



MATEUS BARBOSA ARAUJO

**MANEJO DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E FONTES
NITROGENADAS NA SUCESSÃO SOJA E MILHO EM
SOLOS DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

**LAVRAS – MG
2022**

MATEUS BARBOSA ARAUJO

**MANEJO DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E FONTES NITROGENADAS NA
SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLOS DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Araujo, Mateus Barbosa.

Manejo de aplicação de fósforo e fontes nitrogenadas na
sucessão soja e milho em solos de fertilidade construída / Mateus
Barbosa Araujo. - 2022.

66 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Sistema de produção. 2. Fertilizante de eficiência aumentada.
3. Fertilidade construída. I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Título.

MATEUS BARBOSA ARAUJO

**MANEJO DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E FONTES NITROGENADAS NA
SUCESSÃO SOJA E MILHO EM SOLOS DE FERTILIDADE CONSTRUÍDA**

**MANAGEMENT OF APPLICATION OF PHOSPHORUS AND NITROGEN
SOURCES IN SOYBEAN AND CORN SUCCESSION IN IMPROVED FERTILITY
SOILS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de janeiro de 2022.

Dr. Silvino Guimarães Moreira	UFLA
Dr. Leônidas Carrijo Azevedo Melo	UFLA
Dr. Francisco Hécio Canuto Amaral	Rehagro Pesquisa

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

A toda a minha família pelo incentivo, carinho e apoio que me permitiu alcançar essa conquista.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, proteção e por me dar forças para vencer esse desafio.

Ao Professor Dr. Silvino Guimarães Moreira, pela sua amizade, apoio, ensinamentos, orientação, paciência, e por me dar a oportunidade de trabalhar todos esses anos com um profissional tão qualificado como ele.

Ao meu pai, Guilherme, à minha mãe, Janice, e à minha irmã, Helena, por toda a ajuda, preocupação, carinho e auxílio para viabilizar essa conquista.

Ao meu avô Rodrigo, pela sabedoria.

A toda a minha família pelo apoio, ensinamentos e paciência.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, por viabilizar essa pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras, pelo acolhimento e estrutura, e a todas as amigadas que fiz durante os anos que estudei nela.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura – DAG, e do Setor de Grandes culturas, Antônio, Ezequiel e Arnald, pelo auxílio e suporte de infraestrutura.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da UFLA, por todo o suporte prestado pelos docentes e à secretaria, em especial à Marli.

A todos do Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção (GMAP), pelo auxílio em várias avaliações, convívio e amigadas, durante os cinco anos de convívio e trabalho em conjunto.

A todos da Fazenda Santa Terezinha, que me cederam espaço, viabilizaram e auxiliaram na implantação e condução do experimento.

Aos meus amigos, por todos os momentos compartilhados e incentivos durante toda a realização do trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram para eu chegar até aqui.

Muito obrigado!

RESUMO

Em solos de fertilidade construída pode-se fazer a adubação fosfatada em sistema de cultivo. Porém, ainda faltam informações regionalizadas para os sistemas de produção soja/milho na região central do Brasil. Atualmente, fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, têm sido recomendados para aplicação no sulco de semeadura. No entanto, como as quantidades de N utilizadas são acima daquelas recomendadas com fertilizantes convencionais, há necessidade de novos estudos. Objetivou-se com o presente estudo comparar a eficiência da adubação fosfatada convencional no sulco de semeadura das culturas da soja e do milho, com duas formas de adubação de sistema, além de verificar a melhor fonte e forma de aplicação de fertilizante nitrogenado no milho de segunda safra. Os experimentos foram conduzidos de forma independente sob um delineamento com blocos casualizados (quatro repetições), em parcelas subdivididas. As parcelas principais foram constituídas pelas formas de aplicação do fósforo no sistema, sendo: 1 – Adubação de sistema 1: aplicação do P total demandado pelas culturas soja e do milho (115 kg ha^{-1} de P_2O_5), no sulco de semeadura do milho safrinha; 2- Adubação de sistema 2: aplicação do P total demandado pelas culturas da soja e do milho (115 kg ha^{-1} de P_2O_5), no sulco de semeadura na soja verão; 3- Adubação convencional: aplicação de P demandado pela cultura da soja (65 kg ha^{-1} de P_2O_5), no sulco de semeadura na soja e do P demandado pela cultura do milho segunda safra no sulco de semeadura no milho (50 kg ha^{-1} de P_2O_5) e 4- controle – sem aplicação de P. As subparcelas foram constituídas pelas fontes de N, aplicados através de diferentes fontes e formas, na segunda safra de milho, sendo ureia comum em cobertura; nitrato de amônio em cobertura; Polyblen® no sulco de semeadura; Sulfammo meta 29® no sulco de semeadura e o tratamento controle, sem N. Foram avaliados teores de P disponível no solo, teores de N e P foliares, altura de plantas, altura de inserção de espigas, peso de mil grãos, número de fileiras, número de grãos por fileira e produtividade. A maior produtividade do milho foi alcançada quando foi realizada a aplicação do fertilizante fosfatado demandado pelo milho ou quando foi aplicada a adubação do sistema no sulco de semeadura do milho. Por outro lado, a produtividade da cultura da soja não foi afetada pela forma de fornecimento do fertilizante fosfatado, flexibilizando a forma de o produtor efetuar a adubação na cultura da soja. Na cultura do milho, as plantas que receberam adubação com qualquer fonte de N mineral apresentaram maiores teores de N foliar, altura de inserção da espiga e número de fileiras por espiga. Os tratamentos que receberam os fertilizantes Sulfammo® e Polyblen® aplicados no sulco de semeadura apresentaram maior índice de clorofila, produtividade para o milho e produção total das culturas.

Palavras-chave: Sistema de produção. Fertilizante de eficiência aumentada. Fertilidade construída.

ABSTRACT

Has been reported in the literature that in soils with improved fertility, the phosphate fertilization can be applied in the system, fertilizing the production system instead of thinking about each one of the cultures single. On the other hand, there is a lack of regionalized information for soybean/corn production systems in central Brazil. Nitrogen fertilizers with increased efficiency are currently being launched, which have been recommended by manufacturing companies for application in the seed furrow. However, as the amounts of N used are above those recommended with conventional fertilizers, further studies are needed. The objective of this study was to compare the efficiency of conventional phosphate fertilization in the sowing soybean and corn crops, with two forms of system fertilization, in addition to verifying the best source and form of nitrogen fertilizer application in corn from second crop. The experiments were carried out independently under a randomized block design (four replications), in split plots. The main plots were constituted by the forms of application of phosphorus in the system, as follows: 1 – Fertilization system 1: application of the total P required by soybean and corn crops (115 kg ha⁻¹ of P₂O₅), in the corn sowing furrow off-season; 2- Fertilizing system 2: application of total P required by soybean and corn crops (115 kg ha⁻¹ P₂O₅), in the sowing furrow in summer soybean; 3- Conventional fertilization: application of P required by the soybean crop (65 kg ha⁻¹ P₂O₅) in the sowing furrow in soybean and the P required by the corn second crop in the sowing furrow in corn (50 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and 4- control - without application of P. The subplots were constituted by the sources of N, applied through different sources and forms, in the corn on second crop, being common urea in topdress; ammonium nitrate applied in topdress; Polyblen® applied in the seed furrow; Sulfammo meta 29® applied in the seed furrow and the control treatment, without N. Soil P contents, leaf N and P contents, plant height, corn cob insertion height, weight of a thousand grains, number of rows of corn cob, number of grains per row on corn cob and yield. The highest corn yield was achieved when the phosphate fertilizer required by the corn was applied or when the system fertilization was applied in the corn sowing furrow. On the other hand, the productivity of the soybean crop was not affected by the form of supply of phosphate fertilizer, making the producer's way of fertilizing the soybean crop more flexible. In the corn crop, plants that received fertilization with any source of mineral N had higher levels of leaf N, corn cob insertion height and number of rows per corn cob. Treatments that received Sulfammo® and Polyblen® fertilizers applied in the seed furrow had higher chlorophyll index, corn yield and total crop yield.

Keywords: Production system. Increased efficiency fertilizer. Improved fertility.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Solos de fertilidade construída	11
2.2	Dinâmica de P no solo.....	13
2.3	Dinâmica do nitrogênio no solo	16
2.4	Fontes de nitrogênio e suas limitações.	19
2.5	Interação da adubação de nitrogênio e fósforo para o desenvolvimento de plantas.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Local e condução do experimento e caracterização da área.....	24
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	26
3.3	Instalação e condução do experimento	28
3.4	Avaliações	30
3.4.1	Produtividade e caracteres agronômicos	30
3.4.2	Coleta de folhas, análise foliar e índice de clorofila.....	31
3.4.3	Análise de solo	32
3.5	Análises estatísticas.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Efeito do manejo de adubação fosfatada nos teores de P resina no solo.	33
4.2	Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada nos teores de fósforo, nitrogênio e índice de clorofila nas folhas das culturas.....	35
4.3	Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada nos caracteres agronômicos das culturas do milho e soja.	38
4.4	Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada na produtividade das culturas e na produção total do sistema	48
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

As culturas da soja e do milho são as mais cultivadas no território brasileiro, sendo a soja, a principal cultura na primeira safra (primavera/verão), enquanto 69,3% de todo o milho produzido no Brasil é cultivado na segunda safra (safrinha) (CONAB, 2021). A área cultivada com soja na safra 2020/2021 foi de 38,5 milhões de hectares, com produção de 135,9 milhões de toneladas de grãos, média de 58,8 sacas por hectare. O milho apresentou área cultivada de 4,3 milhões de hectares na primeira safra e 14,9 milhões de hectares na segunda safra, com uma produção de 24,7 e 59,4 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2021). Assim, o Brasil é o maior produtor mundial de soja e terceiro maior de milho.

O milho de segunda safra é caracterizado pelo cultivo em sequeiro na sua maioria, com semeadura realizada entre os meses de janeiro a abril, após a cultura de verão, comumente após soja. O termo safrinha, ainda utilizado para se definir a segunda safra, teve origem nas baixas produtividades dos primeiros cultivos do cereal no Estado do Paraná, na década de 1970, quando foram constatadas produtividades muito menores se comparadas às obtidas na safra de verão. O termo safrinha não é adequado, pois não corresponde ao excelente nível atual de produtividade de boa parte das lavouras (CRUZ *et al.*, 2011).

Devido ao fato de muitos agricultores trabalharem com a sucessão de culturas com soja na primeira safra e milho na segunda safra, há um maior período com lavouras implementadas no campo. Assim, para a obtenção de altas produtividades é fundamental que o solo tenha fertilidade construída. Conseqüentemente, as culturas conseguem tolerar mais intempéries climáticas, como é o caso de veranicos, comuns na segunda safra. Outro mecanismo adotado em áreas que cultivam mais de uma cultura por safra é a utilização de adubação do sistema de produção, visando adicionar a totalidade dos nutrientes apenas no cultivo da cultura mais exigente e/ou responsiva (ALTMANN, 2012; FONTOURA *et al.*, 2015). Normalmente se adiciona na cultura mais responsiva as quantidades de nutrientes exportadas por ambas as culturas, mas ainda há incertezas sobre quando realizar a adubação de fósforo (P) no sistema, ou seja, se é mais rentável adubar com todo P na soja no verão, no milho de segunda safra, ou adubar separadamente cada cultura de acordo com sua necessidade (MACEDO, 2019).

Devido à alta eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura da soja não é necessário a aplicação de fontes minerais de nitrogênio (N) no Brasil (HUNGRIA *et al.*, 2007). No milho, para a obtenção de elevadas produtividades econômicas, são necessárias grandes quantidades de N (SILVA *et al.*, 2018). Desta forma, torna-se necessário um manejo

adequado da adubação nitrogenada para complementar a quantidade de N fornecida pelo solo e reduzir gastos desnecessários com a compra do adubo nitrogenado (SOUZA *et al.*, 2011). A escolha das fontes e modo de aplicação do N para a adubação do milho também são essenciais para evitar perdas e aumentar a eficiência na produção do cereal, principalmente na segunda safra, quando os volumes de precipitação são menores em relação à safra de verão.

