

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

FELIPE MENINE

**FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS COM PROTEÇÃO
INTEGRADA PARA A PRODUÇÃO DE MILHO**

Alegre – ES
2020

FELIPE MENINE

**FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS COM PROTEÇÃO
INTEGRADA PARA A PRODUÇÃO DE MILHO**

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

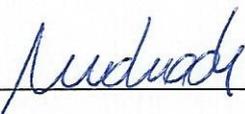
FELIPE MENINE

**FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS COM PROTEÇÃO
INTEGRADA PARA A PRODUÇÃO DE MILHO**

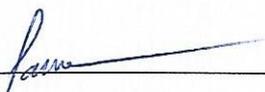
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 03 de março de 2020

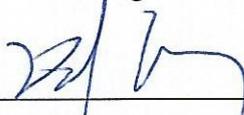
COMISSÃO EXAMINADORA



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 Engenharias - UFES



Prof. Dr. Sc. David Vilas Boas de Campos
Embrapa Solos



Prof. Dr. Sc. Guilherme Kangussú Donagemma
Embrapa Solos



Prof. Dr. Sc. Otacilio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Alegre
Coorientador

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

M545f Menine, Felipe, 1994-
Fertilizantes fosfatados e nitrogenados com proteção integrada para a produção de milho / Felipe Menine. - 2020.
82 f. : il.

Orientador: Felipe Vaz Andrade.
Coorientador: Otacilio José Passos Rangel.
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Fósforo. 2. Adsorção. 3. Latossolos. 4. Nitrogênio. 5. Fertilizantes nitrogenados. 6. Milho. I. Andrade, Felipe Vaz. II. Rangel, Otacilio José Passos. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

DEDICO

A toda minha família, em especial meus
pais Pedro Roberto e Lucilene.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me dado forças e saúde para cumprir com as determinações e superar todas as exigências que a pesquisa impõe;

Aos meus pais, Pedro Roberto e Lucilene, por me darem apoio e condições de me sentir bem e expressar o meu potencial. E, também ao meu irmão Frede, à minha cunhada Jussara e ao meu sobrinho Isaac, que sempre me ajudaram quando precisei;

Agradeço ao professor Felipe Vaz Andrade por toda atenção, por repassar segurança, pelos ensinamentos e por estar sempre presente em todos os momentos na função de orientador;

Agradeço ao professor coorientador Otacilio José Passos Rangel, ao professor Renato Ribeiro Passos e todos os demais que contribuíram para a pesquisa e minha formação;

Aos meus amigos que ajudaram de forma direta e indiretamente durante essa trajetória de estudos, e sem dúvidas, tudo se torna mais difícil quando não temos amigos por perto;

A CAPES pelo financiamento da pesquisa, a Universidade Federal do Espírito Santo, juntamente ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de estudo;

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

A todos, o meu muito obrigado!

RESUMO GERAL

Atualmente, aumentar a eficiência dos fertilizantes gera incrementos na produção e redução de custos na agricultura. Objetivou-se com este estudo avaliar a influência do uso de fertilizantes fosfatados e nitrogenados de proteção integrada na cultura do milho. Serão apresentados três capítulos, sendo o primeiro uma revisão sobre os temas abordados e os outros dois com a parte da experimentação. Os experimentos foram realizados a campo, em um arranjo fatorial 3x5x2, em que os fatores de estudo consistiram na aplicação de três fontes de fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônio convencional – MAPCONV, (11-46-00); fosfato monoamônio polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); fosfato monoamônico torta de filtro – MAPTF, (06-30-00) em cinco doses de P_2O_5 (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 – NBPT, 42% de N). No capítulo dois, avaliaram-se a produtividade, os aspectos morfológicos e o P disponível no solo. Já no capítulo três, avaliaram-se os aspectos nutricionais (teores de P e N foliares) e a produção de massa seca da planta, ao longo do período de cultivo. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos foram desdobrados em contrastes ortogonais e para o fator quantitativo foram ajustados modelos de regressão. O uso dos fertilizantes fosfatados com tecnologias não proporcionou produtividade superior ao uso do fertilizante convencional, exceto, para a dose de 50 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . O NBPT não proporcionou diferenças na produtividade do milho, comparado aos tratamentos com ureia. A partir da dose de 100 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 os tratamentos com MAPTF foram os que menos apresentaram fósforo disponível no final do ciclo de cultivo. O aumento das doses de fósforo influenciou positivamente o teor foliar de P e o ganho de massa seca pelas plantas. As fontes de P com tecnologia foram superiores à fonte convencional para aumentar o teor de nitrogênio e a massa seca das plantas. O fertilizante fosfatado revestido por polímeros proporcionou maior teor de P nos tecidos foliares do que quando se usou o fertilizante fosfatado com torta de filtro.

Palavras-chave: Fósforo, nitrogênio, proteção integrada.

GENERAL ABSTRACT

Currently, increasing the use of fertilizers generates increases in production and costs reduction in agriculture. The objective of this study was to evaluate the influence of the use of phosphate and nitrogen fertilizers of integrated protection in the corn crop. Three chapters will be presented, being the first a literature review of the topics covered by this study and the other two related to the results of the field experiments. The field experiments were carried out using a randomized block design, with four replications (experiment in chapter three, three repetitions were used), in a 3x5x2 factorial arrangement; the study factors consisted of three sources of phosphate fertilizers applications. (Conventional monoammonium phosphate - MAPCONV, (11-46-00); Polymerized monoammonium phosphate - MAPPOL, (09-44-00); Organic cake pie monoammonium phosphate - MAPTF, (06-30-00) in five dosages P_2O_5 (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 - NBPT, 42% N). In chapter two, yield, morphological aspects and available P in the soil were evaluated. In chapter three, we evaluated the nutritional aspects (P and N) of the plant and the production of dry mass throughout, the cultivation period. The data were submitted to analysis of variance, and the effects within the qualitative factors were broken down into orthogonal contrasts and for the quantitative factor, regression models were adjusted. The use of phosphate fertilizers with technologies did not provide higher yield than the use of conventional fertilizer, except for the dose of 50 $kg\ ha^{-1}$ of P_2O_5 . The NBPT did not provide differences in maize yield, compared to the treatments with urea. From the P_2O_5 dose of 100 $kg\ ha^{-1}$, treatments with MAPTF showed less phosphorus availability at the end of the cultivation period. Our results showed that the higher the phosphorus doses the higher the leaf P content and plants dry mass. The sources of P with technology were superior to the conventional source to increase the nitrogen content and the dry mass of the plants. The higher P content in the leaf tissues were found in the phosphate fertilizer coated with polymers treatments.

Keywords: Phosphorus, nitrogen, integrated protection.

FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS COM PROTEÇÃO INTEGRADA PARA A PRODUÇÃO DE MILHO

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1 - IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS PARA MELHORAR O APROVEITAMENTO DO FÓSFORO E DO NITROGÊNIO DISPONIBILIZADOS VIA FERTILIZANTES	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1. IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO	13
2. FÓSFORO NO SOLO	13
3. ADSORÇÃO DE FÓSFORO	15
4. TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES FOSFATADOS	17
5. INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA PRODUÇÃO	19
6. NITROGÊNIO NO SOLO	20
7. PERDAS DE NITROGÊNIO	21
8. TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES NITROGENADOS	23
9. INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO	25
10. REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DO MILHO (<i>Zea mays</i> L.) ADUBADO COM FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS DE PROTEÇÃO INTEGRADA	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4. CONCLUSÕES.....	51

5. REFERÊNCIAS.....	52
---------------------	----

CAPÍTULO 3 - FERTILIZANTES DE PROTEÇÃO INTEGRADA E ACÚMULO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO EM PLANTAS DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.).....	57
---	----

RESUMO.....	57
-------------	----

ABSTRACT	58
----------------	----

1. INTRODUÇÃO	59
---------------------	----

2. MATERIAL E MÉTODOS	60
-----------------------------	----

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
--------------------------------	----

4. CONCLUSÕES	74
---------------------	----

5. REFERÊNCIAS.....	75
---------------------	----

APÊNDICE	80
----------------	----

CAPÍTULO 1

IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS PARA MELHORAR O APROVEITAMENTO DO FÓSFORO E DO NITROGÊNIO DISPONIBILIZADOS VIA FERTILIZANTES

RESUMO

Na agricultura moderna, a fertilização dos solos é indispensável para proporcionar ganhos nos rendimentos das plantas cultivadas. Assim como a maioria dos nutrientes, o fósforo e o nitrogênio são disponibilizados na maior parte via fertilizantes solúveis, entretanto, muitas vezes o aproveitamento é reduzido devido às perdas no sistema solo-planta-atmosfera. O fósforo pode ficar adsorvido/precipitado no solo e o nitrogênio ser perdido por volatilização ou lixiviado. Diante da susceptibilidade de perdas, tecnologias têm sido desenvolvidas e incrementadas nos grânulos dos fertilizantes para promover a maior eficiência dos mesmos. Vários estudos na literatura demonstram que o uso das tecnologias possibilita a redução de perdas dos nutrientes e paralelamente aumenta os ganhos das culturas. No entanto, ainda é uma técnica considerada recente e que necessita de pesquisas para testar a eficiência dos fertilizantes com algum tipo de proteção integrada, pois, fatores como condições climáticas e atributos dos solos influenciam diretamente na capacidade da tecnologia evitar as perdas dos nutrientes.

Palavras-chave: Eficiência agrônômica, fertilizantes fosfatados, fertilizantes nitrogenados.

CHAPTER 1

IMPORTANCE OF TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE USE OF PHOSPHORUS AND NITROGEN MADE AVAILABLE VIA FERTILIZERS

ABSTRACT

In the modern agriculture soil fertilization is indispensable to provide gains in the yield of cultivated plants. Like most nutrients, phosphorus and nitrogen are mostly available via soluble fertilizers, however, their use efficiency is often reduced due to the losses in the soil-plant-atmosphere system. Phosphorus can be adsorbed/precipitated in the soil and nitrogen can be lost through volatilization or leached. Aiming to reduce the losses, technologies have been developed and increased in the granules of fertilizers to increase their efficiency. Several studies in the literature demonstrated that the use of technologies reduce nutrient losses and at the same time increase crop gains. However, it is still a technique considered recent and needs research to test the efficiency of fertilizers with some type of integrated protection, since climatic conditions and different types of soils directly influence the technology's ability to prevent nutrient losses.

Keywords: Agronomic efficiency, phosphate fertilizers, nitrogen fertilizers.

1. IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das gramíneas mais antigas do mundo, amplamente cultivada e tem se tornado um dos pilares do quadro social e econômico no Brasil. A grande área plantada, o emprego de mão de obra, o comércio de insumos e toda logística em torno do seu sistema de produção movimentam a economia e desponta como destaque no agronegócio (Silva et al., 2014).

A área de milho plantada no Brasil na safra de 2019, segundo o IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, foi estimada em 4.905.875 hectares para a primeira safra e 12.765.066 hectares para a segunda safra, com produção de 25.985.997 (5,29 t/ha) e 74.580.128 (5,84 t/ha) toneladas, respectivamente. Um dos fatores que mais encarecem o custo de produção são os gastos com fertilizantes, chegando a US\$ 360,24 por hectare, com uma lucratividade média de US\$ 196,76 por hectare (Globalfert, 2018).

Ainda segundo o IBGE, no estado do Espírito Santo a área de milho plantada na primeira e segunda safra em 2019, são respectivamente 11.800 e 1.324 hectares, com média 2,71 e 4,31 t/ha, totalizando uma produção de 31.982 e 5.718 toneladas.

Além do potencial produtivo, a versatilidade de uso contribui para o sucesso da cultura. Representa uma base alimentar para o consumo humano, tanto na forma processada ou milho verde, alimentação animal, na forma de ração ou silagem, uso na indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis e ainda na produção de biocombustível (Murga-Orrillo et al., 2016). Desta forma, de fato, se torna uma cultura de grande importância para abastecer uma população crescente estimada em 7 bilhões de habitantes no mundo.

2. FÓSFORO NO SOLO

A dinâmica do fósforo (P) nos solos é dependente dos atributos que cada solo apresenta. Em condições de ambientes tropicais, com elevada presença de óxidos (Fe e Al), a adsorção é favorecida, ficando menos P disponível para as plantas. Quanto maior a intensidade de adsorção, maior será a dependência do aporte externo de P, pois cria-se um estoque de P sob formas menos disponíveis. Além disso, as quantidades aplicadas deste nutriente normalmente

são superiores às removidas pela colheita. No Brasil, de 1900 a 2016, a quantidade de P aplicado em solos agricultáveis, comparado com o P removido pela colheita, denota um excedente de cerca de 30 milhões de toneladas, ou seja, além do alto custo do fertilizante, tem-se ainda a falta de aproveitamento do nutriente que acaba ficando adsorvido no solo, em formas não acessíveis às plantas (Prochnow et al., 2019).

Em solos agrícolas, Fardeau (1995) observou que a concentração de íons fosfato na solução pode variar de 0,002 a 2 mg L⁻¹. Na crosta terrestre, a concentração média de P é de 0,12 % aproximadamente, e, em muitos casos, na solução do solo essa concentração fica em torno de 0,1 % do P total (Raij, 2011).

Em condições de solos ácidos, característicos do território brasileiro, a forma iônica predominante de P na solução é H₂PO₄⁻, mas também pode ser encontrada na forma de HPO₄²⁻, sendo o pH o fator determinante para a presença de uma das duas formas de íons ortofosfato primário ou secundário (Raij, 2011).

O P é um nutriente de baixa mobilidade no solo, transportado por difusão, sendo capaz de deslocar-se por apenas poucos centímetros em solução. A difusão é um mecanismo de transporte que se dá de uma região de maior concentração para outra de menor concentração, muitas vezes caracterizado pelo entorno das raízes devido à absorção pela planta, fazendo com que o nutriente realize uma movimentação a curta distância (Malavolta, 2006).

A dinâmica do fósforo no solo e a disponibilidade para as plantas relacionam-se diretamente com o teor de P em solução e na capacidade da fase sólida repor esse nutriente para a solução ao longo do ciclo de cultivo da cultura. Os fatores que controlam essa dinâmica são: intensidade (I), que corresponde ao P em solução; quantidade (Q), que corresponde ao P na fase sólida que está em equilíbrio com a fase líquida, ou seja, P-lábil e; o fator capacidade (C), que significa o poder tampão do solo. Uma forma de manejo que modifica a relação destes fatores é a adubação fosfatada, entretanto, a tendência pelo equilíbrio sempre prevalece (Novais e Smyth, 1999).

3. ADSORÇÃO DE FÓSFORO

A adsorção de fósforo é um evento que traz problemas relacionados à disponibilidade desse nutriente por causa da alta afinidade do íon fosfato pelos óxidos de Fe e Al nos solos com maior grau de intemperismo (Bortoluzzi et al., 2015).

Os Latossolos são os mais favoráveis à adsorção de P, pois a fração argila é constituída predominantemente por minerais 1:1 óxidos de Fe, Al e Mn e pH baixo (Novais e Smyth, 1999). Devido os solos de regiões tropicais e subtropicais serem mais eletropositivos e mais propensos a adsorver ânions, ocorre a intensificação do processo de adsorção, sendo potencializado pelo avanço do intemperismo (Novais e Smyth, 1999).

A adsorção de fósforo nos solos pode ser afetada pela quantidade de argila, pH, teor de matéria orgânica (MO), conteúdo de água no solo, tempo de contato, teores de cálcio, ferro e alumínio.

Solos com maior teor de argila, assim como maior superfície específica, possuem a capacidade de adsorver o fósforo aumentada. Todavia, nem sempre a máxima capacidade de adsorção estará presente no solo com maior teor de argila, cuja explicação estaria na qualidade das argilas, (Bahia Filho et al., 1983). As argilas do tipo 1:1 são as que efetivamente adsorvem P.

A presença da matéria orgânica desempenha um papel ambivalente relacionado à adsorção de fósforo, pois pode se comportar como adsorvente ou bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de ferro e alumínio (Sanyal e De Datta, 1991).

O conteúdo de água no solo favorece a difusão do fósforo e com o filme de água mais espesso o ânion fosfatado fica mais distante da superfície dos minerais de argila, diminuindo a intensidade de adsorção (Novais e Smyth, 1999).

O tempo de contato também é um fator determinante na disponibilidade de P. Normalmente, cerca de 90% do P aplicado no solo via fontes solúveis é adsorvido na primeira hora de contato (Gonçalves et al., 1985).

A prática da calagem é uma forma de melhorar a eficiência da adubação fosfatada e a disponibilidade de P para as plantas, causando a elevação do número de OH⁻ na solução, diminuindo a atração de ânions pelos minerais (Viviani et al., 2010) e, conseqüentemente, a intensidade de adsorção.

Para melhor descrever as condições do P no solo, são feitas separações distintas: P lábil, em que o fosfato adsorvido se encontra em equilíbrio com o fosfato em solução (P-solução), pois, ocorre a formação de ligações coordenadas simples. E, o P não-lábil, que ocorre por meio de ligações mais fortes, tipo covalente, e devido à força dessa ligação o P não fica em equilíbrio com a solução, dificultando a dessorção; (Novais e Smyth, 1999).

A precipitação e a adsorção específica são os fatores que retratam a sorção do P. No solo, para que aconteça a adsorção específica inicialmente ocorre uma rápida atração eletrostática, seguida por reações mais lentas com troca de ligantes de grupamentos OH e OH²⁺ superficiais dos óxidos por fosfato da solução, caracterizando um complexo de superfície com ligações químicas de alta covalência (Parfitt, 1979) Assim, são formadas as ligações de complexo de esfera interna, em que os íons ou moléculas ligam-se diretamente nos grupamentos OH e OH²⁺ das superfícies adsorventes, sem a interposição de moléculas de água (Schwertmann e Taylor, 1989).

Deste modo, o processo que remete a adsorção do P em solos intemperizados pode ainda ser descrito da seguinte maneira: a princípio, a ocorrência de uma ligação monodentada, cujo P ainda estará em equilíbrio com a solução. Posteriormente, ocorre uma ligação bidentada, adicional à primeira já existente, deixando o P indisponível para as plantas (Roy et al., 2016).

Na ligação monodentada, apenas um oxigênio do fosfato está ligado ao metal, e na bidentada a ligação é feita com dois oxigênios do fosfato ligados ao metal (Prasad e Power, 1997). Com a evolução das reações pode ocorrer a difusão do fosfato nas imperfeições do cristal ou certamente formar compostos binucleados de alta especificidade (Barrow, 2015).

Já a formação de compostos de baixa solubilidade, que também indisponibilizam o fósforo, são atribuídos à precipitação, sendo característica quando ocorre reações com formas iônicas de Fe, Al e Ca (Parfitt, 1979).

