretização deste grande sonho.

‘Grandes coisas fez o Senhor por nós, e, por isso, estamos alegres’. Salmos 126: 3.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que permitiu com que este grande sonho se tornasse realidade, glorifico pois sua boa mão me sustentou até aqui, agradeço, pois somente aos pés de Jesus encontro graça, perdão, misericórdia e segurança;

Aos meus pais Alceu Pedro Chisté e Zilma Florêncio Chisté, meus grandes inspiradores, me incentivaram nas horas difíceis de desânimo e cansaço, que apesar de todas as dificuldades, me fortaleceram no amor. À minha irmã Hérica que, nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo, sempre entendeu que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente;

Ao meu grande amor Daniel Lucas, por todas as orações, pelo carinho, companheirismo, compreensão, incentivo e por tornar minha vida mais feliz. Aos meus pais mineiros César e Cássia, por sempre ter demonstrado orgulho pela minha dedicação, pelas palavras de incentivo e pela ajuda de sempre;

Ao professor e orientador Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade por toda dedicação e empenho, pela contribuição para meu aprendizado. Aos amigos Fabiano, Maria Luiza, Felipe, Danilo, Lenita, Ronaldo, Yago, Amanda, pelas contribuições nos trabalhos e sugestões durante o mestrado;

A Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste curso;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos, muito obrigada!

“Mas em todas estas coisas somos mais que vencedores, por meio daquele que nos amou”. Romanos 8:37

RESUMO GERAL

CHISTÉ, Loren, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo. Agosto de 2020. **Tecnologia em fertilizantes fosfatados e nitrogenados: produtividade do milho e disponibilidade de P no solo.** Orientador Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade.

O manejo da fertilidade do solo é considerado estratégia para certificação da capacidade em fornecer nutrientes às plantas, em condição a qual deve preservar o estoque durante o ciclo produtivo. Contudo, a eficácia no uso dos fertilizantes pode ser reduzida devido às perdas no sistema solo-atmosfera. Logo, têm-se buscado alternativas tecnológicas para aumentar a eficiência das fontes de P, em minimizar a intensidade do fenômeno de adsorção pelo solo, tornando-o mais disponível para as plantas. Bem como para o N, alternativas tecnológicas permitem o incremento na eficiência por meio da utilização de fertilizantes estabilizados. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a produtividade do milho em resposta ao efeito das tecnologias em fertilizantes fosfatados e nitrogenados, assim como a disponibilidade de P no solo e desempenho agrônomo na cultura do milho. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, seguindo um esquema fatorial 3 x 5 x 2, com quatro repetições, em que os fatores de estudo foram: três fontes de fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônio convencional – MAPCONV (11-46-00); fosfato monoamônio revestido com polímero - MAPPOL (KimCoat); fosfato monoamônio torta de filtro - MAPTF, (06-30-00), em cinco doses de P₂O₅ (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), combinados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional – UC, 45 % de N e ureia com aditivo inibidor de urease – UNBPT, 42 % de N). Avaliaram-se a produtividade, variáveis morfológicas da cultura do milho e os teores de P disponível no solo. De maneira geral, a aplicação do MAPPOL foi otimizada a partir do uso da UNBPT, proporcionando maior produtividade e massa de 1000 grãos, além do mais, para as demais variáveis morfológicas da cultura, expressaram incremento com a utilização de tecnologia em fertilizantes fosfatados, onde o uso do UC promoveu efeito para comprimento e diâmetro das espigas, sem causarem impactos no parâmetro produtivo. O fertilizante MAPCONV proporcionou menores teores de P disponível no solo, seguidos do MAPTF, MAPPOL. A aplicação dos fertilizantes fosfatados com tecnologias proporcionou maior disponibilidade de P para as plantas.

Palavras-chave: *Zea mays* L., eficiência agrônomo, polímero, torta de filtro, NBPT.

GENERAL ABSTRACT

CHISTÉ, Loren, Center for Agricultural Sciences and Engineering at the Federal University of Espírito Santo. August 2020. **Technology in phosphate and nitrogen fertilizers: corn productivity and soil P availability.** Advisor Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade.

The management of soil fertility is considered a strategy for certification of the capacity to supply nutrients to plants, in a condition that must preserve the stock during the productive cycle. However, the effectiveness in using fertilizers can be reduced due to losses in the soil-atmosphere system. Soon technological alternatives have been sought to increase the efficiency of P sources, in minimizing the intensity of the phenomenon of adsorption by soil, making it more available to plants. As well as for N, technological alternatives allow the increase in efficiency through the use of stabilized fertilizers. Thus, the objective of this work was to evaluate the productivity of corn in response to the effect of technologies in phosphate and nitrogen fertilizers, as well as the availability of P in the soil and agronomic performance in corn culture. The experimental design used was in randomized blocks, following a factorial scheme 3 x 5 x 2, with four replications, in which the study factors were: three sources of phosphate fertilizers (conventional monoammonium phosphate - MAPCONV (11-46-00); polymer coated monoammonium phosphate - MAPPOL (KimCoat); filter cake monoammonium phosphate - MAPTF, (06-30-00), in five doses of P₂O₅ (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹), combined with two sources of nitrogen fertilizers (conventional urea - UC, 45% N and urea with urease inhibitor additive - UNBPT, 42% N). The productivity, morphological variables of the corn crop and the levels of available P in general, the application of MAPPOL was optimized based on the use of UNBPT, providing greater productivity and mass of 1000 grains, besides, for the other morphological variables of the crop, they expressed an increase with the use of technology in phosphate fertilizers, where the use of UC promoted effect for length and diameter of the ears, without causing impacts on the productive parameter. The MAPCONV fertilizer provided lower levels of available P in the soil, followed by MAPTF, MAPPOL. The application of phosphate fertilizers with technologies provided greater availability of P for the plants.

Keywords: Zea mays L., agronomic efficiency, polymer, filter cake, NBPT.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	III
GENERAL ABSTRACT.....	IV
CAPÍTULO 01	10
1 CULTURA DO MILHO.....	10
2 FÓSFORO NA PRODUÇÃO.....	11
3 FÓSFORO NO SOLO	11
4 ADSORÇÃO DE FOSFATOS	12
5 TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES FOSFATADOS.....	15
6 FATORES QUE INTERFEREM NA ADSORÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO	17
6.1 <i>Temperatura e Umidade do Solo</i>	17
6.2 <i>Tempo de contato</i>	19
7 NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO	20
8 NITROGÊNIO NO SOLO.....	21
9 PERDAS DE NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO- ATMOSFERA	21
10 TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES NITROGENADOS.....	24
11 REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 02	34
RESUMO.....	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4. CONCLUSÕES	51
5. REFERÊNCIAS	53

CAPÍTULO 01

IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS PARA USO EFICIENTE NA AGRICULTURA

1 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) figura entre os principais cereais, pertencente à família Poaceae, a ser considerada principal cultura para produção agrícola, contando que conquistou patamar das principais e essenciais culturas amplamente cultivadas no mundo. No Brasil, a sua grande adaptabilidade desencadeou avanços no giro social e econômico, constituindo-se a base da alimentação e sustentação da grade da agricultura familiar (Miranda et al., 2012), sendo considerado o terceiro maior produtor e o primeiro maior exportador de milho no mundo (CONAB, 2020).

A área plantada de milho no Brasil na safra de 2019 foi de 4.905.875 hectares para a primeira safra com produção de 25.985.997 toneladas (5,29 t ha⁻¹) e com 12.765.066 hectares para a segunda safra com produção de 74.580.128 toneladas (5,84 t ha⁻¹) (IBGE, 2020). Apesar desta cultura ter alcançado potencialidade produtiva na agricultura, principalmente no âmbito do interesse econômico e social, garante o sustento como base da agricultura familiar, sendo um contribuinte importante para a vitalidade das economias regionais e nacional (Okumura et al., 2011).

O grande interesse econômico pela cultura tem proporcionado interesse na pesquisa científica, com o objetivo de maximizar a produtividade de grãos (Horbe et al., 2013). Naturalmente os solos brasileiros apresentam baixa fertilidade, principalmente do nutriente fósforo (P) (Raij et al., 1982), o que pode acarretar redução da produtividade das culturas. Desse modo, a fertilidade do solo se torna fator limitante para a produtividade nos sistemas de produção agrícola (Costa et al., 2009).

A cultura do milho é exigente nutricionalmente e alavanca aumento da produtividade (Bender et al., 2013). A extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S é um dos indicadores da necessidade nutricional para as culturas e assim, quanto maior o rendimento de fitomassa, maior a extração de nutrientes pela planta, sendo que a cultura do milho extrai uma média de 23,4 kg t⁻¹ de N e 4,2 kg t⁻¹ de P, sendo que sua exportação é de 14,4 kg t⁻¹ de N e 3,4 kg t⁻¹ de P para os grãos (Malavolta, 1997; Setiyono et al., 2010).

O manejo da adubação fosfatada e nitrogenada tem sido a prática agrícola mais estudada no sentido de melhorar a sua eficiência de uso, exercendo efeito desejado pronunciado. Em razão dos baixos teores de P disponível no solo, a adubação fosfatada torna-se necessária para garantir a máxima produtividade econômica da cultura. Nesse sentido, têm-se realizado pesquisas na adoção do sistema de uso e manejo da fertilidade do solo na aplicação de P, buscando melhorar sua eficiência na cultura do milho (Anghinoni, 1992).

2 FÓSFORO NA PRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente essencial às plantas, sua taxa de absorção é relativamente baixa quando comparada aos demais macronutrientes, entretanto seu papel é indispensável para produção das culturas. Seu fornecimento via adubação junto a adoção de boas práticas no manejo agrônomo, promove melhorias na eficiência e disponibilidade de P no solo (Sousa et al., 2012).

Este nutriente é preferencialmente absorvido pelas plantas na forma de ânions H_2PO_4^- em solos ácidos e HPO_4^{2-} em solos básicos. É um componente essencial para os principais compostos da planta, incluindo açúcares-fosfato (glicose 6P, Frutose 6P, etc), fosfolipídios de membranas, nucleotídeos usados como fonte de energia (ATP) e nos ácidos nucleicos, fortalecendo o complexo radicular e frutos em desenvolvimento (Souza, 2014).

Segundo Almeida et al. (2016), a absorção de P pelas culturas é afetada conforme a concentração de P na solução do solo, sendo governado conforme os teores de argila, mineralogia predominante, pH do solo, umidade, compactação do solo, e o modo de aplicação dos fertilizantes. Assim, as doses recomendadas do nutriente geralmente são elevadas, dependendo da classificação física do solo, devido à alta capacidade de adsorção de P, reduzindo sua disponibilidade às plantas (Gazola et al., 2013).

3 FÓSFORO NO SOLO

O solo é a principal fonte de nutrientes para as plantas e a disponibilidade de P, é afetada pela acidez e pelo predomínio de óxidos de Fe e Al encontrados em solos muito intemperizados, podendo favorecer perdas por precipitação/adsorção. O elevado grau de intemperismo condiciona solos com forte caráter dreno, principalmente em relação aos

fosfatos, dificultando absorção de P em quantidades necessárias para o desenvolvimento das culturas (Novais & Smith, 1999).

O P, assim como os demais nutrientes é fornecido por intermédio da adubação, entretanto a quantidade de P aplicada deve ser imprescindível no momento do plantio, pois o mesmo deve ser suficiente para manter a disponibilidade adequada do nutriente até o momento em que a planta alcançar o estágio produtivo (Marschner, 1995).

Em síntese, o teor total de P dos solos varia de 200 e 3.000 mg kg⁻¹, por outro lado, menos de 0,1 % desse valor encontra-se prontamente disponível na solução do solo. Solos com elevado grau de intemperismo, apresentam capacidade em adsorver mais de 2 mg cm⁻³ de P (Ker et al., 1996), o que representa cenário preocupante no processo de perda para produção agrícola.

O processo de transformação de P é resultante pelo tempo de contato solo-fosfato, que causa menor disponibilidade de P para as plantas, pois, com o tempo, é formado o P não-lábil. O P apresenta graus de labilidade, sendo que o fosfato se encontra prontamente disponível na solução para as plantas, assim as plantas absorvem P nas formas iônicas H₂PO₄⁻ e HPO₄²⁻, diferenciando-se entre si em função do pH, o denominado P-lábil, que se apresenta na forma fracamente adsorvida no solo. Já o P-não lábil encontra-se adsorvido fortemente por ligações covalentes, não mais estando em equilíbrio com a solução do solo (Novais et al., 2007).

À medida que as concentrações de P-solução vão se exaurindo, o P retido de forma lábil aos coloides do solo, repõe concentrações de P para a solução do solo até atingir nova condição de equilíbrio. O P-lábil, também conhecido como fator quantidade (FQ), representa a capacidade máxima do estoque de P (Novais et al., 2007).

O conhecimento do efeito da adubação associado às particularidades do solo contribui na obtenção de informações adequadas deste nutriente em relação ao fenômeno de adsorção, possibilitando melhor aproveitamento do P pelas plantas ao longo do ciclo de cultivo da cultura.

4 ADSORÇÃO DE FOSFATOS

Grande parte dos solos brasileiros é altamente intemperizada, logo possuem óxidos de Fe e de Al que possuem elevada capacidade de adsorção de P, ocasionando baixa disponibilidade natural deste elemento no solo (Volksweiss & Raij, 1977). Além disso, o processo de adsorção de P pode ser influenciado por diversos fatores, sendo os

principais: pH, teor de argila (Novais & Smyth, 1999) e matéria orgânica (Andrade et al., 2003).

A disponibilidade de P também é influenciada pelo mecanismo de transporte no solo fluxo difusivo, que desloca o íon fosfato respeitando o fluxo do gradiente de maior para o de menor concentração (Novais et al., 2007). De forma simplificada, a disponibilidade de P é resultante da inter-relação entre fator capacidade de P (FCP) ou poder tampão de fosfato, sendo definido pela razão de equilíbrio entre o fator quantidade de P (fator Q) e o P em solução (fator I) (Figura 1), e isto representa a capacidade do solo em manter níveis determinados de P em solução (Gonçalves et al., 1989).

A precipitação também contribui para a baixa disponibilidade de P, ocorrendo reação com formas iônicas de Fe, Al em solos ácidos e com Ca em solos básicos, formando compostos de baixa solubilidade, sendo esta influenciada pelo pH do solo.

Em solos com pH ácido ocorre o predomínio de precipitados de P na forma de Al e Fe em solução (Haynes, 1984). Em solos naturalmente alcalinos, ou com adoção excessiva do uso da calagem, por exemplo, este eleva o pH e promove a precipitação predominantemente na formação de fosfatos de cálcio (Hsu, 1965).