Atualmente têm sido disponibilizadas fontes nitrogenadas de eficiência aumentada, tais como os fertilizantes de liberação controlada, Polyblen® da empresa Compass Minerals e o fertilizante complexado com matéria orgânica Sulfammo meta 29® da empresa Timac. Essas fontes têm sido recomendadas também para adubação total de N no sulco de semeadura do milho de segunda safra. De acordo com as empresas fabricantes não há problemas com salinização e mortes de plântulas de milho com essa forma de adubação. Ressalta-se que haveria redução das perdas de N por volatilização, devido ao fato dos grânulos serem enterrados no sulco de semeadura e também pela capacidade de liberar gradativamente o N necessário para as plantas, resultando assim, na economia de uma operação de cobertura do milho, além de fornecer o nutriente desde os estádios iniciais da cultura (BONO *et al.*, 2008; FARMAHA; SIMS, 2013; FRAZAO *et al.*, 2014; REIS JR; GUELF, 2012). Nesse cenário aparentemente vantajoso, produtores vêm utilizando essas fontes, mas ainda sem informações totalmente divulgadas pela pesquisa sobre os seus reais benefícios, comparadas às fontes convencionais do nutriente. Diante disso, objetivou-se com o presente estudo comparar a eficiência da adubação fosfatada convencional no sulco de semeadura das culturas da soja e do milho, com duas formas de adubação de sistema, além de verificar a melhor fonte e forma de aplicação de fertilizante nitrogenado no milho de segunda safra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos de fertilidade construída

No sentido estrito, o conceito de construção da fertilidade diz respeito, sobretudo, à adequação das condições químicas de solos inicialmente ácidos e pobres em nutrientes. Tal adequação ocorre por meio de operações como calagem, gessagem e adubações corretivas com P, Potássio (K) e micronutrientes, realizadas de uma única vez, na abertura de área, ou gradualmente, ao longo dos primeiros cultivos, para alcançar níveis satisfatórios dos atributos químicos, buscando associar também, práticas que permitam manter ou aumentar os teores de matéria orgânica (MO) (LOPES *et al.*, 2012; LOPES; GUIMARÃES GUILHERME, 2016).

Os principais procedimentos para alcançar um solo de fertilidade construída são o controle de problemas relacionados à acidez do solo na camada superficial e em subsuperfície. Deve-se fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) que, além de nutrientes, são importantes para compor quantidades satisfatórias de bases trocáveis no solo; elevar os teores de P, K e micronutrientes a valores acima dos níveis críticos para o desenvolvimento das culturas, bem como aumentar e conservar a MO para preservação da capacidade de troca de cátions (CTC), retenção de água no solo, manutenção da atividade microbiana e contribuição no suprimento de N, dentre outras funções. O atendimento dessas condições deve constituir um pré-requisito quando se vislumbra o desempenho técnico e economicamente viável das culturas a serem exploradas (DE RESENDE; FONTOURA *et al.*, 2016).

Vale ressaltar que não só as características químicas devem ser consideradas, mas também deve-se preservar e estimular o desenvolvimento microbiológico, manutenção de palhada, conservação dos atributos físicos do solo, rotação de culturas, manejo integrado de pragas e doenças e aumento da capacidade de retenção de água (MOREIRA, 2019). De forma sucinta, solos de fertilidade construída são definidos como aqueles que, com o manejo ao longo do tempo, passam a apresentar condições físicas, biológicas e químicas adequadas para as culturas expressarem seu potencial produtivo (KAPPES; ZANCANARO, 2014).

O estabelecimento do sistema de plantio direto (SPD) com intenso aporte de palhada é a etapa mais avançada a integrar o conjunto de técnicas para a construção da fertilidade do solo, e é fundamental para obter êxito no processo de construção da fertilidade (DE RESENDE; FONTOURA *et al.*, 2016). No mundo, a adoção do SPD tem como principal motivo o controle da erosão do solo e redução das perdas de água (DERPSCH *et al.*, 2010). Em princípio, se num sistema são minimizadas as perdas por erosão, lixiviação e volatilização

de nutrientes, as culturas passam a ser o fator majoritário a influenciar os fluxos de nutrientes e a demanda por novas adubações consistirá essencialmente da reposição do que for exportado nos produtos colhidos (DE RESENDE *et al.*, 2019).

O solo de fertilidade construída passa a atuar como um reservatório de nutrientes, cuja capacidade máxima é dependente da natureza de seus constituintes (quantidade e tipo de argila, teor de MO) e do manejo recebido, em que a oscilação do nível de reserva disponível fica mais vinculada ao papel da própria planta como dreno de nutrientes. Somando ao fato de o solo não ser revolvido e a palha e nutrientes se acumularem na superfície do solo (ELTZ *et al.*, 1989), tem-se, então, condições propícias para se exercitar a abordagem da adubação de restituição ou de reposição (DE RESENDE *et al.*, 2019).

Na filosofia da adubação de sistema, busca-se planejar as operações para abastecer o solo de nutrientes, de modo a satisfazer a absorção pelas plantas no decorrer de um ano agrícola ou de um ciclo de rotação, ao invés de adubar cada cultura com base nas demandas individuais. Devidamente implementada, essa abordagem permite conciliar facilidades operacionais e uso eficiente de fertilizantes (DE RESENDE; FONTOURA *et al.*, 2016).

Solos de fertilidade construída, cultivados por longo tempo em modelos conservacionistas como o SPD, e sem limitações de ordem física, viabilizam a aplicação prática da adubação de sistema. O grande aporte de resíduos, associado à alta atividade biológica e bioquímica, garante eficiente ciclagem e suprimento contínuo de nutrientes, em sincronia com a demanda das culturas. Desse modo, praticamente toda a adubação de reposição pode ser aplicada anualmente de uma única vez, antecedendo o estabelecimento da espécie mais exigente ou que apresente maior resposta (FONTOURA *et al.*, 2015).

No caso da adubação com P, independentemente do seu modo de aplicação, há relatos de que o milho apresenta maior quantidade de raízes nas plantas cultivadas sob SPD, em relação ao plantio convencional (COSTA *et al.*, 2009). Sob SPD, em mesmas condições de manejo da fertilidade são observados maiores teores de P no solo sob SPD, comparado aos solos cultivados convencionalmente (MOREIRA *et al.*, 2020; VIEIRA *et al.*, 2013). Sendo assim, reafirmando a possibilidade de incrementar a adubação de sistema para o nutriente P.

Por outro lado, para nutrientes de alta mobilidade no solo, como o N, principalmente em solos com baixos teores de argila, há dúvidas sobre a viabilidade da adubação de sistema, na base ou em pré-plantio. Isso porque o N estaria mais sujeito às perdas nestas condições, notoriamente por volatilização e lixiviação (FONTOURA; BAYER, 2010; GRANT, 2010). Dessa forma, torna-se importante discutir a dinâmica do P e N nos solos.

2.2 Dinâmica de P no solo

O P é um dos nutrientes de relação mais complexa com o solo, cuja dinâmica é variável em função do tipo de solo, teor de MO, acidez do solo, teor de P no solo, teores de Al^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} na solução do solo, material de origem, dentre outros (NOVAIS, 2007).

O P está presente em todas as células vivas, na forma de biomoléculas como proteínas quinases, ácidos nucleicos, adenina trifosfato (ATP) e lipídios das membranas celulares. Em nutrição vegetal é um macronutriente, sendo requerido em grandes quantidades pelas plantas, pois participa de processos vitais para as células vegetais, como o metabolismo energético, transdução de sinais e fotossíntese (BARRA *et al.*, 2019).

O P do solo é dividido em dois grandes grupos, fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que está ligado. O grupo do Pi pode ser separado em duas partes, o P dos minerais primários e o P adsorvido. Ele compõe um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química. Pode ser encontrado ligado aos grupos funcionais silanol e aluminol das arestas das argilas silicatadas e nos grupos R-OH dos oxihidróxidos de ferro e alumínio e, inclusive, adsorvido à MO do solo através de pontes de cátions (BARROW, 1983; DOS SANTOS *et al.*, 2008).

Há no solo também, o P da solução do solo (P-Solução), ou concentração de P na solução do solo. Solos muito pobres em P, particularmente os mais intemperizados e argilosos, apresentam baixos valores de ‘P-disponível’, o que redundará em concentrações de P-Solução próximas de zero. Esse valor de P-Solução aumenta para determinado solo, com o aumento do P disponível ou, mais adequadamente, com a melhoria da fertilidade em P do solo. A absorção de P por uma planta é sensível ao P-Solução: maior absorção ocorrerá com o aumento da concentração de P na solução de um solo (NOVAIS, 2007).

O P orgânico pode constituir de 5 a 80% do P total do solo e, nos solos tropicais, é uma das fontes do nutriente para as plantas e deve ser considerado em estudos envolvendo a dinâmica e a biodisponibilidade do P (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). O P orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (CONTE *et al.*, 2002; 2003; MARTINAZZO *et al.*, 2007; RHEINHEIMER *et al.*, 2000).

A estabilidade destes compostos orgânicos depende de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do P. Alguns

compostos, como ácidos nucleicos e fosfolipídios com ligação diéster, possuem estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis e, por isso, as quantidades armazenadas no solo são pequenas. Por sua vez, os fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, apresentam alta energia de ligação com a estrutura química da MO e alta carga residual, o que lhes confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece o acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (RHEINHEIMER *et al.*, 2002; SANTOS, 1999).

O P inorgânico advindo de fertilizantes é o principal repositório de P aplicados no solo, de modo particular para a maioria dos solos tropicais naturalmente pobres em P-disponível (NOVAIS; SMYTH, 1999). Em contrapartida, os minerais primários de P, incluindo apatita, strengita e variscita, são muito estáveis, e a liberação de P disponível a partir desses minerais por intemperismo é geralmente muito lenta para atender à demanda da cultura (OELKERS; VALSAMI-JONES, 2008).

A dinâmica do P no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. Assim, em solos jovens e nos moderadamente intemperizados ainda ocorre P em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra adsorvida fracamente aos minerais secundários. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (DOS SANTOS *et al.*, 2008). Com isso, na maioria dos solos brasileiros, que são muito intemperizados, boa parte do P aplicado é adsorvida, transformando em formas de fósforo não lábeis.

De acordo com o maior ou menor grau de estabilidade destes compostos contendo P, o P presente pode ser enquadrado como P lábeis e não-lábeis. A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos. Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de MO, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (CROSS; SCHLESINGER, 1995; WALKER; SYERS, 1976).

Na maioria das condições dos solos brasileiros, parte do P mineralizado do Po ou adicionada via adubação é adsorvida pela fração mineral ou precipitada como compostos de Fe e de Al, tornando-se o nutriente pouco disponível às plantas. Isso faz com que sejam necessárias aplicações maciças de fertilizantes, geralmente de alto custo, para alcançar a produtividade almejada (CORREIA, 2010).

Nas condições de solos intemperizados e ácidos do Brasil, o P aplicado é predominantemente adsorvido aos óxidos e hidróxidos de Al / Fe, como gibbsita, hematita e goetita (PARFITT, 1989). O P pode ser primeiro adsorvido na superfície de minerais de argila e óxidos de Fe/Al, formando complexos mono e bidentado, com maior força de ligação. (ARAI; SPARKS, 2007; LUENGO *et al.*, 2006). Minerais de argila e óxidos de Fe/Al têm grandes áreas de superfície específicas, que fornecem um grande número de sítios de adsorção. A adsorção de P no solo pode ser aumentada com o aumento da força iônica. Com outras reações, o P pode ser obstruído em nanoporos que, frequentemente, ocorrem em óxidos de Fe/Al, e assim, ficar indisponível às plantas (ARAI; SPARKS, 2007; SHEN *et al.*, 2011).

Com o passar do tempo, pode ocorrer o ‘envelhecimento’ do P adsorvido, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos binucleados ou ainda a penetração do fosfato nas imperfeições do mineral cristalizado. Isso resulta em maior estabilidade e menor possibilidade de dessorção do fosfato. A magnitude da adsorção depende da quantidade de constituintes com capacidade de adsorver moléculas neutras ou carregadas eletricamente. Nos solos de regiões tropicais e subtropicais, os óxidos de ferro mal cristalizados, a quantidade de alumínio substituindo ferro e, em menores quantidades, os óxidos bem-cristalizados e a caulinita são os principais responsáveis por esse fenômeno (DOS SANTOS *et al.*, 2008).

O atendimento da demanda da cultura, com um mínimo de fixação de P no solo, constitui o aspecto principal do que é desejável para a otimização da fertilização fosfatada. Assim sendo, pode-se esperar que essa condição seja alcançada mais facilmente quando a fonte utilizada apresentar uma velocidade de liberação que coincida com a capacidade de aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do seu ciclo (BEDIN *et al.*, 2003).