Diante dos aspectos apresentados anteriormente, o solo passa a ter um interessante comportamento relacionado à disponibilidade de fósforo frente ao intemperismo. Em solos mais jovens, os fosfatos presentes nas rochas primárias, denominadas reservas naturais, necessitam do intemperismo para serem liberados, assim, o solo pode ser classificado como fonte de P. Em contrapartida, com estágio avançado de intemperismo, o solo passa a ser classificado como

dreno, competindo com a planta pelo nutriente adicionado, isso dentre outros fatores, influenciados pelo aumento da eletropositividade e adsorção aniônica (Pavinato e Rosolem, 2008).

4. TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES FOSFATADOS

Há anos os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis, que são obtidos de rochas fosfáticas por processos de acidulação, ficando prontamente disponíveis para as plantas. Há também os fosfatos naturais reativos, que são menos solúveis por serem obtidos apenas da moagem das rochas fosfáticas, com grau de solubilidade dependente do material de origem (Novais et al., 2007).

Para aumentar a eficiência do uso dos fertilizantes fosfatados várias tecnologias têm sido desenvolvidas e usadas comercialmente, e podem ser empregadas em fertilizantes formulados ou em fosfatos isolados. Uma das importantes frentes de pesquisas é com uso de aditivos ou revestimentos no processo industrial, como a associação de fontes orgânicas e aditivos minerais aos fertilizantes fosfatados, e os compostos de revestimento com ação de liberação lenta ou controlada dos nutrientes (Benites, 2015). A espessura e a natureza química da substância de recobrimento (poliamidas, enxofre elementar e polímeros), tamanho do grânulo do fertilizante e a quantidade de microfissuras na superfície do aditivo são as características que contribuem para determinar a taxa de liberação dos nutrientes ao longo do tempo (Trenkel, 1997).

O uso de polímeros na produção dos adubos é uma das tecnologias que possibilita o grânulo do fertilizante retardar ou liberar de forma controlada o nutriente. Esse polímero (macromolécula formada pela repetição de monômeros ligados covalentemente) nada mais é do que um revestimento protetor insolúvel em água, semipermeável (poroso), ou permeável, que altera a taxa de dissolução do nutriente no solo, agindo basicamente no controle da penetração de água no grânulo do adubo (Trenkel, 2010). Lana et al. (2010) descrevem que, além da umidade, os polímeros também protegem fisicamente os grânulos da ação da temperatura e de fatores químicos, como ação do pH e a dissociação da fonte.

Com o uso dos revestimentos em torno do fertilizante, ocorre a redução de contato entre o nutriente e o meio adsorvente, no caso, as argilas e os óxidos

de Fe e Al, principalmente. Assim, os compostos estáveis que se formariam e diminuiriam a disponibilidade de P no solo não são formados (Figueiredo et al., 2012).

De acordo com Valderrama et al. (2010), os fertilizantes protegidos apresentam maior eficiência que os convencionais e têm sido utilizados na maioria das culturas. Não há diferença na época de aplicação quando comparados os fertilizantes revestidos com polímeros e os sem revestimentos. A diferença entre estes fertilizantes baseia-se nas menores perdas do nutriente, aumentando a eficiência da adubação, implicando também na redução das doses aplicadas (Al-Zahrani, 2000), pois, fertilizantes revestidos por polímeros absorvem a água do solo, solubilizando dentro da cápsula os nutrientes e, a partir desse mecanismo, são liberados gradativamente por meio da estrutura porosa na zona da raiz (Tomaszewska et al., 2002).

De forma mais específica, o mecanismo de liberação do nutriente de um fertilizante revestido, a princípio, inicia-se com a água penetrando pelos microporos do material de cobertura, posteriormente ocorre o aumento da pressão osmótica no interior do grânulo, a qual provoca o esticamento da membrana de cobertura e a dilatação dos poros, facilitando a difusão do fertilizante para o solo (Cantarella, 2007). Após o deslocamento da solução para fora do revestimento protetor, naturalmente haverá a saturação ao redor do grânulo, fazendo com que cesse a difusão total do nutriente para o solo, e somente quando as plantas absorverem os nutrientes é que um novo equilíbrio químico com a solução do solo se estabelecerá (Ferreira, 2010).

Incluídas nas linhas de inovação, com intuito de melhorar o aproveitamento das fontes solúveis aplicadas ao solo, algumas tecnologias tentam controlar as reações de interface solo/planta. A exemplo, os fertilizantes orgânicos-complexados, que apresentam pontes metálicas, possuem solubilidade reduzida e são liberados apenas pela ação de ácidos orgânicos exsudados pelo sistema radicular das plantas, após a aplicação do fertilizante no solo (Erro et al., 2011).

Perante todo contexto que engloba o uso do fósforo, as tecnologias são desenvolvidas para minimizar, principalmente, a adsorção do P na fase sólida do solo (McLaughlin et al., 2011), e com isso aumentar a eficiência de uso deste

nutriente, contribuindo para a redução das doses utilizadas, visto ser um bem finito, bem como alcançar metas de produção estipuladas.

Vários autores apresentam na literatura resultados positivos com o uso dos fertilizantes protegidos e relatam melhorias nas características avaliadas. Almeida et al. (2016) encontraram aumento do rendimento de grãos da cultura do milho de cerca de 889 kg ha⁻¹ quando utilizaram fertilizante fosfatado protegido, ao comparar com o uso de superfosfato simples.

Teixeira et al. (2014) constataram que o fertilizante organomineral pode promover ganhos de até 15 % na produção de colmos de cana-de-açúcar em relação ao fertilizante mineral. Figueiredo et al. (2012) encontraram aumentos de produção de massa de matéria seca, altura de plantas e produtividade de grãos, ao avaliarem a aplicação de fosfato polimerizado na cultura do milho, destacando a superioridade deste fertilizante em comparação ao MAP convencional. Almeida et al. (2016) também obtiveram maior produtividade na cultura do milho usando fertilizantes com proteção integrada.

Chagas et al. (2016) relataram acúmulo de 49,4 % a mais de P nas folhas do cafeeiro usando-se superfosfato triplo revestido comparado ao sem revestimento. Chagas et al. (2015), em estudos com a cultura da alface, encontraram 15,33 mg de massa seca por mg de P₂O₅ disponibilizado usando MAP revestido por polímeros, e apenas de 3,05 mg de massa seca por mg P₂O₅ proveniente do MAP sem revestimento.

5. INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA PRODUÇÃO

O fósforo é um nutriente de grande importância para a produção das gramíneas, com destaque para a cultura do milho. O elemento participa diretamente na formação das plantas, na velocidade de crescimento e na manutenção da estrutura vegetal (Teixeira et al., 2018).

O suprimento adequado de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento, tanto que a sua limitação de disponibilidade no início do ciclo pode gerar restrições no crescimento e mesmo que seja fornecido posteriormente em quantidades suficientes, a planta não consegue se recuperar e manter a produção em níveis altos. Sua deficiência, além de também afetar na absorção do nitrogênio, prejudica o crescimento das folhas e a formação e

desenvolvimento dos grãos, já que 89% do total absorvido é removido via grãos (Oliveira et al., 2012).

O elemento, muito móvel na planta, desempenha importante papel no metabolismo, na fotossíntese e respiração, sendo também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos (Grant et al., 2001). O P além de auxiliar no crescimento de raízes, melhora a qualidade de frutos e, principalmente, na formação de sementes onde é encontrado na forma de fitatos, importante composto de reserva deste órgão (Taiz e Zeiger, 2013).

Segundo Da Ros et al. (2019), a maior resposta das culturas à aplicação de P ocorre quando os teores do nutriente no solo estão abaixo do nível crítico para o desenvolvimento das plantas. Ao realizar a adubação em solos com baixas disponibilidades de P, ocorre o aumento dos teores de P no solo, que leva ao aumento dos rendimentos da cultura pelo fato de atender o requerimento do nutriente pela planta.

As doses ainda variam com a produtividade esperada e com o tipo de solo, pois a capacidade máxima de adsorção de fosfato é bastante variável entre os solos, como também os teores de P disponível. No Brasil, a elevada adsorção de P pelos solos associada ao baixo aproveitamento pela cultura são os fatores que mais prejudicam a produtividade agrícola (Silva et al., 2012).

6. NITROGÊNIO NO SOLO

A maior parte do N no solo ocorre na forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo. Quando não se aplica nenhuma fonte de fertilizante nitrogenado, as plantas absorvem o N inorgânico proveniente da mineralização da matéria orgânica. Entre aproximadamente 10 e 15%, tem-se a quantidade ativa do N orgânico em solos agrícolas (biomassa microbiana do solo), ou seja, que possui uma ciclagem mais rápida (Cantarella, 2007).

O amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) formam as frações inorgânicas que são as principais fontes de N absorvidas pelas plantas. Para complementar a quantidade de N fornecida pelo solo, a adubação mineral ou orgânica se faz necessária, no entanto, a eficiência no uso do N contido no fertilizante geralmente é baixa, devido à concentração do nutriente no solo e das suas perdas por volatilização e lixiviação (Nunes et al., 2013).

O parcelamento da adubação, dividindo-se as aplicações no plantio e em cobertura, assim como fornecer o fertilizante no período de maior demanda, é uma estratégia para evitar as perdas do N.

Como o N é um nutriente sujeito a perdas e muito dinâmico no solo, a forma de manejo e o conhecimento dos atributos do solo devem ser efetivos. O sistema de plantio direto (SPD) é muito conhecido por suas vantagens relacionadas a preservação do solo e altas produções, porém, o acúmulo da palhada na camada superficial acaba impedindo que o N contido na ureia se incorpore rapidamente e realize a hidrólise no interior do solo, aumentando a susceptibilidade de perdas por volatilização de amônia. Por outro lado, em solos de textura arenosa e em regiões de altas precipitações as perdas ocorrem por nitrificação e lixiviação, principalmente quando são utilizadas doses altas dos fertilizantes nitrogenados (Soratto et al., 2011).

7. PERDAS DE NITROGÊNIO

As perdas de N utilizado na agricultura brasileira são geradas principalmente pelo fenômeno de volatilização e é causada pela reação que converte íons de amônio (NH_4^+) em amônia (NH_3) (Dominghetti et al., 2016). Essas reações são influenciadas pelas condições climáticas e edáficas, como o pH, a CTC, a umidade do solo no momento da adubação, cobertura do solo e atividade da urease (Tasca et al., 2011).

A ureia é uma das fontes de N mais utilizadas na agricultura e o maior aproveitamento do nutriente ocorre quando há a incorporação do fertilizante no solo, seja pela água e/ou aração e gradagem. Logo após sua disponibilização no solo, a ureia $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$, que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4 + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-]$, o que implica na elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante (Tasca et al., 2011).

Com a ação dos microrganismos no solo, ocorre o processo de nitrificação, onde o amônio é convertido em nitrito e, posteriormente, nitrato. Entretanto, quando o pH se encontra elevado há um favorecimento da formação de NH_3 que se perde na atmosfera (Costa et al., 2003). Em contrapartida, a

característica ácida dos solos brasileiros, de forma geral, age no desfavorecimento do processo de volatilização.

O sulfato de amônio apresenta uma redução grande nas perdas de N por volatilização. Porém, o custo por unidade de N deste fertilizante se torna mais elevado, sendo assim, a melhor estratégia implica na utilização de uma proteção dos grânulos da ureia com produtos menos higroscópicos, permitindo a adubação na superfície do solo, o que reduz o custo operacional e favorece o processo de hidrólise no interior do mesmo, minimizando as perdas de N na forma de NH_3 (Soratto et al., 2010).

Apesar da volatilização ser a causa de maiores perdas de nitrogênio, existem outras formas que também geram perdas desse nutriente, como a lixiviação, erosão do solo, exportação pela cultura, desnitrificação nas formas de NO, N_2O e N_2 e até por trocas gasosas do N pela parte aérea das culturas (Kool et al., 2011).

Quando o nitrogênio está na forma nítrica, a tendência é que ocorra perdas por lixiviação. Por permanecer na solução do solo, devido a seu comportamento aniônico e configuração que não permite realizar ligações específicas com os colóides do mesmo, o NO_3^- fica susceptível à lixiviação por percolação de água (Lorensini et al., 2012). A redução do nitrato a óxido nitroso também causa perdas de N, neste caso, por desnitrificação. Em ambientes alagados e solos compactados a desnitrificação é aumentada, pois na falta de oxigênio o NO_3^- passa a ser a primeira molécula a receber elétrons da atividade microorgânica anaeróbica.

No cenário agrícola a ureia é o fertilizante nitrogenado que mais chama atenção. As suas vantagens baseiam-se no menor custo por quilo de nitrogênio, alta concentração de N em sua composição, causando uma menor acidificação ao solo quando comparada às demais fontes, além, do fácil manuseio (Valderrama et al., 2014). Entretanto, as perdas de N por volatilização quando aplicadas sem incorporação ao solo podem chegar a 70% (Souza e Lobato, 2002). Especificamente na cultura do milho, a cada 1% de N volatilizado, estima-se a perda de 10 kg ha^{-1} da produtividade de grãos (Lara Cabezas et al., 2000). Segundo Coelho et al. (1991), a eficiência de aproveitamento do total de N aplicado ao solo é de aproximadamente 50 a 60%, levando em consideração o que é recuperado ou utilizado pelas plantas.

8. TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES NITROGENADOS

Os fertilizantes nitrogenados que possuem alguma tecnologia associada, para que a liberação possa ser lenta ou controlada, são aqueles que apresentam compostos que podem controlar, química ou fisicamente, as taxas de liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes (Shaviv, 2005). A maior vantagem desses produtos, quando comparados aos fertilizantes comuns, é a diminuição das perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera e o aumento da eficiência da adubação nitrogenada para fornecer a quantidade estimada de N a cada cultura. A tecnologia permite aproximar a taxa de liberação do nutriente com a demanda da planta (Trenkel, 2010).

Atualmente, existem diversos compostos capazes de controlar os mecanismos de liberação dos nutrientes contidos nos fertilizantes. No Brasil, os mais utilizados são os fertilizantes estabilizados (inibidores de urease e nitrificação) e de liberação lenta e gradual (Timilsena et al., 2015), deixando o nitrogênio menos tempo exposto ao ambiente (Trenkel, 2010).

Esses fertilizantes de liberação lenta ou controlada podem ser divididos em três grupos (Trenkel, 2010): 1) fertilizantes com revestimentos orgânicos e inorgânicos (subdividido em três grupos: revestidos com enxofre; revestidos com polímeros e revestidos com enxofre e polímeros); 2) com inibidores da nitrificação; e 3) fertilizantes revestidos com inibidores da urease.

De acordo com Valderrama et al. (2014), existe uma dificuldade muito grande para identificar a composição química dos polímeros utilizados como tecnologia no fertilizante pois, na sua maioria, são de sigilo total da empresa. Alguns exemplos dos mais utilizados são as poliolefinas e os poliuretanos (Blaylock, 2007). As diferenças desses materiais no mercado estão relacionadas à natureza química do material que envolve o fertilizante e à espessura do revestimento. Com a inclusão das tecnologias, os preços dos fertilizantes também tendem a aumentar, podendo chegar a oito vezes a mais em comparação ao fertilizante tradicional (Cantarella e Montezano, 2010).

A atividade da enzima urease no solo, enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo, potencializa a volatilização da amônia e a transformação do N orgânico para N mineral, e quanto mais intensa for a ação da urease, maiores as chances de perdas de N para a atmosfera (Lana et al., 2010). Assim, o uso das tecnologias de inibição da enzima nos fertilizantes

inibe a atividade da mesma e a hidrólise da ureia, que ocorre após a aplicação em 2 ou 3 dias por ação da urease. Já os inibidores da nitrificação apresentam sucesso em controlar as perdas por lixiviação e emissão de gases por recobrir os fertilizantes nitrogenados, impedindo que sua liberação seja indiscriminada.

Os bloqueadores da ação da urease são divididos em três mecanismos: bloqueio do sítio ativo da enzima pela reação de íons, como prata, mercúrio e cobre com grupos sulfidril da enzima; ação de compostos semelhantes à ureia, como as tio-ureias e metil-ureias que inativam o sítio ativo da urease; e adição de moléculas que reagem com o níquel presente na urease, inativando-a (Krajewska et al., 2004).

Um dos compostos químicos mais utilizados em associação com a ureia para diminuir sua hidrólise e solubilização tem sido o NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida]. Logo após o contato com o solo, o NBPT decompõe rapidamente a NBPTO [N-(n-butil) fosfórico triamida], inativando a urease pela substituição quase perfeita das moléculas da água próximas ao seu sítio ativo, ligando-se aos átomos de níquel (Tasca et al., 2011).

Segundo Rawluk et al. (2001), em condições de alta temperatura o NBPT se torna menos eficiente, porque a atividade da enzima urease é maior, como também a dissolução dos grânulos do adubo e a evaporação da solução do solo, que provoca a movimentação da ureia e da NH_3 em direção à superfície do solo. Assim, para garantir a mesma eficiência de inibição da urease, como tem-se em menores temperaturas, a concentração do NBPT deve ser maior (Carmona et al., 1990).

Okumura et al. (2013), estudando a adubação nitrogenada do milho fertilizado com ureia tratada com inibidor de urease, constataram produtividade máxima de $13.288,26 \text{ kg ha}^{-1}$ com a dose de $145,18 \text{ kg ha}^{-1}$ de N tratado com o inibidor.

Scivittaro et al. (2010), avaliando perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT, encontraram reduções de 83 e 88% da volatilização de amônia usando NBPT, para as condições de solo saturado e úmido, respectivamente, quando usado antecedendo em 10 dias a irrigação. Os autores também obtiveram aumento da produtividade e acumulação de nitrogênio pelo arroz.

9. INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO

Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) aparece como o mais limitante para o desenvolvimento da cultura do milho, sendo altamente responsiva a esse nutriente pela característica de plantas com metabolismo C4 (Marenco e Lopes, 2009). O uso deste nutriente é tão intenso que cerca de aproximadamente 75 % do nitrogênio contido no solo acaba sendo translocado até o grão, se tornando o nutriente mais exportado pela cultura, além de estar diretamente relacionado com o aumento na produção e produtividade (Guedes et al., 2017). Em contrapartida, o manejo incorreto do fertilizante é o que mais interfere na produtividade e onera o custo de produção (Cantarella e Marcelino, 2008).

A fase inicial de crescimento das plantas de milho é o momento de maior demanda do nutriente. A função do nitrogênio nos vegetais se torna fundamental no metabolismo, na biossíntese de proteínas e clorofilas (Nunes et al., 2013), além do efeito na expansão da área foliar e na produção de massa de matéria seca. Estima-se que são necessários 20 a 28 kg ha⁻¹ de N para a produção de uma tonelada de grãos (Soratto et al., 2011).