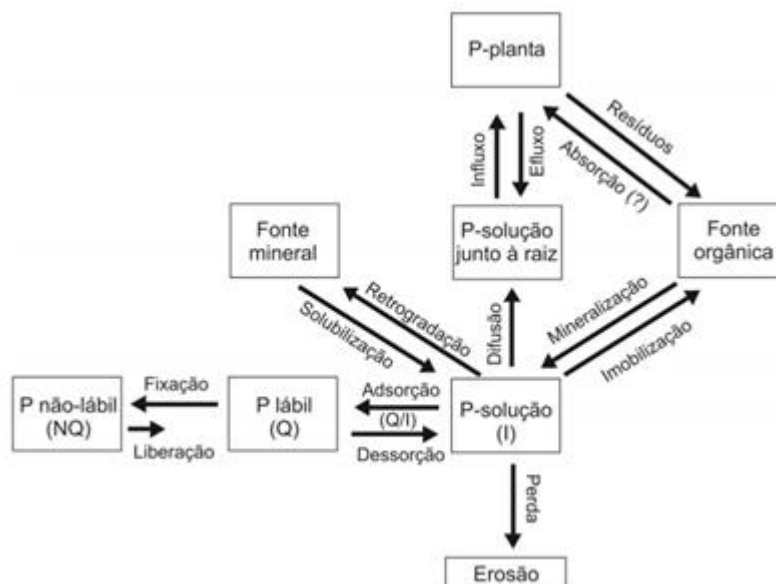


Figura 1- Formas de P no sistema solo planta. Fonte: Adaptado de Novais e Smyth (1999).

O fenômeno de adsorção de P é potencializado no predomínio dos minerais: óxidos de Fe e Al (Fox & Searle, 1978). A adsorção de fosfato é influenciada pelos minerais predominantes encontrados nos solos, que apresentam grupamentos Fe-OH e

Al-OH, os quais podem ser adsorvidos por meio de troca de ligantes envolvendo ligações covalentes (Mesquita Filho & Torrent, 1993).

Segundo Barrow (1980), a adsorção de P no solo ocorre de maneira específica do fosfato com as superfícies de cargas variáveis, como óxidos de Fe, Al e caulinita, que são capazes de reter íons fosfato através da efetivação de ligações mono e bidentadas do fosfato com dois átomos metálicos na superfície da argila (Pinto, 2012), fato que proporciona um forte caráter dreno, principalmente em relação aos fosfatos.

A forte interação do fosfato com a matriz sólida, especialmente em solos com alto teor de argila, redonda forte caráter dreno de P, comprovada pelos altos valores de CMAP e baixo valor de P remanescente, sendo úteis para quantificar a adsorção de íons no solo (Olsen & Watanabe, 1957; Machado & Souza, 2012).

Inicialmente, o fenômeno de adsorção ocorre em fase rápida, por atração eletrostática entre o ânion fosfato e a superfície da argila e, posteriormente há a troca de ligantes, com ligações coordenadas simples (Novais & Smyth, 1999). Por esta razão, ao decorrer do tempo, há o envelhecimento desta ligação em que ocorre a formação da ligação bidentada através da afeição de dois oxigênios do fosfato ao metal, tornando o P indisponível na solução e, conseqüentemente, a indisponibilidade para as culturas (Bohn et al., 1985).

A ligação bidentada de P ao solo exprime força altamente estável, transformando o P na forma não lábil (Figura 2), desta maneira não haverá reposição de P pela fase sólida, diminuindo drasticamente as concentrações de P na solução do solo (Novais et al., 2007; Fernández et al., 2008).

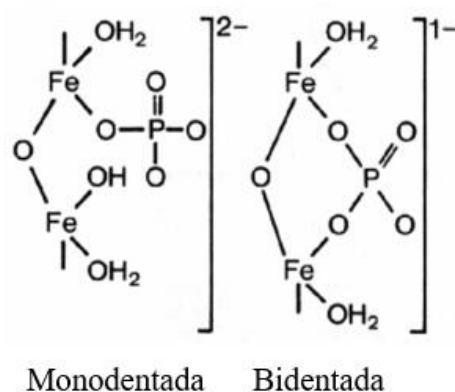


Figura 2 - Esquema representativo, ligação Mono e Bidentada entre o fosfato e óxido de Fe (Torrent, 1997).

Com o passar do tempo, o “envelhecimento” das ligações do fósforo adsorvido limita ainda mais a disponibilidade de P na solução, pois os íons fosfato passam a ser introduzidos pelas imperfeições do mineral cristalizado do solo (Almeida et al., 2003). No estado sólido é considerado “ocluso” ou “não disponível” em minerais de argila e óxidos de Fe e Al (Wadt & Silva, 2011).

A matéria orgânica reduz a adsorção de P no solo, pois atua diretamente na liberação de compostos orgânicos oriundos de sua mineralização, disponibilizando cargas negativas na região de liberação de fosfato que competem com os sítios de adsorção de P, proporcionando menor adsorção pelo solo (Silva et al., 1997).

A forte interação dos fatores que governam o fenômeno de adsorção de P nos solos intemperizados justifica o despertar do interesse à utilização das tecnologias dos fertilizantes fosfatados capazes de viabilizar a disponibilização do nutriente para as plantas.

Atualmente tem-se buscado alternativas tecnológicas para aumentar a eficiência das fontes de fósforo utilizadas com a finalidade de diminuir a intensidade de adsorção de P no solo, tornando-o mais disponível para as plantas.

5 TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES FOSFATADOS

Atualmente a produção agrícola tem sido alvo de preocupações em regiões com solos altamente intemperizados, pois há o predomínio de óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de P. A magnitude deste fenômeno é influenciada pela energia de ligação, que pode limitar a produtividade das culturas (Raij, 1991), que por sinal podem ser minimizadas pela adoção do uso de fontes com tecnologias em fertilizantes fosfatados (Lombi et al., 2004).

O grau de solubilidade e o tempo de contato das fontes com a matriz do solo apresentam principais fatores contribuintes para o controle dos processos de adsorção (Machado & Souza, 2012), pois a liberação em altas concentrações de P no solo propõe que 80 a 90 % de P aplicado seja perdido nas três primeiras horas de contato (Gonçalves et al., 1985).

Dentre as fontes fosfatadas se destacam: fosfatos naturais (FN), termofosfatos (T) classificados como fertilizantes insolúveis em água, primordialmente sendo os fosfatos acidulados (FA) mais utilizados no mercado brasileiro (Lopes, 1998; Prochnow et al., 2004; Lapidou-Loureiro & Melamed, 2008). As principais fontes de P utilizadas na

agricultura são obtidas através do tratamento de rochas fosfáticas com ácidos. Os principais fosfatos acidulados mais utilizados na agricultura para fornecer P para as plantas são: superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST) e fosfato monoamônio (MAP) (Lopes et al., 2004).

A disponibilidade de P para as plantas pode ser afetada conforme a composição química das fontes dos fertilizantes fosfatados, como, por exemplo, o fosfato diamônio (DAP) que inicialmente eleva o pH ao redor de seus grânulos e precipita o Al, resultando em maior disponibilidade de P no solo. Outras fontes como o SS, o ST e o MAP acidificam o pH nas adjacências dos grânulos, e assim aumentam a atividade do íon Al em decorrência da diminuição do pH promovido pela dissolução dos fertilizantes, e isso reduz a concentração de P na solução do solo (Ernani et al., 2002).

Atualmente, muitas alternativas tecnológicas são empregadas aos fertilizantes fosfatados solúveis a fim de promover melhor eficiência e assim diminuir a intensidade de adsorção de fosfato no solo, tornando-o mais disponível para as plantas. Alternativas em fertilizantes fosfatados prometem aumentar a eficiência de seu uso (Borsari, 2013), através da adição de revestimento físico, como polímeros biodegradáveis (Lubkowski et al., 2015), polímeros sintéticos (Figueiredo et al., 2012) e ácidos orgânicos (Teixeira et al., 2016) ou adição de material orgânico como cama de aviário, torta de filtro, biochar (Sousa, 2014; Castro et al., 2015).

Os fertilizantes revestidos (Figura 3) têm por finalidade disponibilizar por um maior período de tempo o nutriente para as plantas, aumentando assim a eficiência de absorção, e no caso específico do P, reduzir as perdas por adsorção (Magalhães, 2009). Este recobrimento protetor pode ter origem de substâncias orgânicas, inorgânicas ou resinas sintéticas, sendo constituintes das mesmas a ureia, como poliamidas, enxofre elementar e polímeros das mais diversas naturezas (Trenkel, 2010).

O revestimento físico baseia-se no encapsulamento da fonte solúvel, formando camada protetora contra os agentes causadores da perda de nutrientes, liberando-o gradativamente (Silva et al., 2012), reduzindo o tempo de contato com óxidos de Fe e Al e obtendo melhor cinética de liberação gradual, garantindo o prolongamento de disponibilização ao logo do desenvolvimento das culturas.

Ao aplicar o fertilizante fosfatado com tecnologia de revestimento no solo, este admite a permeabilidade de conteúdo volumétrico de água por intermédio da expansão inicial do revestimento, que solubiliza o fertilizante no interior do revestimento, prolongando e liberando-o em condições mais propícias (Vasconcelos et al., 2010).

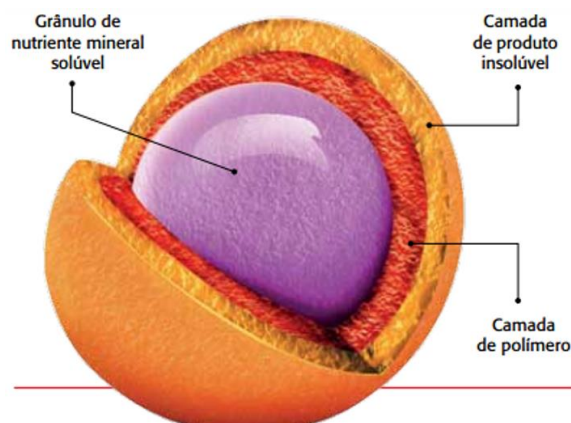


Figura 3- Recobrimento utilizado em fertilizantes (Fonte: Borsari, 2013).

O fertilizante organomineral constitui-se na adição de pequena porção de componente orgânico à fonte solúvel, apresentando uma das alternativas mais utilizadas atualmente: cama de aviário, biochar e torta de filtro (Castro et al., 2015), que auxiliam na disposição de cargas negativas na região de liberação de fósforo, possibilitando a redução de adsorção de P no solo (Sousa, 2014).

O fertilizante solúvel convencional sofre constantes intervenções sob ação direta da temperatura e umidade do solo, possibilitando a rápida liberação do nutriente em altas concentrações. Por outro lado, os fertilizantes fosfatados com tecnologia associada por possuir proteção no grânulo, promovem o controle da taxa de liberação de P (Zavaschi, 2014).

A dinâmica do P no solo é variável e depende do resultado da interação de vários fatores, logo os principais fatores que o influenciam são: temperatura e umidade em torno do grânulo do fertilizante, pois os mesmos governam a velocidade e a intensidade de liberação do nutriente (Gatiboni, 2003). A adoção de tecnologias nos fertilizantes fosfatados depende diretamente das condições específicas do meio em que são aplicadas, com características do solo e condições climáticas a fim de favorecer a disponibilização e absorção de P pelas culturas.

6 FATORES QUE INTERFEREM NA ADSORÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO

6.1 Temperatura e Umidade do Solo

Atualmente muitos estudos envolvem os fatores que governam a taxa do fluxo difusivo de P no solo, pois estes podem intensificar os fenômenos de adsorção a partir

da interação P-coloide, teor do elemento, conteúdo volumétrico de água no solo, temperatura do solo e a distância a ser percorrida até as raízes. A forte interação do P com os coloides faz com que seja registrado menor fluxo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados (Costa, 1998).

O fator temperatura atua diretamente nas reações químicas acelerando ou até mesmo retardando-as, podendo também reduzir o conteúdo volumétrico de água, intervindo no fluxo de disponibilização do nutriente, no caso específico de P, às raízes das plantas (Sims & Pierzynski, 2005; Havlin, et al., 2005).

No caso do uso de fertilizantes com tecnologias, a temperatura altera a eficiência da liberação de P pelo revestimento com polímeros, no qual a amplitude térmica pode atuar na expansão da camada do polímero que o envolve, criando microfissuras (Vitti & Reirinchs, 2007), afetando a dinâmica de liberação do nutriente.

Por outro lado, sua ação também está correlacionada ao mecanismo de liberação do nutriente envolvendo material orgânico em fertilizantes organominerais, intervindo também na atividade biológica e na decomposição dos compostos presentes (Jenny & Toledo, 1994; Oliveira & Melfi, 2003).

O fator umidade do solo contribui para o processo de absorção na camada de revestimento dos fertilizantes, aumentando o coeficiente de permeabilidade e a cinética de liberação do nutriente, reduzindo a interação com a matriz sólida, especialmente em solos com alto teor de argila. Da mesma forma, atua interferindo diretamente na taxa de decomposição do material orgânico pelo aumento da atividade biológica envolvida pelo fertilizante organomineral, podendo reduzir a adsorção de fosfato em condições adequadas (Roscoe et al., 2006). Stauffer, et al. (2020) comprovaram que em condições de maior umidade de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, pelo potencial matricial de - 10 kPa obtém-se maior fluxo difusivo de P.

A umidade do solo atua sob o fluxo difusivo de P, pois quanto mais próximo da capacidade de campo do solo menor é a interação P-coloide e isso facilita o transporte do ânion fosfato para próximo das raízes das plantas (Ruiz, 1986). O fator de impedância depende da tortuosidade do caminho e da viscosidade da água, facilitando o mecanismo de transporte (Remer & Schilling, 1981; Ruiz, 1986 a; Novais & Smyth, 1999).

Costa et al. (2006) observaram maior teor de P com o incremento do conteúdo de água aplicado para qualquer dose de P em todos os solos estudados, e concluíram

que os maiores níveis de umidade foram eficientes na difusão de P e, conseqüentemente, na disponibilidade de P para as plantas.

Portanto, a variação da umidade e temperatura do solo interfere diretamente na eficiência agrônômica no uso de tecnologias em fertilizantes fosfatados, podendo contribuir para a aceleração do processo de disponibilização/ adsorção do nutriente no sistema.

6.2 Tempo de contato

Quando os fertilizantes fosfatados solúveis são adicionados no solo, ao absorverem água, solubilizam o P rapidamente liberando elevadas concentrações de fosfato que facilmente reduzem a eficiência de seu uso ao longo do tempo, devido aos processos de adsorção ou fixação. O aumento do tempo de contato entre o fosfato e a matriz do solo, pode ocasionar menor disponibilidade de P para as plantas, principalmente em solos altamente argilosos, abundantes em óxidos de Fe e Al.

O fornecimento de P pelos fertilizantes às plantas, dependerá da reatividade do fosfato e da capacidade de adsorção de P pelo solo. A interação do P com os componentes da fase sólida ocorre através da troca de ligantes, como por exemplo, com oxidróxido de Fe e Al, onde os grupos OH e OH₂ são ligados coordenadamente ao metal e são trocados pelo íon fosfato, reduzindo a disponibilidade de P no solo e se agravando ao longo do tempo (Sims & Pierzyuski, 2005).