Em características de solos tropicais altamente intemperizados como é o caso de muitas regiões do Brasil, a principal forma de perdas do P-Solução é quando é submetido a perdas por erosão, por meio de perdas de camadas superficiais do solo, mais ricas em P, ou logo após ser realizado uma aplicação do nutriente sob o solo, sem incorporação (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Em decorrência da complexidade da dinâmica do fósforo no solo é fundamental que o agricultor busque a melhor eficiência da fertilização com esse nutriente. Para locais com níveis altos e muitos altos de P e fertilidade construída, não tem muitas literaturas exemplificando qual melhor época e as culturas preferenciais para se adubar com P, visando altas produtividades. Em solos com teores altos ou muito altos de P, como no caso de solos de fertilidade construída, as culturas tendem a ser menos responsivas à adubações com esse nutriente (LACERDA *et al.*, 2015). Isso sugere que o P pode ser aplicado numa época de

maior capacidade operacional de cada propriedade. No entanto, faltam estudos para as diversas condições brasileiras.

Em solos de fertilidade construída, mesmo após três cultivos sucessivos, o fator capacidade ou poder tampão de fósforo, definido pela razão entre a quantidade de P no solo e o P em solução, foi capaz de manter um bom nível de P disponível. A reserva de nutriente, previamente, acumulada no solo permitiu dispensar a adubação da soja por duas safras, sem comprometimento da produtividade (LACERDA, 2014). Por outro lado, para o milho de segunda safra ainda há dúvidas da viabilidade da flexibilização da adubação, mesmo para solos com altos teores de P, em sucessão à soja verão.

2.3 Dinâmica do nitrogênio no solo

O nitrogênio (N) se diferencia dos demais nutrientes devido ao seu alto dinamismo no solo e por ser o nutriente mais exigido na maioria das culturas. Apresenta alta mobilidade no solo e sofre várias reações mediadas por microrganismos (CANTARELLA, 2007). Além do carbono e hidrogênio, o N é um dos nutrientes mais abundantes na matéria viva, participando na composição de moléculas de ácidos nucleicos, proteínas e polissacarídeos, dentre outras. Entretanto, apesar de ser requerido em quantidades significativas pelos seres vivos, na natureza, este elemento é encontrado em abundância em uma forma quimicamente muito estável e, portanto, sua pronta assimilação pela maioria dos seres vivos é limitada, requerendo sua transformação para uma forma combinada que facilite sua assimilação (MARIN *et al.*, 1999).

O N é absorvido pelas plantas na solução do solo nas formas de NH_4^+ e NO_3^- , sendo fornecido principalmente pela decomposição da MO; FBN; pela fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas, que contribui com pequenas quantidades de N e; por último, pelo fornecimento através dos fertilizantes nitrogenados, que é a principal fonte para diversas culturas, resultante principalmente do processo de Haber-Bosch. Neste processo há a combinação do N_2 atmosférico e hidrogênio, formando amônia ou produzindo outros compostos como ureia, sendo necessário cerca de 1,3 toneladas de combustível fóssil para fixar 1 tonelada de nitrogênio em alta pressão (35 a 100 Mpa) e temperatura (300 a 400 °C), resultando em alto requerimento de combustível fóssil, além da emissão de CO_2 (BOHLOOL *et al.*, 1992; CANTARELLA, 2007; DÖBEREINER, 1992; SPRENT; SPRENT, 1990; TAIZ; ZEIGER, 2006).

Considerando que a atmosfera terrestre é composta de 78% de gás dinitrogênio, a introdução do nitrogênio atmosférico, via FBN, no circuito dos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio, tem, frequentemente, efeitos positivos no ambiente e na economia. Ao contrário dos demais nutrientes, a principal fonte N para as plantas vem do ar, ou seja do gás N_2 atmosférico, que para ser utilizado como nutriente inicialmente precisa ser reduzido a NH_3 , por processos biológico ou industrial (CANTARELLA, 2007; MARIN *et al.*, 1999). No caso da cultura da soja, até 94% do N requerido pelas cultivares mais produtivas pode ser fornecido pela FBN, o que permite rendimentos superiores a $4.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (HUNGRIA *et al.*, 2006; MARIN *et al.*, 1999; PEOPLES; CRASWELL, 1992).

As principais transformações do N no solo são a mineralização, imobilização, nitrificação e desnitrificação. A mineralização é o processo pelo qual o N orgânico é convertido em N mineral ou inorgânico, inicialmente na forma de amônia (NH_3), posteriormente em íons amônio (NH_4^+), depois nitrato (NO_3^-). Esse processo de transformação de íons amônio (NH_4^+) em nitrato (NO_3^-) é mediada pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* e *Nitrossomonas*, sendo denominado de nitrificação (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

A imobilização é um processo concomitante à mineralização, que é a incorporação do N mineral para orgânico, por meio da ação de plantas, microrganismos, dentre outros. Os íons NO_3^- produzidos pela nitrificação ou adicionados ao solo podem sofrer a desnitrificação, transformando na sequência em NO_2^- , NO, N_2O e N_2 , em condições anaeróbicas (FURTINI NETO *et al.*, 2001). Essa condição de redução na disponibilidade de oxigênio no solo pode ocorrer também no período das chuvas ou com irrigação em excesso. Deve-se considerar também, que óxido nitroso (N_2O) é um gás de efeito estufa com capacidade para armazenar aproximadamente 250 vezes mais energia que o CO_2 (GRANLI; BOCKMAN, 1994; PRIMAVESI *et al.*, 2006).

Os fertilizantes nitrogenados representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado, pois, em média, são gastos seis barris de petróleo para a síntese de uma tonelada de amônia (HUNGRIA *et al.*, 2001). Além disso, a utilização dos fertilizantes nitrogenados apresenta diversas limitações, como a baixa taxa de aproveitamento pelas plantas, em média 50%, relacionada com perdas elevadas que ocorrem principalmente na forma gasosa (volatilização e desnitrificação) e ainda pela lixiviação de NH_4^+ e NO_3^- para o lençol freático (lixiviação) (CRISPINO *et al.*, 2001).

O ânion nitrato tem baixa interação química com os minerais do solo. A predominância de cargas negativas no solo, ou pelo menos nas camadas superficiais nos solos

tropicais, e a baixa interação química do NO_3^- com os minerais do solo fazem com que o NO_3^- esteja sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas superficiais ou o lençol freático (NOVAIS, 2007).

A volatilização, que é um processo de transferência do nutriente do solo para a atmosfera, ocorre principalmente após a aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados (principalmente ureia), e na superfície do solo, elas são rapidamente hidrolisadas pelas enzimas extracelulares ureases, produzidas por microrganismos, como as bactérias, os actinomicetos e os fungos do solo. Com isso, é formado o carbonato de amônio $(\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3$, que não é estável e se decompõe em amônia (N-NH₃), CO₂ e água. Assim, a N-NH₃ é emitida na forma de gás para a atmosfera, especialmente em maior intensidade, logo depois da aplicação do fertilizante. No entanto, a quantidade de N-NH₃ volatilizada é dependente, principalmente, das condições climáticas, como da velocidade do vento, da temperatura, da umidade relativa do ar e da precipitação; e de atributos do solo, como a capacidade de troca de cátions, da umidade, da temperatura, da quantidade de MO, do potencial de nitrificação, dos valores de pH e das concentração de N-NH₄⁺ na solução do solo, e do método de aplicação do fertilizante (LORENSINI *et al.*, 2012; ROCHETTE *et al.*, 2009; SANGOI *et al.*, 2003).

Em plantios de milho em solos de fertilidade construída foi observado que as perdas por volatilização estão diretamente relacionadas com a precipitação na área, após a cobertura e à temperatura do local (CANCELLIER *et al.*, 2016). Fontoura e Bayer (2010), estudando a volatilização de NH₃ em quatro safras agrícolas, observaram decréscimo exponencial nas perdas cumulativas de N (% do total aplicado) com o aumento do volume de chuvas no período de até cinco dias depois da aplicação de N. Isso acontece devido ao fato da água da chuva dissolver a ureia e a transporta para o subsolo onde microrganismos do solo a oxidam a rapidamente para NO_3^- .

Principalmente em cultivos de segunda safra, produtores de milho estão fazendo aplicação do N no sulco de semeadura com o uso de fontes de liberação gradual. Essas fontes não tem reduzido o vigor das sementes, pois a liberação do N é gradual (OLIVEIRA, 2013). Por outro lado, é sabido há longa data que a aplicação do N incorporado ao solo é um mecanismo eficiente e recomendado para evitar perdas de N por volatilização (YAMADA, 2000).

2.4 Fontes de nitrogênio e suas limitações.

A indústria mundial de fertilizantes tem o desafio de melhorar as características químicas, físicas e físico-químicas dos produtos e a eficiência no uso dos nutrientes, particularmente do N. Contudo, os avanços tecnológicos sempre devem ocorrer associados ao menor impacto ambiental e à adequada remuneração dos agricultores que são os principais responsáveis pela segurança alimentar da população (GUELFY, 2017).

O Brasil é o terceiro país que mais consome fertilizantes no mundo (IFA, 2021) por sua vez, este consumo está intrinsecamente ligado à extensa produção agropecuária e à baixa eficiência de utilização de fertilizantes pelas culturas (HEFFER; PRUD'HOMME, 2015). Como aproximadamente 83,7% dos fertilizantes consumidos no país são importados (ANDA, 2021), deve-se buscar alternativas para se aumentar a eficiência de uso pelas plantas.

Com relação aos fertilizantes nitrogenados, podem ser classificados em fertilizantes nitrogenados convencionais, fertilizantes nitrogenados estabilizados, fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou quimicamente modificados e fertilizantes nitrogenados de liberação controlada (GUELFY, 2017).

Os fertilizantes nitrogenados convencionais são os mais comuns e mais amplamente utilizados na agricultura, dentre eles podem ser citados a ureia, nitrato de amônio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, MAP e DAP, dentre outros. O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo é a ureia (HEFFER; PRUD'HOMME, 2015). Esta fonte se destaca por apresentar menor custo por quilo de N, em relação às demais, facilidade de aquisição e apresenta elevada concentração de nitrogênio (cerca de 45%) que, por outro lado, reduz o custo de transporte além possuir alta solubilidade e facilidade de mistura com outras fontes. No entanto, apresenta como grande desvantagem, a possibilidade de elevada perda de N por volatilização, quando aplicada na superfície do solo e em condições climáticas inadequadas (AUSTIN *et al.*, 2013; FRANCISCO, 2008).

No Brasil, a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho é realizada principalmente com ureia aplicada em superfície e sem incorporação. Este modo de aplicação contribui, aliado ao caráter higroscópico da ureia e às condições climáticas, para o aumento das perdas por volatilização (FRAZAO *et al.*, 2014).

Em um solo cultivado no estado de Santa Catarina, foi observado que aproximadamente 50% do N aplicado na forma de ureia sobre o solo foram perdidos por volatilização de amônia, em quatro dias (TASCA *et al.*, 2011). Em experimento realizado no cultivo de milho em solos de fertilidade construída verificou-se que as perdas acumuladas de

N por volatilização em 23 dias após cobertura com ureia foi de 31,2% do total aplicado de N (CANCELLIER *et al.*, 2016). Em uma meta-análise avaliando perdas por volatilização por ureia e ureia + inibidor de NBPT, foram relatadas perdas médias de N por volatilização de 31,0% para ureia e 14,8% para ureia NBPT, o tratamento com NPBT, conseqüentemente apresentou perdas de volatilização de 52% menores em comparação com a ureia convencional, independentemente da cultura e condições do solo (SILVA *et al.*, 2017).

O nitrato de amônio também é uma fonte de N muito utilizada, possuindo cerca de 31 a 33% de N. No entanto, a fonte concentrada é mais difícil de ser encontrada no comércio do que a ureia, devido a algumas restrições comerciais. Apresenta algumas desvantagens, como alta higroscopicidade (CANTARELLA, 2007; FURTINI NETO *et al.*, 2001), podendo haver problemas durante o armazenamento. Por sua vez, a principal vantagem do nitrato de amônio é sua reduzida perda por volatilização, a qual foi relatada em alguns trabalhos ser por volta de 0,5% de todo N aplicado (CHAGAS *et al.*, 2016).