A adubação nitrogenada de cobertura no cultivo do milho é essencial para gerar ganhos na produção, mas, não é suficiente ao ponto de não precisar fornecer N durante o plantio, pois, a maioria dos solos brasileiros não consegue suprir a demanda nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura (Guedes et al., 2017). A limitação da disponibilidade de N, predominantemente, se torna uma situação constante e se agrava ainda mais em regiões de solos de textura arenosa a média, com temperatura e umidade elevadas, intensificando a decomposição da matéria orgânica, já que a maior reserva de nitrogênio no solo está ligada à matéria orgânica (cerca de 95 %) sob forma não diretamente disponível para as plantas (Paz et al., 2017).

10. REFERÊNCIAS

Al-Zahrani SM. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. *Ind Eng Chem Res.* 2000;39:367–371. 10.1021/ie980683f

Almeida T, Pcojeski E, Nunes Nesi C, De Oliveira JPM, Da Silva LS. Efficiency of protected phosphate fertilizer in corn crop. *Sci Agrar.* 2016;17:29–35. <https://doi.org/10.5380/rsa.v17i1.46173>

Bahia Filho AFC, Braga M, Ribeiro AC, Navais RF. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. *Rev Bras ciências do solo.* 1983;7:243–249.

Barrow NJ. Soil phosphate chemistry and the P-sparing effect of previous phosphate applications. *Plant Soil.* 2015;397:401–409. 10.1007/s11104-015-2514-5

Benites VM. A importância da pesquisa na avaliação da eficiência das tecnologias em fertilizantes fosfatados no Brasil. *Bol. Inf. Soc. Bras. Ciência do Solo.* 2015.

Blaylock A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações Agronômicas.* 2007;8–10.

Bortoluzzi EC, Pérez CAS, Ardisson JD, Tiecher T, Caner L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. *Appl Clay Sci. Elsevier B.V.;* 2015;104:196–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.032>

Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais R, Alvarez V, Barros N, Fontes R, Cantarutti R, organizadores. *Fertil do Solo.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p. 375–470.

Cantarella H, Marcelino R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. *Informações Agronômicas*. 2008;122:12–14.

Cantarella H, Montezano ZF. Nitrogênio e enxofre. In: Prochnow L, Casarin V, Stipp S, organizadores. *Boas práticas para uso Efic Fertil Nutr*. Piracicaba: IPNI; 2010. p. 5–46.

Carmona G, Christianson CB, Byrnes BH. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. *Soil Biol Biochem*. 1990;22:933–937. 10.1016/0038-0717(90)90132-J

Chagas WFT, Emrich EB, Guelfi DR, Caputo ALC, Faquin V. Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops. *Rev Cienc Agron*. 2015;46:266–276. 10.5935/1806-6690.20150006

Chagas WFT, Guelfi DR, Caputo ALDC, Dominghetti AW, Faquin V, Lopes RM, Chagas RMR. Agronomic efficiency of triple superphosphate coated by polymers in the initial growth of the coffee. *Coffee Sci*. 2016;11:427–435. 10.25186/cs.v11i3.1202

COELHO AM, FRANÇA GE, BAHIA AFC, GUEDES GAA. Baianço De Nitrogênio (15N) Em Um Latossolo Vermelho-Escuro, Sob Vegetação De Cerrado, Cultivado Com Milho. *Rev Bras Cienc do Solo*. 1991;15:187–193.

Costa MCG, Vitti GC, Cantarella H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Rev Bras Ciência do Solo*. 2003;27:631–637. 10.1590/s0100-06832003000400007

Da Ros CO, Damian JM, Matsuoka M, Campos GL, Bonini F, Luz DA, Olibone ANAJ. Management of phosphate and potassium fertilization in the successive cultivation of corn and sorghum for silage. *Rev Bras Milho e Sorgo*. 2019;18:14–29. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n1p14-29>

Dominghetti AW, Guelfi DR, Guimarães RJ, Caputo ALC, Spehar CR, Faquin V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*. 2016;40:173–183. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016402029615>

Erro J, Baigorri R, Yvin JC, Garcia-Mina JM. ³¹P NMR characterization and efficiency of new types of water-insoluble phosphate fertilizers to supply plant-available phosphorus in diverse soil types. *J Agric Food Chem*. 2011;59:1900–1908. [10.1021/jf103962k](https://doi.org/10.1021/jf103962k)

Fardeau JC. Dynamics of phosphate in soils. An isotopic outlook. *Fertil Res*. 1995;45:91–100. [10.1007/BF00790658](https://doi.org/10.1007/BF00790658)

Ferreira EV. Vamos economizar fertilizantes mantendo a nutrição das plantas? [Internet]. 2010. <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?data=29/05/2010&id=21626&secao=Colunas e Artigos>

Figueiredo CC de, Barbosa DV, de Oliveira SA, Fagioli M, Sato JH. Polymer-coated phosphate fertilizer and liming on the production and morphological parameters of corn | Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Rev Cienc Agron*. 2012;43:446–452. [10.1590/S1806-66902012000300005](https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300005)

Globalfert. Gasto com fertilizante é um dos vilões do custo de produção no Brasil [Internet]. 2018. <https://www.globalfert.com.br/noticias/culturas/gasto-com-fertilizante-e-um-dos-viloes-do-custo-de-producao-no-brasil/>

Gonçalves JLM, Firme DJ, Novais RF, Ribeiro AC. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Rev Bras ciências do solo*. 1985;9:107–111.

Grant CA, Flaten DN, Tomaszewicz DJ, Sheppard SC. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da plantas. *Informações Agronômicas*. Piracicaba: Potafós; 2001;1–5.

Guedes BR, Damaceno YRP, Pinto AA, Santos SLL dos, Camara FT da. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função da adubação em regime de sequeiro no Cariri-CE. Rev Ciências Agroambientais. 2017;15:53–61. <https://doi.org/10.20435/inter.v18i2.1444>

IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso em 04 de março de 2020.

Kool DM, Dolfing J, Wrage N, Van Groenigen JW. Nitrifier denitrification as a distinct and significant source of nitrous oxide from soil. Soil Biol Biochem. 2011;43:174–178. 10.1016/j.soilbio.2010.09.030

Krajewska B, Zaborska W, Chudy M. Multi-step analysis of Hg²⁺ ion inhibition of jack bean urease. J Inorg Biochem. 2004;98:1160–1168. 10.1016/j.jinorgbio.2004.03.014

Lana RMQ, Junior ACS, Silva AA, Lana AMQ. Teores de fósforo remanescente após aplicação de doses crescentes de MAP revestido com polímero de liberação gradual. An da Reun Bras Manejo e Conserv do Solo e da Água. Terezina: Embrapa meio-norte; 2010.

Lara Cabezas WAR, Trivelin PCO, Kondörfer GH, Pereira S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). Rev Bras Ciência do Solo. 2000;24:363–376. 10.1590/s0100-06832000000200014

Lorensini F, Ceretta CA, Giroto E, Cerini JB, Lourenzi CR, De Conti L, Trindade MM, de Melo GW, Brunetto G. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. Cienc Rural. 2012;42:1173–1179. 10.1590/S0103-84782012005000038

Malavolta E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres Agronômica; 2006.

Marenco RA, Lopes NF. No Title. 3º ed. UFV, organizador. Viçosa; 2009.

McLaughlin MJ, McBeath TM, Smernik R, Stacey SP, Ajiboye B, Guppy C. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils-implications for fertiliser management and design: An Australian perspective. *Plant Soil*. 2011;349:69–87. 10.1007/s11104-011-0907-7

Murga-Orrillo H, Araújo WF, Abanto-Rodriguez C, Sakazaki RT, Bardales-Lozano RM, Polo-Vargas AR. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. *Irriga*. 2016;21:352–364. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p352-364>

Novais RF, Smyth TJ. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, organizador. Viçosa; 1999.

Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN. Fósforo. In: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, organizador. *Fertil do Solo*. Viçosa; 2007. p. 471–537.

Nunes EN, Montenegro IN de A, Nascimento DAM do, Silva DA da, Nascimento R do. Análise de crescimento e assimilação de nitrogênio em plantas de milho (*Zea mays* L.). *Rev Verde Agroecol e Desenvolv Sustentável*. 2013;8:72–76. http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/1977/pdf_795

Okumura RS, Yano GT, De Cinque Mariano D, Zaccheo PVC, Takahashi HW. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com uréia tratada com inibidor de urease. *Semin Agrar*. 2013;34:157–170. 10.5433/1679-0359.2013v34n1p157

Oliveira MA de, Zucareli C, Spolaor LT, Domingues AR, Ferreira AS. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient*. 2012;16:1040–1046. 10.1590/s1415-43662012001000002

Parfitt RL. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv Agron*. 1979;30:1–

50. 10.1016/S0065-2113(08)60702-6

Pavinato PS, Rosolem CA. Disponibilidade de nutrientes no solo - Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2008;32:911–920. 10.1590/s0100-06832008000300001

Paz LB, Gallo A de S, Souza R de L, Oliveira LVN, Cunha C, Silva RF. Desempenho e produtividade do milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. *Rev Ciências Agrárias*. 2017;40:788–794. 10.19084/rca16240

Prasad R, Power JF. Soil fertility management for sustainable agriculture. CRC Press, organizador. Boca Raton; 1997.

Prochnow LI, Peterson H, Bruulsema T. Acesso das plantas ao legado de fósforo, com foco nos trópicos. *INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS NPCT*. 2019;9–11.

Raij BV. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Institute IPN, organizador. Piracicaba; 2011.

Rawluk CDL, Grant CA, Racz GJ. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. *Can J Soil Sci*. 2001;81:239–246. 10.4141/S00-052

Roy ED, Richards PD, Martinelli LA, Coletta L Della, Lins SRM, Vazquez FF, Willig E, Spera SA, VanWey LK, Porder S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. *Nat Plants*. 2016;2:2–7. 10.1038/NPLANTS.2016.43

Sanyal SK, De Datta SK. Chemistry of Phosphorus Transformations in Soil. *Adv Soil Sci*. 1991;16:1–120. 10.1007/978-1-4612-3144-8_1

Schwertmann U, Taylor RM. Iron oxides. In: Dixon JB, Weed SB, organizadores. *Miner soil Environ*. Madison: Soil Science Society of America; 1989. p. 379–427.

Scivittaro WB, Gonçalves DRN, do Vale MLC, Ricordi VG. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Cienc Rural*. 2010;40:1283–1289. 10.1590/s0103-84782010000600007

Shaviv A. Controlled release fertilizers. *Int Work Enhanc Fertil. International Fertilizer Industry Association*; 2005. p. 1–13.

Silva A de A, Silva TS, Vasconcelos ACP de, Lana RMQ. Influence of application of different sources of map coated with gradual release polymers in corn culture. *Biosci J*. 2012;28:240–250. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13221>

Silva GF, de Oliveira FHT, Pereira RG, e Silva PSL, Diógenes TBA, Silva AR d. C. Doses of nitrogen and phosphorus for economic production of corn at Chapada do Apodi, RN. *Rev Bras Eng Agric e Ambient*. 2014;18:1247–1254. 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1247-1254

Soratto RP, da Silva ÂH, Cardoso S de M, de Mendonça CG. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. *Cienc e Agrotecnologia*. 2011;35:62–70. 10.1590/S1413-70542011000100007

Soratto RP, Pereira M, da Costa TAM, do Nascimento Lampert V. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. *Rev Cienc Agron*. 2010;41:511–518. 10.1590/s1806-66902010000400002

Souza DMG, Lobato E. Adubação com nitrogênio. Cerrado: correção do solo e adubação. Embrapa Cerrados. 2002;

Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed; 2013.

Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, Cassol PC. Volatilização De Amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2011;35:493–509. 10.1590/S0100-

06832011000200018

Teixeira SO, Teixeira RO, dos Santos VB, de Carvalho MAC, Yamashita OM. Doses de fósforo e nitrogênio na produção de *Brachiaria* híbrida cv. Mulato II. *Rev Ceres*. 2018;65:28–34. 10.1590/0034-737X201865010005

Teixeira WG, De Sousa RTX, Korndörfer GH. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. *Biosci J*. 2014;30:1729–1739.

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gill H, Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: A review of formulation and nutrient release patterns. *J Sci Food Agric*. 2015;95:1131–1142. 10.1002/jsfa.6812

Tomaszewska M, Jarosiewicz A, Karakulski K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. *Desalination*. 2002;146:319–323. 10.1016/S0011-9164(02)00501-5

Trenkel ME. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association; 1997.

Trenkel ME. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. Trenkel ME International Fertil Ind Assoc. Paris; 2010.

Valderrama M. Doses e fontes de fósforo convencional e polimerizado na cultura do milho. FERTBIO. Guarapari: SBCS; 2010.

Valderrama M, Buzetti S, Filho MCMT, Benett CGS, Andreotti M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. *Semin Agrar*. 2014;35:659–669. 10.5433/1679-0359.2014v35n2p659

Viviani CA, Marchetti ME, Vitorino ACT, Novelino JO, Gonçalves MC. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em

plantas de soja, em função do aumento do pH. Cienc e Agrotecnologia.
2010;34:61–67. 10.1590/s1413-70542010000100007

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) ADUBADO COM FERTILIZANTES FOSFATADOS E NITROGENADOS DE PROTEÇÃO INTEGRADA

RESUMO

O uso de fertilizantes na agricultura é essencial para atingir altas produtividades, porém, muitas vezes grande parte dos nutrientes fornecidos via fertilizantes não é aproveitada pelas plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da utilização dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados de proteção integrada para o desempenho agronômico da cultura do milho. 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 convencional – MAPCONV, (11-46-00); fosfato monoamônio polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); fosfato monoamônico torta de filtro, – MAPTF, (06-30-00) em cinco doses de P_2O_5 (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 – NBPT, 42% de N). Avaliaram-se a produtividade, aspectos morfológicos e o P disponível no solo. O uso dos fertilizantes fosfatados com tecnologias não proporcionou produtividade superior ao uso do fertilizante convencional, exceto, para a dose de 50 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . O NBPT não proporcionou diferenças na produtividade do milho, comparado aos tratamentos com ureia. A partir da dose de 100 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 os tratamentos com MAPTF foram os que menos apresentaram fósforo disponível no final do ciclo de cultivo.

Palavras-chave: Fertilizantes, Proteção integrada, *Zea mays* L.

CHAPTER 2

AGRONOMIC PERFORMANCE OF CORN (*Zea mays* L.) FERTILIZED WITH INTEGRATED PROTECTION PHOSPHATE AND NITROGEN FERTILIZERS

ABSTRACT

The use of fertilizers in agriculture is essential to achieve high yields, however, most of the nutrients supplied via fertilizers is frequently not uptake by plants. The objective of this study was to evaluate the effect of the use of phosphate and nitrogen fertilizers of integrated protection for the agronomic performance of the maize crop. The experimental design used was in randomized blocks, with four replications, in a 3x5x2 factorial arrangement, in which the study factors consisted of the application of three sources of phosphate fertilizers (Conventional monoammonium phosphate - MAPCONV, (11-46-00); Phosphate; polymerized monoammonium - MAPPOL, (09-44-00); organic filter cake monoammonium phosphate - MAPTF, (06-30-00) in five dosages of P_2O_5 (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 - NBPT, 42% N). Yield, morphological aspects and available P in the soil were evaluated. The use of phosphate fertilizers with technologies did not provide higher yield than the use of conventional fertilizer, except for the dose of 50 $kg\ ha^{-1}$ of P_2O_5 . The NBPT did not provide differences in maize yield, compared to treatments with urea. From the dose of 100 $kg\ ha^{-1}$ of P_2O_5 , treatments with MAPTF were the ones that showed less phosphorus availability at the end of the cultivation cycle.

Keywords: Fertilizers, Integrated protection, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho é de grande importância para o agronegócio brasileiro, sendo utilizada muitas vezes para a subsistência da agricultura familiar (Silva et al., 2014), geração de renda e empregos no meio agrícola, além de ser uma alternativa para desenvolvimento do meio rural (Souza Filho et al., 2016).

A fertilidade do solo é um dos principais fatores envolvidos nas elevadas produtividades, e o baixo teor de fósforo disponível, juntamente com as elevadas perdas de nitrogênio, têm impactado negativamente a produção da cultura do milho na maioria das regiões. No caso do fósforo (P), a sua deficiência está em razão, principalmente, da adsorção específica do P na superfície dos óxidos (Simonete et al., 2015), já o nitrogênio (N) pelas perdas no sistema solo-planta-atmosfera (Cantarella, 2007; Viero et al., 2017).

O grande desafio e a alta demanda por estudos não estão em apenas fornecer o nutriente quando este estiver com baixa disponibilidade, e sim aumentar o aproveitamento, neste caso do P e N, após serem aplicados ao solo.

Uma das importantes frentes de pesquisas para aumentar a eficiência do P adicionado ao solo via fertilizantes é com uso de aditivos ou revestimentos no processo industrial. Nesse sentido, destaca-se a associação de fontes orgânicas e aditivos minerais aos fertilizantes fosfatados, além de compostos de revestimento com ação de liberação lenta ou controlada dos nutrientes (Benites, 2015), que podem ser, por exemplo, poliamidas ou polímeros.

Almeida et al. (2016) encontraram aumento do rendimento de grãos da cultura do milho de cerca de 889 kg ha⁻¹ quando utilizaram fertilizante fosfatado protegido, ao comparar com o uso de superfosfato simples. Teixeira et al. (2014) constataram que o fertilizante organomineral pode promover ganhos de até 15 % na produção de colmos de cana-de-açúcar em relação ao fertilizante mineral.

Devido à ureia ser facilmente hidrolisada no solo ocasionando perdas (Werneck et al., 2012), novas tecnologias também têm sido desenvolvidas para o nitrogênio. A utilização de fertilizantes estabilizados, de liberação lenta e de liberação controlada (Guelfi, 2017), pode aumentar o aproveitamento do fertilizante, como observado por Okumura et al. (2013), ao constatarem produtividade máxima de 13.288,26 kg ha⁻¹ de milho com a dose de 145,18 kg ha⁻¹ de N com inibidor de urease.

Diante da importância do maior aproveitamento dos nutrientes e da necessidade de pesquisas envolvendo as tecnologias em fertilizantes, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da utilização dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados de proteção integrada para o desempenho agrônômico da cultura do milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com a cultura do milho foi conduzido a campo na área experimental que localiza-se no Instituto Federal do Espírito Santo (20°45'51" latitude Sul e 41°25'50" longitude Oeste), Campus de Alegre, situado no município de Alegre – ES, em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média. De acordo com Köppen, o clima da região é do tipo "Cwa", ou seja, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco, com temperatura anual média de 23°C e precipitação anual em torno de 1.300 mm (Lima et al., 2008). Na figura 1 estão expostos dados meteorológicos do ano em que foi realizado o experimento, obtidos da estação automática de Alegre – ES, com as médias mensais de temperatura (°C) e a precipitação ocorrida (mm).

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 monoamônico – MAP, (11-46-00); fosfato monoamônico polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); fosfato monoamônico 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 – NBPT, 42% de N).