A princípio, a redução da disponibilidade de P é decorrente da ligação monodentada, em que um oxigênio do fosfato é ligado ao metal (Tisdale et al., 1993). Quanto maior for o tempo, maior o processo de envelhecimento da ligação, e o íon fosfato passa a se ligar em dois oxigênios ao metal, formando complexo bidentado, considerado forma de P-não lábil (fixação) (Gonçalves et al., 1985). Já o caso em que dois oxigênios do fosfatado são ligados a dois átomos do metal, forma um complexo binucleado, onde as ligações tendem à especificidade e isso resulta em menor possibilidade de dessorção (Parfitt, 1989).

Desta forma, a aplicação de fertilizante fosfatado de maior solubilidade, apresenta maior interação com óxidos de Fe e Al e isto pode representar perdas de 80 a 90 % nas três primeiras horas (Gonçalves et al., 1985). Alternativas têm sido utilizadas para fins de alterar o mecanismo primitivo na liberação de P, reduzindo o tempo de contato com o solo mediante o uso de compostos orgânicos e revestimento com

polímeros, logo reduz a intensidade do fenômeno de adsorção deste nutriente (Andrade et al., 2003), possibilitando maior absorção pelas plantas (Pavinato & Roselem, 2008).

O efeito do maior tempo de contato do fertilizante fosfatado com a matriz do solo promove a indisponibilidade de P. Soma-se ainda a reatividade dos fertilizantes, mineralogia, teor da MOS que também podem contribuir para a dinâmica do fenômeno de adsorção. Desenvolver estratégias para aprimorar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, então pode proporcionar ganhos produtivos.

7 NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta alta exigência nutricional de nitrogênio, sendo que a sua falta limita o desenvolvimento e produtividade (Fornasieri-Filho, 2007). Deste modo torna-se importante o estudo deste nutriente para o metabolismo produtivo da cultura visando à alta qualidade e sustentabilidade.

A aplicação do fertilizante nitrogenado na forma amida, rapidamente passa pelo processo de hidrólise pela ação da urease, formando NH_4^+ onde poderá ser absorvido pelas plantas, imobilizado por microrganismos ou até mesmo, pode ser convertido a NO_3^- . Uma vez absorvido, o NO_3^- é convertido para NH_4^+ , e este último é assimilado em aminoácidos e outros compostos nitrogenados, os quais constroem as proteínas e outras macromoléculas. O N pode ser absorvido pelas raízes em formas preferenciais de NO_3^- e NH_4^+ ou pode ser fixado biologicamente em uma associação simbiótica com microrganismos em que N_2 é convertido inicialmente para NH_3 (Maynard et al., 1976).

O N é um macronutriente fundamental para as plantas, pois apresenta função estrutural, contribui na formação de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, vitaminas e nos pigmentos presentes nas moléculas de clorofila, influenciando no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Taiz & Zieger, 2013), no aumentando a capacidade de interceptação da radiação solar e da taxa fotossintética (Taiz & Zeiger, 2013).

A adubação nitrogenada retrata importante operação de manejo, inteiramente responsável pelo aumento produtivo da cultura do milho, conforme comprovado por Duete et al. (2008). O manejo da adubação nitrogenada tem sido a prática agrícola mais estudada no sentido de melhorar a sua eficiência de uso (Malavolta, 2006).

Encontram-se na literatura citações sobre a influência do N no aumento do peso de mil grãos (Amaral Filho et al., 2005), do número de espigas por planta (Fernandes et al., 2005), da altura de plantas e do peso de espigas (Araújo et al., 2004), do comprimento da espiga (Büll, 1993), do diâmetro do colmo (Mar et al., 2003), da produção de matéria seca (Duete et al., 2008) e do crescimento radicular (Büll, 1993), sendo que as exigências de N pelo milho variam consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sendo a exigência de N pela cultura do milho a partir do estágio V3 a V6, quando é definindo o seu potencial produtivo (Fancelli, 2010).

8 NITROGÊNIO NO SOLO

A cultura do milho figura entre as culturas exigentes em fertilizantes, principalmente os nitrogenados (Hafiz et al., 2016). Essa dependência pelo fertilizante nitrogenado nos sistemas agrícolas tem propiciado inserção de fertilizantes sintéticos para suprir a demanda e, conseqüentemente, alavancar com a produtividade (Mosier et al., 1998).

O N é altamente dinâmico no sistema solo-planta-atmosfera. Quando aplicado em superfície, potencializam-se as perdas pelos processos de transformações biológicas e químicas, resultando em diversas formas de perda como desnitrificação, lixiviação e volatilização de amônia o que, conseqüentemente, reduzem o maior aproveitamento deste nutriente às culturas.

A nitrificação é o processo sequencial da mineralização (Krajewska, 2017), na qual tem-se a conversão de amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e de (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-) (Moreira & Siqueira, 2002). A desnitrificação é o processo que ocorre em baixas pressões de oxigênio e/ou em condições anaeróbias, pelo qual bactérias heterotróficas reduzem o NO_3^- em óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio elementar (N_2) (Lorensini et al., 2012). Outro aporte de N ocorre através da fixação biológica na qual o N_2 é convertido em NH_3 e posteriormente em N-orgânico.

9 PERDAS DE NITROGÊNIO NO SISTEMA SOLO- ATMOSFERA

A ampla necessidade de utilização dos fertilizantes nitrogenados associada ao manejo assertivo da fertilidade do solo demonstra cenário indispensável para alcançar

êxito produtivo das culturas. Além disso, os fertilizantes nitrogenados representam alto custo na implantação da lavoura e de fato, seu uso com base nos conhecimentos técnicos pode reduzir perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação (Modesto, 2014).

A lixiviação ocorre pelo processo de perda no carreamento de nitrato (NO_3^-) no solo, devido à prevalência de cargas negativas e assim, o nitrato presente em horizontes superficiais do solo pode ser percolado por meio do movimento da água ao longo do perfil (Figura 4) (Mendes et al., 2015). Já solos com altos teores de óxidos de ferro e gibbsita, podem reduzir as perdas de N por lixiviação e este fato é decorrente pela atração eletrostática entre o nitrato e os sítios positivamente carregados no solo.

A atração por cargas expostas entre nitrato e o solo representa grande importância principalmente no mecanismo em reduzir as perdas por lixiviação, simplificando o movimento do íon, em relação ao movimento da água (Raij & Camargo, 1974), que por isso gera o aumento da eficiência da adubação (Bowen et al., 1993). A retenção do nitrato também pode estar relacionada às propriedades físicas e químicas do solo, tais como pH, presença da matéria orgânica, superfície de adsorção e concentração eletrolítica (Black & Waring, 1979).

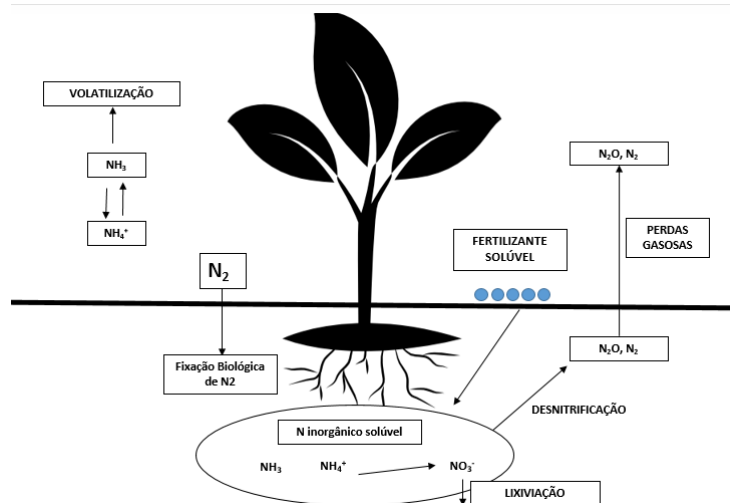


Figura 4- Ciclo resumido do Nitrogênio Fonte: adaptado de Cantarella (2007).

Os principais fatores que influenciam a concentração de NO_3^- na solução do solo são: sistema de preparo do solo, textura do solo e modo e dosagem de aplicação do fertilizante (Fey et al., 2010). Além da textura, o contato do N mineralizado a partir da MOS ou do fertilizante aplicado no solo, atinge o equilíbrio e migra para o interior dos agregados, reduzindo assim a taxa de lixiviação por NO_3^- .

As perdas decorrentes pelo processo de desnitrificação ocorrem em condições de baixa pressão de oxigênio, ou seja, bactérias heterotróficas desnitrificantes atuam na transformação do NO_3^- como aceptor alternativo de elétrons consumindo o oxigênio molecular, logo é remetido à atmosfera em formas gasosas, que são facilmente perdidas pela atmosfera (Cantarella & Montezano, 2010).

A volatilização de NH_3 inicia-se devido ao processo da hidrólise da ureia - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – que é catalisada pela enzima urease (Cantarella, 2007). A urease é uma enzima produzida por bactérias, fungos e restos vegetais, responsável pela degradação da ureia (Zhang et al., 2013). Após o processo de hidrólise, o carbonato de amônio é produzido, sendo convertido posteriormente em NH_3 , CO_2 e água (Cancellier, 2013).

O processo de volatilização ocorre quando há acúmulo de carbonato de amônio promovendo a elevação do pH do solo próximo ao grânulo do fertilizante e isto contribui para o aumento dos processos de perdas (Tasca et al., 2011). Deste modo, para solos que possuem pH em torno ou acima de 7, deve ser evitada a aplicação de N-amídico e amoniacal, pois potencializam-se as perdas por volatilização (Prosser, 2001).

Após a liberação de NH_3 por intermédio da adubação, os valores de pH especificamente ao redor do granulo são inicialmente alcalinos e tendem-se a reverter, pois a oxidação do NH_3 pela nitrificação promove a geração de ácidos que atenuam nos níveis de alcalinidade inicial durante a decomposição da ureia.

Além do pH, condições climáticas, como temperatura e precipitação, tipo de solo e práticas de manejo (Duarte et al., 2007) constituem-se como as principais variáveis atuantes nas perdas de NH_3 , pois controlam a atividade microbiana e os processos responsáveis pelas perdas de N por volatilização (Tasca et al., 2011).

A aplicação de ureia convencional, dispõe a perdas de N por volatilização da amônia podendo atingir de 50 a 70 % da dose aplicada (Naz & Sulaiman, 2016). Desse modo, o nitrogênio amoniacal, quando aplicado em solos próximos à neutralidade ou alcalinos, deve ser acompanhado de variáveis métodos de manejo como aplicação intercalada de diferentes formas básicas da ureia, de modo a promover o controle sob a tendência à alcalinidade.

Sendo assim, a volatilização é considerada um dos principais processos de perda de NH_3 , fato que preocupa grande parte dos pesquisadores e agricultores, devido à crescente utilização dos fertilizantes nitrogenados, pois estes são facilmente perdidos na forma de amônia (NH_3) e (N_2O) para a atmosfera.

10 TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES NITROGENADOS

Atualmente tem-se buscado novas alternativas que permitam a redução das perdas de NH_3 por meio da utilização dos fertilizantes nitrogenados via solo. A adoção de tecnologias em fertilizante nitrogenado permite maior incremento na eficiência de seu uso, garantindo melhor aproveitamento do nutriente no sistema solo-planta (Trenkel, 2010).

Sendo o N um nutriente muito susceptível às perdas no sistema, o mercado disponibiliza alternativas tecnológicas que permitem maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados, que podem promover a redução das perdas por volatilização e emissão de CO_2 . Nesse contexto, há mercado para fertilizantes estabilizados e de liberação lenta ou controlada, (Giroto et al., 2017) que são estratégias que alteram a cinética de liberação do N por meio da inativação temporária da enzima urease, aumentando a permanência do fertilizante, melhorando o aproveitamento de N.

A enzima urease é produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo e a interferência sob a dinâmica de sua atividade pode intervir na velocidade da transformação do N orgânico para N mineral, podendo desencadear maiores perdas de N no sistema (Lanna et al., 2010).

Por esta razão, os fertilizantes nitrogenados com tecnologias (Figura 5) podem ser divididos em três grupos: 1) fertilizantes com revestimentos orgânicos e inorgânicos (subdivididos em: revestidos com aldeídos; com enxofre; revestidos com polímeros e revestidos com enxofre e polímeros); 2) inibidores da nitrificação e 3) fertilizantes revestidos com inibidores de urease (Trenkel, 2010).

Tecnologias associadas aos grânulos de ureia, em especial o revestimento físico polimérico (Civardi et al., 2011), promovem o encapsulamento do fertilizante com polímero que são capazes de promover a liberação do nutriente por intermédio do mecanismo de controle de passagem de água para o interior do grânulo, reduzindo assim perdas por volatilização e lixiviação (Azeem et al., 2014).

Com o passar do tempo, ocorre a penetração de água para o interior do revestimento e isso faz com que ocorra maior dissolução do nutriente e posteriormente possibilita a liberação do nutriente através da membrana de recobrimento (Wei et al., 2017). O encapsulamento do fertilizante propõe cinética de liberação diferente na interação tecnologia/ ambiente, sendo capaz de influenciar a disponibilização de N após

a aplicação reduzindo a taxa de hidrólise e minimizando as emissões por volatilização (Trenkel, 1997).

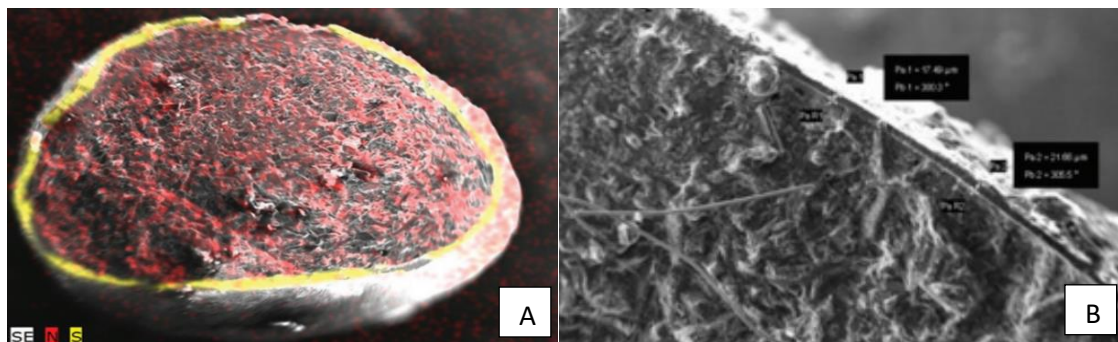


Figura 5- Eletromicrografia por microscopia eletrônica de varredura (mEV) de: grânulo de ureia revestido somente com enxofre elementar e polímeros (A); grânulos de ureia com diferentes revestimentos com polímeros (B). Fonte: Cancellier et al. (2016).