O sulfato de amônio, por sua vez, já foi muito utilizado no Brasil, no passado, devido ao fato de ser um subproduto da indústria metalúrgica. Em função do seu baixo teor de N juntamente com alta higroscopicidade e altos custos por quilo de N, é rara sua utilização em sistemas intensivos de culturas anuais (CANTARELLA, 2007; FURTINI NETO *et al.*, 2001).

Objetivando-se reduzir a velocidade de hidrólise da ureia, por meio da inibição temporária da urease, alguns compostos químicos têm sido misturados à ureia, reduzindo a taxa de volatilização. Esses fertilizantes estão sendo referidos com o termo *Enhanced Efficiency Fertilizers*, cuja tradução para o português significa 'Fertilizantes de Eficiência Aumentada' (CANTARELLA, 2007; CHIEN *et al.*, 2009; TASCA *et al.*, 2011). Podem ainda ser divididos em dois grupos: os fertilizantes de liberação lenta ou controlada e os fertilizantes estabilizados (CHIEN *et al.*, 2009).

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles nos quais a ureia é tratada com aditivos para estabilização do N, como aditivos para inibição da urease e aditivos para inibição da nitrificação, entre eles o NBPT (tiofosfato de N-butiltriamida), hidroquinona, cobre, boro e catecol, DMPP, DCD, tiosulfato de amônio e o nitrapyrin. Por sua vez, os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada são fertilizantes nitrogenados convencionais, como a ureia, que tem alta solubilidade em água, aos quais são adicionados compostos para o recobrimento do grânulo que serve de barreira física e controla a passagem de N por difusão. Existem diversos compostos que podem ser utilizados para o recobrimento do grânulo, como enxofre elementar (S₀), resinas plásticas, termoplásticos, poliuretano, polietileno, dentre outros (BLAYLOCK *et al.*, 2005; GUELFY, 2017).

Além das classificações citadas acima, há os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou quimicamente modificados. Trata-se de produtos de condensação da ureia com aldeídos. Dentre os mais utilizados estão a ureia formaldeído, ureia metileno (GUELF, 2017). São muito utilizados no Brasil na cultura do café e em algumas frutíferas, mas pouco utilizados em culturas anuais. Isso porque não há empresas no país que formulam o produto em grânulos, tornando difícil sua aplicação em maquinários de distribuição à lanço, como é feita a maioria das coberturas em milho, e com distribuição com rosca, como é nas semeadoras utilizadas em culturas anuais.

A principal diferença entre fertilizantes de liberação controlada dos de liberação lenta é o mecanismo de liberação do N. A liberação do N nos fertilizantes de liberação controlada acontece pela difusão da água e do amônio ou ureia através da camada protetora. Por outro lado, a liberação do N nos fertilizantes de liberação lenta ocorre pela decomposição do produto (CHIEN *et al.*, 2009).

Os fertilizantes de liberação controlada são caracterizados por serem recobertos. Com isso, eles apresentam lenta liberação de N para o solo por um determinado período de tempo que pode variar conforme a natureza da substância utilizada para a cobertura e sua espessura. Os polímeros que revestem a ureia têm como finalidade principal reduzir as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera e a liberação controlada é devida a menor higroscopicidade e baixa permeabilidade de água pela cobertura, pois a água precisa passar pela camada protetora e dissolver o fertilizante para após ocorrer a liberação (CHIEN *et al.*, 2009; GUELF, 2017; REIS JR; GUELF, 2012).

Os compostos mais utilizados para a proteção de ureia são o enxofre, resinas e polímeros, usados de forma individual ou em conjunto, mas polímeros orgânicos também são usados para encapsular ureia no intuito de retardar a liberação de N (CHIEN *et al.*, 2009).

Fertilizantes estabilizados, como os que tem NBPT, têm sido misturados à ureia com o objetivo de diminuir a velocidade de hidrólise da ureia, por meio da inibição da atividade da urease. Por sua vez, a uréia Polyblen® é um fertilizante misto, pois possui a liberação controlada de grânulos de ureia revestidos com enxofre (S) misturas + polímeros, ureia convencional e ureia estabilizada com NBPT (CHAGAS *et al.*, 2019). O revestimento com S apresenta menor custo, comparado aos outros polímeros, isso fez com que esse produto revestido com S tenha sido muito aceito no mercado brasileiro. Os revestimentos também devido à mistura de combinação de polímeros ou de espessuras de recobrimento conseguem alterar o período de proteção do nitrogênio no interior do grânulo, com isso, sendo muito

adaptável às várias culturas, acompanhando a marcha de absorção de nitrogênio e economia de operações nas lavouras.

Muitos agricultores vêm utilizando essas novas tecnologias de fertilizantes nitrogenadas de forma diferente no milho de segunda safra, ao invés de realizar cobertura, adicionam todo N no sulco de semeadura, com expectativa de o N ser liberado durante o ciclo da cultura. Além disso, ressaltam que a distribuição na área fica mais homogênea, devido à não utilização de equipamentos de aplicação à lanço. Em experimento durante a safra de verão de milho não foi verificada diferença na produtividade, utilizando-se a fonte de liberação controlada Sulfammo Meta 29® totalmente no sulco de semeadura e dos demais tratamentos com fontes nutricionais realizadas em cobertura (DE SOUZA *et al.*, 2019). Mas na segunda safra devido à menor precipitação no ciclo da cultura, poderá haver respostas distintas.

2.5 Interação da adubação de nitrogênio e fósforo para o desenvolvimento de plantas

O adequado fornecimento de nutrientes é fundamental para se obter altas produtividades. Nutrientes como o N e P estão totalmente relacionados ao desenvolvimento radicular das plantas, e as raízes, em contrapartida, são responsáveis pela absorção de água e nutrientes para as plantas.

Em condições de deficiência de P, vários são os efeitos provocados no metabolismo das plantas, sendo pronunciados aqueles relativos ao N. Foi observado redução substancial dos teores de N total em plantas de milho submetidas a períodos crescentes de omissão de P em solução nutritiva (ALVES *et al.*, 1996). Também em milho, foi verificado que a absorção de nitrato foi extremamente sensível à omissão de P em solução nutritiva. Um período de omissão de dois dias provocou redução de 65% da absorção de nitrato em relação ao controle; quatro dias de omissão de P resultaram em absorção quase nula de nitrato. Entretanto, embora tenha ocorrido redução na absorção de amônio com o aumento do período de omissão de P, esta não foi tão acentuada quanto a de nitrato (ALVES *et al.*, 1999; MAGALHÃES, 1995).

A deficiência de P diminuiu consideravelmente a taxa de absorção de NO_3^- por unidade de comprimento de raiz. O estresse de P pode ter reduzido a assimilação de nitrato em proteínas, conseqüentemente causando *feedback* negativo na absorção de nitrato, efeito provavelmente exercido por aminoácidos (SCHJØRRING, 1986).

Foi observado um maior acúmulo de P na parte aérea, quando este nutriente foi fornecido a todo o sistema radicular, comparativamente ao seu fornecimento a apenas metade

do sistema radicular. Também houve maior acúmulo de N na parte aérea, quando o P e o N foram fornecidos conjuntamente a todo o sistema radicular (ALVES *et al.*, 1999).

Foi relatada uma grande influência do N na maior absorção de P pelo milho (BÜLL, 1993), e que a aplicação de fósforo aumenta a assimilação de nitrogênio proveniente da ureia (DA SILVA *et al.*, 2009). O que leva a perceber que é essencial a fornecimento de ambos em quantidades adequadas às culturas.

Modificações na arquitetura do sistema radicular das plantas, estão relacionadas à mobilidade do nutriente no solo, juntamente com sua disponibilidade. Há um desenvolvimento mais superficial do sistema radicular em resposta à deficiência de P, que pode comprometer o acesso à água em condições de estresse hídrico, o que limitaria também a taxa de absorção do íon (DA SILVA; DELATORRE, 2009).

Há duas teorias para explicar como o P causa alterações na arquitetura do sistema radicular. A primeira relaciona as alterações à falta do P para formação de componentes estruturais e para produção de energia. A outra teoria estabelece que as alterações na arquitetura da raiz se devem unicamente à sinalização, ou seja, a planta percebe a falta do nutriente e envia sinais gerando as modificações características com objetivo de aumentar a absorção (DA SILVA; DELATORRE, 2009).

Quatro adaptações morfológicas relacionadas à disponibilidade de N já foram caracterizadas: O efeito estimulatório local do N sobre o alongamento de raízes laterais; o efeito sistêmico inibitório de altas concentrações de N sobre a ativação de meristemas laterais de raiz; a supressão da iniciação de raízes laterais por alta razão C:N (carbono: nitrogênio) da planta e a inibição do crescimento da raiz primária e estímulo à produção de raízes laterais por teores externos de L-glutamato (L-Glu) (ZHANG *et al.*, 2007).

Diferente do que ocorre em deficiência de P, as plantas não apresentam grandes variações no comprimento da raiz principal sob deficiência de N e, alterações na densidade de raízes laterais variam com a espécie em estudo. Por outro lado, há grande variação no comprimento das raízes laterais (DA SILVA; DELATORRE, 2009; LINKOHR *et al.*, 2002; ZHANG; FORDE, 1998; ZHANG *et al.*, 1999).

Em vista das características do P e do N em relação ao desenvolvimento radicular, em situações de déficit hídrico como ocorre comumente na segunda safra, é fundamental que esses nutrientes sejam manejados da melhor forma possível.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condução do experimento e caracterização da área

O trabalho foi desenvolvido em condições de campo, nas fazendas Potreiro (Local 1) e Santa Terezinha (Local 2), ambas no Município de Campo do Meio, localizadas na mesorregião Sul de Minas, sobre Latossolo Vermelho (DOS SANTOS *et al.*, 2018), de textura argilosa. As fazendas estão localizadas respectivamente a 21°06'04.1 de latitude sul e 45°55'13.3" de longitude oeste e 21°03'59.1" de latitude sul e 45°53'42.9" de longitude oeste e também a 780 e 790 metros de altitude acima do nível do mar. Antes das instalações dos experimentos, coletou-se amostras de solo para determinação dos atributos químicos, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Teores de nutrientes no solo durante a instalação do experimento.

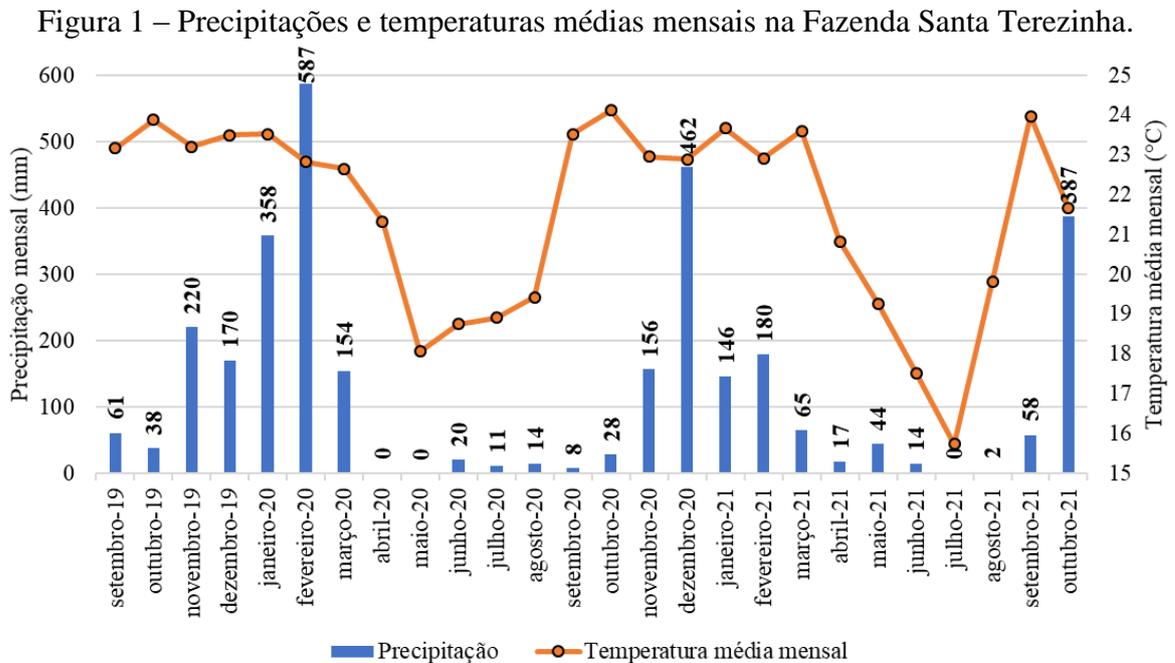
Prof.	pH	P _(resina)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	MO	S _(SO4)	B
m	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----			-----%-----		--mg dm ⁻³ --			
Fazenda Potreiro¹											
0 – 0,20	5,8	62,1	0,40	4,6	1,6	0	3,4	66	5,0	32	0,4
Fazenda Santa Terezinha											
0 – 0,20	5,5	45,7	0,27	5,1	1,4	0	2,8	71	3,2	17,	0,5

¹ utilizou-se nas fazendas Potreiro e Santa Terezinha as Glebas T3 e T9, respectivamente.