O experimento foi conduzido em área sob sistema de plantio convencional, com histórico de cultivo com olerícolas e culturas de ciclo anual há 30 anos. Entretanto, o solo estava em descanso por um ano. Aproximadamente 40 dias antes da implantação do experimento realizou-se a aração e gradagem do terreno, juntamente com a correção da acidez usando calcário calcítico PRNT 90 %, elevando a saturação de bases para a exigência da cultura (70%) (Prezotti et al., 2007).

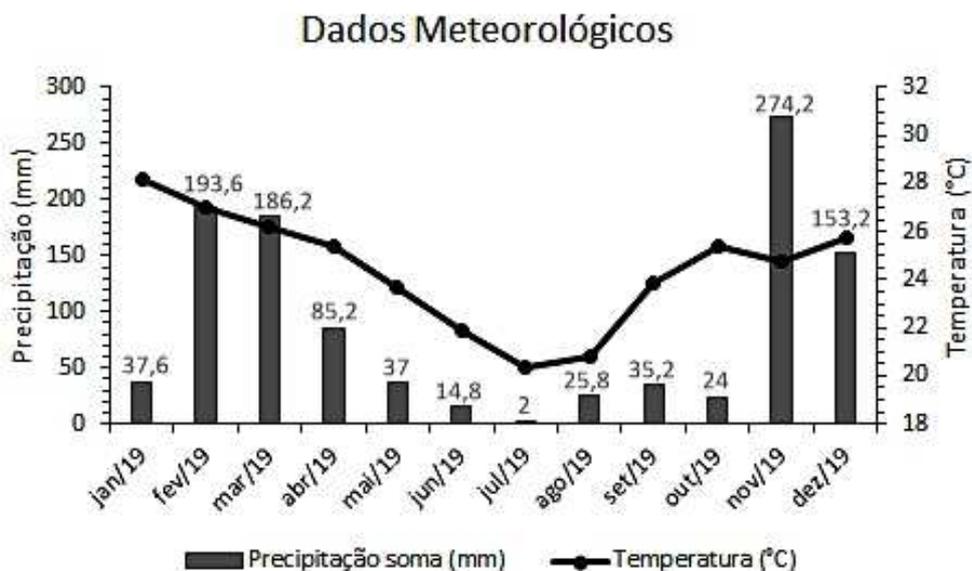


Figura 1 – Dados meteorológicos obtidos da estação automática de Alegre – ES, com as médias mensais de temperatura (°C) e a precipitação ocorrida (mm)

As parcelas experimentais constituíram-se de 6 linhas de 5 m de comprimento espaçadas por 0,80 m, totalizando 24 m² por parcelas, considerando-se como área útil as 4 linhas centrais. Utilizaram-se sementes de milho transgênico, cultivar Forseed 2B587 PW, 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 no início do mês de março de 2019.

Para a adubação de plantio utilizaram-se as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação nitrogenada foi calculada com base na maior dose do MAP convencional utilizada, visto que, os fertilizantes fosfatados utilizados também disponibilizam nitrogênio, e os demais tratamentos foram suplementados com ureia para padronizar o fornecimento de N. Os fertilizantes foram incorporados 2 cm abaixo das sementes.

A análise química e física do solo foi realizada antes da instalação do experimento, em amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm, e os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo da área experimental

Características	Valores
Areia (%) ¹	62,00
Silte (%) ¹	10,00
Argila (%) ¹	28,00
pH (H ₂ O) ²	5,18
P (mg/dm ³) ³	40,00
K (mg/dm ³) ³	80,50
Ca (cmol _c /dm ³) ⁴	1,99
Mg (cmol _c /dm ³) ⁴	0,79
Al (cmol _c /dm ³) ⁴	0,09
H + Al (cmol _c /dm ³) ⁵	2,76
SB (cmol _c /dm ³)	2,99
t (cmol _c /dm ³)	3,08
T (cmol _c /dm ³)	5,75
V (%)	51,03
m (%)	4,02

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.

A adubação de cobertura foi baseada na produtividade acima de 5500 kg ha⁻¹, com a aplicação de 100 e 20 kg ha⁻¹ de N (Ureia e NBPT) e K₂O (Cloreto de potássio), respectivamente (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 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 irrigâmetro instalado na área.

A colheita do milho foi realizada de forma manual e individualmente por unidade experimental, aos 130 dias após o plantio, quando os grãos apresentavam aproximadamente 20 % de umidade. 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 uma 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 de 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; d) produtividade de grãos, determinada pela coleta de 45 plantas e transformados em kg 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 e Alvarez, 2006) [MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF)]; [MAPPOL vs MAPTF]; depois analisados dentro de cada fertilizante nitrogenado e testados pelo teste F em nível de 5 % de probabilidade. O efeito das doses dos fertilizantes fosfatados foi avaliado por análise de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização dos fertilizantes de proteção integrada não influenciou a maioria das características avaliadas na cultura do milho (Tabela 2). A produtividade é o principal índice e também o de maior interesse na avaliação da contribuição dos fatores estudados na resposta final da cultura, ou seja, se o investimento nas tecnologias foi convertido no produto de interesse.

Pelos contrastes realizados (tabela 3; C1) observa-se que o uso dos fertilizantes MAPPOL e MAPTF não diferiu do MAPCONV para a produtividade, massa de 1000 grãos e comprimento da espiga. Portanto, as tecnologias empregadas nos fertilizantes não apresentaram melhores resultados que o fertilizante convencional. O curto ciclo produtivo da cultura do milho pode ter sido o fator que influenciou nos resultados encontrados, pois, fertilizantes com tecnologia possuem mecanismos que retardam a liberação dos nutrientes, podendo não ser interessante para culturas de ciclo curto.

Tabela 2 – Valores médios da produtividade do milho (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g), diâmetro das espigas (cm), comprimento das espigas (cm) e fósforo disponível no solo (mg dm^{-3}) em função das três fontes de fertilizantes fosfatados e suas respectivas doses, e as duas fontes de fertilizantes nitrogenados

Doses	Prod.	1000	D.E.	C.E.	P solo	Prod.	1000	D.E.	C.E.	P solo
MAPCONV										
	Ureia					NBPT				
D0	5640	311,25	4,73	12,9	25,12	5626	312,25	4,64	13,5	26,55
D50	5750	319,55	4,98	14,15	27,63	5817	329,75	4,95	14	27,93
D100	7593	336,65	5,07	14,07	39,43	7603	335,65	5,01	15,72	47,87
D150	7693	335,25	5,06	14,3	76,85	7526	335,27	5,06	14,55	75,59
D200	7403	329,85	5,21	16,12	83,97	7380	328,2	5,24	16,07	90,02
MAPPOL										
D0	5423	313,27	4,73	12,67	21,11	5443	312,37	4,72	12,57	20,93
D50	6520	326,2	5,00	14,17	38,23	7075	332,37	5,07	14,37	37,39
D100	7206	327,42	5,00	15,1	51,1	7506	332,3	5,19	14,4	57,72
D150	7076	338,5	5,06	15,35	56,79	7142	344,22	5,15	14,75	70,56
D200	7116	333,75	5,39	15,05	82,06	7070	326,57	5,31	15,7	90,68
MAPTF										
D0	5524	313,4	4,74	12,52	21,34	5316	312,98	4,69	12,87	21,94
D50	7124	324,12	5,08	13,27	33,44	6736	323,57	5,07	14,97	32,3
D100	7026	326,97	5,19	14,3	37,21	7213	323,85	5,19	14,7	40,8
D150	6920	333,95	5,19	14,77	49,31	6729	329,92	5,16	14,85	47,87
D200	7060	333,65	5,36	14,62	70,26	6920	337,2	5,29	14,92	71,34

MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; MAPTF - Fosfato monoamônico 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 solo – Fósforo disponível no solo.

Gazola et al. (2013), estudando o efeito residual entre formas de MAP revestido com polímeros e o MAP sem revestimento, também não encontraram diferenças para os componentes de produção e produtividade de grãos de milho. Os mesmos autores ainda atribuíram à não eficácia dos polímeros a sua rápida degradação, favorecida pelas condições climáticas da região e a textura argilosa do solo que intensifica a adsorção do P, indisponibilizando-o por um período maior de tempo.

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

Variáveis	C1	C2
Produtividade	71,41 ^{ns}	100,93 ^{ns}
Massa de 1000 grãos	-0,89 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Diâmetro Espiga	-0,08*	-0,03 ^{ns}
Comprimento Espiga	0,30 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Fósforo no solo	2,86*	8,77*

C1 = MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF); C2 = MAPPOL vs MAPTF. (MAPCONV - Fosfato monoamônico convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônico polimerizado; MAPTF - Fosfato monoamônico torta de filtro). Ns, não significativo e *, significativo em 5 % de probabilidade.

Valderrama et al. (2011), trabalhando com superfosfato triplo e superfosfato triplo revestido no cultivo de milho irrigado e em sistema de plantio direto (SPD), também não encontraram diferenças na produtividade do milho, concluindo que o tipo de polímero usado para revestir o superfosfato triplo não foi eficaz em liberar gradativamente o fósforo do fertilizante para o solo.

Em contrapartida, Almeida et al. (2016), em experimentação com a cultura do milho em um Latossolo Vermelho, encontraram aumento de produtividade quando usaram fósforo com proteção integrada, em comparação ao uso de superfosfato simples, e relacionaram os ganhos de produtividade à proteção recebida pelo fertilizante que evitou a adsorção do fósforo pelos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio do solo e o tornou disponível por mais tempo para absorção das plantas.

Os fertilizantes com tecnologia proporcionaram maior diâmetro das espigas, indicando que a quantidade de fósforo foi suficiente para suprir o desenvolvimento das mesmas, o que é confirmado por Grant et al. (2001), ao descreverem que o suprimento adequado de P no plantio reflete no tamanho da espiga e a sua deficiência nos estádios V6 e V7 causa a diminuição.

O fósforo tem efeito benéfico na formação de frutos e sementes (Figueiredo et al., 2012), e o grão bem formado gera aumento no diâmetro das espigas. Porém, esse aumento não foi convertido em maior produtividade e também não se relacionou com a massa de 1000 grãos. Figueiredo et al. (2012),

quando avaliaram os parâmetros morfológicos das plantas de milho submetidas à adubação com MAP convencional e revestido, não encontraram efeito significativo da fonte de fósforo no diâmetro de espigas de milho.

O maior teor de P disponível no solo encontrado no tratamento com MAPCONV contradiz os resultados de Gazola et al. (2013), que não encontraram diferenças para o P residual entre as fontes de MAP com tecnologia e o convencional, recomendando a utilização da fonte mais barata como critério de escolha.

Ao comparar os resultados do contraste C2, somente o teor de P disponível no solo foi influenciado pelo uso do MAPPOL. Os demais atributos não diferiram estatisticamente para o contraste utilizado. Este resultado remete que o uso de polímeros causa uma maior diminuição da adsorção do P no solo, quando se compara ao uso de MAPTF. Em geral, o benefício do fertilizante organomineral está relacionado à eficiência do uso de P pelas plantas devido à presença de compostos orgânicos que podem reduzir a adsorção do fósforo (Grohskopf et al., 2019).

Ao analisar o contraste C3 (tabela 4), nota-se que o uso da ureia combinada com os fertilizantes fosfatados não gerou diferenças para a maioria das variáveis estudadas (apenas para o P disponível no solo). A ureia é um fertilizante sem proteção e quando não incorporada ao solo fica sujeita a altas perdas nos sistemas agrícolas, principalmente por volatilização de amônia (Valderrama et al., 2014), podendo assim, ser a possível justificativa para não encontrar diferenças nos resultados. Especificamente na cultura do milho, a cada 1% de N volatilizado, estima-se a perda de 10 kg ha⁻¹ da produtividade de grãos (Lara Cabezas et al., 2000).

A utilização da ureia estabilizada (NBPT) influenciou o diâmetro das espigas e o P disponível no solo nos tratamentos com as tecnologias e MAPCONV, respectivamente.

Silva et al. (2009) descrevem que a ausência de P diminui a absorção do nitrogênio e Oliveira et al. (2012) afirmam que a deficiência de P prejudica a formação e desenvolvimento dos grãos.

Tabela 4 - Contrastes médios (Ci) da produtividade do milho (kg ha^{-1}), peso de 1000 grãos (g), diâmetro das espigas (cm), comprimento das espigas (cm) e disponibilidade de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função das três fontes de fertilizantes fosfatados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados

Variáveis	Ureia	NBPT	Ureia	NBPT
	C3		C4	
Produtividade	67,40 ^{ns}	75,42 ^{ns}	-62,38 ^{ns}	264,24*
Massa de 1000 grãos	-1,50 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	2,06 ^{ns}
Diâmetro Espiga	-0,06 ^{ns}	-0,10*	-0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Comprimento Espiga	0,24 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,57*	-0,10 ^{ns}
Fósforo no solo	2,73*	2,99*	7,43*	10,11*

C3 = (MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF) : Ureia + NBPT); C4 = ((MAPPOL vs MAPTF) : Ureia + NBPT). (MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; Fosfato monoamônico torta de filtro; UC - Ureia convencional; NBPT - Ureia com aditivo inibidor de urease). Ns, não significativo e *, significativo em 5 % de probabilidade.

De acordo com as observações desses autores, pode-se concluir que os tratamentos com tecnologia atuaram de forma complementar e de maneira eficiente para o melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas.

Quando se compararam as duas fontes de fertilizantes fosfatados de proteção integrada com as duas fontes de fertilizantes nitrogenados (C4), observou-se influência no comprimento das espigas usando MAPPOL juntamente com a ureia, e maior produtividade usando-se o MAPPOL com NBPT.

O fósforo disponível no solo, independente da fonte nitrogenada, foi maior nos tratamentos com MAPPOL, demonstrando que o uso de polímeros no revestimento do fertilizante possibilitou maior eficiência na disponibilização de P do que o uso de torta de filtro.

Para a massa de 1000 grãos não houve efeito significativo em nenhum dos tratamentos realizados. Entretanto, é uma característica que pode refletir diretamente na produtividade do milho, além de permitir estimar a produtividade de uma área, apoiando-se no estande final de plantas por hectare (Mortate et al., 2018).

De acordo com Mortate et al. (2018), o comprimento da espiga é um parâmetro determinante de uma boa produtividade, pois influencia no número de

grãos por espiga. Contudo, neste experimento essa relação não foi encontrada e nota-se que o diâmetro da espiga foi o fator que mais agregou à produtividade.

Assim como no trabalho de Okumura et al. (2013), a utilização do NBPT ocasionou maior rendimento de grãos, mostrando ser uma alternativa, juntamente com o MAPPOL, para aumentar a produtividade da cultura do milho.

De maneira contrária, Gioacchini et al. (2002) observaram que apesar da redução da volatilização de N pelo uso dos inibidores, não obtiveram maiores rendimentos produtivos para a cultura da aveia, quando comparados à ureia convencional. Rozas et al. (1999) verificaram, em avaliações de três anos, que o uso de ureia tratada com NBPT não aumentou o rendimento do milho ao comparar-se à ureia convencional.

A produtividade do milho, de maneira geral, não foi influenciada pelos fertilizantes nitrogenados (figura 2), demonstrando que a contribuição da tecnologia foi semelhante ao uso da ureia convencional. Nota-se que quando se utilizou o MAPPOL e MAPCONV, a produtividade apresentou resposta quadrática. O efeito do aumento das doses foi benéfico principalmente ao utilizar a fonte convencional por se tratar de um fertilizante sem proteção e mais sujeito à adsorção.

Doses que se aproximam ou ultrapassam 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentam efeito negativo, ou seja, ao invés de proporcionar aumentos de produtividade, causam a sua diminuição. Esse efeito pode ser entendido por meio da Lei de Mitscherlich, que descreve que, com a utilização crescente das doses do nutriente deficiente no solo, a produtividade aumenta rapidamente no início (tendendo a uma resposta linear) e estes aumentos tornam-se cada vez menores até atingir um "plateau", onde a maior dose não resulta em mais incrementos, fazendo com que não haja respostas a novas adições (Malavolta, 1976).

A dose de P recomendada no plantio por Prezotti et al. (2007), para as condições de textura e teor de P do solo em estudo, é de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Observa-se que as respostas de produtividade acima dessa dose não foram obtidas seguindo a mesma proporção de ganhos.

Observando a resposta dos fertilizantes dentro da dose de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 , percebe-se que o uso das tecnologias resultou em maior produtividade do que ao usar a fonte convencional.

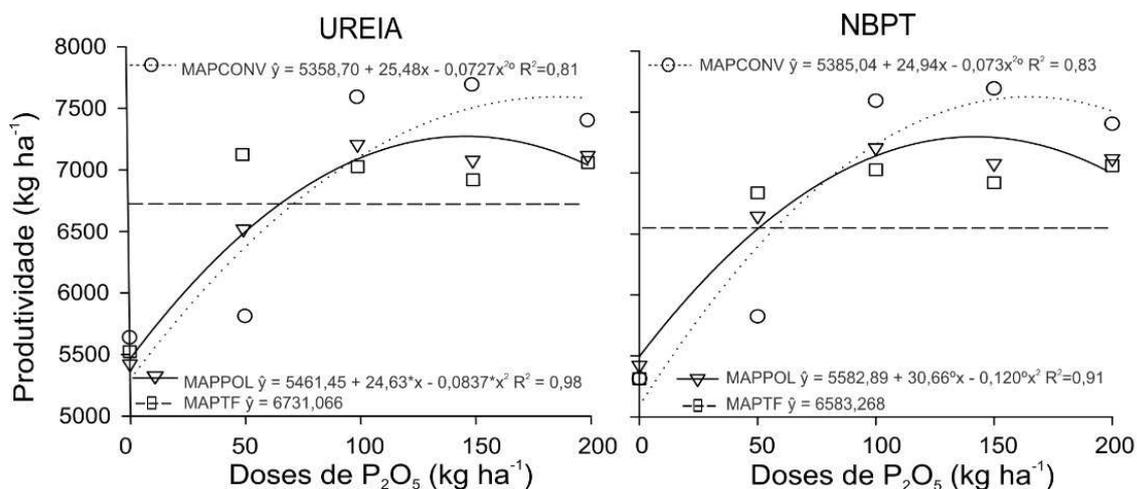


Figura 2 - Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados na produtividade do milho

Independente da fonte utilizada, a adubação com P e N gera aumento de produtividade (Silva et al., 2014), ficando bem notório ao observar o tratamento com dose 0 de P_2O_5 , que apresentou os menores rendimentos.

Barreto & Fernandes (2002), analisando a produtividade do milho com adubações a lanço e em sulco e com doses crescentes de P_2O_5 , encontraram aumento de produtividade, com resposta quadrática às doses aplicadas. Já Oliveira et al. (2012) relataram que a produtividade por planta não foi afetada pelo fator doses de adubação fosfatada.