Uma das tecnologias mais utilizadas na agricultura mundial são os inibidores de nitrificação e de urease. Os inibidores de nitrificação atuam inibindo a transformação do NH_4^+ em NO_3^- , reduzindo perdas por lixiviação (Trenkel, 2010). Os inibidores de urease retardam a taxa de conversão do N na forma amídica para forma amoniacal devido à redução da atividade da urease no solo, reduzindo as perdas por volatilização (Cancellier et al., 2016; Timilsena et al., 2015).

O inibidor da urease, o tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT) (Cancellier et al., 2016), quando aplicado via solo decompõe-se rapidamente a NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida) (Chien et al., 2009), que, tem a função responsável atuante na ocupação pelos sítios ativos da urease e, conseqüentemente, retém o N por muito mais tempo na forma amídica (Guelfi, 2017). Quando o oxigênio se une ao NH_2 , a urease torna-se inativa, atrasando o pico de volatilização de NH_3 (Guelfi, 2017).

A hidrólise da ureia ocorre em ampla faixa de umidade do solo, sendo hidrolisada por volta de dois ou três dias, com a adoção da NBPT ao fertilizante nitrogenado reduz a velocidade de hidrólise, mas prolonga o pico para seis dias, apresentando sucesso no controle das perdas por lixiviação e emissão. Este mecanismo de liberação retarda o pico de volatilização do N, ocasionando maior incorporação do fertilizante pela água da chuva ou umidade do solo no sistema. Em contrapartida, a utilização da ureia convencional, possibilita o alcance de maior dissolução do fertilizante, potencializando maiores perdas pelo sistema (Souza et al., 2017).

11 REFERÊNCIAS

- AFIF, E.; BARRÓN, V. & TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. *Soil Science*, 159: 207- 211, 1995.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRON, V. Química de solos com carga variável. Piracicaba: ESALQ, 50, 2003.
- ALMEIDA, T.; POCOJESKI, E.; NESI, C. N.; SILVA, L. S.; OLIVEIRA, J. P. M. Eficiência de fertilizante fosfatado protegido na cultura do milho. *Scientia Agraria*, Curitiba, 17:1, 29-35, 2016.
- AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 3, 467-473, 2005.
- ANDRADE FV, MENDONÇA ES, ALVAREZ VVH, NOVAIS R F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27: 1003-11, 2003.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). Fertilidade do solo e Manejo da Adubação de Culturas. Porto Alegre, Genesis, 1, 117-138, 2004.
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 8, 771-777, 2004.
- AZEEM, B. et al. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*, Amsterdam, 181: 1, 11-21, 2014.
- BARROW, N.J. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: Kasewneh F, Sample G (eds) *The role of phosphorus in agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, 333-359, 1980.
- BASTOS LA, COSTA JP, SILVA IF, Raposo RWC, Souto JS. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solo de alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 136-142, 2008.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, Madison, 105: 1, 161-170, 2013.
- BLACK, A.S.; WARING, S.A. Adsorption of nitrate, chloride and sulphate by some Highly Weathered soils from South-East Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, 17: 2, 271-282, 1979.
- BOHN, H.; MCNEAL, B.; O'CONNOR, G. *Soil Chemistry*. Toronto: John Willey. 341p. 1985.
- BORSARI F. Fertilizantes inteligentes: As novas tecnologias permitem o consumo dos nutrientes pelas plantas de forma gradativa, lenta e controlada. *Revista Agro DBO*. 54-7, 2013.

- BOWEN, W.T.; JONES, R.J.; CARSKY, R.J.; QUINTANA, J.O. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-maize following legume green manure incorporation. *Agronomy Journal*, Madison, 85: 1,153-158, 1993.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (eds) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POFAFOS, 63-145, 1993.
- BURTON, S. A. Q.; PROSSER, J. I. Autotrophic ammonia oxidation at low pH through urea hydrolysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 67:2952-2957, 2001.
- CANCELLIER, E. L. Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. *Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 75, 2013*
- CANCELLIER, E.L. et al. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. *Ciência e Agrotecnologia*, 40, 15- 23, 2016.
- CANTARELLA, H. A. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 375-470, 2007.
- CASTRO, R. C.; BENITES, V. M.; TEIXEIRA, P. C.; ANJOS, M. J.; OLIVEIRA, L. F. Phosphorus migration analysis using synchrotron radiation in soil treated with Brazilian granular fertilizers. *Applied Radiation and Isotopes*, 105: 233-237, 2015.
- CHIEN S.H. et al. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*, 102, 261-316, 2009.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso: 17 de Julho de 2020.
- COSTA J PV, BARROS NF, ALBURQUERQUE AW, MOURA FILHO G, SANTOS JR. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. *R Bras Eng Agric Ambient*.10:828-35, 2006.
- COSTA, A. D.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; SILVA, F. R. D. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa MG, 33: 2, 235-244, 2009.
- COSTA, J.P.V. da. Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos. *Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 67, 1998*.
- DOMINGHETTI, A.W.; GUELFÍ, D. R.; GUIMARÃES, R. J.; CAPUTO, A. L. C.; SPEHAR, C. R.; FAQUIN, V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizer applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*, 40, 173-183, 2016.
- DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. *Ciência Rural*, 37, 705-711, 2007.

- DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 161-171, 2008.
- STAUFFER, EDUARDO, et al. Fertilizantes fosfatados de alta eficiência, fluxo difusivo de fósforo e potencial matricial em Acrudox. *Soil Research*, 58.3: 299-305, 2020.
- ERNANI PR, BAYER C, MAESTRI L. Corn yield affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. *Agronomy Journal*, 94, 305-09, 2002.
- FANCELLI, A.L. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas; anais.../ed. Luís Inácio Prochnow, Valter Casarin e Silvia Regina Stipp. Piracicaba: IPNI, 3, 43-89, 2010.
- FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4: 2,195-204, 2005.
- FERNÁNDEZ RIE, NOVAIS RF, NUNES FN, KER JC. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II - extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 32: 23, 19-30, 2008.
- FEY, R.; ZOZ, T.; STEINER, F.; RICHART, A.; BRITO, O.R. Leaching of nitrogen in column in regarding soil particle size. *Scientia Agraria*, 11: 2, 181-185, 2010.
- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 231, 2003.
- GAZOLA RN, BUZETTI S, DINALLI RP, TEIXEIRA FILHO MCM, CELESTRINO TS. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. *Revista Ceres*, 60: 876-84, 2013.
- GIROTO, A. S.; GUIMARÃES, G. G.; FOSCHINI, M.; RIBEIRO, C. Role of Slow-Release Nanocomposite Fertilizers on Nitrogen and Phosphate Availability in Soil. *Scientific Reports*, 7:1-11, 2017.
- GONÇALVES GK, MEURER EJ, BORTOLON L, GONÇALVES DRN. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 35,1633-39, 2011.
- GONÇALVES JLM, FIRME DJ, NOVAIS RF, RIBEIRO AC. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 9, 107-111, 1985.
- GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 13, 13-24, 1989.
- GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agrônomicas*, Belo Horizonte, 157, 1-14, 2017.

- HAVLIN, J. et al. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 7, 515, 2005.
- HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. *Adv. Agron.*, 37:249-315, 1984.
- HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, New York, 14: 4, 450-465, 2013.
- HSU, P.H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. *Soil Science*, Baltimore, 99, 398-402, 1965.
- IBGE– Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>> Acesso: 17 de Julho de 2020.
- JENNY, H. Factors of soil formations: a sytem of quantitative pedology. New York: Dover Publications, Inc., 1, 281, 1994.
- KER JC, FONTES MPF, SOUZA AR, RESENDE M. Adsorção de fósforo em alguns solos latossólicos: relação entre mineralogia e efeito da calagem. *R Ceres*. 43:216-26, 1996.
- KRAJEWSKA, B. Urease-aided calcium carbonate mineralization for engineering applications: A review. *Journal of Advanced Research*, 1-9, 2017.
- LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. da; SILVA, M. B. da; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 34: 6, 1933-1939, 2010.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R. O fósforo na agroindústria brasileira. In: _____, _____; Figueiredo Neto, J. Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Cetem/Petrobras, 2008.
- LOMBI E, MCLAUGHLIN MJ, JOHNSTON C, ARMSTRONG RD, HOLLOWAY RE. Mobility and lability of phosphorus from granular and fluid monoammonium phosphate differs in a calcareous soil. *Soil Sci Soc Am J*. 68: 682-89, 2004.
- LOPES AS, SILVA CAP, BASTOS ARR. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: Anais Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira. São Pedro, São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato, 11-34, 2004.
- LORENSINI, F.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; CERINI, J. B.; LOURENZI, C. R.; CONTI, L.; TRINDADE, M. M.; MELO, G. W.; BRUNETTO, G. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, 42, 1173-1179, 2012.
- LUBKOWSKI, K.; SMOROWSKA, A.; GRZMIL, B.; KOZŁOWSKA, A. Controlled-release fertilizer prepared using a biodegradable aliphatic copolyester of poly (butylene succinate) and dimerized fatty acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 2597-2605, 2015.

- MACHADO, V. J. & SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônio de liberação lenta. *Bioscience Journal*, 28, 1-7, 2012.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Editora Ceres, 631, 2006.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319, 1997.
- MAR, G.D.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. *Bragantia*, 62: 2, 267-274, 2003.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic, 1995. 887p.
- MENDES, W.C.; ALVES JUNIOR, J.; CUNHA, P.C.R.; SILVA, A.R.; EVANGELISTA, A.W.P.; CASALORI, D. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. *Revista irriga*, Edição especial, 47-56, 2015.
- MESQUITA FILHO, M.V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of ahydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). *Geoderma*, Amsterdam, 58, 107-123, 1993. McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, University Press, 406, 1994.
- MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. Economia da produção. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sogo, 11, 2012.
- MODESTO VC, PARENT SEE, NATALE W, PARENT LE. Foliar nutrient balance standards for maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. *American Journal of Plant Sciences* 5, 497-507, 2014.
- MOSIER, A.; KROEZE, C.; NEVISON, C.; OENEMA, O.; SEITZINGER, S.; VAN CLEEMPUT, O. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 52:225-248, 1998.
- NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. *Journal Of Controlled Release*, 225:109-120, 2016.
- NOVAIS RF, ÁLVAREZ VH, BARROS NF, FONTES RLF, CANTARUTTI RB, NEVES JCL. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 3, 2007
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399, 1999.
- OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 4: 2, 226-244, 2011.
- OLIVEIRA, E. M.M., et al. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8: 2-3, 196-203, 2003.

- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 21, 144-149, 1957.
- PARFITT, R.L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *Journal of Soil Science*, 40, 359-369, 1989.
- PAVINATO PC, ROSOLEM CA. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 32: 911-20, 2008.
- PEIXOTO, C.M. O milho no Brasil, sua importância e evolução, 2014. Disponível em: Acesso em: 10 de abril de 2020.
- PINTO, F. A. Sorção e dessorção de fósforo em solos de cerrado. Jataí, GO: Universidade Federal de Goiás, 46, 2012.
- PROCHNOW LI, ALCARDE JC, CHIEN SH. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: *Anais Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira*. São Pedro-SP. São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato, 605-63, 2004.
- REMER, W.; SCHILLING, G. Effect of the soil water regime on the diffusion coefficient of phosphate ions. *Soviet Soil Science*, London, 13, 110-114, 1981.
- ROSCOE R, BODDEY RM, SALTON JC. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: Roscoe R, Mercante FM, Salton JC, compiladores. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: EMBRAPA; 2006.
- RUIZ, H.A. Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fósforo em dois latossolos. Viçosa: UFV, 86, 1986.
- SETIYONO, T. D.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; WITT, C.; DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research*, Canberra, 118: 2, 158-168, 2010.
- SILVA AA, SILVA TS, VASCONCELOS ACP, LANA RMQ. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. *Biosci J.*, 28: 240-50, 2012.
- SILVA JUNIOR, H. R.; LIMA, R. E.; PERIN, A. Adubação fosfatada com fertilizantes polimerizados na cultura da soja. In: *Jornada da Produção Científica da Educação Profissional e Tecnológica da Região Centro-Oeste*, 2. 2008, Cuiabá. *Anais.... Cuiabá MT*, 2008.
- SILVA MLN, CURI N, BLANCANEUX P, LIMA JM, CARVALHO AM. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho Escuro. *Pesq Agropec Bras.*, 32:649-54, 1997.
- SIMS, J.T.; PIERZYNSKI, G.M. Chemistry of phosphorus in Soils. In: TABATABAI, M.A.; SPARKS, D.L. (Ed.). *Chemical Processes in Soil*. Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc. Madison, 151-192, 2005.

- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F.M de S. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora da Ufla, 305-329, 2002.
- SOUSA, D.M.G. de.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Eds.) Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos/Anda, 157-200, 2004.
- SOUSA, R. T. X. Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar [tese]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2014.
- SOUSA, S. M.; CLARK, R. T.; MENDES, F. F.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELOS, M. J. V.; PARENTONI, S. N.; KOCHIAN, L. V.; GUIMARÃES, C. T.; MAGALHÃES, J. V. A 63 role for root morphology and related candidate genes in P acquisition efficiency in maize. *Functional Plant Biology*, 39, 925-935, 2012.
- SOUZA, J. R.; RIBEIRO, B. N.; RAPOSO, T. P.; FIORIN, J. E.; CASTRO, G. S. A.; MAGALHÃES, R. S. Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. *Acta Iguazu, Cascavel*, 3: 4, 1-9, 2014.
- SOUZA, T. L. D.; GUELFY, D. R.; SILVA, A. L.; ANDRADE, A. B.; CHAGAS, W. F. T.; CANCELLIER, E. L. Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. *Ciência e Agrotecnologia*, 41:494-510, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 5, 918, 2013.
- TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 493-502, 2011.
- TEIXEIRA, R. S.; SILVA, I. R. SOUSA, R. N.; MATIELLO, E. M.; SOARES, E. M. B. Organic acid coated-slow-release phosphorus fertilizers improve P availability and maize growth in a tropical soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16: 1097-1112, 2016.
- TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Hoboken, 95:1131-1142, 2015.
- TISDALE LS, NELSON WL, BEATON JD. Soil fertility and fertilizers. New York: Lehig Press, 1993.
- TORRENT, J. Interactions between phosphate and iron oxide. *Adv. Geocol.*, 30:321-344, 1997.
- TRENKEL, M.E. Definitions of slow and controlled release fertilizer and nitrification and urease inhibitors. In: Slow and controlled release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, Chap. 1, 14-16, 2010.
- 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.