Fonte: Do autor (2022).

O clima da mesorregião é temperado chuvoso (Cwa) (KÖPPEN; GEIGER, 1930), com inverno seco e verão chuvoso. O índice médio pluviométrico anual é de 1592,7 mm, temperatura média anual de 19,6 °C, temperatura média máxima anual de 26,9 °C e temperatura média mínima anual de 14,3 °C.

Os dados climáticos das áreas foram coletados da estação meteorológica de modelo iMetos 3.3, instalada na própria Fazenda Santa Terezinha, e está localizada a latitude sul 21°5'57.065" e longitude oeste 45°54'58.062" W. A estação meteorológica se situa a 492 metros da área experimental na Fazenda Santa Terezinha e a 4270 metros da área experimental na Fazenda Potreiro. Na Figura 1 são apresentadas as precipitações pluviométricas mensais desde a instalação do experimento em outubro de 2019 até a colheita da segunda safra de milho em setembro de 2021.



Fonte: Do autor (2022).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos de forma independente sob um delineamento com blocos casualizados (quatro repetições), em parcelas subdivididas, durante dois anos de cultivo, contendo primeira e segunda safra em cada um (2019/20 e 2020/21). As parcelas principais foram constituídas pelas três formas de aplicação do P no sistema, além de tratamento controle, sem P. As formas de aplicação de P foram constituídas por: 1 – Adubação de sistema 1: aplicação do P total demandado pelas culturas soja e do milho (115

kg ha⁻¹ de P₂O₅), no sulco de semeadura do milho safrinha; 2- Adubação de sistema 2: aplicação do P total demandado pelas culturas da soja e do milho (115 kg ha⁻¹ de P₂O₅), no sulco de semeadura na soja verão; 3- Adubação convencional: aplicação de P demandado pela cultura da soja (65 kg ha⁻¹ de P₂O₅), no sulco de semeadura na soja e do P demandado pela cultura do milho segunda safra no sulco de semeadura no milho (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 4- controle – sem aplicação de P.

Para fornecimento de P, utilizou-se o fertilizante Top Phos® 01-28-00, sendo a dose de P calculada, estimando-se exportação de 65 e 50 kg de P₂O₅ pelas culturas da soja e milho, respectivamente, considerando-se produtividades de 4,8 e 8,4 Mg ha⁻¹ de soja e milho e exportações de 13 e 6 kg de P₂O₅ por tonelada de grãos de soja e milho, respectivamente, de acordo com a literatura (DE RESENDE *et al.*, 2012; DE RESENDE; SILVA; *et al.*, 2016; EMBRAPA, 2008; SEIXAS *et al.*, 2020).

As subparcelas foram constituídas pela aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, aplicado através de diferentes fontes e formas, na segunda safra de milho, sendo 1- 222 kg ha⁻¹ de ureia comum 45-00-00, aplicada em cobertura em V4; 2- 303 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio 33-00-00 aplicado em cobertura em V4; 3- 250 kg ha⁻¹ de Polyblen® 40-00-00, aplicado no sulco de semeadura do milho; 4- 344 kg ha⁻¹ de Sulfammo meta 29® 29-00-00, aplicado no sulco de semeadura do milho e 5- controle – sem aplicação de N.

O fertilizante Top Phos® 01-28-00 foi utilizado no presente experimento como fonte de P e foi escolhido devido seu baixo teor de N em relação aos demais fertilizantes granulados do mercado. O fertilizante Polyblen® 40-00-00 foi utilizado como fonte de N e é classificado como de liberação controlada pois é formado por ureia, que tem alta solubilidade em água, adicionado compostos de enxofre para recobrimento do grânulo. Já o fertilizante nitrogenado Sulfammo meta 29® 29-00-00 é um fertilizante estabilizado pois a fonte ureia é tratada com aditivos de MO, enxofre entre outras substâncias para estabilização do N. Ureia e Nitrato de amônio são classificados como fertilizantes convencionais.

Cada subparcela correspondeu a 6 linhas de semeadura, espaçadas entre si com 0,5 metros e com 10 metros de comprimento, totalizando-se 30 m². A semeadura foi realizada mecanicamente por meio do uso de semeadora de arrasto marca Jumil 3070, com 12 linhas de semeadura, distribuição de sementes à vácuo e sistema de distribuição de fertilizante com haste sulcadora. No total, cada experimento teve 80 parcelas. O estudo foi feito na primavera/verão e segunda safra de outubro de 2019 a setembro de 2021.

3.3 Instalação e condução do experimento

O manejo das culturas em relação à aplicação de inseticidas, herbicidas, fungicidas e fertilizantes foliares foi realizado com os mesmos produtos e dosagens utilizadas pelo produtor. Isso porque a pulverização na área toda é realizada com pulverizador automotriz, incluindo também a área em estudo.

As aplicações de todos os demais fertilizantes e corretivos de solo na área podem ser vistas na Tabela 2. O calcário aplicado dolomítico (32% CaO) e (16% MgO). Houve também a aplicação de gesso agrícola, com o objetivo de fornecer enxofre ao solo. Também foram realizadas fertilizações com cloreto de potássio (KCl) com o objetivo de elevar os teores de K no solo. Tanto o gesso, calcário e KCl foram aplicados à lanço com o equipamento STARA Hércules 7000, sem incorporação e separadamente, cada insumo por vez.

Tabela 2 – Dados referentes a ambientes, cultivares ou híbridos, população de sementeira, data de sementeira, data de colheita, adubações e correções de solo.

Safra	Cultura	Nome do Ambiente	Cultivar / híbrido	População de sementeira	Adubação de pré plantio	Correção de solo	Data de sementeira	Data de colheita
Fazenda Potreiro (Local 1)								
19/20	Soja	Local 1 19/20	BMX Lança IPRO	330 000	160 kg.ha ⁻¹ KCl (58%K ₂ O) + 40 kg.ha ⁻¹ de Ulexita (10% B)	-	18/10/2019	19/02/2020
20/20	Milho	Local 1 2020	AS 1633 PRO 3	58 000	-	-	24/02/2020	28/07/2020
20/21	Soja	Local 1 20/21	P 95R95 IPRO	340 000	200 kg.ha ⁻¹ KCl (58%K ₂ O)	1 Mg.ha ⁻¹ de Calcário	28/10/2021	26/02/2021
21/21	Milho	Local 1 2021	P 3858 PWU	58 000	-	-	28/02/2021	25/08/2021
Fazenda Santa Terezinha (Local 2)								
19/20	Soja	Local 2 19/20	NS 7709 IPRO	280 000	250 kg.ha ⁻¹ KCl (58%K ₂ O) + 30 kg.ha ⁻¹ de Ulexita (10% B)	1 Mg.ha ⁻¹ de gesso	24/10/2019	05/03/2020
20/20	Milho	Local 2 2020	MG 580 PWU	55 000	-	-	06/03/2020	13/08/2020
20/21	Soja	Local 2 20/21	NS 7709 IPRO	280 000	240 kg.ha ⁻¹ KCl (58%K ₂ O)	1 Mg.ha ⁻¹ de gesso + 1 Mg.ha ⁻¹ de Calcário	14/11/2021	23/03/2021
21/21	Milho	Local 2 2021	AS 1770 PRO3	54 000	-	-	25/03/2021	-

Fonte: Do autor (2022).

As cultivares utilizados no experimento, assim como data de semeadura, data de colheita, híbridos ou cultivares, e população de semeadura em todas as áreas foram descritas na Tabela 2, assim como o nome dado a cada ambiente para análise.

3.4 Avaliações

3.4.1 Produtividade e caracteres agronômicos

A produtividade de grãos foi determinada a partir da colheita de uma área de 7,5 m² na parte central da parcela, composta por 3 linhas espaçadas a 0,5 metros, com 5 metros de comprimento. Após a colheita houve o processamento em trilhadeira das parcelas, e, em seguida, procedeu-se de modo manual a limpeza de impurezas com abanação com peneiras. Posteriormente, foi realizada a avaliação de umidade e peso da parcela e houve conversão para padronização dos grãos a umidade de 13% e definida a produtividade da área por parcela. A partir da produtividade dessa área, foi estimada a produtividade por hectare (10.000 m²). Durante a colheita foi determinado o Estande final de plantas, contando se o número de plantas a serem colhidas e estimando-se o valor obtido para um hectare.

Foi realizada a verificação da altura de plantas para ambas as culturas em estudo, e para milho também foi realizada a medição da altura da base da espiga mais representativa, em relação ao solo, por meio de régua graduada, com a avaliação de 5 plantas aleatórias no centro da parcela. Para as duas primeiras culturas a altura foi feita rente ao solo até o último nó, já para a cultura do milho foi realizada do solo até o final do pendão.

Para avaliação dos componentes de produção do milho foram coletadas cinco espigas aleatórias quando se atingiu o estágio de maturação fisiológica. Avaliou-se então, o número de fileiras, contando manualmente o número de fileiras da espiga, e também número de grãos por fileira contando manualmente a quantidade de grãos que haveria em cada fileira aleatoriamente em cada espiga.

A massa de mil grãos foi realizada no mesmo dia da produtividade para se ter como base a mesma umidade e foi contado de forma manual 100 grãos de cada parcela e estimando-se para mil grãos.

Para todos os caracteres acima avaliados, na cultura da soja foram apresentados os resultados em função dos quatro ambientes de produção avaliados e as épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção. Não foram apresentados dados na cultura da soja para as fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados que foram realizados no

milho, pois esses tratamentos pouco influenciaram a cultura de primavera/verão. Para a cultura do milho segunda safra, foram observados os caracteres função de três locais de produção, épocas de adubações fosfatadas de sistema e fontes e formas de aplicação de fertilizantes. Não foi possível realizar a colheita do Local 2 em 2021 devido à ausência de produtividade significativa em decorrência de déficit hídrico.

3.4.2 Coleta de folhas, análise foliar e índice de clorofila

Durante a segunda safra de 2020 e 2021 para a cultura do milho e primeira safra de 20/21 para a cultura da soja, na época do florescimento, R1 em milho e R2 em soja, foram coletadas folhas para determinação das concentrações foliares de nutrientes, de acordo com procedimentos descritos por Malavolta (1997). As folhas de milho foram coletadas no estágio R1 (emissão da inflorescência feminina), retirando toda a folha e coletando sempre a folha oposta e abaixo da espiga. As folhas de soja foram coletadas no estágio R2 (florescimento pleno), retirando toda a folha, com pecíolo, colhendo sempre o terceiro trifólio de cima para baixo. Foram coletadas dez folhas de diferentes plantas da parcela.

Após a coleta, o material vegetal foi seco em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura entre 60 a 65 °C, até atingir massa constante; posteriormente, foi moído em moinho tipo Willy, usando peneira granulométrica de 20 Mesh (ASTM 20 mesh/tyler 20, abertura 0,85 mm). Posteriormente, foram quantificados os teores dos nutrientes, segundo Malavolta (1997). Nas amostras de folha foram determinados os teores de N e P apenas, que são de interesse do presente estudo. Nas mesmas folhas selecionadas para análise foliar e no mesmo estágio fenológico, foi realizada a leitura do índice de clorofila por meio do clorofilômetro SPAD.

Os teores foliares de N e P foram avaliados durante a segunda safra para os locais 1 e 2 no de 2020 e apenas para Local 1 no ano de 2021 para a cultura do milho, pois não houve desenvolvimento satisfatório do milho no local 2 em 2021. Já para a cultura da soja foram avaliados apenas os teores de P na safra de 2020/2021 para ambos os locais. Para avaliações da cultura da soja, foram observados apenas os tratamentos de épocas de aplicação do fertilizante fosfatado, visto que as fontes nitrogenadas são aplicadas apenas na cultura do milho e a soja não necessita de adubação nitrogenada devido à fixação biológica de nitrogênio.