Na figura 3, observa-se que a massa de 1000 grãos apresentou resposta semelhante entre os fertilizantes nitrogenados. O MAPCONV e o MAPPOL obtiveram comportamento quadrático e o MAPTF linear.

Usando MAPCONV e o MAPPOL nos tratamentos com NBPT, quando aproxima-se da dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 o efeito do nutriente foi negativo para a massa de grãos, se tornando prejudicial. Nos tratamentos com ureia tal efeito foi encontrado a partir da dose de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

O MAPTF, assim como outras tecnologias, possui mecanismo para diminuir a intensidade de adsorção de P. Entretanto, a fração do fósforo contida na matéria orgânica necessita ser mineralizada para ser absorvida pelas plantas e apenas uma porção é mineralizada nos primeiros meses após sua aplicação (Caione et al., 1983). Por isso, pode-se atribuir o maior ganho de massa de grãos à maior dose aplicada.

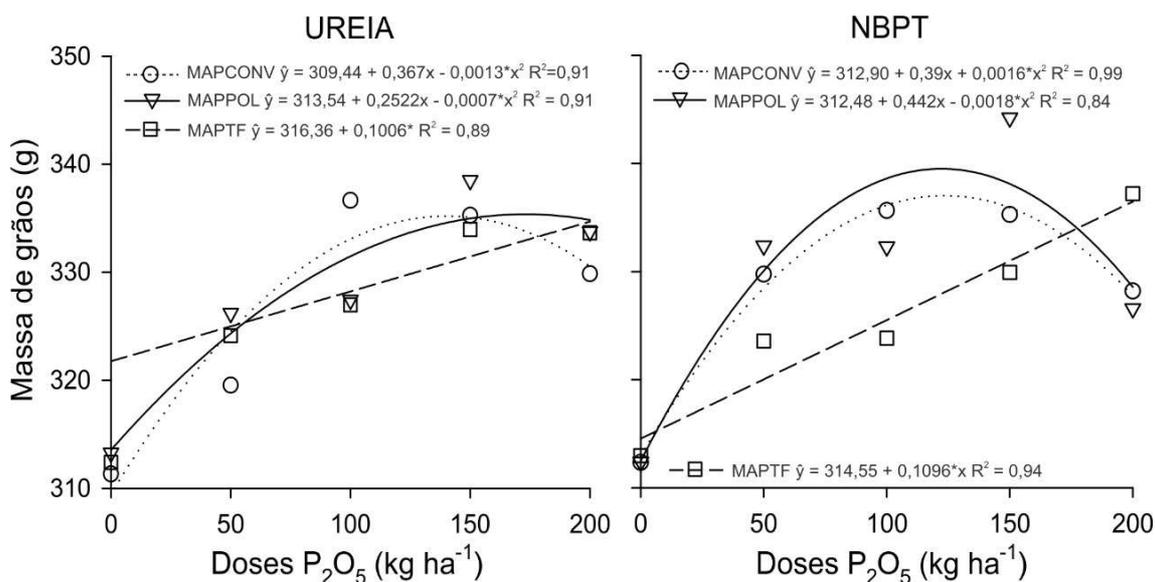


Figura 3 - Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados na massa de 1000 grãos

Oliveira et al. (2015) não encontraram efeito das doses de P_2O_5 no ganho de massa de grãos, contrariando os resultados deste trabalho. Fernandes et al. (2005) ressaltam a importância deste fator de estudo, pois a massa de grãos influencia diretamente a produtividade da cultura.

Em ambas as fontes nitrogenadas, o diâmetro das espigas obteve resposta linear com expressivo aumento perante a elevação das doses de P_2O_5 (figura 4). Destaca-se ainda que os fertilizantes fosfatados de proteção integrada apresentaram melhores resultados. Neste caso, a tecnologia do fertilizante nitrogenado não foi determinante para o aumento do diâmetro das espigas, por outro lado, independente da fonte fosfatada, as doses de P_2O_5 contribuíram positivamente para esta variável estudada.

Ressalta-se a importância do fósforo no tamanho das espigas, pois é um nutriente muito demandado para a formação dos grãos, e estes bem formados geram um aumento no diâmetro das espigas (Figueiredo et al., 2012). Foi possível observar que o aumento das doses de P_2O_5 possibilitou o crescimento das espigas devido à maior disponibilidade de P com as maiores doses. Silva et al. (2014) também encontraram efeito positivo com o aumento das doses de fósforo combinadas com a adubação nitrogenada.

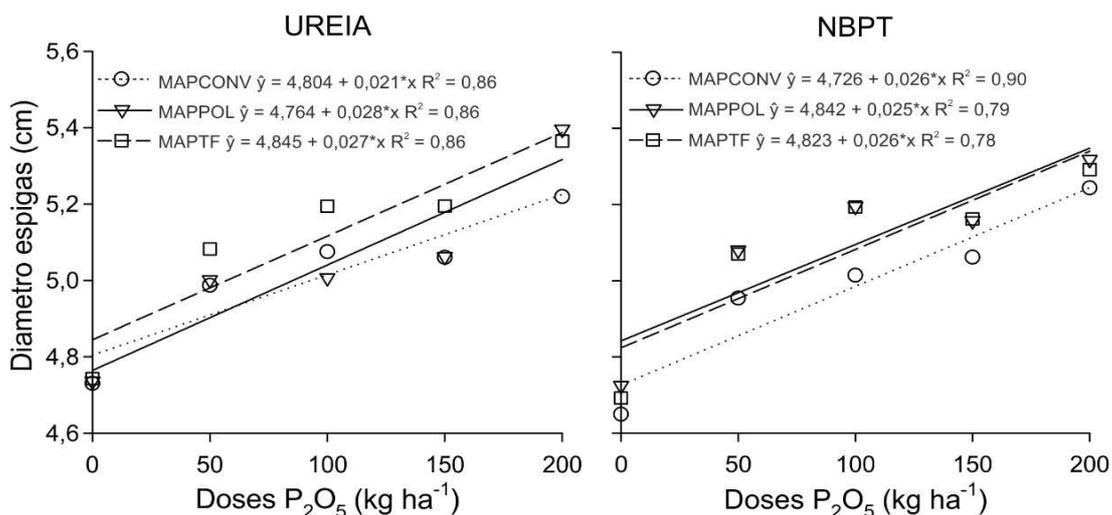


Figura 4 - Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados no diâmetro das espigas

Ao analisar o comprimento das espigas (figura 5), percebe-se que o MAPPOL e o MAPTF obtiveram resposta quadrática no tratamento com ureia. Isso demonstra que a maior dose de P_2O_5 não contribuiu para o maior comprimento das espigas, e de forma contrária, causa a redução do tamanho, que foi maior na dose de 150 kg ha^{-1} . O MAPCONV apresentou correlação linear com as doses utilizando a ureia, sendo que o maior comprimento de espigas foi obtido na máxima dose. No tratamento com NBPT, o MAPCONV e o MAPPOL apresentaram correlação linear.

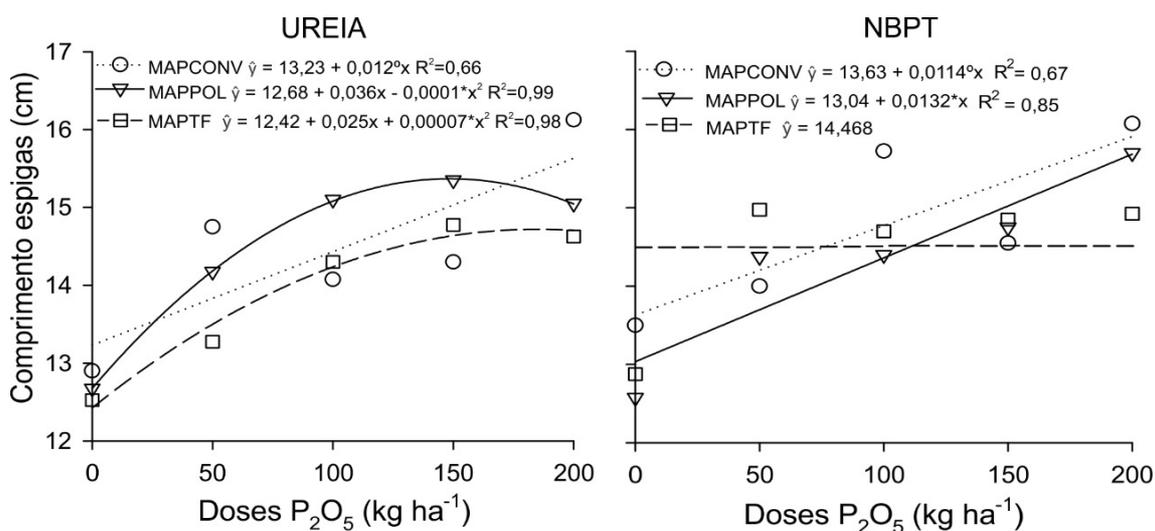


Figura 5 - Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados no comprimento das espigas

O comprimento das espigas é uma característica agrônômica de suma importância para a cultura do milho por influenciar na quantidade de grãos por espigas, o que determina o potencial produtivo da cultura (Mortate et al., 2018). Assim, utilizar doses de P_2O_5 que possibilitam o maior crescimento das espigas, reflete em resultados satisfatórios de produção.

O P disponível no solo (figura 6) apresentou resposta linear com as doses de P_2O_5 , demonstrando que quanto maior a dose aplicada, independente da fonte, mais fósforo disponível teria no solo ao final do cultivo. Nota-se também que os fertilizantes nitrogenados não influenciaram na disponibilidade de P.

O MAPCONV, que é um fertilizante sem proteção, nas menores doses teve sua disponibilidade reduzida por estar sujeito a uma maior intensidade de adsorção. Mas, nas doses mais elevadas observou-se maior disponibilidade quando comparado com os fertilizantes de proteção integrada. A possível justificativa para essa ocorrência é que os fertilizantes MAPPOL e MAPTF possuem uma liberação mais lenta ao longo do tempo (Machado e de Souza, 2012) e, assim, a fonte convencional superou a disponibilidade das fontes com tecnologia devido à sua liberação ser imediata, além disso, a cultura do milho possui ciclo curto.

Grohskopf et al. (2019), trabalhando com adubação fosfatada na cultura do milho observaram que após três colheitas o teor de P disponível aumentou em função da dose de P em todas as camadas que foram avaliadas, independente da fonte utilizada. Tais resultados, corroboram com os dados encontrados no presente trabalho.

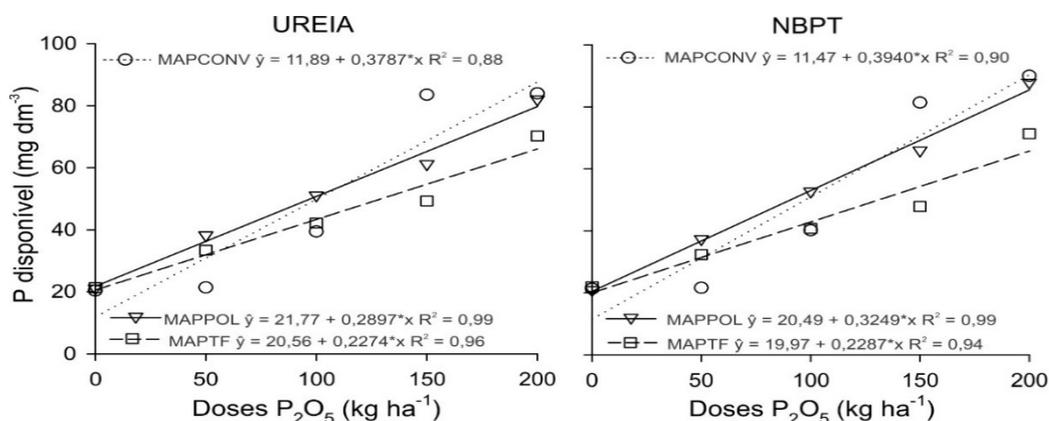


Figura 6 - Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados no P disponível no solo

Diante dos resultados encontrados, observa-se a necessidade de mais pesquisas para ampliar o conhecimento sobre os fertilizantes testados, e, então, concluir sobre a eficiência dos mesmos.

4. CONCLUSÕES

O uso dos fertilizantes fosfatados com tecnologias não proporcionou produtividade superior ao uso do fertilizante convencional, exceto, para a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O NBPT não proporcionou diferenças na produtividade do milho, comparado aos tratamentos com ureia.

A partir da dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ os tratamentos com MAPTF foram os que menos apresentaram fósforo disponível no final do ciclo de cultivo.

5. REFERÊNCIAS

Almeida T, Pocojeski E, Nunes Nesi C, De Oliveira JPM, Da Silva LS. Efficiency of protected phosphate fertilizer in corn crop. *Sci Agrar*. 2016;17:29–35. <https://doi.org/10.5380/rsa.v17i1.46173>

Alvarez VVH, Alvarez GAM. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! *Bol Inf da Soc Bras Ciência do Solo*. 2006;31:24–34.

Benites VM. A importância da pesquisa na avaliação da eficiência das tecnologias em fertilizantes fosfatados no Brasil. *Bol. Inf. Soc. Bras. Ciência do Solo*. 2015.

Caione G, González L, Prado R, Hernández A, Moda L, Selva E, Nahas E. Adubação fosfatada com torta de filtro, fosfato natural e biofertilizantes em ultisol (argissolo). *Cienc del suelo*. 1983;27:1–9. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672009000100001

Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais R, Alvarez V, Barros N, Fontes R, Cantarutti R, organizadores. *Fertil do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p. 375–470.

Fernandes AC, Barreto MF. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. *Rev Bras ciências do solo*. 2002;26:151–156. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832002000100015>

Fernandes FCS, Buzetti S, Arf O, Andrade JAC. Doses, Eficiência e Uso de Nitrogênio por Seis Cultivares de Milho. *Rev Bras Milho e Sorgo*. 2005;4:195–204. [10.18512/1980-6477/rbms.v4n2p195-204](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n2p195-204)

Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 2011;35:1039–1042. [10.1590/s1413-70542011000600001](https://doi.org/10.1590/s1413-70542011000600001)

Figueiredo CC de, Barbosa DV, de Oliveira SA, Fagioli M, Sato JH. Polymer-coated phosphate fertilizer and liming on the production and morphological parameters of corn | Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Rev Cienc Agron.* 2012;43:446–452. 10.1590/S1806-66902012000300005

Gazola RDN, Buzetti S, Dinalli RP, Filho MCMT, De Souza Celestrino T. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. *Rev Ceres.* 2013;60:876–884. 10.1590/S0034-737X2013000600016

Gioacchini P, Nastri A, Marzadori C, Giovannini C, Antisari LV, Gessa C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biol Fertil Soils.* 2002;36:129–135. 10.1007/s00374-002-0521-1

Grant CA, Flaten DN, Tomasiewicz DJ, Sheppard SC. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da plantas. *Informações Agronômicas.* Piracicaba: Potafós; 2001;1–5.

Grohskopf MA, Corrêa JC, Fernandes DM, Benites V de M, Teixeira PC, Cruz CV. Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. *Pesqui Agropecuária Bras.* 2019;54. 10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00434

Guelfi D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações agronômicas IPNI.* 2017;157:1–32.

Lara Cabezas WAR, Trivelin PCO, Kondörfer GH, Pereira S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). *Rev Bras Ciência do Solo.* 2000;24:363–376. 10.1590/s0100-06832000000200014

Lima JSDS, Silva SDA, De Oliveira RB, Cecílio RA, Xavier AC. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre - ES. *Rev Cienc Agron.*

2008;39:327–332.

Machado VJ, de Souza CHE. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Biosci J*. 2012;28:1–7.

Mortate RK, Nascimento EF, Gonçalves EG de S, Lima MWDP. Resposta do milho (zea mays l.) À adubação foliar e via solo de nitrogênio. *J Neotrop Agric*. 2018;5:1–6. 10.32404/rean.v5i1.2202

Okumura RS, Yano GT, De Cinque Mariano D, Zaccheo PVC, Takahashi HW. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com uréia tratada com inibidor de urease. *Semin Agrar*. 2013;34:157–170. 10.5433/1679-0359.2013v34n1p157

Oliveira MA de, Zucareli C, Spolaor LT, Domingues AR, Ferreira AS. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient*. 2012;16:1040–1046. 10.1590/s1415-43662012001000002

Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG, Oliveira JA. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo. 5º ed. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO; 2007.

Rozas HS, Echeverría HE, Studdert GA, Andrade FH. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agron J*. 1999;91:950–955. 10.2134/agronj1999.916950x

Silva EC, Muraoka T, Villanueva FCA, Espinal FSC. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. *Pesqui Agropecu Bras*. 2009;44:118–127. 10.1590/S0100-204X2009000200002

Silva GF, de Oliveira FHT, Pereira RG, e Silva PSL, Diógenes TBA, Silva AR d. C. Doses of nitrogen and phosphorus for economic production of corn at Chapada do Apodi, RN. *Rev Bras Eng Agric e Ambient*. 2014;18:1247–1254.

10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1247-1254

Simonete MA, Ernani PR, Moro L, Teixeira-Gandra CFA, Gatiboni LC. Eficiência de métodos analíticos na predição da disponibilidade de fósforo para arroz irrigado em solos catarinenses. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2015;39:1151–1160. 10.1590/01000683rbcsc20140797

Souza Filho A, Oliveira F, Preston W, Silva G, Carvalho S. Nitrogen and phosphate fertilizer on green corn grown in succession to the melon crop. *Hortic Bras*. 2016;34:392–397. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003014>
Nitrogen

Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de solo. 3º ed. Brasília: Embrapa Solos - Livro técnico (INFOTECA-E); 2017.

Teixeira WG, De Sousa RTX, Korndörfer GH. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. *Biosci J*. 2014;30:1729–1739.

Valderrama M, Buzetti S, Benett CGS, Andreotti M, Filho MCMT. NPK sources and doses on irrigated corn under no-till system. *Pesqui Agropecu Trop*. 2011;41:237–242. 10.5216/pat.v41i2.8390

Valderrama M, Buzetti S, Filho MCMT, Benett CGS, Andreotti M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. *Semin Agrar*. 2014;35:659–669. 10.5433/1679-0359.2014v35n2p659

Viero F, Menegati GB, Carniel E, da Silva PRF, Bayer C. Urease inhibitor and irrigation management to mitigate ammonia volatilization from urea in no-till corn. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2017;41:1–11. 10.1590/18069657rbcsc20160567

Werneck CG, Breda FA, Zonta E, Lima E, Polidoro JC, Balieiro F de C, Campos AC de. Volatilização de amônia proveniente de ureia com zeólita natural. *Pesqui*

Agropecu Bras. 2012;47:466–470. 10.1590/S0100-204X2012000300020

Zucareli C, Ferreira A, Domingues A, Spolaor L. Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agronômico do milho. Rev Ciências Agrárias. 2015;38:18–25.