- VITTI GC, HEIRINCHS R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão Holística. In: Yamada, T.; Stipp SR, Vitti GC. (Ed.). Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI, 109-157, 2007.
- VOLKSWEISS, S.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M. G., (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p. 317-332.
- WADT, P. G. S.; DA SILVA, L. M. Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre. Embrapa Acre-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2011.
- WEI, Y.; LI, J.; LI, Y.; ZHAO, B.; ZHANG, L.; YANG, X.; CHANG, J. Research on permeability coefficient of a polyethylene controlled-release film coating for urea and relevant nutrient release pathways. *Polymer Testing*, 59:90-98, 2017.
- ZAVASCHI, E. et al. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 38, 1200-1206, 2014.
- ZHANG, W. F. et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, 110: 21, 8375-8380, 2013.

CAPÍTULO 02

EFEITO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DO MILHO

RESUMO

Atualmente, o uso dos fertilizantes é primordial no sucesso do desempenho produtivo da agricultura no processo de melhor aproveitamento do fósforo e nitrogênio disponibilizados via fertilizantes, onde sua falta pode comprometer o incremento e a qualidade dos alimentos produzidos. O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade do milho em resposta ao efeito das tecnologias em fertilizantes fosfatados e nitrogenados, assim como a disponibilidade de P no solo e desempenho agronômico na cultura do milho. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, seguindo um esquema fatorial 3 x 5 x 2, com quatro repetições, em que os fatores de estudo foram: três fontes de fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônio convencional – MAPCONV (11-46-00); fosfato monoamônio revestido com polímero - MAPPOL (KimCoat); fosfato monoamônio torta de filtro - MAPTF, (06-30-00), em cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), combinadas com duas fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional – UC, 45 % de N e ureia com aditivo inibidor de urease – UNBPT, 42 % de N). Avaliaram-se a produtividade da cultura do milho, aspectos morfológicos e o teor de P disponível no solo pelo extrator Mehlich -1. O uso dos fertilizantes fosfatados com tecnologias associadas proporcionou incremento para a produtividade dos grãos de milho, sendo superior ao uso do fertilizante convencional, expressando linearmente com o aumento das doses. O NBPT potencializou ganhos na produtividade de grãos associado à aplicação dos fertilizantes fosfatados com tecnologias, exceto para diâmetro e comprimento das espigas que obteve melhores resultados com o uso da ureia convencional. O fertilizante fosfatado polimerizado proporcionou as maiores médias para os teores de P disponível no solo, respondendo linearmente as doses crescentes.

Palavras-chave: Fósforo, nitrogênio, adubos com tecnologias, *Zea mays* L.

CHAPTER 02

**EFFECT OF PHOSPHATED AND NITROGENATED FERTILIZERS ON
AGRICULTURAL PERFORMANCE OF MAIZE CULTURE****ABSTRACT**

Currently, the use of fertilizers is essential in the successful productive performance of agriculture in the process of better use of phosphorus and nitrogen made available via fertilizers, where its lack can compromise the increase and quality of the food produced. The objective of this work was to evaluate the productivity of corn in response to the effect of technologies in phosphate and nitrogen fertilizers, as well as the availability of P in the soil and agronomic performance in corn culture. The experimental design used was in randomized blocks, following a factorial scheme 3 x 5 x 2, with four replications, in which the study factors were: three sources of phosphate fertilizers (conventional monoammonium phosphate - MAPCONV (11-46-00); polymer coated monoammonium phosphate - MAPPOL (KimCoat); filter cake monoammonium phosphate - MAPTF, (06-30-00), in five doses of P₂O₅ (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹), combined with two sources of nitrogen fertilizers (conventional urea - UC, 45% N and urea with urease inhibitor additive - UNBPT, 42% N). The productivity of the corn crop, morphological aspects and the P content is available in the soil by the Mehlich -1 extractor. The use of phosphate fertilizers with associated technologies provided an increase for the productivity of corn grains, being superior to the use of conventional fertilizer, expressing linearly with the increase of the doses. Associated with the application of phosphate fertilizers with technologies, except for the diameter and length of the ears that obtained the best results with the use of conventional urea. The polymerized phosphate fertilizer provided the highest averages for the levels of P available in the soil, responding linearly to the increasing doses.

Keywords: Phosphorus, nitrogen, fertilizers with technologies, Zea mays L.

1. INTRODUÇÃO

Ao considerar os avanços tecnológicos no setor agrário, a fertilidade do solo é a principal ferramenta responsável em auxiliar os componentes promotores do incremento da produtividade, sendo esta capaz de ceder os nutrientes ao desenvolvimento das plantas (Raij, 1981; Braga, 1983), promovendo disponibilização dos mesmos para as culturas (Malavolta, 1976; Raij, 1981).

O fósforo apresenta grande limitação para a produção agrícola, principalmente em regiões tropicais, por apresentar deficiência natural (Novais & Smith, 1999), devido à forte adsorção de P pelos sítios ativos do solo, faz com que 80 a 90 % do P dos fertilizantes fosfatados aplicados passe a ser fortemente adsorvido nos óxidos de Fe e Al nas três primeiras horas de contato, limitando assim a produção de grãos na cultura (Parfitt, 1989; Almeida et al., 2003; Harvey & Rhue 2008).

Apesar da baixa exigência de P pelas culturas em relação aos demais macronutrientes (Malavolta, 2006), sua aplicação representa um alto investimento devido ao baixo teor nas reservas naturais no solo em relação à alta adsorção pelo solo (Souza & Lobato, 2004), sendo considerado o processo mais importante no estudo sobre disponibilidade e dinâmica de P no solo (Oliveira et al., 2014).

O cenário de baixos níveis de P no sistema solo é atribuído aos atributos físicos, químicos e mineralógicos que governam a dinâmica do elemento, os quais apresentam alta adsorção devido à presença de óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) (Bahia Filho et al., 1983), além da argila caulinítica.

O que tem sido feito em promover eficiência do uso de P pelas culturas e reduzir as perdas por adsorção, está relacionado à adoção de tecnologias aos fertilizantes. Esta tecnologia em fertilizantes fosfatados envolve o uso com revestimento de polímeros (Figueiredo et al., 2012) ou materiais orgânicos (Castro et al., 2015), que tem sido alternativa para promover melhor eficiência, reduzindo a intensidade de adsorção de P pelo solo, podendo prolongar disponibilidade do nutriente às plantas.

A funcionalidade das tecnologias acoplada ao grânulo é influenciada pelos fatores que regulam a liberação do nutriente como: temperatura e a umidade do solo (Vitti & Reirinchs, 2007), visto que a variação dos fatores pode intervir nos mecanismos de liberação de P, atuando diretamente nas tecnologias envolvidas dependendo da intensificação dos fatores que a governam.

O fertilizante nitrogenado mais utilizado atualmente é a ureia, fonte altamente solúvel que apresenta grande suscetibilidade às perdas de N por volatilização de amônia (Buresh, 2008) que é catalisada pela enzima urease resultando na formação de íons amônio (NH_4^+) e íons carbonato (CO_3^{2-}) (Dilrukshi & Kawasaki, 2019).

Nesse sentido, novas tecnologias têm sido desenvolvidas no intuito de minimizar as perdas por volatilização, aumentando sua eficiência nos mecanismos dos fertilizantes de liberação lenta e/ou controlada. Dentre as formas de minimizar as perdas de N provenientes da ureia por volatilização, cita-se o uso de inibidores da urease (principalmente o NBPT), o revestimento da ureia com micronutrientes e de polímeros que interferem na solubilização da ureia no solo (Cantarella, 2007).

O presente estudo objetivou avaliar a produtividade do milho em respostas à aplicação de fertilizantes fosfatados e nitrogenados com tecnologias associadas, na lavoura do milho na região de Alegre- ES na primeira safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental em estudo localiza-se na região sul do estado situada no Km 47 s/n na rodovia BR 482 no município de Alegre – ES, sendo conduzido a campo na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre na Fazenda Caixa D'Água situada no distrito de Rive com latitude $20^\circ 25' 51,61''$ S e longitude de $41^\circ 27' 24,51''$ W com altitude de 136,82 m, em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média. O clima da região é do tipo “Aw” (estação seca no inverno), segundo a classificação de Köppen. A temperatura anual média é de 24°C e a precipitação anual em torno de $1.400 \text{ mm ano}^{-1}$ (Figura 1), onde são apresentadas algumas variáveis climáticas no período experimental.

O experimento foi conduzido em área com histórico de cultivo com olerícolas e culturas de ciclo anual há 30 anos, o que sugere maior promoção do efeito sinérgico à absorção de N pelo milho, no qual grande parte do N disponível às culturas pode ser proveniente da adubação nitrogenada e da mineralização/imobilização (Sampaio & Salcedo, 1993).

As análises química e física do solo foram realizadas antes da implantação da cultura do milho, na profundidade de 0-20 cm, e os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do solo da área experimental

Características	Valores
Areia (%) ¹	62,00
Silte (%) ¹	10,00
Argila (%) ¹	28,00
pH (H ₂ O) ²	6,20
P (mg/dm ³) ³	40,00
K (mg/dm ³) ³	48,00
Ca (cmol _c /dm ³) ⁴	2,16
Mg (cmol _c /dm ³) ⁴	0,52
Al (cmol _c /dm ³) ⁴	0,00
H + Al (cmol _c /dm ³) ⁵	1,71
SB (cmol _c /dm ³)	2,80
t (cmol _c /dm ³)	2,80
T (cmol _c /dm ³)	4,51
V (%)	61,74
m (%)	0,00

1- Método da pipeta (Teixeira et al., 2017); 2- Relação solo água 1:2,5; 3- Extrator Mehlich-1; 4- Extrator KCl 1 mol/L; 5- Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0

O experimento foi conduzido em área com histórico de cultivo com olerícolas e culturas de ciclo anual há 30 anos, o que sugere maior promoção do efeito sinérgico à absorção de N pelo milho, no qual grande parte do N disponível às culturas pode ser proveniente da adubação nitrogenada e da mineralização/imobilização (Sampaio & Salcedo, 1993).

A área experimental, recebeu os mesmos tratamentos no cultivo de milho anterior, em que a análise química e física do solo, expressa alto teor de P e baixo teor de argila.

Aos 50 dias antecedentes da implantação do experimento, realizou-se leve gradagem e iniciou-se as atividades com a correção da acidez usando calcário calcítico PRNT 90 % aplicado superficialmente, elevando a saturação de bases a 70% para a exigência da cultura do milho (PREZOTTI et al., 2007).

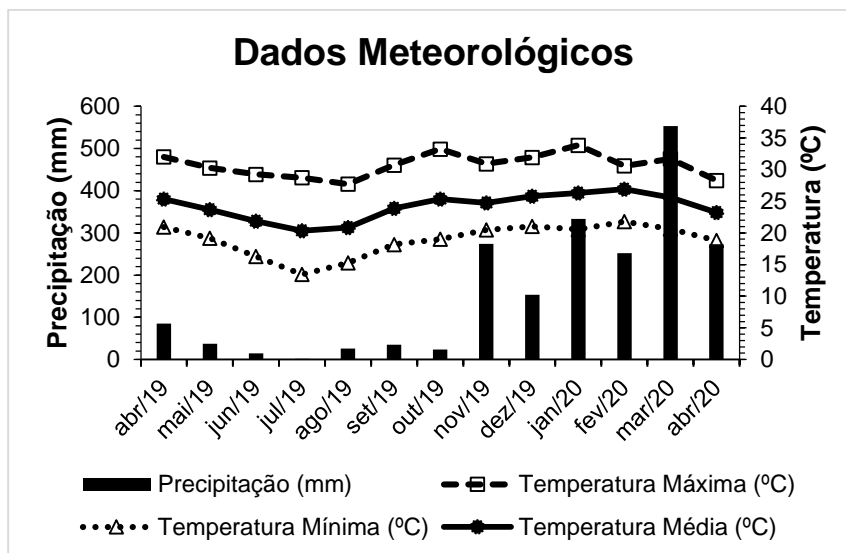


Figura 1- Valores das variáveis climáticas observadas durante o período experimental (outubro/2019 a janeiro/ 2020).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em um arranjo fatorial 3x5x2, em que os fatores de estudo consistiram na aplicação de três fontes de fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônio – MAP, (11-46-00); fosfato monoamônio polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); fosfato monoamônio torta de filtro – MAPTF, (06-30-00), em cinco doses de P_2O_5 (0, 50, 100, 150 e 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5), combinados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional – UC, 45% de N e ureia com aditivo inibidor de urease – NBPT, 42% de N). Cada parcela experimental constitui-se por seis linhas de cinco metros cada, espaçadas 0,20 m entre plantas e 0,80 m entre linhas, totalizando área de 24 m^2 por parcela, considerando-se como área útil as 4 linhas centrais.

O milho utilizado foi um híbrido cultivar Forseed 2B587, geneticamente modificado com a tecnologia PowerCore™ de ciclo precoce, com densidade de semeadura de 5 sementes por metro linear, totalizando ao redor de 60.000 plantas por hectare. A semeadura foi realizada manualmente a 3 cm de profundidade. O plantio foi realizado em outubro de 2019, sendo o experimento finalizado em janeiro de 2020.

Para a adubação de plantio utilizaram-se as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e 50 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O . O fornecimento da adubação nitrogenada foi calculado com base na maior dosagem fornecida pelo MAP convencional, sendo assim, as demais dosagens associadas aos seus respectivos tratamentos, foram suplementadas com ureia para fins de padronização no fornecimento de N. Os fertilizantes foram incorporados a 2 cm abaixo das sementes.

A adubação de cobertura foi baseada na produtividade acima de 5500 kg ha⁻¹, com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N (Ureia e NBPT) e 20 kg ha⁻¹ K₂O (Cloreto de potássio) (Prezotti et al., 2007), entre as linhas das parcelas, na superfície do solo, dividida em duas vezes, nos estádios V₄ e V₈ da cultura do milho.

O manejo de plantas daninhas foi efetuado inicialmente com capina manual e posteriormente com aplicação do herbicida. De acordo com as condições climáticas e os estádios fenológicos da cultura, a irrigação por aspersão era realizada com base nos dados obtidos pelo irrigômetro instalado na área.

A colheita do milho foi realizada aos 120 DAE de forma manual e individualmente por unidade experimental, onde o material colhido foi trilhado, em seguida pesado e retiradas 3 amostras de 200 g de cada parcela para serem submetidas à secagem em estufa de circulação de ar forçada a 35 ° C até os grãos atingirem média de 13 % de umidade.

Ao término da colheita, foi retirada uma amostra composta de solo na área útil de cada parcela (nas linhas de plantio), na profundidade 0-10 cm, para a realização da análise do fósforo disponível no solo.