3.4.3 Análise de solo

Após os dois anos de experimento e colheita da segunda safra 2021, foram realizadas amostras compostas em cada parcela experimental, as subparcelas não foram avaliadas com amostragens de solo, que correspondem à aplicação de N de diferentes fontes e formas, na segunda safra de milho. Foram coletadas amostras na camada de 0,0 a 0,20 m por meio de um trado holandês e com a coleta de cinco amostras simples, sendo três amostras na entrelinha da cultura e duas na linha da cultura, para compor uma amostra composta por parcela. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhados para o laboratório, onde foram secas em estufas de circulação forçada com temperatura não superior a 40 °C, posteriormente passadas em peneira de malha 2 mm, para se obter terra fina seca ao ar (TFSA). Após a preparação das amostras coletadas, foram determinados os teores dos nutrientes.

Na camada de 0,0 a 0,2 foram determinados os valores de pH, teores de MO, P resina, K, Ca, Mg e Al (TABELA 3). Todos os procedimentos foram realizados de acordo com as metodologias de Silva (2009).

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e quando significativos foi realizado o teste de Scott- Knot a 5% de probabilidade (SCOTT; KNOTT, 1974), utilizando o software Sisvar[®], versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho é resultado de dois experimentos de campo referente às safras de primavera verão 2019/2020 e 2020/2021 e também segunda safra de 2020 e 2021, compreendendo dois locais, sendo um com quatro cultivos e outro com três cultivos. Inicialmente serão discutidos os efeitos do manejo de adubação fosfatada nos teores de P (resina) do solo e apresentado os valores médios dos atributos do solo ao final do experimento. Posteriormente, serão apresentados os resultados dos teores de N e P nas folhas das plantas de milho e soja. Por fim, será discutido os efeitos dos tratamentos sobre caracteres agronômicos na produtividade das culturas.

4.1 Efeito do manejo de adubação fosfatada nos teores de P resina no solo.

Devido ao manejo da fertilidade do solo adotado pelo produtor ao longo de vários anos de cultivo sob SPD, antes da implantação dos experimentos, os solos já apresentavam altos teores de P, Ca, Mg e K na camada 0 – 20 cm (TABELA 1), conforme Sousa e Lobato (2004).

Os valores médios, na camada de 0 – 20 cm, para pH, V%, CTC e teores de K, Ca, Mg, Al e H+Al, após os dois anos dos experimentos, são apresentadas na Tabela 3. Os valores desses atributos foram alcançados com base na média aritmética de todas as análises realizadas em cada parcela do experimento. São apresentados apenas valores médios, pois trata-se de atributos que não sofreram influência direta do manejo da adubação fosfatada e não estão diretamente relacionados com os teores de P no solo, que é o atributo em estudo.

Os valores apresentados na Tabela 3 se diferenciaram dos iniciais obtidos antes da implantação do experimento (TABELA 1). Isso se deve ao fato de que durante os dois anos de experimentos foram realizadas adubações com KCl e correções de solo com gesso e calcário pelo produtor. Desta forma, as intervenções foram eficientes para se manter os níveis de nutrientes no solo, mesmo havendo exportações de nutrientes pelas culturas. Conseqüentemente os níveis de Ca, Mg e K, também estão altos ou adequados para o cultivo (NOVAIS, 2007; SOUSA; LOBATO, 2004). Os teores elevados de nutrientes é um dos fatores que caracterizam o solo como de fertilidade construída (DE RESENDE; FONTOURA; *et al.*, 2016).

Tabela 3 – Teores médios de nutrientes no solo ao final do experimento.

Prof. m	pH CaCl ₂	CTC	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V
		-----cmolc dm ⁻³ -----						%
Local 1								
0 – 0,20	5,3	9,1	0,43	4,5	1,3	0	2,9	68
Local 2								
0 – 0,20	5,2	9,4	0,32	4,7	1,1	0	3,2	65

Fonte: Do autor (2022).

Após dois anos de cultivo, na média dos dois locais, os teores de P de todos os tratamentos ficaram acima dos valores obtidos no tratamento controle (sem adubação fosfatada) (TABELA 4). Mesmo com a redução dos teores, os valores ainda são considerados altos, de acordo Sousa e Lobato (2016), sendo suficientes para se obter elevadas produtividades nas culturas da soja e milho (DE RESENDE *et al.*, 2019; PAULETTI *et al.*, 2010). Isso ocorre devido ao alto poder tampão dos solos argilosos em P. Assim, normalmente são necessárias altas doses de P para elevar os teores iniciais a valores considerados adequados a altos (SOUSA; LOBATO, 2016), mas estes são capazes de suportar até três cultivos, mantendo os teores no solo inalterados, conforme observado nos trabalhos de Lacerda *et al.* (2015) e Macedo (2019).

Observou-se em todos os locais que os teores de P obtidos nas parcelas que receberam a adubação de sistema 1 foram superiores aos obtidos nas parcelas que receberam a adubação do sistema 2. Ressalta-se que as quantidades aplicadas anualmente do nutriente nos dois sistemas foram as mesmas. Possivelmente as diferenças se devem ao fato de que as últimas aplicações de P no sistema 1 foram realizadas no mês de fevereiro e março de 2021, enquanto no sistema 2, as últimas aplicações de P na soja foram em outubro de 2020. Sabe-se que o tempo é um fator que influencia na indisponibilização de fósforo (SAMPLE, 1972), pois quanto maior o tempo de contato do P solúvel com os coloides do solo do solo, maior será adsorção e retenção e menor disponibilidade às plantas ((BROGGI *et al.*, 2010; SANTOS *et al.* (2016)). No entanto, ao longo dos anos de cultivo acredita-se que esses teores de P obtidos nas parcelas com adubação de sistemas 1 e 2 tendem a se igualar, conforme observado por Macedo (2019), após três anos de cultivo.

Tabela 4 – Teores médios de P (resina mg dm⁻³) no solo, em função do manejo de adubação da adubação fosfatada em cada um dos locais.

Teores de P no solo (mg dm ⁻³)			
	Local 1	Local 2	Média
Adubação convencional ¹	59 a	87 a	73 a
Adubação de sistema 1 ¹	65 a	78 a	71 a
Adubação de sistema 2 ¹	47 b	54 b	51 b
Controle	39 b	37 c	38 c
Média	53 B	64 A	
CV (%):	27,2		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.

Fonte: Do autor (2022).

4.2 Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada nos teores de fósforo, nitrogênio e índice de clorofila nas folhas das culturas.

A avaliação dos teores de N e P nas folhas foi realizada nas culturas de soja na safra de primavera/verão e no milho de segunda safra. Para a cultura do milho não houve diferença nos teores médios de P para as épocas de aplicação de P e para as formas de aplicação e fontes de N (TABELA 5). No trabalho de Macedo (2019), as concentrações de P nas folhas de milho também não variaram com as formas de aplicação de P no sistema, em primeira ou segunda safra. Soares *et al.* (2018) também não encontraram diferenças entre os teores de P nas folhas do milho de segunda safra para as áreas adubadas com P em relação ao controle.

Apesar de relatos de grande influência do N no aumento da absorção de P pelo milho (BÜLL, 1993), no presente estudo não houve interação entre as épocas de aplicação de P com fontes e formas de aplicação de N (TABELA 5). Fato que é distinto da afirmação de que o aumento da disponibilidade de P incrementa a assimilação de N proveniente da ureia (DA SILVA *et al.*, 2009). Por outro lado, houve diferença em relação aos teores médios de N nas folhas para as forma e fontes de aplicação de N.

As plantas de milho cultivadas sem adubação nitrogenada apresentaram menores teores foliares de N em relação às plantas adubadas com N, independentemente da fonte de N. O fato de as plantas de milho aumentarem a concentração de N nas folhas com a aplicação de

N já era esperado, como já bastante documentado na literatura (GOTT *et al.*, 2014; SCHIAVINATTI *et al.*, 2011). Por sua vez, a falta de diferença entre as fontes de N não era esperada, pois, normalmente, as fontes de eficiência aumentada tendem a apresentar maior eficiência em condições climáticas desfavoráveis. Para a cultura da soja, os teores médios de N e P foliares não foram modificados pelas épocas de aplicação do fertilizante fosfatado.

Embora as plantas de milho cultivadas sem aplicação de N tenham apresentado menores teores de N do que as adubadas, todas as concentrações apresentaram teores um pouco abaixo das faixas consideradas adequadas (28–35 g kg⁻¹) para a cultura do milho (SOUSA; LOBATO, 2004). Os teores de N e P nas folhas de soja apresentaram teores dentro das faixas consideradas adequadas por Sousa e Lobato (2004) e Malavolta (1997).

Tabela 5 – Concentrações de N e P nas folhas das culturas da soja primeira safra e de milho segunda safra sob o manejo de adubação fosfatada e formas e fontes de adubação nitrogenada na segunda safra.

	Cultura do milho		Cultura da Soja	
	Teores de N	Teores de P	Teores de N	Teores de P
	g kg ⁻¹			
	Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado			
Adubação convencional ¹	25,7	1,5	52,4	3,6
Adubação de sistema 1 ¹	25,5	1,5	51,4	3,5
Adubação de sistema 2 ¹	25,4	1,4	51,5	3,7
Controle	25,2	1,4	51,4	3,5
	Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados			
Nitrato Cobertura ²	26,0 a	1,5	-	-
Polyblen® Semeadura ³	25,4 a	1,5	-	-
Sulfammo® Semeadura ³	25,9 a	1,5	-	-
Ureia Cobertura ²	25,7 a	1,5	-	-
Controle	24,1 b	1,4	-	-
CV 1 (%)	9,5	18,0	13,7	8,7
CV 2 (%)	10,3	16,9	4,1	3,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.
¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.
²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.
³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

As menores concentrações de N nas plantas de milho cultivadas sem adubação de cobertura (TABELA 5) também foram confirmadas pelos menores índices de clorofila obtidos nessas plantas, na média das safras (TABELA 6). Os maiores índices de clorofila foram obtidos nas plantas que receberam as fontes Polyblen® e Sulfammo® aplicados no sulco de semeadura. As plantas que receberam os fertilizantes convencionais ureia e nitrato de amônio tiveram índices inferiores, mas todos eles foram superiores ao controle. O resultado diverge dos obtidos por Oliveira (2013) e Hendges (2021), que analisaram fontes de nitrogênio com liberação controlada e convencionais aplicados no sulco de semeadura e não observaram variações entre as fontes.

As diferenças entre as fontes nitrogenadas quanto aos índices de clorofila, embora pequenas, possivelmente se devem às condições mais restritivas apresentadas nas condições de campo. Após as aplicações das fontes nitrogenadas no sulco de semeadura e em cobertura houve, em média, apenas 173 e 42 mm de chuva, respectivamente, até as avaliações dos índices de clorofila. Acredita-se que nessas condições desfavoráveis de falta de água, principalmente as fontes Polyblen® e Sulfammo®, aplicadas no sulco de semeadura, tendem apresentar melhor desempenho do que as outras fontes aplicadas na superfície do solo, pois nestas condições as fontes aplicadas dentro do sulco estarão protegidas e possivelmente terão maior contato com umidade de solo, que contribui para liberação do N e absorção pelas plantas.

Tabela 6 - Índice de clorofila foliar (SPAD) para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	57	49	48	51
Adubação de sistema 1 ¹	57	50	48	52
Adubação de sistema 2 ¹	57	53	47	52
Controle	56	51	46	51
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	56	52	47	52 b
Polyblen® Semeadura ³	58	51	49	53 a
Sulfammo® Semeadura ³	58	53	49	54 a
Ureia Cobertura ²	58	49	47	51 b
Controle	54	48	45	49 c
Média	57 A	51 B	47 C	
CV 1 (%)	8,5			
CV 2 (%)	7,6			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

4.3 Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada nos caracteres agrônômicos das culturas do milho e soja

Em relação à altura de plantas, a cultura da soja apresentou maiores valores quando foi realizada adubação de sistema 2, seguida pela adubação convencional, comparada aos demais tratamentos (TABELA 7). Júnior *et al.* (2008) e Alcântara Neto *et al.* (2010) também observaram que a soja apresentou alturas superiores com a realização de adubação fosfatada, apresentando alturas máximas para as doses de 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 95 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente, que são próximas à dose que resultou na maior altura no presente trabalho, que foi de 115 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ para a adubação de sistema 2.