CAPÍTULO 3

FERTILIZANTES DE PROTEÇÃO INTEGRADA E ACÚMULO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO EM PLANTAS DE MILHO (*Zea mays* L.)

RESUMO

O melhor aproveitamento do fósforo e do nitrogênio disponibilizados via fertilizantes é um desafio dentro da agricultura e, com isso, a demanda por estudos é crescente, dada a importância que cada nutriente exerce no incremento de produtividade pela nutrição ideal das plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar os teores foliares de fósforo e nitrogênio e a massa seca das plantas, em função da utilização dos fertilizantes de proteção integrada e suas respectivas doses, em trabalho conduzido a campo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, em um arranjo fatorial 3x5x2, em que os fatores de estudo consistiram na aplicação de três fontes de fertilizantes fosfatados (Fosfato monoamônio convencional – MAPCONV, (11-46-00); Fosfato monoamônio polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); Fosfato monoamônico 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 – NBPT, 42% de N). Avaliaram-se os aspectos nutricionais (P e N) da planta e a produção de massa seca da parte aérea ao longo do período de cultivo. O aumento das doses de fósforo influenciou positivamente o teor foliar de P e o ganho de massa seca pelas plantas. As fontes de P com tecnologia foram superiores à fonte convencional para aumentar o teor de nitrogênio e a massa seca das plantas. O fertilizante fosfatado revestido por polímeros proporcionou maior teor de P nos tecidos foliares do que quando se usou o fertilizante fosfatado com torta de filtro.

Palavras-chave: Nutrição mineral, adubos com tecnologia associada, *Zea mays* L.

CHAPTER 3

INTEGRATED PROTECTION FERTILIZERS AND PHOSPHORUS AND NITROGEN ACCUMULATION IN CORN PLANTS (*Zea mays* L.)

ABSTRACT

To increase the efficiency use of phosphorus and nitrogen made available via fertilizers by the crops is an important challenge for the agriculture. In this way, the demand for these studies is growing, given the importance that each nutrient exerts in increasing yield through the ideal nutrition of the crops. The objective of this work was to evaluate the foliar contents of phosphorus and nitrogen and the dry mass of the plants, according to the use of integrated protection fertilizers and its respective dosages. The experimental design used was in randomized blocks, with three replications, in a 3x5x2 factorial arrangement, in which the study factors consisted of the application of three sources of phosphate fertilizers (Conventional monoammonium phosphate - MAPCONV, (11-46-00); Phosphate; polymerized monoammonium - MAPPOL, (09-44-00); organic filter cake monoammonium phosphate - MAPTF, (06-30-00) in five dosages 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 - NBPT, 42% N). We evaluated the nutritional aspects (P and N) of the plant and the production of dry mass throughout, the cultivation period. The increase in phosphorus doses positively influenced the leaf P content and the crops dry mass. The sources of P with technology were superior to the conventional source in terms of increasing the nitrogen content and maize dry mass. The phosphate fertilizer coated with polymers provided a higher P content in the leaf tissues than when the phosphate fertilizer with filter cake was used.

Keywords: Mineral nutrition, fertilizers with associated technology, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, aumentar a produtividade das culturas é um desafio e uma necessidade para garantir a alimentação da população e reduzir os impactos ambientais causados com os sistemas de cultivo e a abertura de novas áreas agrícolas. Uma das formas de aumentar o rendimento das culturas é a fertilização dos solos por meio de adubação mineral ou orgânica. E, a cultura do milho, que é de grande importância alimentar, apresenta alto potencial produtivo e respostas expressivas quando cultivado em solos de boa fertilidade (Menezes et al., 2018).

Como maneira de melhorar o aproveitamento no uso do P, algumas tecnologias passaram a ser associadas aos grânulos dos fertilizantes como tentativa de reduzir a intensidade de adsorção. Os fertilizantes de proteção integrada buscam permitir a liberação gradual do nutriente para a solução do solo, devido à presença de uma camada de polímeros (aditivos minerais) que revestem os grânulos e diminuem o contato com os óxidos de ferro e alumínio que adsorvem o P, o que contrasta com a liberação imediata dos fertilizantes solúveis convencionais (Chagas et al., 2016).

Outra tecnologia usada para aumentar o aproveitamento da adubação fosfatada é a utilização dos fertilizantes organominerais, que podem proporcionar uma liberação mais lenta de P ou uma menor intensidade de adsorção de P nos colóides do solo e, conseqüentemente, maior aproveitamento pelas plantas. Além disso, a matéria orgânica associada ao fertilizante ajuda a melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo ao redor dos grânulos, favorecendo o aproveitamento pelas plantas e, portanto, o seu rendimento (Grohskopf et al., 2019).

Teixeira et al. (2016) usando MAP com proteção integrada observaram diferenças na liberação e disponibilidade de fósforo no solo, resultando em maior eficiência de uso de P em plantas de milho.

Assim como o fósforo, o nitrogênio também é um nutriente muito exigido pelas plantas e a cultura do milho é a que mais consome fertilizantes nitrogenados no Brasil, 27% do total (Heffer et al., 2017). A ureia é a fonte de N mais utilizada nos sistemas agrícolas, contudo, é a que pode apresentar menor eficiência de uso. A volatilização da amônia (NH_3) quando aplicada em superfície

(Barberena et al., 2019) e a lixiviação do nitrato (NO_3^-) no perfil do solo (Lisboa et al., 2019) são as perdas comuns do N nos solos fertilizados.

Como alternativa de minimizar as perdas de N, destaca-se o uso dos fertilizantes de proteção integrada. A exemplo, os fertilizantes estabilizados que são geralmente solúveis em água e recobertos com aditivos que têm a capacidade de alterar ou inibir os processos enzimáticos e microbianos do solo, devido aos inibidores de urease (NBPT [N-(n-butil) triamida tiofosfórica]) e/ou de nitrificação (DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol), DCD (dicianodiamida), tiossulfato de amônio e nitrapirin (2-cloro-6 piridina)) (Scivittaro et al., 2018).

Há também os fertilizantes que são recobertos ou encapsulados por polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas, ou ainda por materiais inorgânicos, como o enxofre elementar (Scivittaro et al., 2018), retardando a hidrólise, fazendo com que a liberação seja lenta e gradual, deixando o nitrogênio menos tempo exposto ao ambiente.

Soratto et al. (2010) verificaram que o teor de N na folha do milho foi influenciado pelas fontes de N estudadas, encontrando os melhores resultados quando usado o fertilizante com tecnologia frente às fontes convencionais.

Entre as várias maneiras de avaliar o aproveitamento dos fertilizantes pela planta, destaca-se a eficiência agrônômica (EA), sendo um parâmetro que avalia o impacto causado na produção pelo fator em teste (Chagas et al., 2016). A concentração do nutriente no tecido vegetal pode ser afetada por um fator que modificou o crescimento e absorção do próprio nutriente durante o ciclo da cultura. Conhecer o estado nutricional das plantas é imprescindível, pois para interpretação da análise foliar, usa-se a concentração do nutriente como referencial (Maia et al., 2005). A tecnologia empregada no fertilizante é um fator levado em consideração na absorção do nutriente pela planta devido à sua disponibilidade no solo.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar os teores foliares de fósforo e nitrogênio e a massa seca das plantas, em função da utilização dos fertilizantes de proteção integrada e suas respectivas doses.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com a cultura do milho foi conduzido a campo na área experimental que localiza-se no Instituto Federal do Espírito Santo (20°45'51"

latitude Sul e 41°25'50" longitude Oeste), Campus de Alegre, situado no município de Alegre – ES, em um Latossolo Vermelho Amarelo textura média. De acordo com Köppen, o clima da região é do tipo “Cwa”, ou seja, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco, com temperatura anual média de 23°C e precipitação anual em torno de 1.300 mm (Lima et al., 2008). Na figura 1 estão expostos dados meteorológicos do ano em que foi realizado o experimento, obtidos da estação automática de Alegre – ES, com as médias mensais de temperatura (°C) e a precipitação ocorrida (mm).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, em um arranjo fatorial 3x5x2, em que os fatores de estudo consistiram na aplicação de três fontes de fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônico – MAP, (11-46-00); fosfato monoamônico polimerizado – MAPPOL, (09-44-00); fosfato monoamônico 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 – NBPT, 42% de N).

O experimento foi conduzido em área sob sistema de plantio convencional, cujo histórico de cultivo era com olerícolas e culturas de ciclo anual há 30 anos, entretanto, estava em descanso por um ano. Aproximadamente 40 dias antes da implantação realizou-se a aração e gradagem do terreno, juntamente com a correção da acidez usando calcário calcítico PRNT 90 %, elevando a saturação de bases para 70% (Prezotti et al., 2007).

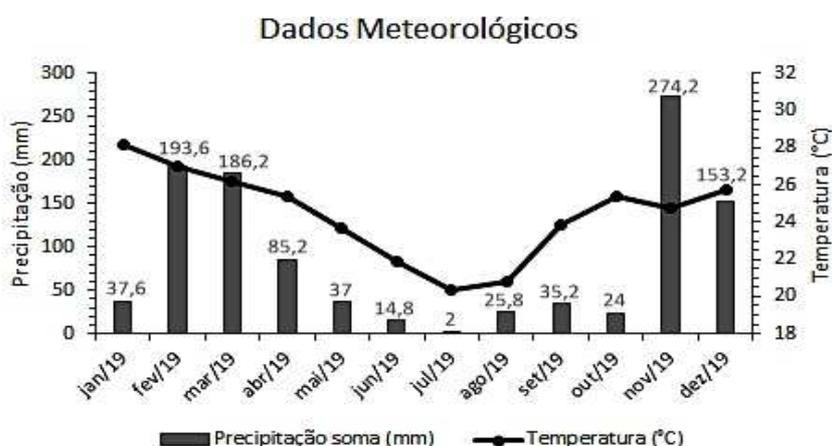


Figura 1 – Dados meteorológicos obtidos da estação automática de Alegre – ES, com as médias mensais de temperatura (°C) e a precipitação ocorrida (mm)

As parcelas experimentais constituíram-se de 6 linhas de 5 m de comprimento espaçadas por 0,80 m, totalizando 24 m² por parcelas, considerando-se como área útil as 4 linhas centrais. Utilizaram-se sementes de milho transgênico, cultivar Forseed 2B587 PW, 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 no início do mês de março.

A análise química e física do solo foi determinada antes da instalação do experimento e os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo da área experimental

Características	Valores
Areia (%) ¹	62,00
Silte (%) ¹	10,00
Argila (%) ¹	28,00
pH (H ₂ O) ²	5,18
P (mg/dm ³) ³	40,00
K (mg/dm ³) ³	80,50
Ca (cmol _c /dm ³) ⁴	1,99
Mg (cmol _c /dm ³) ⁴	0,79
Al (cmol _c /dm ³) ⁴	0,09
H + Al (cmol _c /dm ³) ⁵	2,76
SB (cmol _c /dm ³)	2,99
t (cmol _c /dm ³)	3,08
T (cmol _c /dm ³)	5,75
V (%)	51,03
m (%)	4,02

1- Método da pipeta (Teixeira, 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. Profundidade de coleta das amostras de solo: 0 – 20 cm.

Para a adubação de plantio utilizaram-se as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação nitrogenada foi calculada com base na maior dose do MAP convencional utilizada, visto que, os fertilizantes fosfatados utilizados também disponibilizam nitrogênio, e os demais tratamentos foram suplementados com ureia para padronizar o fornecimento de N. Os fertilizantes foram incorporados 2 cm abaixo das sementes.

A adubação de cobertura foi baseada na produtividade acima de 5500 kg ha⁻¹, com a aplicação de 100 e 20 kg ha⁻¹ de N (Ureia e NBPT) e K₂O (Cloreto de potássio), respectivamente (Prezotti et al., 2007), entre as linhas das parcelas, na superfície do solo, dividida em duas vezes, no estágio V4 e V8 da cultura.

O manejo de plantas daninhas foi efetuado inicialmente com capina manual e posteriormente com 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.

Foram realizadas coletas de duas plantas por parcela, iniciando-se aos 30 dias após o plantio (DAP) e mantidas a cada 20 dias até os 110 DAP, totalizando cinco coletas, desta forma, pôde-se acompanhar o estado nutricional da cultura ao longo do cultivo. Após coletadas, as plantas eram levadas para estufa de circulação forçada de ar e mantidas a 65 °C até atingirem massa constante. Logo em seguida, as amostras eram pesadas e somente as folhas moídas em moinho de facas.

Realizaram-se as seguintes avaliações: a) teor de P presente nas folhas (dag kg⁻¹), que após digestão nitroperclórica, foi determinado de acordo com Silva et al. (1999); b) teor de N presentes nas folhas (dag kg⁻¹), que após digestão sulfúrica, foi determinado de acordo Tedesco et al. (1995); c) massa seca da parte aérea (g planta⁻¹).

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 e Alvarez, 2006) (MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF); MAPPOL vs MAPTF; depois analisados dentro de cada fertilizante nitrogenado) e testados pelo teste F em nível de 5 % de probabilidade, e as doses dos fertilizantes fosfatados avaliadas por regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 estão apresentados os valores médios das variáveis analisadas. De acordo com o comportamento de cada tratamento pode-se observar os efeitos causados pelas fontes de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, assim como a influência das doses de P no teor do nutriente na planta.

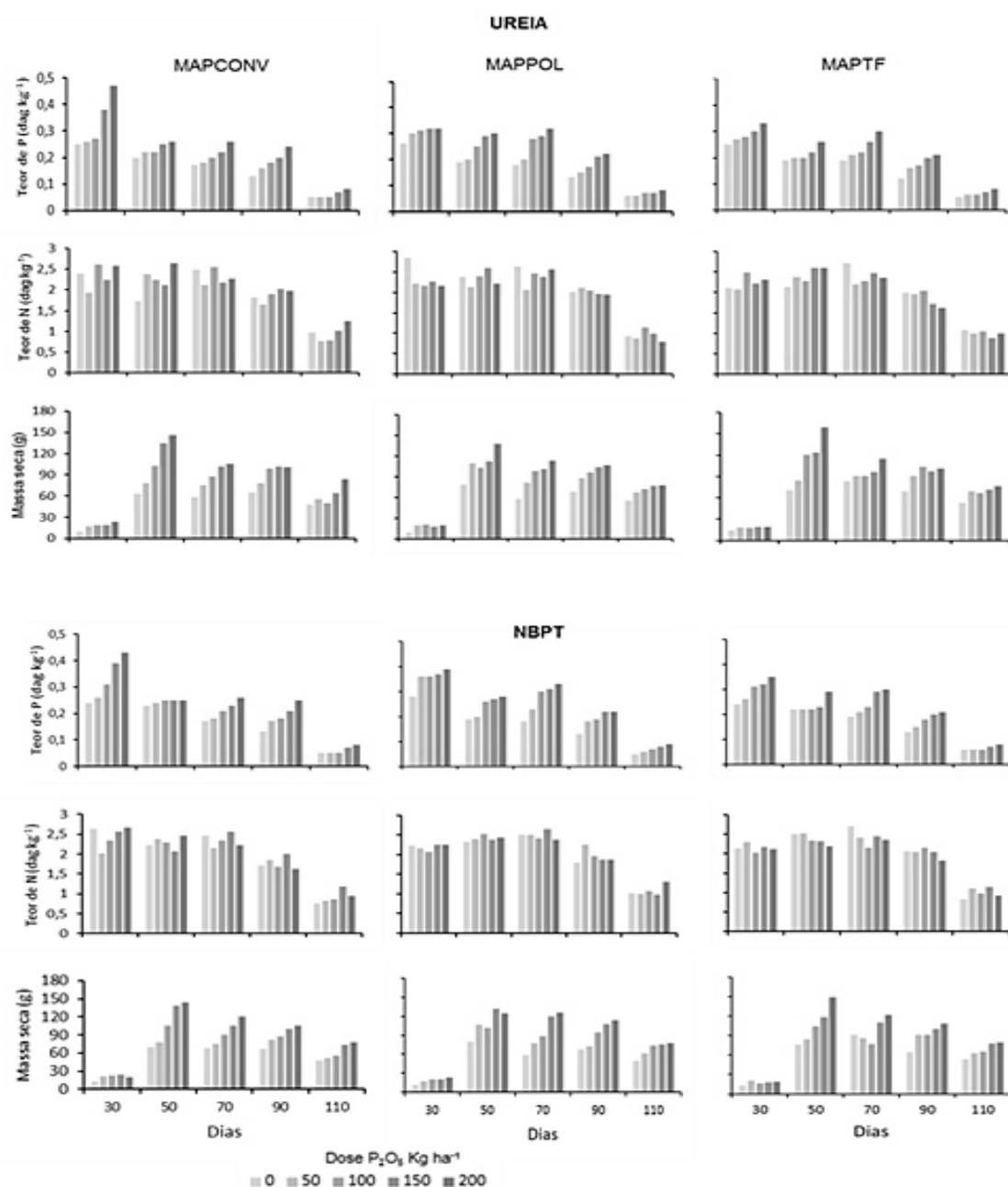


Figura 2 – Valores médios dos teores (dag kg^{-1}) de fósforo e nitrogênio nos tecidos foliares e a massa seca (g planta^{-1}) das plantas, em função das três fontes de fertilizantes fosfatados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados, encontrados nas cinco épocas de coleta de plantas de milho após o plantio

Na tabela 2 pode-se observar que nos contrastes realizados entre a fonte de fertilizante convencional com as tecnologias (C1), os teores de fósforo na planta de milho não apresentaram diferenças, demonstrando que todas as fontes disponibilizaram P em quantidade suficiente para que as plantas absorvessem teores semelhantes do nutriente.

Podem existir várias justificativas para o insucesso das tecnologias, algumas delas são intrínsecas à própria integridade da tecnologia e outras dependentes das condições climáticas e do solo, como, por exemplo temperatura, umidade e teor de argila (Gazola et al., 2013), assim, podendo justificar os resultados encontrados.

Valderrama et al. (2011), utilizando fertilizantes revestidos e sem revestimento, também não encontraram significância para os teores foliares de P na planta. Grohskopf et al. (2019), trabalhando com adubação fosfatada com fertilizante organomineral em culturas de milho em um Nitossolo Vermelho com alto teor de fósforo, não detectaram diferenças no teor de P foliar entre o tipo de fertilizante fosfatado.

Por outro lado, estudando a eficiência agrônômica do superfosfato triplo revestido por polímeros no crescimento inicial do cafeeiro, Chagas et al. (2016) relataram acúmulo de 49,4 % a mais de P nas folhas do cafeeiro usando-se superfosfato triplo revestido comparado ao sem revestimento. Porém, é importante ressaltar que o milho é uma cultura de ciclo curto e o café uma cultura perene.