Foram realizadas as seguintes avaliações: a) diâmetro da espiga (cm); b) comprimento da espiga (cm); c) massa de 1000 grãos (g); d) produtividade de grãos, determinada pela coleta de 45 plantas e transformados em t ha⁻¹ a 13 % (base úmida); e) teor de fósforo disponível no solo (mg dm⁻³) por Mehlich-1 (Teixeira et al., 2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2011). Os tratamentos foram avaliados por meio da comparação de médias por contrastes ortogonais (Alvarez V. & Alvarez, 2006) e depois analisados dentro de cada fertilizante nitrogenado e testados pelo teste F em nível de 5 % de probabilidade. Para o efeito das doses dos fertilizantes fosfatados foram ajustados modelos de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de tecnologias associadas aos fertilizantes fosfatados proporcionou aumento significativo na produtividade do milho, na massa de 1000 grãos, no comprimento e diâmetro de espiga, além dos teores de P disponíveis no solo pelo extrator Mehlich-1, frente à utilização do MAP convencional (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Valores médios da produtividade do milho ($t\ ha^{-1}$), massa de 1000 grãos (g), diâmetro das espigas (mm), comprimento das espigas (cm) e fósforo disponível no solo ($mg\ dm^{-3}$) para as diferentes doses de fertilizantes fosfatados e nitrogenados.

Doses (P_2O_5)	Prod. ($t\ ha^{-1}$)	1000 (g)	C.E. (cm)	D.E. (mm)	P Mehlich ($mg\ dm^{-3}$)	Prod. ($t\ ha^{-1}$)	1000 (g)	C.E. (cm)	D.E. (mm)	P Mehlich ($mg\ dm^{-3}$)
MAPCONV										
Ureia					UNBPT					
0	8,8	329,55	19,47	53,63	63,63	10,17	332,85	19,37	52,30	70,63
50	9,86	348,15	18,43	51,85	93,87	9,06	331,09	19,77	51,69	67,01
100	12,12	322,70	19,87	52,53	155,86	10,83	334,30	17,53	51,83	124,31
150	10,75	322,01	17,23	51,47	171,83	9,48	336,89	18,33	49,54	141,70
200	11,34	320,34	18,42	51,58	188,40	10,49	332,20	20,00	52,54	274,62
MAPPOL										
0	8,98	324,38	20,37	50,09	59,32	10,00	316,71	19,73	52,55	62,01
50	9,91	333,05	19,50	53,07	67,27	10,21	340,52	18,43	52,67	148,20
100	11,62	338,04	19,25	53,07	166,56	11,42	340,00	18,05	50,93	176,67
150	11,72	336,58	20,27	51,96	158,12	11,80	323,42	20,03	52,86	200,55
200	12,52	333,0	19,40	51,53	223,99	12,18	344,97	18,50	51,43	252,92
MAPTF										
0	8,83	331,08	19,67	54,55	59,59	10,94	341,05	19,13	50,88	28,71
50	11,87	326,07	20,23	52,06	119,84	11,27	340,91	18,63	52,92	133,37
100	10,67	330,25	18,07	52,20	136,17	9,31	328,73	19,23	52,85	158,17
150	11,27	338,29	20,17	52,57	241,11	10,73	353,97	18,30	53,12	183,95
200	10,73	330,02	19,67	53,73	140,65	10,52	330,18	18,40	52,01	256,80

MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; MAPTF - Fosfato monoamônio torta de filtro; D - Doses de P_2O_5 , Prod. – Produção, 1000 – Massa de 1000 grãos, D.E. – Diâmetro da espiga, C.E. – Comprimento da espiga, P Mehlich – Fósforo disponível no solo.

O aumento de produtividade observado pelas tecnologias em relação à fonte convencional (C1, Tabela 3) pode ser explicado pelo fato da proteção física (Borsari, 2013) e, ou adição do componente orgânico (Borges et al., 2019) serem capazes de reduzir a intensidade dos fenômenos de adsorção (Almeida et al., 2012), alterando a disponibilidade do nutriente às plantas e otimizando o uso eficiente dos fertilizantes por um maior período de tempo.

Tabela 3 - Contrastes médios (Ci) da produtividade do milho ($kg\ ha^{-1}$), peso de 1000 grãos (g), diâmetro das espigas (mm), comprimento das espigas (cm) e teor de fósforo no solo ($mg\ dm^{-3}$) pelas aplicações das fontes fosfatadas

Variáveis	C1	C2
Produtividade	-387,95*	694,70**
Massa de 1000 grãos	-3,06 ^{oo}	-1,97 ^{ns}
Comprimento das espigas	-0,41*	0,20 ^{ns}
Diâmetro das espigas	-0,46 ^{oo}	-0,68*
Fósforo no solo	-15,01*	5,73 ^{ns}

C1 = MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF); C2 = MAPPOL vs MAPTF. MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; MAPTF - Fosfato monoamônio torta de filtro). Ns, não significativo ^{oo}; * e ** significativos em 20, 10, 5, e 1%.

No caso do MAPPOL, as estruturas de revestimento são capazes de controlar a passagem de água para o interior do grânulo (Fernandez-Perez et al., 2008) liberando o nutriente quando o conteúdo volumétrico de água aumenta (Borges et al., 2019), reduzindo a interação P-coloide e aumentando a disponibilidade de P (Silva et al., 2012).

O MAPTF por possuir componente orgânico junto à fonte mineral, promove maior disponibilização de ácidos orgânicos, pode aumentar a carga negativa na superfície do solo, influenciando na formação de complexos (Kiehl, 2008), melhorando a disponibilidade de P (Castro et al., 2015). Além disso, a matéria orgânica misturada ao fertilizante, libera ácidos orgânicos no meio, que ao ocuparem os sítios de adsorção de P, reduzem a adsorção de P nos óxidos de Fe e Al (Andrade et al., 2003).

Sob mesmo efeito, a complexação de íons indesejáveis como Fe e Al pela matéria orgânica, em que os ácidos orgânicos atuam na maior efetividade na inibição dos sítios de troca aumentando, assim, a disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003), sendo dependente da concentração e do tipo de AO presente.

A liberação do nutriente promovida pelos fertilizantes com tecnologias sugere maior absorção do nutriente pelas plantas e isto traduz em incrementos das variáveis morfológicas (Grant et al., 2001). A maior absorção de P pelas plantas tem ação benéfica e essencial desde os estádios iniciais da cultura, inferindo na quantidade, tamanho (Fancelli & Dourado Neto, 2000) e qualidade de grãos produzidos.

A aplicação de MAPPOL promoveu produtividades de 11,029 t ha⁻¹, seguido do MAPTF (10,334 t ha⁻¹) e MAPCONV (10,294 t ha⁻¹) pela média de todas as doses (Tabela 2). A menor eficiência do MAPCONV está relacionada à alta solubilidade da fonte, que eleva a concentração dos teores de P na solução do solo em um curto período de tempo, potencializando a adsorção, diminuindo sua disponibilidade para a cultura ao longo do tempo.

Figueredo et al. (2012) verificaram aumento de produtividade de 3,44 t ha⁻¹ na cultura do milho a partir da utilização de MAP + polímero em relação à fonte convencional em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa. Silva Junior et al. (2008) verificaram aumento de produção de 2,0 a 2,3 t ha⁻¹ na cultura da soja com aplicação de superfosfato simples revestido com polímero. Guareschi (2010) encontrou aumento de produtividade de 3,002 t ha⁻¹ a 3,217 t ha⁻¹, ao utilizar superfosfato simples revestido com polímero 15 dias antes da semeadura e 3,106 t ha⁻¹ a 3,161 t ha⁻¹ durante a semeadura.

O MAPPOL apresentou as maiores médias para o comprimento de espigas (19,35 cm), seguido de MAPTF (19,15 cm) e MAPCONV (18,84 cm). A incorporação das tecnologias associadas à fonte convencional proporcionou incremento de 2,17 % no comprimento, 0,92 % para massa de 1000 grãos e 0,88 % para diâmetro de espiga (C1, Tabela 3).

Segundo Lombi et al. (2006), a adoção de tecnologias em fertilizantes fosfatados apresenta melhorias nos mecanismos de liberação do nutriente e na minimização das reações entre o nutriente e os componentes do solo que circundam os grânulos. Neste trabalho a utilização de tecnologias apresentou melhorias nos componentes de produtividade da cultura do milho, o que indica que os mecanismos de liberação de P tenham contribuído para o aumento de formas mais lábeis e, conseqüentemente, aumento da sua disponibilidade para as plantas (Silva et al., 2012), elevando os valores dos parâmetros produtivos da cultura.

Pereira et al. (2019) verificaram que o uso de fertilizante organomineral peletizado apresentou valor médio de 347,58 g na massa de 1000 grãos, indicando que a incorporação de tecnologia à fonte mineral pode resultar em alta produtividade da cultura do milho. Souza et al. (2012) constataram que o uso do fertilizante polimerizado proporcionou incremento de 3,88 % na produção de grãos em relação ao MAP.

O MAPPOL apresentou as maiores médias para os teores de P disponível no solo (151,56 mg dm⁻³), seguido do MAPTF (145,84 mg dm⁻³) e MAPCONV (135,19 mg dm⁻³). A incorporação das tecnologias associadas à fonte convencional (C1, Tabela 3) proporcionou incremento de 13,51 mg dm⁻³ P extraído por Mehlich-1.

O aumento dos teores de P disponível no solo observado pelas tecnologias em relação à fonte convencional (C1, Tabela 3) se deve, em grande parte, ao grau de solubilidade da fonte fosfatada e ao tempo de contato do fertilizante com a matriz do solo (Luz & Korndörfer, 2011), que são variáveis importantes no controle dos processos de adsorção, e, conseqüentemente, no aumento de disponibilidade de P. Nesse sentido, a utilização de mecanismos que são capazes de prolongar o fornecimento de P promovem elevação nos teores disponíveis no solo, conforme verificado pelas extrações em Mehlich -1, podendo resultar em maior eficiência desses fertilizantes (Trenkel, 2010).

O aumento dos teores de P disponível no solo pelo uso das tecnologias pode estar relacionado à liberação gradual do nutriente por meio do recobrimento com membranas impermeáveis ou incorporados à matriz orgânica (Zavaschi, 2010; Luz & Korndörfer, 2011), que são capazes de propiciar melhor alcance do P, contornando os

fatores que favorecem os processos de adsorção. O mecanismo de liberação gradual do nutriente, proporcionou elevação nos teores de P disponível no solo ao final do experimento, conforme verificado pelo extrator Mehlich -1, ocasionando maior eficiência desses fertilizantes (Trenkel, 2010), e conseqüentemente, maior produtividade.

Machado et al. (2012) verificaram que o MAP KimCoat promoveu a disponibilização de P ao longo do tempo, obtendo maiores teores em solos argilosos, seguido de textura média e arenoso. Por sua vez, De Andrade Silva et al. (2012) constataram incremento dos teores de P disponível no solo a partir da utilização do MAP convencional, representando 57,46 % e 42,33 % maior em relação ao Phosmax e Phosmaxplus, respectivamente. Martins (2018) após uso do superfosfato triplo e organominerais (cama de frango e fosfato), constatou que houve diferenças para teores de P disponível no solo em função das fontes.

Ao comparar-se a utilização das tecnologias (C2, Tabela 3) observa-se que a aplicação de MAPPOL proporcionou aumento da produtividade de 694,7 kg ha⁻¹ em relação à MAPTF. A maior eficiência do MAPPOL pode estar relacionada à prolongação da disponibilização de P ao longo do ciclo da cultura, resultando em melhor relação entre a demanda da planta e a liberação do nutriente.

A liberação de P por fertilizantes polimerizados ocorre em determinado conteúdo volumétrico de água (Borsari, 2013) em que o polímero controla melhor a liberação de P para ambos os potenciais de -10 e -50 kPa (Stauffer, et al., 2020), o que pode proporcionar facilidade no fluxo difusivo de P no sistema solo-rizosfera, melhorando a absorção e permitindo melhorias de produtividade (Anghinoni & Bissani, 2004).

Avaliando a utilização de fertilizantes polimerizados, De Souza et al. (2014) verificaram aumento de produtividade da soja de 448 kg ha⁻¹ (incremento de 25,7 %) a partir da utilização de MAP revestido com polímero, assim como Silva Junior et al. (2008), observaram aumento de produtividade de 2,3 t ha⁻¹, ao utilizar fertilizante revestido com polímero KimCoat-P, para a mesma cultura.

Entre os fertilizantes com tecnologia associada, o MAPTF apresentou maior diâmetro das espigas (1,30 %) (C2, Tabela 3). Para a massa de 1000 grãos e comprimento das espigas não foram encontradas diferenças entre as tecnologias (C2, Tabela 3).

O maior comprimento e, ou maior diâmetro de espigas pode estar associado ao incremento de carboidratos durante o enchimento dos grãos (Ruppin, 1997), que em razão do suprimento aprimorado de P às plantas pela utilização de fertilizantes com tecnologias, proporciona maior desempenho dos índices produtivos, resultando em ganhos de produtividade (Malavolta, 2006).

Pereira et al. (2019) verificaram que o uso de fertilizante organomineral peletizado apresentou incrementos médios, representando 2,6 cm no comprimento e 5,69 mm no diâmetro das espigas. Em contrapartida, Castoldi et al. (2011) trabalhando com três fontes de adubações (orgânica, mineral e organomineral) não encontraram diferença estatística para comprimento e diâmetro de espigas.

Não foram observadas diferenças para os teores de P disponível (Mehlich-1) no solo entre os tratamentos com fertilizantes com tecnologias associadas (C2, Tabela 3). Por certo, ambas as tecnologias utilizadas, além de apresentar mecanismo de liberação distinto (Zahrani, 2000), podem proporcionar maior disponibilidade de P ao longo do tempo e ou, competir pelos sítios de adsorção de P e com isso, associado ao período experimental de quatro meses pode ter contribuído para redução das diferenças dos teores de P no solo neste período.

A aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada em relação à fonte convencional de P (MAP) não foi capaz de proporcionar aumento de produtividade do milho (C3, Tabela 4) quando se utilizou como fonte nitrogenada a UC, registrando valores de 10,145 t ha⁻¹ para MAPPOL, 10,110 t ha⁻¹ para MAPTF e 10,005 t ha⁻¹ para MAPCONV (Tabela 2).

Tabela 4 - Contrastes médios (Ci) da produtividade do milho (kg ha⁻¹), peso de 1000 grãos (g), diâmetro das espigas (mm), comprimento das espigas (cm) e teor de fósforo no solo (mg dm⁻³) pelas aplicações de duas fontes fosfatadas e duas fontes nitrogenadas.

Variáveis	Ureia		UNBPT	
	C3	C4	C5	C6
Produtividade	-122,60 ^{ns}	35,40 ^{ns}	-653,30*	1354,00***
Massa de 1000 grãos	1,15 ^{ns}	-4,31 ^{ns}	-7,27 ^{ns}	0,36 ^o
Comprimento das espigas	0,08***	0,31 ^{ns}	-0,90 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Diâmetro das espigas	-0,01 ^{ns}	-0,23*	-0,91 ^{oo}	-1,12 ^{ns}

C3 = MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF) UC; C4 = (MAPPOL vs MAPTF) UC; C5 = (MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF) UNBPT; C6 = (MAPPOL vs MAPTF) UNBPT. MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; Fosfato monoamônio torta de filtro; UC - Ureia convencional; UNBPT - Ureia com aditivo inibidor de urease). ns, não significativo ^{oo}; ^o; *, *; ** e *** significativos em 20, 10, 5, 1 e 0,1 %.