As alturas médias também variaram em relação aos locais (TABELA 7). Plantas cultivadas no Local 2, safra 2019/20 e as plantas cultivadas no Local 1 em 2020/21 apresentaram alturas superiores, seguidas pelas plantas cultivadas no Local 2, na safra 2020/21 e daquelas cultivadas no Local 1, safra 2019/20. As diferenças se devem ao fato de serem utilizadas cultivares distintas, com diferentes graus de maturação, e dois anos agrícolas distintos. Esses conjuntos de fatores interferem nos caracteres agronômicos das plantas de soja, conforme relatado por Carvalho *et al.* (2010), avaliando desempenho de cultivares de soja no sul de Minas Gerais.

Tabela 7 – Altura média de plantas (m) para a cultura da soja primeira safra em função dos ambientes e épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção.

	Local 1 19/20	Local 2 19/20	Local 1 20/21	Local 2 20/21	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado					
Adubação convencional ¹	0,80 Ba	0,91 Aa	0,94 Aa	0,80 Bb	0,86 b
Adubação de sistema 1 ¹	0,76 Ba	0,87 Ab	0,85 Ab	0,81 Bb	0,82 c
Adubação de sistema 2 ¹	0,78 Ba	0,92 Aa	0,92 Aa	0,93 Aa	0,89 a
Controle	0,76 Ca	0,89 Ab	0,87 Bb	0,82 Bb	0,83 c
Média	0,77 C	0,90 A	0,89 A	0,84 B	
CV 1 (%)	9,24				
CV 2 (%)	4,59				

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.

Fonte: Do autor (2022).

As épocas de aplicação de P não influenciaram nas alturas das plantas de milho segunda safra (TABELA 8). As fontes e formas de fertilizantes nitrogenados não resultaram em diferenças significativas na altura das plantas de milho, assim como observado por Soratto *et al.* (2010) em seu trabalho avaliando fontes convencionais e Valderrama *et al.* (2014), avaliando fontes revestidas por diferentes polímeros. Possivelmente, as condições climáticas restritivas ao desenvolvimento das plantas na segunda safra nos anos de estudo (FIGURA 1), podem ter interferido principalmente nas respostas das fontes e formas de aplicação de N, pois, inicialmente, eram observadas diferenças visuais entre a coloração das plantas dos diferentes tratamentos, fato comprovado pelas diferenças nos índices de clorofila (TABELA 6). No local 1, em 2020, houve precipitação de 371 mm durante o ciclo da cultura, o que explica a sua altura superior em relação ao local 1, em 2021, e local 2, em 2020, quando choveu apenas 141 e 124 mm, respectivamente.

Tabela 8 – Altura média de plantas (m) para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020 ¹	Local 2 2020 ²	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	2,91	2,25	2,24	2,47
Adubação de sistema 1 ¹	2,92	2,27	2,20	2,47
Adubação de sistema 2 ¹	2,85	2,17	2,28	2,44
Controle	2,88	2,17	2,16	2,41
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	2,88	2,25	2,39	2,51
Polyblen® Semeadura ³	2,90	2,21	2,16	2,42
Sulfammo® Semeadura ³	2,95	2,24	2,22	2,47
Ureia Cobertura ²	2,91	2,24	2,17	2,44
Controle	2,85	2,14	2,17	2,39
Média	2,89 A	2,21 B	2,22 B	
CV 1 (%)	12,46			
CV 2 (%)	11,17			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.
¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.
²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.
³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

As alturas de inserção de espigas do milho segunda safra não foram modificadas pelas épocas de aplicação de fertilizantes fosfatado (TABELA 9), mas foram alteradas pelas formas de aplicação e fontes de fertilizantes nitrogenados, ao contrário do que foi observado por Soratto *et al.* (2010) e Valderrama *et al.* (2014). No presente estudo, as plantas adubadas com o fertilizante Sulfammo®, aplicado no sulco de semeadura, apresentaram maiores alturas de inserções de espigas, seguido por aquelas adubadas com Polyblen®, nitrato de amônio e ureia, e o controle com alturas inferiores.

As diferentes respostas na inserção de espigas para os fertilizantes avaliados se devem principalmente ao fato de os fertilizantes aplicados no sulco disponibilizarem N desde a emergência da cultura. Além disso, as plantas são expostas por mais tempo à solução do solo, conseqüentemente tornam-se maiores durante o período vegetativo, que é quando se tem

maior precipitação na segunda safra. Resultando em maiores entrenós e, conseqüentemente, maior altura de inserção de espigas.

Tabela 9 - Altura média de inserção de espigas (m) para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	1,38	1,16	1,06	1,20
Adubação de sistema 1 ¹	1,40	1,17	1,04	1,20
Adubação de sistema 2 ¹	1,39	1,13	0,99	1,17
Controle	1,40	1,13	1,02	1,18
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	1,36 Ac	1,18 B	1,01 C	1,18 b
Polyblen® Semeadura ³	1,41 Ab	1,14 B	1,04 C	1,19 b
Sulfammo® Semeadura ³	1,46 Aa	1,16 B	1,05 C	1,22 a
Ureia Cobertura ²	1,41 Ab	1,16 B	1,01 C	1,19 b
Controle	1,34 Ac	1,11 B	1,02 C	1,15 c
Média	1,39 A	1,15 B	1,03 C	
CV 1 (%)	8,37			
CV 2 (%)	5,23			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

O número médio de fileiras por espiga de milho não foi modificado pelos tratamentos, com exceção das variações ocorridas na média de todas as formas e fontes de N (TABELA 10). No entanto, trata-se de pequenas diferenças, sem efeitos práticos que pudessem interferir na produtividade da cultura. Além disso, segundo Balbinot Jr (2005), a correlação total entre número de fileiras por espigas e produtividade de grãos é baixa.

No presente estudo, acredita-se que a falta de respostas dos tratamentos no número médio de fileiras pode ser devido às condições climáticas desfavoráveis (FIGURA 1). Os

diferentes resultados entre locais estão relacionados à fatores genéticos dos híbridos. Durante os estádios vegetativos V8 a V12 houve uma precipitação média de apenas 12mm. De acordo com Ritchie *et al.* (2003) entre estes estádios é quando ocorre a duplicação do número de fileiras dos óvulos, que potencialmente serão os futuros grãos na espiga.

As variações do número médio de fileiras por espiga em relação aos locais se devem às diferentes cultivares utilizadas, já que esse caractere é muito depende do material genético utilizado (FERNANDES *et al.*, 2005).

Tabela 10 - Número médio de fileiras de grãos por espiga (unidade) para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	16,2	17,1	17,5	16,9
Adubação de sistema 1 ¹	16,0	17,5	17,5	17,0
Adubação de sistema 2 ¹	15,9	17,0	17,2	16,7
Controle	16,1	17,3	17,3	16,9
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	15,8	17,2	17,4	16,8 a
Polyblen® Semeadura ³	16,6	17,4	17,4	17,1 a
Sulfammo® Semeadura ³	16,1	17,3	17,6	17,0 a
Ureia Cobertura ²	16,0	17,3	17,6	16,9 a
Controle	15,8	16,9	16,9	16,5 b
Média	16,0 B	17,2 A	17,4 A	
CV 1 (%)	4,7			
CV 2 (%)	4,1			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

O número médio de grãos por fileira também não foi modificado pelos tratamentos (TABELA 11), havendo pequenas diferenças nas médias dos locais, sem importância para impactar as produtividades médias. No presente estudo, acredita-se que a falta de respostas dos tratamentos no número médio de grãos também pode ser devido à condição climática desfavorável (FIGURA 1), durante os estádios vegetativos V12 a V17, que é quando ocorre o aumento do número de óvulos por fileiras (RITCHIE *et al.*, 2003), que potencialmente serão os futuros grãos na espiga. Balbinot Jr (2005) observou que o número de grãos por fileira é o componente de rendimento que mais contribui na definição da produtividade de grãos em milho, mas é uma característica muito relacionada à cultivar (FERNANDES *et al.*, 2005).

Tabela 11 - Número médio grãos por fileiras por espiga (unidade) para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	34,1	27,7	28,8	30,2
Adubação de sistema 1 ¹	33,4	28,4	29,2	30,3
Adubação de sistema 2 ¹	32,1	28,5	28,0	29,5
Controle	31,5	27,6	26,6	28,6
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	31,5	28,6	27,9	29,3
Polyblen® Semeadura ³	33,3	28,7	28,5	30,2
Sulfammo® Semeadura ³	32,8	28,2	29,7	30,2
Ureia Cobertura ²	31,8	28,0	27,5	29,1
Controle	34,6	26,7	27,2	29,5
Média	32,8 A	28,0 B	28,1 B	
CV 1 (%)	14,4			
CV 2 (%)	14,6			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.²Aplicação do fertilizante em cobertura no estágio V4.³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

Embora tenha ocorrido pequenas variações na massa média de mil grãos (MMG) na cultura da soja em decorrência das épocas de aplicação do fertilizante fosfatado (TABELA 12), possivelmente tenha pequena importância prática. As diferenças mais significativas entre as MMG são normalmente devido às cultivares utilizadas, e não ao manejo da adubação (ARAÚJO *et al.*, 2005). Durante as 4 safras de soja foram utilizadas três cultivares distintas, o que resultou em diferentes valores médios de MMG. No local 2, em ambos os anos de cultivo, utilizou-se a mesma cultivar, apresentando MMG idênticas. Por sua vez, as outras duas cultivares distintas utilizadas no local 1 apresentaram valores médios divergentes.

As MMG das plantas de milho não foram modificadas pelas formas de aplicação de P ou pelas formas ou fontes de N de aplicadas. Resultados semelhantes também foram encontrados por Kappes *et al.* (2009) que avaliaram várias fontes de N e épocas de aplicação e também Valderrama *et al.* (2011) que avaliaram doses e fontes de P em solo de alta fertilidade. As maiores MMG estão correlacionadas com o índice pluviométrico durante o ciclo das culturas, pois no local 1 em 2020 quando houve a maior MMG a precipitação no ciclo foi de 371 mm, enquanto no local 1 em 2021 e local 2 em 2020 as precipitações foram de 141 e 124 mm, respectivamente. Portanto, a falta de água durante todo o ciclo e especialmente durante a fase de enchimento de grãos reduziu a MMG e dificultou a expressão do potencial produtivo das cultivares.

Tabela 12 – Massa de mil grãos (g) para a cultura da soja primeira safra em função dos ambientes e épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção.

	Local 1	Local 2	Local 1	Local 2	Média
	19/20	19/20	20/21	20/21	
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado					
Adubação convencional ¹	190 A	194 Ab	151 B	198 Aa	183 a
Adubação de sistema 1 ¹	184 A	190 Ab	147 B	190 Ab	178 b
Adubação de sistema 2 ¹	188 B	201 Aa	145 C	196 Aa	183 a
Controle	188 A	189 Ab	148 B	193 Ab	180 b
Média	183 B	194 A	148 C	194 A	
CV 1 (%)	6,9				
CV 2 (%)	3,2				

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 13 - Massa de mil grãos (g) para a cultura para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	302	257	247	269
Adubação de sistema 1 ¹	320	245	240	268
Adubação de sistema 2 ¹	302	266	227	265
Controle	307	242	232	260
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	309	254	237	267
Polyblen® Semeadura ³	319	256	235	270
Sulfammo® Semeadura ³	317	247	243	269
Ureia Cobertura ²	303	250	236	263
Controle	292	254	230	258
Média	308 A	252 B	236 C	
CV 1 (%)	9,0			
CV 2 (%)	8,2			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.
¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.
²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.
³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

4.4 Efeito do manejo de adubação fosfatada e nitrogenada na produtividade das culturas e na produção total do sistema

A produtividade da cultura da soja, na média das safras e locais, não foi alterada pelas épocas de aplicação de fertilizante fosfatado (TABELA 14), fato já esperado devido aos teores adequados de P no solo. Teores de nutrientes iguais ou acima dos níveis críticos já são suficientes para se obter de 80 - 90% do rendimento potencial da cultura, mesmo na ausência da aplicação do mesmo (SOUSA *et al.*, 2016). Em solos com altos teores de P, Lacerda *et al.* (2015) e Mariussi *et al.* (2019) também não observaram variação na produtividade de grãos, independentemente da dose de P utilizada na semeadura da cultura.