Tabela 2 – Contrastes médios (Ci) dos teores (dag kg⁻¹) de fósforo e nitrogênio nos tecidos foliares das plantas de milho e a massa seca (g planta⁻¹) das plantas, pelas aplicações das três fontes de fertilizantes fosfatados

Variáveis	C1	C2
Fósforo	-0,003 ^{ns}	0,01*
Nitrogênio	-0,05*	0,03 ^{ns}
Massa seca	-3,57*	-0,73 ^{ns}

C1 = MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF); C2 = MAPPOL vs MAPTF. (MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; MAPTF - Fosfato monoamônico torta de filtro. Ns, não significativo e *, significativo em 5 % de probabilidade.

Ao comparar os dois fertilizantes fosfatados de proteção integrada (tabela 2, C2), percebe-se que o uso de polímeros proporcionou maior teor de P nos tecidos foliares do que quando se usou torta de filtro. A disponibilidade do fósforo no solo é um dos fatores que mais influencia os teores desse nutriente nas plantas (Marschner, 1995). A partir desse conceito, compreende-se que o fertilizante polimerizado foi mais eficaz em disponibilizar fósforo, e consequentemente, apresentar maior teor de P nas folhas.

Ao avaliarem-se o teor de nitrogênio e a massa seca total das plantas (tabela 2), as fontes de P com tecnologia sobressaíram a fonte convencional. Entretanto, ao comparar o MAPPOL e o MAPTF, não se obteve diferença para as mesmas variáveis, predizendo que ambas as tecnologias foram eficientes.

O maior teor de nitrogênio (C1) encontrado nos tratamentos usando fertilizantes fosfatados com tecnologias, demonstra a eficácia dos mesmos em disponibilizar P, pois, existe uma ligação direta entre ambos os nutrientes, em que a deficiência de P pode induzir a de N (Silva et al., 2009), principalmente pela redução nas taxas de absorção de nitrato (Lee et al., 1992), entretanto, tal fato não foi constatado neste experimento devido à maior absorção de N nos tratamentos de P com tecnologias.

Para a produção de massa seca (tabela 2), Figueiredo et al. (2012) também encontraram produção superior ao usar fertilizantes de proteção integrada e a promoção de ganho chegou a 19% comparado ao fertilizante convencional. Para os autores supracitados, a menor eficiência dos fertilizantes convencionais está atribuída ao contato direto desse adubo com os colóides do solo, sem apresentar nenhum mecanismo contra os processos de adsorção. Caione et al. (2018) também encontraram resultados positivos para a produção de massa seca total ao utilizar o fertilizante torta de filtro juntamente com fosfato natural.

Ao contrastar o fertilizante fosfatado convencional com os fertilizantes com tecnologia (C3), para cada fertilizante nitrogenado, nota-se que apenas a massa seca apresentou efeito significativo com o uso das tecnologias para os fertilizantes fosfatados nos tratamentos com ureia (tabela 3). Neste caso, as fontes de fertilizantes nitrogenados não ocasionaram diferenças nos teores de P e N na planta.

De acordo com Büll (1993), é marcante a influência do N na maior absorção de P pelo milho (efeito sinérgico), sugerindo-se que tanto a ureia convencional e a estabilizada foram eficazes em fornecer N, pelo fato de não ter interferido na absorção de P. Silva et al. (2009) constataram que a aplicação de P aumenta a recuperação do N proveniente do fertilizante mineral aplicado, e que em tratamentos sem a utilização de fosfato o aproveitamento da ureia foi menor.

Valderrama et al. (2014), estudando a adubação nitrogenada na cultura do milho, também constataram que fontes de N não diferiram para o teor de N foliar, concluindo que as ureias com diferentes revestimentos não afetaram o estado nutricional (N) da planta.

Ao compararem as tecnologias dos fertilizantes fosfatados dentro das fontes nitrogenadas (tabela 3, C4), apenas o teor de fósforo foi influenciado significativamente pelos tratamentos. A utilização da ureia e do NBPT foi igualmente eficaz em aumentar o teor de P na presença do MAPPOL como adubo fosfatado.

Os melhores resultados produtivos do milho dependem de elevadas doses de N (2002), mas somente o nitrogênio não atende as expectativas para a melhor nutrição e mesmo com doses elevadas de N, a deficiência de fósforo reduz o crescimento e vigor das plantas (Marschner, 1995).

Tabela 3 – Contrastes médios (Ci) dos teores (dag kg^{-1}) de fósforo e nitrogênio nos tecidos foliares das plantas de milho e a massa seca (g planta^{-1}) das plantas, em função das três fontes de fertilizantes fosfatados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados

Variáveis	Ureia	NBPT	Ureia	NBPT
	C3		C4	
Fósforo	0,004 ^{ns}	-0,003 ^{ns}	0,01*	0,01*
Nitrogênio	-0,05 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Massa seca	-4,66*	-2,48 ^{ns}	-1,28 ^{ns}	-1,18 ^{ns}

C3 = (MAPCONV vs (MAPPOL + MAPTF) : Ureia + NBPT); C4 = ((MAPPOL vs MAPTF) : Ureia + NBPT). (MAPCONV - Fosfato monoamônio convencional; MAPPOL - Fosfato monoamônio polimerizado; Fosfato monoamônico torta de filtro; UC - Ureia convencional; UNBPT - Ureia com aditivo inibidor de urease). Ns, não significativo e *, significativo em 5 % de probabilidade.

A deficiência de P pode induzir a de N (Silva et al., 2009), e o N influencia a absorção de P (Büll, 1993). O MAPPOL, juntamente com a ureia convencional e a ureia com NBPT, agiram de forma complementar fazendo com que o aproveitamento de P fosse melhor, e ao que indica, por ter ficado mais disponível quando proveniente da fonte revestida com polímero. A torta de filtro não foi eficaz em estabelecer a mesma relação, não sendo eficiente da mesma forma que o MAPPOL em aumentar o teor de P nos tecidos foliares do milho.

Devido à torta de filtro não conter alto teor de P, é necessário seu enriquecimento como fonte mineral deste nutriente (Caione et al., 2018), deste modo, o efeito da matéria orgânica pode não ter sido suficiente para evitar a adsorção do P, apesar de já ser conhecido que a matéria orgânica dos fertilizantes possui a propriedade de aumentar a disponibilidade de cargas negativas na região de liberação de fosfato, o que reduziria a adsorção de ânions (Silva et al., 2010).

O teor de nitrogênio e a massa seca (C4) total não diferiram entre os tratamentos com fontes de fósforo e nitrogênio.

Pela figura 3, nota-se que, de forma geral, para todos os fertilizantes fosfatados, o teor de P nas plantas foi decrescente com o passar do tempo, sendo independente dos fertilizantes nitrogenados e das doses de P_2O_5 .

Esse declínio no teor de P se deve principalmente pelo efeito diluição do nutriente na planta e pela formação e desenvolvimento dos grãos, visto que entre 80 e 90% do total de P absorvido é removido via grãos (Figueiredo et al., 2012; Castro et al., 2017).

Os teores de P encontrados nas folhas em todos os tratamentos estão dentro da faixa considerada como ideal para a cultura do milho, que segundo Cantarella et al. (1997) é de 2,0-4,0 g kg⁻¹ de matéria seca. Sendo mais específico, Fernandes (2006) descreveu que o teor de fósforo ideal para a cultura na fase do aparecimento da inflorescência feminina varia de 1,9 a 3,5 g kg⁻¹. Sendo assim, os teores de P não comprometeram o desenvolvimento da cultura, independente da dose e da fonte do fertilizante utilizado.

Nota-se a lógica de que as maiores doses de P_2O_5 disponibilizadas no solo, proporcionaram maior teor do nutriente nas plantas. Observa-se ainda, que a dose de 200 kg ha⁻¹ do MAPCONV foi a mais eficiente entre os fertilizantes na primeira coleta, principalmente no tratamento usando ureia. Segundo Büll

(1993), o N influencia a absorção de P, demonstrando que as fontes convencionais de P e N agiram de forma complementar induzindo ao maior teor de P no tecido foliar.

O que pode ter induzido ao alto teor de P no início pela fonte convencional é a liberação total do nutriente, sendo exatamente o contrário do que se busca com o uso das tecnologias, que é a liberação gradativa e a proteção do nutriente contra os agentes causadores de perdas (Gazola et al., 2013).

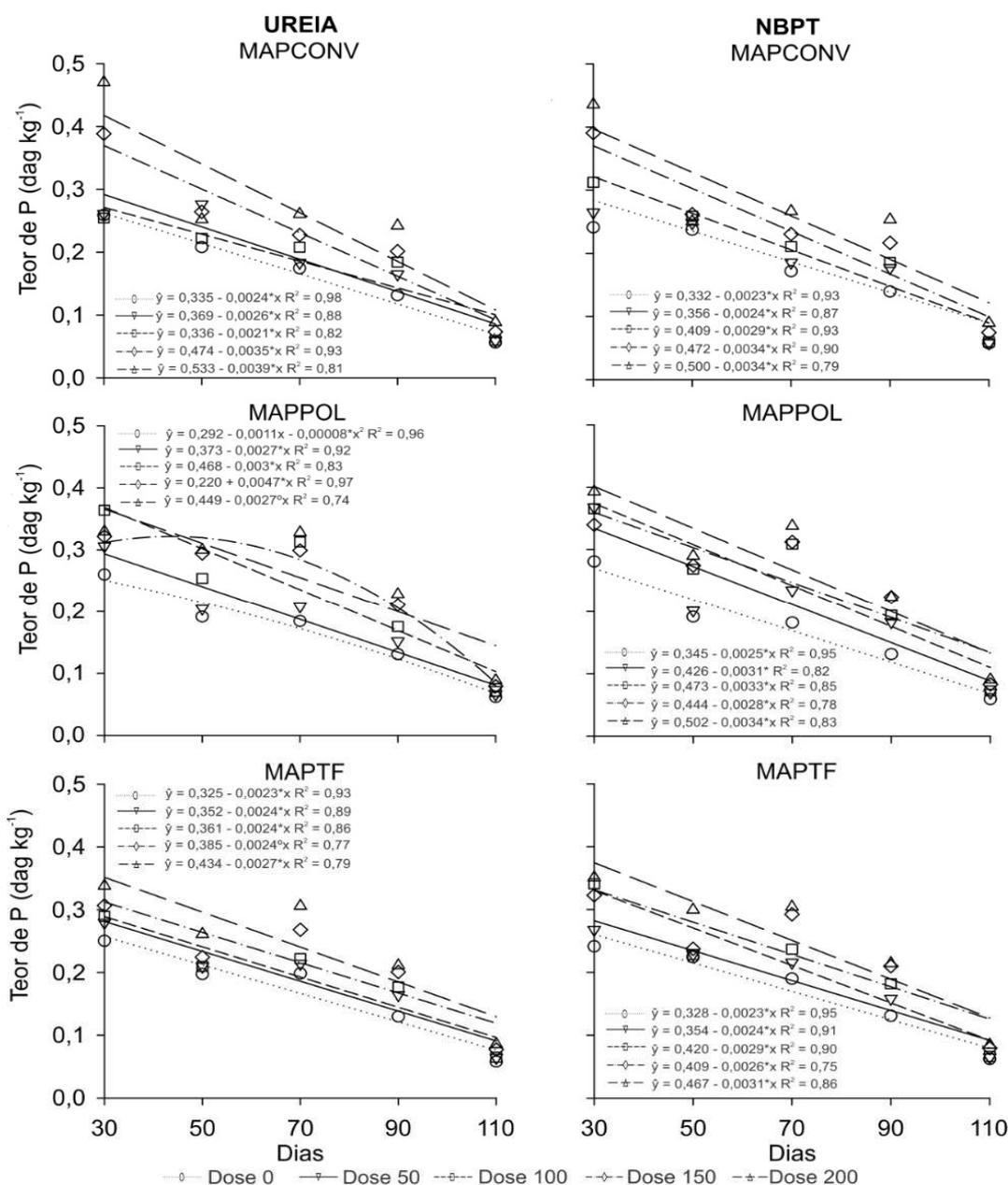


Figura 3 – Efeito das doses de P₂O₅ e dos fertilizantes nitrogenados nos teores de P foliar (dag kg⁻¹), com o uso de cada fertilizante fosfatado nas cinco coletas de plantas

Nos tratamentos que não receberam adubação fosfatada, percebe-se no final do ciclo da cultura o menor teor de P na folha, demonstrando que a quantidade de P absorvida foi menor do que quando se realizava a adubação, por isso a importância da mesma, e que as duas fontes de N não influenciaram de maneira diferente a absorção de P do solo. Bastos et al. (2010) também encontraram teores muito baixos ao utilizar a dose de 0% da capacidade máxima de adsorção de fósforo dos solos testados, e constataram que, à medida que se aumentava a dose de P maior era o teor do elemento na planta.

Valderrama et al. (2011) e Gazola et al. (2013) também encontraram resultados comprovando que as doses de fósforo influenciaram positivamente o teor de P foliar no milho, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

O teor de nitrogênio (N) das folhas de milho apresentou comportamento quadrático para a maioria dos tratamentos (figura 4). Diante dos resultados, não se observa nenhum indicador sólido mostrando diferenças entre as fontes de nitrogênio para influenciar o teor de N na planta, não havendo também relação de destaque sobre a influência das doses de P_2O_5 de cada fertilizante fosfatado no teor de N.

Silva et al. (2009) descrevem que a deficiência de P pode induzir a de N. Mas, de modo geral, quando não se realizou a adubação fosfatada (dose 0), o teor de N foliar acompanhou o comportamento de quando se aplicaram doses de fósforo, apresentando em alguns casos valores até superiores.

Vários autores estabeleceram valores como referência para os teores de N foliares do milho. Malavolta et al. (1989) descreveram que a faixa ideal estaria entre 2,75 a 3,25 dag kg^{-1} na época de emissão do estigma. Fageria et al. (1991) relataram como adequados teores de N maiores que 3,2 dag kg^{-1} no florescimento da cultura, e Jones Jr. et al. (1991) consideraram adequados de 2,7 a 4,0 dag kg^{-1} . De acordo com os valores mencionados anteriormente, os resultados de teores de N encontrados neste trabalho ficaram abaixo do ideal, entretanto, ressalta-se que foram utilizadas todas as folhas da planta para se obter o resultado e não apenas a folha oposta à espiga.

Alguns fatores podem estar envolvidos nas variações do teor de N encontrado nas folhas. Quando se realiza a adubação, mudanças nas condições

climáticas podem influenciar na disponibilidade de N, além dos fatores genéticos e a fertilidade do solo (Jakelaitis et al., 2005).

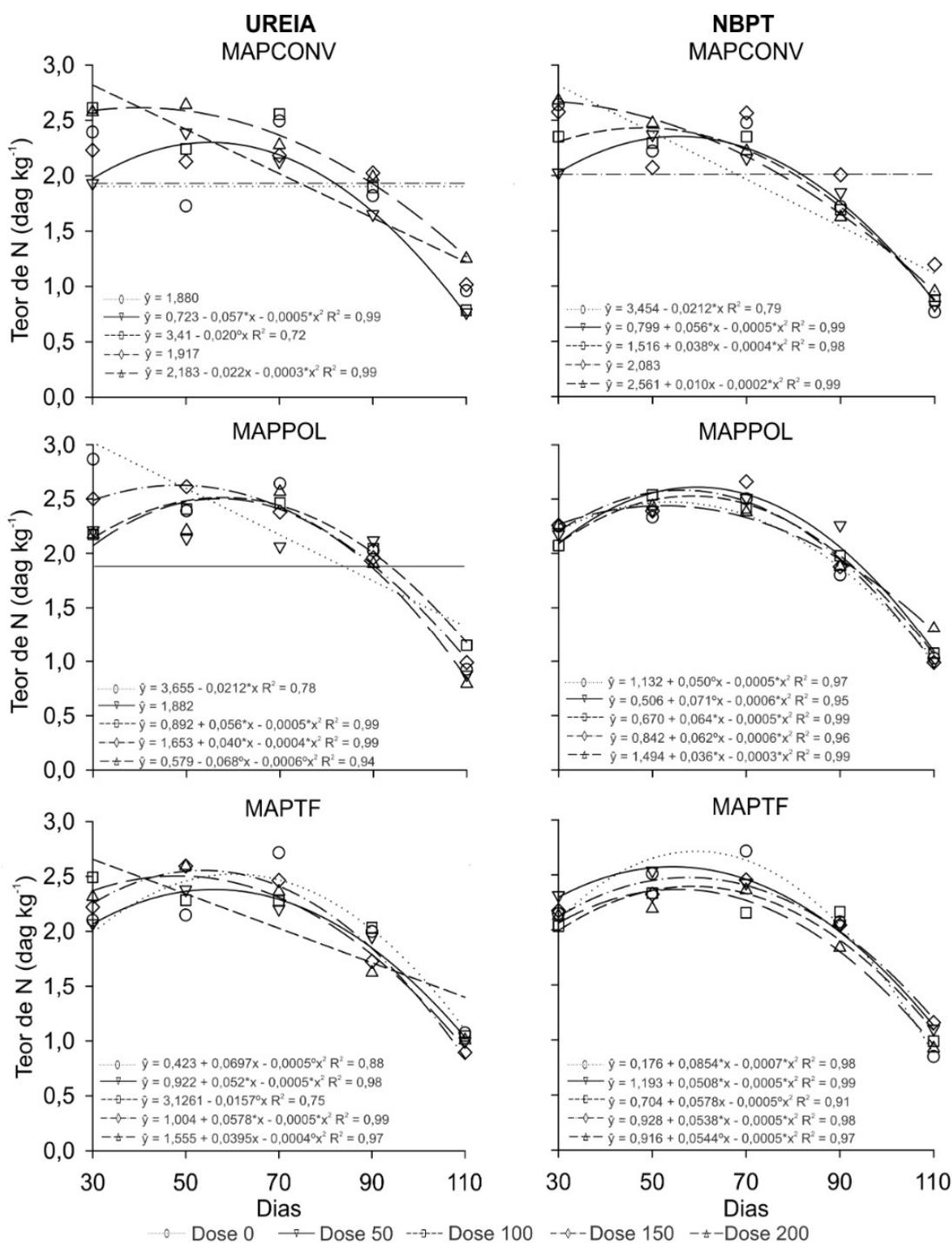


Figura 4 – Efeito das doses de P₂O₅ e dos fertilizantes nitrogenados nos teores de N foliar (dag kg⁻¹), com o uso de cada fertilizante fosfatado nas cinco coletas de plantas

Coelho et al. (1991), realizando trabalho com a cultura do milho em solo do Cerrado, descreveram que de cada 60 kg de N ha⁻¹ aplicados na forma de ureia, 56% foram extraídos pela cultura, e atrelou a baixa eficiência nutricional às condições do clima, solo e planta.

Farinelli & Lemos (2012), ao usarem doses de 0-80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, observaram que o teor de N nos tecidos foliares foi inferior ao recomendado à cultura, porém, afirmaram que não houve comprometimento no desenvolvimento das plantas. Jakelaitis et al. (2005) também encontraram teores abaixo do ideal para doses menores de 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas em cobertura, em tratamentos de milho consorciados com *Brachiaria brizantha*.