A rápida hidrólise da UC (Reynolds et al., 1987) pode resultar na liberação de altas concentrações iniciais de N, e isto permite maior probabilidade de perdas no sistema solo-atmosfera (Shuman, 1994), que podem favorecer perdas de até 78 % do N aplicado (Lara Cabezas, et al., 2000).

Fernandes et al. (1998) encontraram baixas produtividades de milho a partir da aplicação superficial de ureia, com produtividades de 4,18 e 5,56 t ha⁻¹ de grãos a partir da aplicação de 147 e 168 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Fernandes et al. (2005) também avaliaram a eficiência da ureia no cultivo do milho e verificaram que a máxima produtividade de grãos foi de 6,0 t ha⁻¹, para a dose de 110 kg ha⁻¹ de N.

A fonte nitrogenada UC apresenta rápida liberação de N e consequente absorção pelas plantas, o que pode contribuir com a atividade fotossintética (Cruz et al., 2007), possibilitando aumentos dos teores de clorofila e maior interceptação da radiação solar pelas plantas, atuando diretamente no desenvolvimento vegetativo (Mar et al., 2003), com reflexos produtivos (Büll, 1993).

Outros autores encontraram valores médios de 13,81 cm (Civardi et al., 2011) e 18 cm (Raasch et al., 2016) para o comprimento de espigas a partir da utilização da UC. Os valores superiores encontrados neste trabalho podem estar relacionados à adubação fosfatada, que ao se utilizarem doses de até 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, pode ter proporcionado maior absorção de N, evidenciando interação de N e P no desenvolvimento da espiga de milho.

Ao comparar a utilização das tecnologias em fertilizantes fosfatados a partir da aplicação da UC (C4, Tabela 4), observou-se que não houve diferenças para a variável produtividade. As perdas de N por volatilização é o agente que pode ocasionar baixa disponibilidade desse elemento, resultando em menor enchimento dos grãos (Portes, 1996), sem comprometer a produtividade.

Esses resultados demonstram que a adubação nitrogenada sugere melhorias em seu desenvolvimento vegetativo, podendo influenciar na produtividade e, conseqüentemente, na capacidade das plantas em absorver P advindo das fontes fosfatadas, com o qual interage de forma sinérgica (Shuman, 1994).

Entre os fertilizantes com tecnologia associada, o MAPTF apresentou aumento para o diâmetro de espigas (1,30 %) em relação ao MAPPOL associado ao uso da UC (C4, Tabela 4). Para a massa de 1000 grãos e comprimento das espigas não foram encontradas diferenças entre as tecnologias.

A maior eficiência do MAPTF promovida pela associação do uso da UC, pode estar correlacionada no liberação de N e P para a cultura nos estádios iniciais da cultura (Reis et al., 2016) a fim de obter espigas com maior diâmetro. Assim como Neumann et al. (2005), que avaliaram o efeito de diferentes doses de ureia nas características agronômicas de milho para produção de silagem, obtendo melhores resultados. Vaz et al. (2019), avaliando a aplicação no parcelamento de ureia em 3, 5, 7, 9 e 11 aplicações na cultura do milho, observaram que houve diferença nos valores médios de diâmetro de espigas.

Foi observado aumento de produtividade de 653,30 kg ha⁻¹ com o uso das tecnologias em relação à fonte fosfatada convencional (C5, Tabela 4), quando se utilizou UNBPT como fonte nitrogenada.

Os melhores resultados obtidos pela UNBPT podem estar relacionados com o atraso no pico de volatilização que permite maior tempo para incorporação do fertilizante ao solo (Creason et al., 1990; Qui-Xiang et al., 1994), reduzindo as perdas por volatilização e propiciando maior absorção pelas plantas. O uso da UNBPT produziu 11,913 t ha⁻¹ para MAPPOL, 10,559 t ha⁻¹ para MAPTF e 10,583 t ha⁻¹ para MAPCONV (Tabela 2).

Araújo et al. (2004) encontraram produtividade de (11,20 t ha⁻¹) com o uso do UNBPT, representando incremento de 28 % na produtividade de milho na dose de 240 kg ha⁻¹ de N. O aumento também foi obtido pelo uso do UNBPT em outras culturas (Malhi et al., 2001; O' Donovan et al., 2008).

A aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada em relação à fonte convencional de P (MAP) associado ao uso do fertilizante nitrogenado a UNBPT, proporcionou aumento referente ao uso das tecnologias para diâmetro de espigas (1,77 %) (C5, Tabela 4). Para a massa de 1000 grãos e comprimento de espigas não foram encontradas diferenças entre as tecnologias.

Isso pode ser explicado devido à cultura do milho responder à adubação nitrogenada com incremento das características morfológicas (Duriex et al., 1993; ROS et al., 2003). Sendo assim, o uso da UNBPT pode ter atrasado a hidrólise do fertilizante (Krajewska, 2009), permitindo a incorporação do N ao solo e reduzindo as perdas por volatilização. A maior eficiência do UNBPT sugere maior absorção de N e, conseqüentemente, maior diâmetro das espigas e maior capacidade de enchimento e grãos (Kappes et al., 2011).

Okumura et al. (2013) verificaram que houve incremento nas doses de ureia + NBPT proporcionando 2,61 mm no diâmetro de espigas na dose de 200 kg ha⁻¹ de N.

Ao comparar a utilização das tecnologias (C6, Tabela 4) observa-se que a aplicação de UNBPT proporcionou aumento da produtividade dos grãos de 1,354 t ha⁻¹ pelo uso de MAPPOL em relação a MAPTF. Isso pode ser explicado devido ao mecanismo da UNBPT reduzir as perdas no sistema solo-atmosfera (Stafanato et al., 2013). Ambos os elementos N e P são extremamente fundamentais para elevar a produtividade agrícola (Raymond et al., 2016). O inibidor de urease NBPT tem demonstrado melhor eficiência na produtividade do milho (Scivittaro et al. 2010; Kaneko et al., 2013).

Silva et al. (2011) constataram que com a dosagem de 180 kg ha⁻¹ de N, houve produção de 12.527 kg ha⁻¹ tratada com ureia + NBPT representando aumento de 671 kg ha⁻¹ na cultura do milho. Chien et al. (2009) encontraram incremento de 351 kg ha⁻¹ no rendimento dos grãos em função do uso de ureia + NBPT na cultura do milho.

Entre os fertilizantes com tecnologia associada, o fornecimento do UNBPT proporcionou aumento referente ao uso de MAPPOL para massa de 1000 grãos (0,11 %) em relação ao uso do MAPTF (C6, Tabela 4). Para o comprimento e diâmetro de espigas não foram encontradas diferenças entre as tecnologias. A justificativa ponderável se deve à maior disponibilidade de N no período de enchimento dos grãos.

O fornecimento de N pelo UNBPT pode ter aumentado o número de folhas fisiologicamente ativas por mais tempo, prolongando a duração do período de enchimento de grãos, podendo favorecer a produção de grãos mais pesados (Silva et al., 2005). Além disso, a massa de 1000 grãos apresenta alta dependência da absorção de N pelo milho no período compreendido entre o início do florescimento e o início da formação de grãos. Espintula et al. (2010) constataram ganhos de 36,67 e 37,17 g da massa de 1000 grãos, representando aplicação única e a aplicação parcelada, respectivamente após uso da ureia + NBPT.

O comportamento das doses em função das diferentes fontes de fósforo, aplicados com UC para a variável produtividade pode ser observado na Figura 2. Nota-se resposta diversificada das regressões obtidas, tendo ajustes lineares e quadráticos. Isso pode estar relacionado ao padrão de liberação de P a partir de cada fonte fosfatada. O MAPCONV obteve maior valor de produtividade (12,11 t ha⁻¹) na dose de 142,98 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Este resultado pode ser explicado pelo fato da fonte convencional possuir

alta taxa de liberação de P em curto período de tempo, mostrando que a produtividade decresce em valores superiores a esta dose.

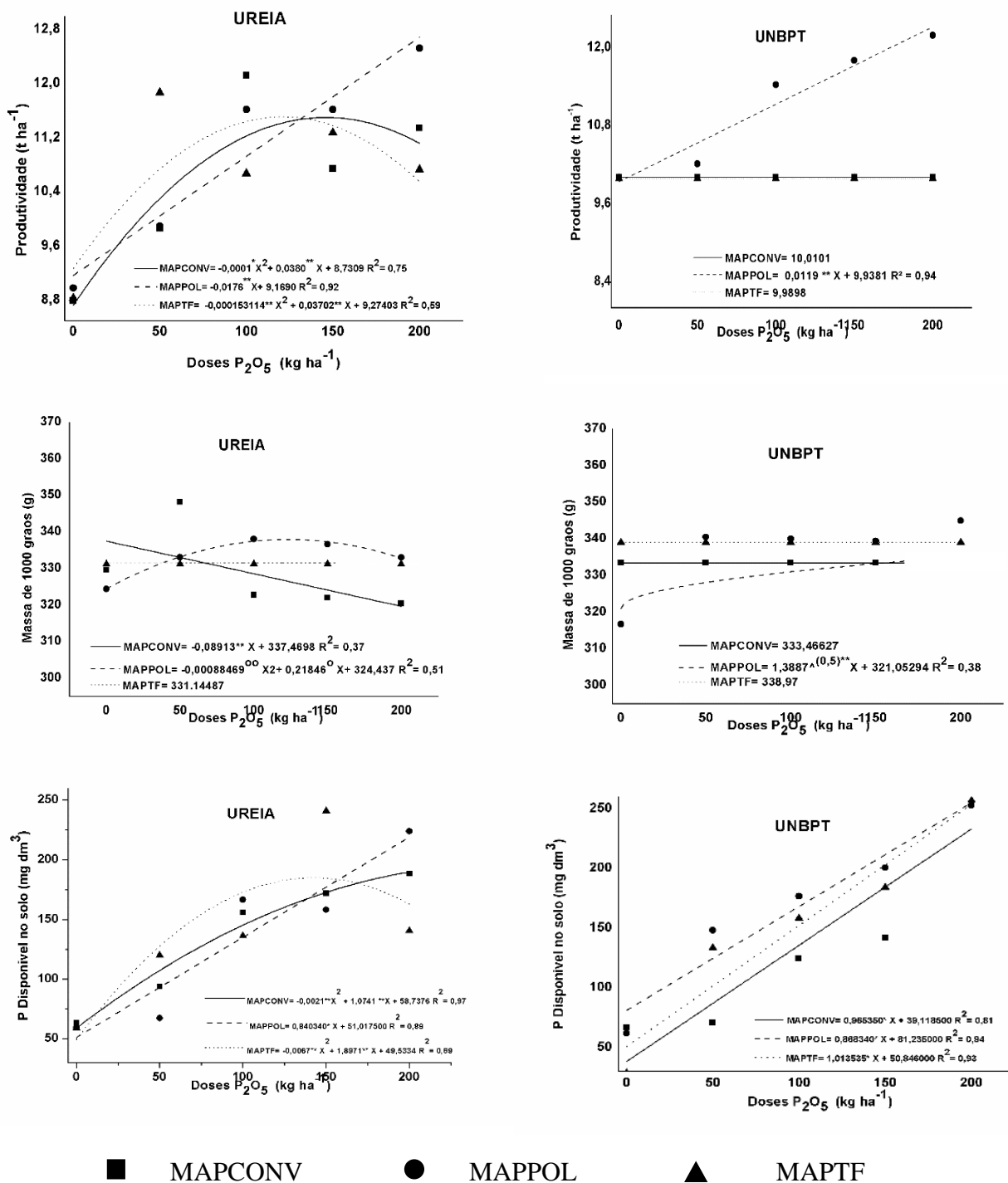


Figura 2 - Efeito das doses de P_2O_5 em função das três fontes de fertilizantes fosfatados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados avaliando a produtividade, massa de 1000 grãos e P disponível no solo.

O ajuste linear obtido pelo MAPPOL para a variável analisada pode estar relacionado ao mecanismo de liberação gradual de P, o que faz com que a absorção seja gradual e contínua durante o período avaliado, obtendo valores crescentes de produtividade até a maior dose utilizada, representando (5,65 t ha⁻¹) na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Para MAPTF houve ajuste quadrático com tendência da produtividade a partir da dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, onde a produtividade máxima estimada foi de 11,44 t ha⁻¹ para a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, observando que com o aumento da dose houve um decréscimo produtivo, representando 890 kg ha⁻¹ para a dosagem máxima aplicada.

Quando comparada as fontes fosfatadas com a aplicação de UNBPT (Figura 2) observa-se padrão de resposta similar para MAPPOL, em que as doses crescentes de P₂O₅ proporcionaram incremento de produtividade, atingindo 12,31 t ha⁻¹ para a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mostrando que o uso do UNBPT promoveu incremento de 6,66 t ha⁻¹ quando comparado à aplicação com o fertilizante nitrogenado convencional. Para o MAPCONV e MAPTF não houve ajuste a nenhum modelo testado.

Ao analisar o efeito das doses de fertilizantes fosfatados associados a UNBPT observa-se aumento linear de produtividade dos grãos até a dose de 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ para os fertilizantes MAPPOL garantindo melhor aproveitamento da fonte a fim de promover a disponibilização nos nutrientes ao longo do ciclo da cultura (Silva et al., 2012). Isso indica que o MAPPOL foi capaz de promover aumento para produtividade dos grãos em doses crescentes e o uso do NBPT potencializou efeito do fertilizante fosfatado, podendo ter contribuído com a redução da volatilização do NH₃, e consequentemente, melhor assimilação de P pela cultura (Guelfi, 2017).

A explicação provável deve-se ao maior aproveitamento de N, que estimula a absorção por fosfato pelos vegetais (Barneix, 1981) e isto afeta a distribuição de fotoassimilados para os órgãos que contribuem no incremento da produtividade (Dordas, 2009). A dose recomendada no plantio, para as condições de textura e teor de P do solo em estudo, foi de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Prezotti et al., 2007).

Através das regressões obtidas para a característica da massa de 1000 grãos na cultura do milho, observa-se ajuste quadrático para MAPPOL + UC. Além disso, MAPCONV apresentou decréscimo no ganho da massa de 1000 grãos com o aumento das doses, e o MAPTF não apresentou nenhum ajuste a nenhum modelo testado.

Os valores médios para massa de mil grãos foram de 338,04 gramas na dose estimada de 111,98 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com MAPPOL + UC. Entretanto, o fertilizante MAPPOL+ UNBPT apresentou valores de 344,97 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O sucesso do uso de fertilizante nitrogenado com tecnologia pode estar relacionado principalmente com a possibilidade da inativação da enzima urease, com possíveis benefícios estendidos para a absorção de N pela planta (Mariano et al., 2019) e conseqüentemente, maior assimilação de P pela cultura devido à interação sinérgica (Machado, 2006) promovendo maiores ganhos. Valderrama et al. (2011) observaram que com o incremento das doses de fósforo aplicadas, houve redução da massa de mil grãos na cultura do milho.

Ao avaliarem os teores de P disponível no solo, observa-se ajuste quadrático para MAPCONV e MAPTF associados ao fertilizante nitrogenado UC. Ao analisar o efeito das doses de fertilizantes fosfatados associados a UNBPT, observa-se aumento linear às doses para todas as fontes fosfatadas aplicadas, e isso indica que os fertilizantes foram capazes de promover maior disponibilidade de P, e conseqüentemente, aumento de produtividade, podendo estar associado ao uso do UNBPT.

Para a fonte MAPPOL, os valores estimados de P disponíveis no solo na dose máxima foram de 219,08 mg dm³ associado ao uso do UC e 254,90 mg dm³ referente ao uso de UNBPT. Observa-se maior acúmulo de P no solo referente ao uso de ambas as tecnologias fosfatadas, portanto isso pode ser explicado devido aos mecanismos que alteram a cinética de liberação de P (Figueiredo et al., 2012; Teixeira et al., 2016) evitando altas concentrações iniciais de P, e conseqüentemente, melhor assimilação de N e P pelas plantas.

4. CONCLUSÕES

Considerando as condições de manejo da fertilidade, solo, clima, e histórico da área, as altas produtividades alcançadas neste experimento foram de maneira efetiva com a aplicação do fertilizante fosfatado MAPPOL, que associado ao uso do fertilizante nitrogenado UNBPT, proporcionou aumento significativo na produtividade de grãos, sendo superior aos tratamentos que receberam o MAPCONV e MAPTF.

As tecnologias em fertilizantes fosfatados proporcionaram incrementos para as variáveis morfológicas da cultura, sendo que a associação do uso com UNBPT

potencializou efeito do MAPPOL para massa de 1000 grãos, bem como o fornecimento da UC intensificou efeito para comprimento e diâmetro das espigas.

Os fertilizantes fosfatados com tecnologias associadas favorecem a maior disponibilidade de P para as condições de solo estudado. O MAPPOL proporcionou as maiores médias para os teores de P disponível no solo, seguido do MAPTF e MAPCONV em função das doses crescentes de P aplicadas.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA BG, DONAGEMMA GK, RUIZ HA, BRAIDA JA, VIANA JHM, REICHERT, JMM, OLIVEIRA LB, CEDDIA MB, WADT PS, FERNANDES RBA, PASSOS RR, DECHEN SCF, KLEIN VA, TEIXEIRA WG. Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2012.
- ALMEIDA, J.A.; Torrent, J.; Barron, V. Química de solos com carga variável. Piracicaba: ESALQ, 50, 2003.
- ALVAREZ, V. V. H; ALVAREZ G. A.M. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 31: 24-34, 2006.
- ANDRADE FV, MENDONÇA ES, ALVAREZ V. VH, NOVAIS RF. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. Revista Brasileira Ciência do Solo, 27: 1003-11, 2003.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). Fertilidade dos solo e Manejo da Adubação de Culturas. 1: 117-138, 2004.
- ARAÚJO, LAN; FERREIRA, ME; CRUZ, MCP Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 39:4, 771-777, 2004.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 7, 221-226, 1983.
- BARNEIX, AJ. Cinética de absorción de fosfato por plantas de trigo pretratadas con amonio o nitrato. Oyton, Buenos Aires, 41:45-51, 1981.
- BORGES, B. M. M. N., ABDALA, D. B., DE SOUZA, M. F., VIGLIO, L. M., COELHO, M. J. A., PAVINATO, P. S., & FRANCO, H. C. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. Geoderma, 339: 20-30, 2019.
- BORSARI F. Fertilizantes inteligentes: As novas tecnologias permitem o consumo dos nutrientes pelas plantas de forma gradativa, lenta e controlada. Agro DBO. 54-7, 2013.
- BRAGA, J. M. Avaliação da fertilidade do solo (ensaios de campo). Viçosa, Impr. Univ., UFV, 101, 1983.
- BÜLL, L.T. Nutrição Mineral do Milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. Cultura do Milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 301, 1993.
- BURESH, Roland J.; RAMESH REDDY, K. ; Van Kessel, Chris. Transformações de nitrogênio em solos submersos. Nitrogênio em sistemas agrícolas, 49: 401-436, 2008.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI. A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana de açúcar. In: YAMADA. T.; ABDALLA. S. R. S.; VITTI. G. C.

- Anais do Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba. Anais Piracicaba. IPNI Brasil. 722, 2007.
- CASTOLDI, G., COSTA, M.S.S.M., COSTA, L.A.M., PIVETTA, L.P., STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, 33: 1, 139-146, 2011.
- CASTRO, R. C.; BENITES, V. M.; TEIXEIRA, P. C.; ANJOS, M. J.; OLIVEIRA, L. F. Phosphorus migration analysis using synchrotron radiation in soil treated with Brazilian granular fertilizers. *Applied Radiation and Isotopes*, 105: 233-237, 2015.
- CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, a H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in agronomy*, 102, 267-322, 2009.
- 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, 24:149-157, 1990.
- CIVARDI, Ederson Antonio et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41: 1, 52-59, 2011.
- CREASON, G.L. et al. Urease inhibitory associated with N-(n-butyl) thiophosphoric triamide is due to formation of its oxon analog. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 22: 2, 209-211, 1990.
- CRUZ, J. L., PELACANI, C. R., CARVALHO, J. E. B. D., SOUZA FILHO, L. F. D. S., & QUEIROZ, D. C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro "golden". *Ciência Rural*, 37:1, 64-71, 2007.
- DE ANDRADE SILVA, Adriane et al. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. *Bioscience Journal*, 28: 1, 2012.
- DE SOUZA, Juscelio Ramos et al. Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. *Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado*, 2014.
- DILRUKSHI, R. A. N.; KAWASAKI, Satoru. Effect of Plant-Derived Urease-Induced Carbonate Formation on the Strength Enhancement of Sandy Soil. In: *Ecological Wisdom Inspired Restoration Engineering*. Springer, Singapore, 93-108, 2019.
- DORDAS, C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *European Journal Agronomy*, Philadelphia, 30, 129-139, 2009.
- DURIEX, R. P.; KAMPRATH, E. J.; MOOL, R. H. Yield contribution of apical and subapical ears in prolific and nonprolific corn. *Agronomy Journal*, 85:3, 606-610, 1993.
- ESPINDULA, Marcelo Curitiba, et al. Inibidor de urease (NBPT) e a eficiência da ureia na fertilização do trigo irrigado, 2010.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO D. Produção de Milho. *Guiába: Agropecuária*, 360, 2000.

- FERNADEZ-PEREZ, M.; VILLAFRANCA-SÁNCHEZ, M.; FLORES-CÉSPEDES, F.; DAZA-FERNÁNDEZ, I. Ethylcellulose and lignin as bearer polymers in controlled release formulations of choridazon. *Carbohydrate Polymers*, 83: 1672-1679, 2011.
- FERNANDES, FLÁVIA CARVALHO SILVA; ARF, SALATIÉR BUZETTI ORIVALDO; ANDRADE, JOÃO ANTONIO DA COSTA. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4.02, 2005.
- FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade de milho em latossolo sob vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, 22, 247-254, 1998.
- FERREIRA DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35:1039–1042, 2011. 10.1590/s1413-70542011000600001.
- FIGUEIREDO CC, BARBOSA DV, OLIVEIRA SA, FAGIOLI M, SATO JH. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Revista Ciência Agronômica*. 43, 446-52, 2012.
- GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Piracicaba: Potafos, 16, 2001.
- GUARESCHI RF, GAZOLLA PR, PERIN A, SANTINI JMK. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. *Ciência Agrotecnologia*, 35, 643-648, 2011.
- GUELF, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *International Plant Nutrition Institute: Informações agronômicas*. Piracicaba, 1-15, 2017.
- HARVEY OR, RHUE RD. Kinetics and energetics of phosphate sorption in a multi-component Al(III)–Fe(III) hydr(oxide) sorbent system. *Journal of Colloid and Interface Science*, 322: 384-93, 2008.
- KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F.; ANSELMO, J. L.; BUZETTI, S.; TOSTA, F. DA S. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43: 57- 63, 2013.
- KAPPES, C.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A.C.; ARF, M.V. & FERREIRA, J.P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. *Bragantia*, 70:334-343, 2011.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes Organominerais. Piracicaba, Degaspari, 2, 160, 2008.
- KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 59: 9-21, 2009.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNODÔRF, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14: 01, 363-376, 2000.

- LOMBI, Enzo, et al. Especificação e distribuição de fósforo em solo fertilizado: uma investigação baseada em síncrotron. *Soil Science Society of America Journal*, 70.6: 2038-2048, 2006.
- LUZ PHC, KORNDÖRFER GH. Reciclagem de subprodutos na agricultura. In: Vasconcelos, H. P. editors. *Contribuições para a produção de alimentos: Ideias para uma agricultura eficaz*. São Paulo: Nova Bandeira Produções Editoriais, 2011.
- MACHADO VJ, SOUZA CHE. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônio de liberação lenta. *Journal of Biosciences*, 28:1-7, 2012.
- MACHADO, C.T.T. Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos fisiológicos e microbiológicos associados à eficiência de absorção e uso de fósforo. *Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, 365, 2000.
- MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres. 638, 2006.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilizantes do solo*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 528, 1976.
- MALHI, SS; GRANT, CA; JOHNSTON, AM; GILL, KS Manejo da fertilização com nitrogênio na produção de cereais no plantio direto nas Grandes Planícies do Canadá: uma revisão. *Pesquisa de solo e lavoura, Amsterdã*, 60: 3, 101-122, 2001.
- MAR, G.D.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. *Bragantia*, 62: 2, 267-274, 2003.
- MARIANO, E., DE SANT ANA FILHO, C. R., BORTOLETTO-SANTOS, R., BENDASSOLLI, J. A., & TRIVELIN, P. C. Ammonia losses following surface application of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers and urea. *Atmospheric environment*, 203, 242-251, 2019.
- MARTINS, D. C. Adubação fosfatada organomineral no cultivo de grãos em solos de fertilidade construída. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- NEUMANN, M. et al. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (zea mays l.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4: 3, 418-427, 2005.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399, 1999.
- O'DONOVAN, JT; CLAYTON, GW; GRANT, CA; Harker, KN; KELLY, TT; LUPWAYI, NZ Efeito da taxa de nitrogênio e da taxa de colocação e semeadura na produtividade da cevada e na fecundidade da aveia selvagem em sistema de plantio direto. *Crop Science, Madison*, 48: 4, 569-1574, 2008.
- OKUMURA, Ricardo Shigueru, et al. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com ureia tratada com inibidor de urease. *Semina: Ciências Agrárias*, 34.1: 157-169, 2013.

- OLIVEIRA, C. M. B.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTII, D.J.; SMYTH, T. J.; ALMEIDA, J. A. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Lagmuir. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 38, 1805-1815, 2014.
- PARFITT, R.L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *Journal of Soil Science, Oxford*, 40, 359-369, 1989.
- PEREIRA, Bianca de Oliveira Horvath. Desempenho agrônomo e produtivo do milho submetido à adubação mineral e organomineral, 2019.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. & ZIMMERMANN, M.J.O., coords. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba, Potafós, 101-137, 1996.
- QUI-XIANG, L. et al. Inhibition of urease activity in flooded soils by phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl) thiophosphorictriamide. *Soil Biology and Biochemistry, Oxford*, 26: 8, 1059-1065, 1994.
- RAASCH, H., SCHONINGER, E. L., NOETZOLD, R., VAZ, D., & SILVA, J. Doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra em Nova Mutum–MT. *Revista. Cultivando o Saber*, 9: 4, 517-529, 2016.
- RAIJ, B. VAN. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 142, 1981.
- RAYMOND JE, FOX TR, STRAHM BD, ZERPA J. Ammonia volatilization following nitrogen fertilization with enhanced efficiency fertilizers and urea in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations of the southern United States. *Forest Ecology and Management* 376: 247–255. doi: 10.1016/j.foreco.2016.06.015.
- REIS, M. M.; SANTOS, L. D. T.; PEGORARO, R. F.; COLEN, F.; ROCHA, L. M.; FERREIRA, G. A. P. Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], 20:1008-1013, 2016.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Science Society America Journal*, 49:104-108, 1987.
- ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade do nitrogênio e produtividade do milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, 33:5, 799-804, 2003.
- RUPPIN, R.F. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para o estabelecimento de capimelefante (*Pennisetum purpureum*) cv. Napier. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 58, 1997.
- SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, L.H. Mineralização e absorção por milheto do nitrogênio do solo, da palha de milho (15N) e da uréia (15N). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 17:423-429, 1993.
- SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. DO; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural*, 40, 1283- 1289, 2010.

- SHUMAN, L.M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R.E., ed. Plant-environment interactions, New York, Marcel Dekker, 149-182, 1994; e MACHADO, C.T.T. Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos fisiológicos e microbiológicos associados á eficiência de absorção e uso de fósforo. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 365, 2000.
- SILVA AA, SILVA TS, VASCONCELOS ACP & LANA RMQ. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. Bioscience Journal, 28: 240-250, 2012.
- SILVA JUNIOR HR, LIMA RE, PERIN A. Adubação fosfatada com fertilizantes polimerizados na cultura da soja. In: Anais II Jornada da produção científica da educação profissional e tecnológica da região centro-oeste. 2008.
- SILVA PRF, STRIEDER ML, COSER RPS, RAMBO L, SANGOI L, ARGENTA G, FORSTHOFER EL, SILVA AA. Grain yield and kernel protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dresses. Scientia Agricola, 62:487-92, 2005.
- SILVA, DOUGLAS RAMOS GUELFY ET AL. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. Ciência e Agrotecnologia, 35: 3, 516-523, 2011.
- SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE et al. Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar, 2012.
- SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 416, 2004.
- STAFANATO, J.B. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37, 2013.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos - Livro técnico (INFOTECA-E), rev. e ampl., Brasília, DF:, 3, 573, 2017.
- TRENKEL, M.E. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 167, 2010.
- VALDERRAMA M, BUZETTI S, BENETT CGS, ANDREOTTI M, TEIXEIRA FILHO MCM. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical, 41:254-63, 2011.
- VAZ, NAYLINE CRISTINA DE ALMEIDA, et al. Uso da ureia de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento, 2019.
- VITTI GC, HEIRINCHS R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão Holística. In: Yamada, T.; Stipp SR, Vitti GC. Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI, 109-157, 2007.
- ZAHRANI S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. Ind Engin Chemist Res., 39: 367-71, 2000.

ZAVASCHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros [dissertação]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2010.