Na figura 5 são apresentados os dados referentes à produção de massa seca das plantas. Apenas alguns tratamentos apresentaram comportamento quadrático e para os demais não houve ajuste de equações com coeficientes significativos, representando-se nesses casos pelas médias. É possível observar em todos os gráficos que a produção inicial de massa seca (MS) é menor devido ao tamanho das plantas na fase inicial de desenvolvimento. A maior produção de MS foi encontrada aos 50 dias após o plantio (DAP) na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, independente da fonte de fósforo utilizada. Essa similaridade nos dados mostra que todas as fontes fosfatadas foram eficientes em disponibilizar P para a planta, independente da presença de tecnologia.

O pico de produção de massa seca aos 50 DAP se deve ao ápice de crescimento da planta que já estava entrando na fase de florescimento masculino. Após esse período, a planta passa a ter um declínio natural de produção de MS, pois as reservas são translocadas para a formação dos grãos e as folhas basais começam a entrar em senescência.

Ambas as fontes nitrogenadas agiram de forma semelhante influenciando o ganho de massa seca pelas plantas. O nitrogênio é determinante para o desenvolvimento das plantas de milho, influenciando no aumento da área foliar e, conseqüentemente, na produção de massa seca. Essas características se tornam importantes também em termos de produtividade de grãos (Soratto et al., 2011).

Ao avaliar a eficiência de fontes de fósforo, Harger et al. (2007) observaram que, independente da fonte de P, a produção de massa seca da parte aérea do milho aumentou com o incremento das doses de fósforo.

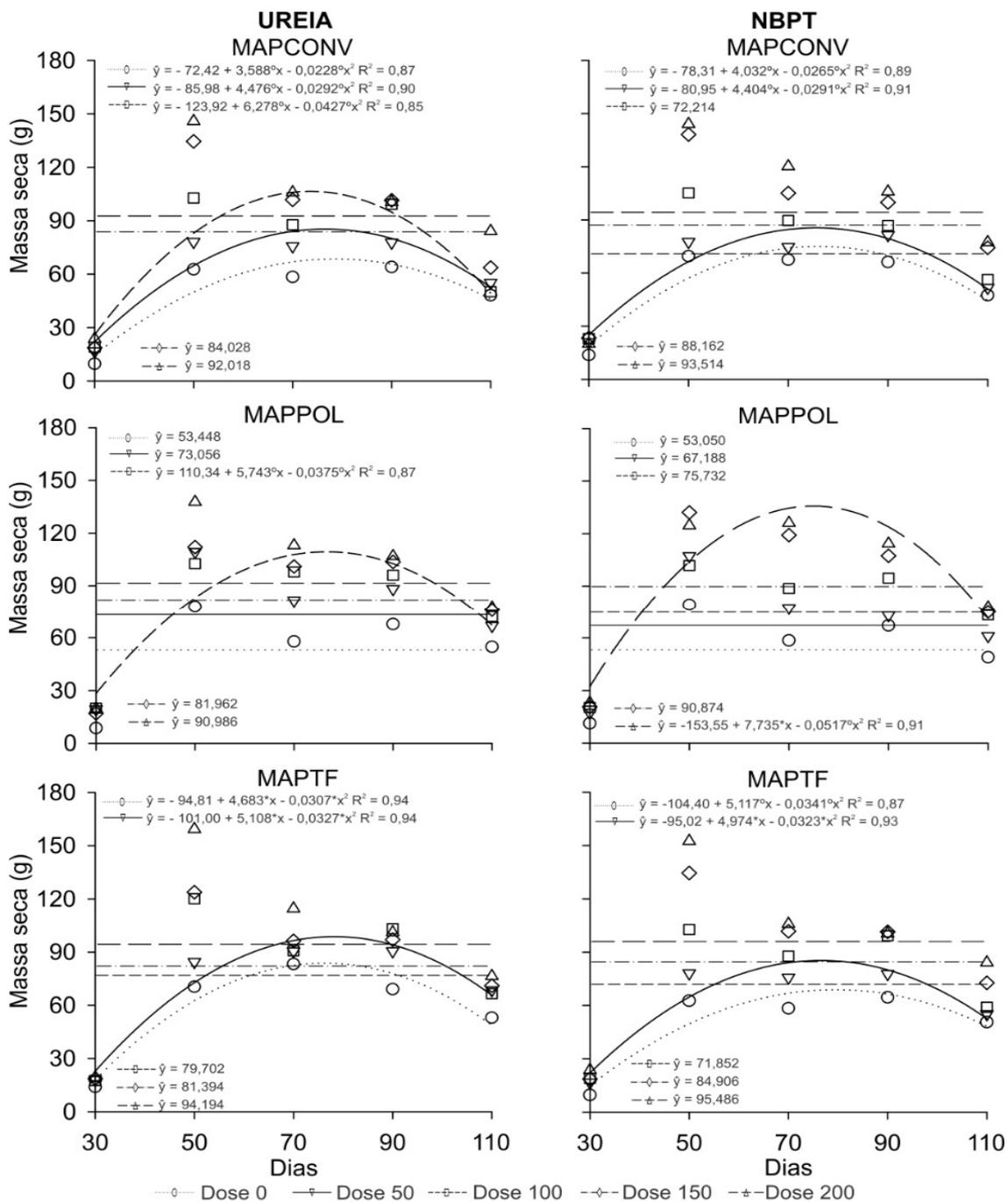


Figura 5 – Efeito das doses de P_2O_5 e dos fertilizantes nitrogenados na produção de massa seca (g/planta), com o uso de cada fertilizante fosfatado nas cinco coletas de plantas

Tiritan et al. (2010) também encontraram incremento progressivo da biomassa seca ao aumentar as doses de P_2O_5 . Os resultados destes autores corroboram com os dados do presente estudo.

O fósforo é um nutriente muito importante para o vigor e crescimento das plantas e sua ausência reduz a taxa de emissão e crescimento de folhas, refletindo diretamente na formação da parte aérea das plantas de milho (Grant et al., 2001). Isso explica o aumento da produção de MS com a elevação das doses de fósforo, que neste caso, foi similar pelas fontes.

4. CONCLUSÕES

O aumento das doses de fósforo influenciou positivamente o teor foliar de P e o ganho de massa seca pelas plantas.

As fontes de P com tecnologia foram superiores à fonte convencional para aumentar o teor de nitrogênio e a massa seca das plantas.

O fertilizante fosfatado revestido por polímeros proporcionou maior teor de P nos tecidos foliares do que quando se usou o fertilizante com torta de filtro.

5. REFERÊNCIAS

Alvarez VVH, Alvarez GAM. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! Bol Inf da Soc Bras Ciência do Solo. 2006;31:24–34.

Barberena IM, Espindula MC, Araújo LFB de, Marcolan AL. Use of urease inhibitors to reduce ammonia volatilization in Amazonian soils. *Pesqui Agropecuária Bras.* 2019;54:1–9. [10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00253](https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00253)

Bastos AL, Costa JP V, Silva IDF, Raposo RWC, Oliveira FDA, Albuquerque AW De. Resposta do milho a doses de fósforo 1 Response of corn to doses of phosphorus. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient.* 2010;14:485–491. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500005>

Büll LT. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL LT, CANTARELLA H, organizadores. *Cult do milho fatores que afetam a Prod.* Piracicaba: Potafos; 1993. p. 1–301.

Caione G, González L, Prado R, Hernández A, Moda L, Selva E, Nahas E. Adubação fosfatada com torta de filtro, fosfato natural e biofertilizantes em ultisol (argissolo). *Cienc del suelo.* 2018;27:1–9. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185020672009000100001

Cantarella H, Raij B van. Cereais. In: Raij B. van et al., organizador. *Recom calagem e adubação para o Estado São Paulo.* Campinas: IAC, (Boletim técnico, 100); 1997. p. 45–71.

Castro LR, Reis TC, Júnior OF, Almeida RBS, Alves DS. Doses e formas de aplicação de fósforo na cultura do milho. *Agrarian.* 2017;9:47–54. <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/3506/3717>

Chagas WFT, Guelfi DR, Caputo ALDC, Dominghetti AW, Faquin V, Lopes RM, Chagas RMR. Agronomic efficiency of triple superphosphate coated by polymers in the initial growth of the coffee. *Coffee Sci.* 2016;11:427–435.

10.25186/cs.v11i3.1202

COELHO AM, FRANÇA GE, BAHIA AFC, GUEDES GAA. Biação De Nitrogênio (15N) Em Um Latossolo Vermelho-Escuro, Sob Vegetação De Cerrado, Cultivado Com Milho. *Rev Bras Cienc do Solo*. 1991;15:187–193.

Fageria NK, Baligar VC, Jones CA. *Growth and mineral nutrition of field crops*. New York Marcel Dekker. 1991;

Farinelli R, Lemos LB. Nitrogênio em Cobertura Na Cultura do Milho em Preparo Convencional e Plantio Direto Consolidados. *Pesqui Agropecu Trop*. 2012;42:63–70. 10.1590/S1983-40632012000100009

Fernandes MF. *Nutrição mineral de plantas*. 1º ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2006.

Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 2011;35:1039–1042. 10.1590/s1413-70542011000600001

Figueiredo CC de, Barbosa DV, de Oliveira SA, Fagioli M, Sato JH. Polymer-coated phosphate fertilizer and liming on the production and morphological parameters of corn | Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Rev Cienc Agron*. 2012;43:446–452. 10.1590/S1806-66902012000300005

Gazola RDN, Buzetti S, Dinalli RP, Filho MCMT, De Souza Celestrino T. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. *Rev Ceres*. 2013;60:876–884. 10.1590/S0034-737X2013000600016

Grant CA, Flaten DN, Tomaszewicz DJ, Sheppard SC. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da plantas. *Informações Agronômicas*. Piracicaba: Potafós; 2001;1–5.

Grohskopf MA, Corrêa JC, Fernandes DM, Benites V de M, Teixeira PC, Cruz CV. Phosphate fertilization with organomineral fertilizer on corn crops on a Rhodic Khandiudox with a high phosphorus content. *Pesqui Agropecuária Bras.* 2019;54. 10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00434

Harger N, Brito OR, Ralisch R, Ortiz FR, Watanabe TS. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semin Ciências Agrárias.* 2007;28:39. 10.5433/1679-0359.2007v28n1p39

Heffer P, Gruère A, Roberts T. Assessment of fertilizer use by crop at the global level. International Fertilizer Association, organizador. Paris: International Plant Nutrition Institute; 2017.

Jakelaitis A, Silva AA da, Ferreira LR. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. *Acta Sci Agron.* 2005;27:39–46. 10.4025/actasciagron.v27i1.1916

Jones JJB, Wolf B, Mills HA. Plant analysis handbook - a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Georgia: Micro-Macro Publishing; 1991.

Lee RB, Purves J V., Ratcliffe RG, Saker LR. Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. *J Exp Bot.* 1992;43:1385–1396. 10.1093/jxb/43.11.1385

Lima JSDS, Silva SDA, De Oliveira RB, Cecílio RA, Xavier AC. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre - ES. *Rev Cienc Agron.* 2008;39:327–332.

Lisboa CC, Oliveira JR, Lima FRD, Silva EA, Silva CA, Marques JJGSM. Lixiviação de nitrato e amônio em Latossolo Vermelho distroférrico. *Rev Bras Ciências Agrárias - Brazilian J Agric Sci.* 2019;14:1–8. 10.5039/agraria.v14i2a5658

Maia CE, Morais ERC De, Filho FDQP, Gueyi HR, Medeiros JF De. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. Rev Bras Eng Agrícola e Ambient. 2005;9:292–295.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, organizador. Piracicaba; 1989.

Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, organizador. London; 1995.

Menezes JFS, Berti MPDS, Vieira Júnior VD, Ribeiro RDL, Berti CLF. Extração e Exportação De Nitrogênio, Fósforo E Potássio Pelo Milho Adubado Com Dejetos De Suínos. J Neotrop Agric. 2018;5:55–59. 10.32404/rean.v5i3.1645

Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG, Oliveira JA. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo. 5º ed. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO; 2007.

Scivittaro WB, Veçozzi TA, Jardim TM, Silveira AD, Barbat Parfitt JMB. Eficiência Agrônômica de Novos Fertilizantes Nitrogenados na Cultura de Arroz Irrigado. Pelotas: EMBRAPA; 2018. p. 196.

Silva EC, Muraoka T, Villanueva FCA, Espinal FSC. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. Pesqui Agropecu Bras. 2009;44:118–127. 10.1590/S0100-204X2009000200002

Silva RMO, Rech I, Frabça AA, Schiavini JA, Pires CA, Balieiro FC, Polidoro JC. Liberação de fósforo de fertilizantes organominerais e sua influência na fertilidade do solo. Reun Bras Fertil do solo e Nutr plantas, 29; Reun Bras sobre micorrizas, 12; Simpósio Bras Microbiol do solo, 11; Reun Bras Biol do solo, 8. FertBio; 2010.

Soratto RP, da Silva ÂH, Cardoso S de M, de Mendonça CG. Doses e fontes

alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. *Cienc e Agrotecnologia*. 2011;35:62–70. 10.1590/S1413-70542011000100007

Soratto RP, Pereira M, da Costa TAM, do Nascimento Lampert V. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. *Rev Cienc Agron*. 2010;41:511–518. 10.1590/s1806-66902010000400002

Souza DMG, Lobato E. Adubação com nitrogênio. Cerrado: correção do solo e adubação. Embrapa Cerrados. 2002.

Teixeira R da S, Ribeiro da Silva I, Nogueira de Sousa R, Márcio Mattiello E, Barros Soares EM. Organic acid coated-slow-release phosphorus fertilizers improve P availability and maize growth in a tropical soil. *J Soil Sci Plant Nutr*. 2016;16:1097–1112. 10.4067/S0718-95162016005000081

Tiritan CS, Santos DH, Foloni JSS, Alves Junior R. Adubação Fosfatada Mineral E Organomineral Na Cultura Do Milho. *Colloq Agrar*. 2010;6:08–14. 10.5747/ca.2010.v06.n1.a045

Valderrama M, Buzetti S, Benett CGS, Andreotti M, Filho MCMT. NPK sources and doses on irrigated corn under no-till system. *Pesqui Agropecu Trop*. 2011;41:237–242. 10.5216/pat.v41i2.8390

Valderrama M, Buzetti S, Filho MCMT, Benett CGS, Andreotti M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. *Semin Agrar*. 2014;35:659–669. 10.5433/1679-0359.2014v35n2p659

APÊNDICE

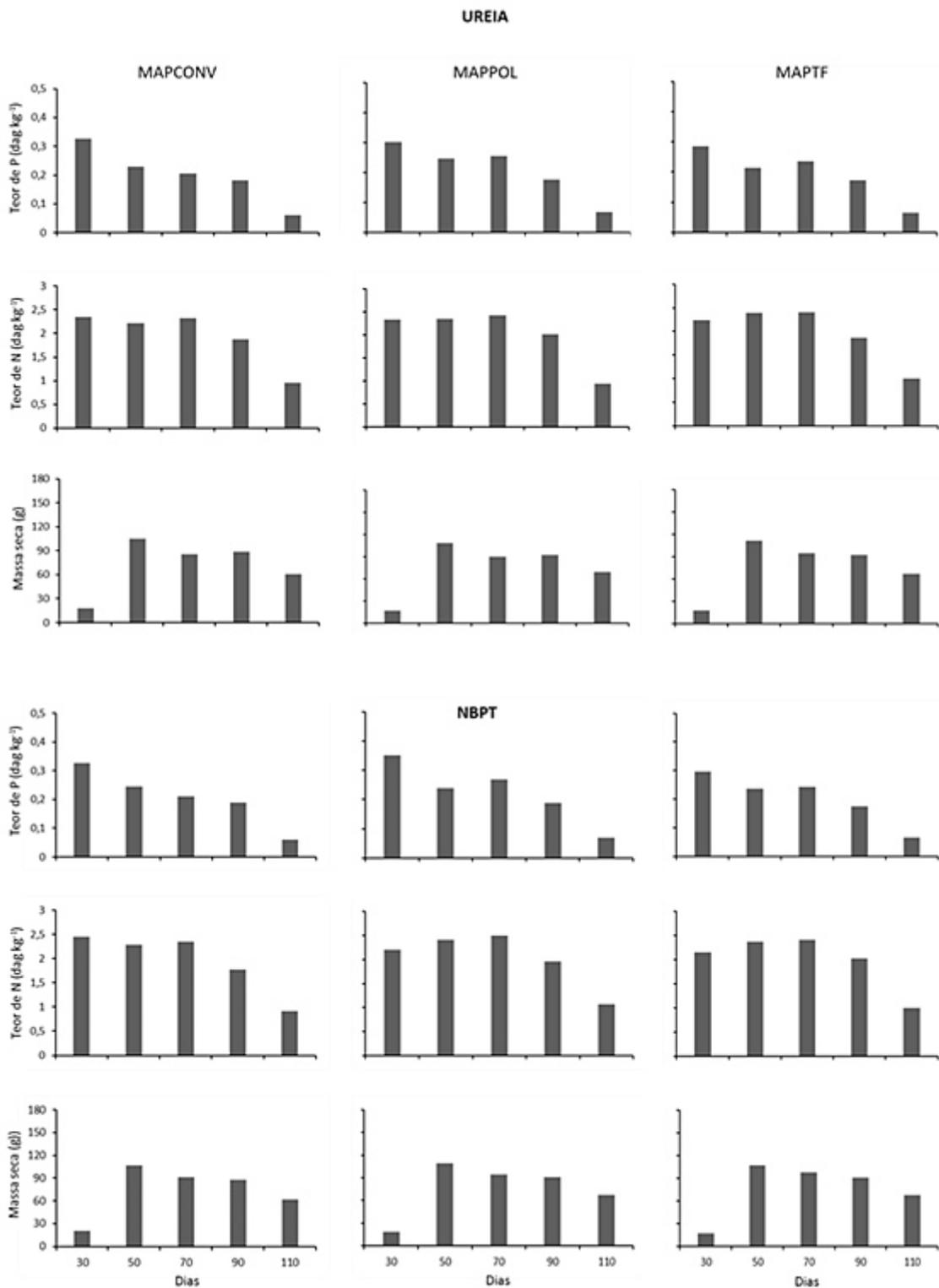


Figura 2 A – Médias das cinco doses de P_2O_5 para os teores ($dag\ kg^{-1}$) de fósforo e nitrogênio nos tecidos foliares e a massa seca ($g\ planta^{-1}$) das plantas, em função das três fontes de fertilizantes fosfatados com duas fontes de fertilizantes nitrogenados, encontrados nas cinco épocas de coleta de plantas após o plantio



Fotos do experimento.

Fonte própria