No local 2, na safra 2019/20, a soja que recebeu a adubação de sistema 2 apresentou maior produtividade do que os demais tratamentos. Por sua vez, no local 1, na safra 2020/21, as plantas que receberam a adubação convencional apresentaram maior produtividade do que aquelas que receberam os demais tratamentos. Como os resultados para esse tratamento foram distintos para os dois locais apenas e eles foram semeados em anos, locais e utilizadas cultivares diferentes, os resultados podem ter sido influenciados por esses fatores.

Os diferentes resultados entre locais se devem a diferentes anos de cultivo, local de cultivo, época de semeadura, precipitação e clima.

Tabela 14 – Produtividade (kg/ha) para a cultura da soja primeira safra em função dos ambientes e épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção.

	Local 1 19/20	Local 2 19/20	Local 1 20/21	Local 2 20/21	Média	Produtividade Relativa (%)
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado						
Adubação convencional ¹	4641 aB	5001 bA	4455 aB	3920 aC	4504	101,5
Adubação de sistema 1 ¹	4578 aB	4924 bA	3998 bC	3997 aC	4374	98,6
Adubação de sistema 2 ¹	4971 aB	5326 aA	3961 bC	3959 aC	4555	102,6
Controle	4725 aA	5000 bA	3988 bB	4039 aB	4438	100
Média	4729 B	5063 A	4101 C	3979 C		
CV 1 (%)	11,4					
CV 2 (%)	8,7					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.

Fonte: Do autor (2022).

As produtividades médias de grãos do milho segunda safra foram maiores nas plantas de receberam adubação no sulco de semeadura (convencional) e aquelas que receberam a adubação total no sulco (adubação do sistema 1) (TABELA 15), comparadas aos demais tratamentos. De acordo com Sousa (2016), os teores de P no solo do presente estudo podem ser classificados como muito altos (TABELA 4), situação em que não se esperava respostas em produtividade. Por outro lado, isso demonstra que o milho é uma cultura mais exigente em P do que a soja, podendo ser responsivo à adubação fosfatada, mesmo em solos de fertilidade construída (DE RESENDE *et al.*, 2019), como também observado por Lacerda *et al.* (2015).

Como a maior produtividade do milho foi alcançada quando o P foi aplicado no sulco de semeadura do milho ou quando foi realizada a adubação de sistema 1 (sulco de semeadura do milho), com pouca variação na produtividade da soja, pode-se flexibilizar a adubação da soja. Assim, produtor poderia efetuar a adubação na cultura da soja quando for mais vantajoso do ponto de vista prático e/ou econômico, mas priorizando colocação do P no sulco de semeadura do milho. Tendo em vista os resultados, a cultura do milho mostrou-se como mais responsiva à adubação com P, corroborando com o trabalho de Lacerda (2015).

As produtividades médias de grãos de milho das parcelas que receberam os fertilizantes Sulfammo® e Polyblen® no sulco de semeadura geralmente foram superiores às das plantas que receberam os demais fertilizantes e daquelas não adubadas (TABELA 15). As plantas que receberam Sulfammo® e Polyblen® no sulco de semeadura apresentaram produtividades 22 e 17% superiores ao controle, respectivamente. As plantas que receberam os fertilizantes convencionais ureia e nitrato de amônio em cobertura apresentaram produtividades semelhantes, sendo 10% e 11% superiores às apresentadas pelas plantas do tratamento controle respectivamente.

Avaliando fontes de ureia de liberação controlada, De Souza *et al.* (2019) também relataram incremento na produtividade das plantas que receberam essas fontes em relação aquelas que receberam as fontes convencionais. Por outro lado, Valderrama *et al.* (2014) utilizaram várias fontes durante cultivos na primeira e segunda safra e não observaram variação nas produtividades de milho. Zhang *et al.* (2019) sumarizaram em uma meta análise que plantas de milho adubadas com ureia de liberação controlada produziram 5,3% a mais em relação àquelas adubadas com ureia comum. Este fato corrobora com aumento de 5,5% de produtividade nos tratamentos com aplicação de ureia de liberação controlada (Polyblen®) em relação à ureia comum observado no presente estudo.

Tabela 15 – Produtividade (kg/ha) para a cultura para a cultura do milho segundo safra, em função dos ambientes, épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1 2020	Local 2 2020	Local 1 2021	Média	Produtividade Relativa (%)
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado					
Adubação convencional ¹	7403 Aa	4758 Ca	5433 Ba	5865 a	109,4 a
Adubação de sistema 1 ¹	7353 Aa	4880 Ba	5110 Ba	5781 a	107,8 a
Adubação de sistema 2 ¹	7029 Aa	4761 Ba	4433 Bb	5408 b	100,8 b
Controle	7322 Aa	4339 Bb	4428 Bb	5363 b	100 b
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados					
Nitrato Cobertura ²	7130 Ab	4953 Ba	4790 Bb	5625 c	113,0 c
Polyblen® Semeadura ³	7530 Ab	4665 Ca	5271 Ba	5822 b	116,9 b
Sulfammo® Semeadura ³	8056 Aa	4868 Ca	5316 Ba	6080 a	122,1 a
Ureia Cobertura ²	7375 Ab	4693 Ba	4478 Bb	5515 c	110,8 c
Controle	6293 Ac	4245 Bb	4399 Bb	4979 d	100 d
Média	7277 A	4685 B	4851 B		
CV 1 (%)	9,1				
CV 2 (%)	9,2				

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.²Aplicação do fertilizante em cobertura no estádio V4.³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2021).

Quando se pensa na produtividade total do sistema em todas as safras, em função das formas de aplicação de fósforo, somente no local 1 houve variação (TABELA 16). Para o Local 1, as plantas que receberam a adubação convencional com P no sulco de semeadura apresentaram produtividade total superior às que receberam às adubações de sistema. Essa diferença só foi observada no local 1 devido ao fato de que houve duas safras de milho neste local, enquanto no local 2 apenas uma safra. Como o milho foi responsivo à adubação convencional (TABELA 15) isso fez com que no local 1 fossem observadas as diferenças, fato não observado no local 2.

Tabela 16 – Produtividade total por tratamento (milho + soja), (kg/ha) em função de formas de manejo para a cultura do milho segundo safra, em função das épocas de aplicação de fertilizante fosfatado no sistema de produção e fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados no milho.

	Local 1	Local 2	Total	Produtividade Relativa (%)
Épocas de aplicação de fertilizante fosfatado				
Adubação convencional ¹	21934 a	13746	35616	105,3
Adubação de sistema 1 ¹	21041 b	13802	34844	103,0
Adubação de sistema 2 ¹	20314 b	14168	34363	101,6
Controle	20465 b	13404	33813	100,0
Fontes e formas de aplicação de fertilizantes nitrogenados				
Nitrato Cobertura ²	20491 b	13962 a	34453 c	104,3 c
Polyblen® Semeadura ³	21621 a	13843 a	35160 b	106,4 b
Sulfammo® Semeadura ³	22277 a	14038 a	36316 a	109,9 a
Ureia Cobertura ²	20507 b	13816 a	34324 c	103,9 c
Controle	19797 b	13243 b	33041 d	100,0 d
CV 1 (%)	6,3	10,5	7,1	
CV 2 (%)	4,6	5,5	3,6	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%.
¹Adubação convencional = 65 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados nos sulcos de semeadura das culturas da soja e milho, respectivamente. Adubação de sistema 1 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura do milho e Adubação de sistema 2 = 115 kg de P₂O₅ aplicado no sulco de semeadura da soja.
²Aplicação do fertilizante em cobertura no estágio V4.
³Aplicação do fertilizante no sulco de semeadura da cultura.

Fonte: Do autor (2022).

As plantas que receberam as fontes de N Sulfammo® e Polyblen® aplicadas no sulco apresentaram produtividades totais de grãos (milho e soja) no Local 1 e a total do sistema (Local 1 e 2) maiores do que aquelas que não receberam N (controle) e do que aquelas que receberam N com as fontes ureia ou nitrato em cobertura (TABELA 16). Isso demonstra que principalmente em locais com restrição hídrica, a aplicação de N no sulco de semeadura com fontes de liberação lenta ou controlada, pode ser importante alternativa para melhorar a eficiência do uso do N nos sistemas de produção soja/milho.

Por outro lado, é sempre importante avaliar os aspectos técnicos e econômicos de forma conjunta. No presente estudo por exemplo as diferenças médias por safra foi de 307 e

565 kg/ha de grãos de milho entre os tratamentos adubados com Polyblen® e ureia comum e Sulfammo® e ureia comum. Do ponto de vista prático, se não houver grandes diferenças nos custos, e economicamente o uso dos fertilizantes de eficiência aumentada sejam viáveis, o seu uso no sulco de semeadura seria muito desejado, pois além de evitar mais uma operação na lavoura, eles serão aplicados de forma protegida, evitando perdas indesejáveis.

5 CONCLUSÃO

- i. A maior produtividade do milho foi alcançada quando foi realizada a aplicação do fertilizante fosfatado sulco de semeadura da cultura. Por outro lado, a produtividade da cultura da soja não foi afetada pela forma de fornecimento do fertilizante fosfatado, flexibilizando a forma de o produtor efetuar a adubação na cultura da soja;
- ii. Na cultura do milho, as plantas que receberam adubação com qualquer fonte de N mineral apresentaram maiores teores de N foliar, altura de inserção da espiga e número de fileiras por espiga;
- iii. As plantas que receberam os fertilizantes Sulfammo® e Polyblen® no sulco de semeadura apresentaram maior índice de clorofila, produtividade para o milho e produção total das culturas.
- iv. O uso de fertilizantes de eficiência aumentada incrementa a produtividade do milho segunda safra. A adubação fosfatada convencional ou na cultura milho, que é mais responsiva, resulta em maiores produtividades no sistema de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA NETO, F. de; GRAVINA, G. d. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. d. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, p. 266-271, 2010.
- ALTMANN, N. Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no Cerrado. INPI: **Informações agronômicas**, n. 140, 2012.
- ALVES, V.; MAGALHÃES, J.; VASCONCELLOS, C.; NOVAIS, R. *et al.* Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 2, p. 299-305, 1999.
- ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. de.; OLIVEIRA, M. F. G.; BARROS, N. F. d. **Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays*, L.)**. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 1996.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Pesquisa setorial, dados 2021**. Disponível em: http://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 10 out. 2021.
- ARAI, Y.; SPARKS, D. Phosphate reaction dynamics in soils and soil components: A multiscale approach. *Advances in agronomy*, v. 94, p. 135-179, 2007.
- ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; DE MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n. 2, p. 129-134, 2005.
- AUSTIN, A. T.; BUSTAMANTE, M.; NARDOTO, G.; MITRE, S. *et al.* Latin America's nitrogen challenge. *Science*, v. 340, n. 6129, p. 149-149, 2013.
- BALBINOT JR.; A.; BACKES, R.; ALVES, A.; OGLIARI, J. *et al.* Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 11, n. 2, 2005.
- BARRA, P. J.; PONTIGO, S.; DELGADO, M.; PARRA-ALMUNA, L. *et al.* Phosphobacteria inoculation enhances the benefit of P-fertilization on *Lolium perenne* in soils contrasting in P-availability. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 136, 2019.
- BARROW, N. J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. *Journal of Soil Science*, v. 34, n. 4, p. 733-750, 1983.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.; RESENDE, A.; FAQUIN, V. *et al.* Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003.
- BLAYLOCK, A.; KAUFMANN, J.; DOWBENKO, R. **Nitrogen fertilizer technologies**. Denver, CO: Agrium U.S. Inc., 2005. p. 8-13.
- BOHLOOL, B.; LADHA, J.; GARRITY, D.; GEORGE, T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. *Plant and Soil*, v. 141, n. 1, p. 1-11, 1992.

BONO, J. A. M.; RODRIGUES, A. P. D. A. C.; MAUAD, M.; DE ALBUQUERQUE, J. C. *et al.* Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 91-102, 2008.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A. C. de.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. de. S. *et al.* Adsorption and chemical extraction of phosphorus as a function of soil incubation time. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 32-38, 2010.

BÜLL, L. T. **Nutrição mineral do milho**. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.

CANCELLIER, E. L.; SILVA, D. R. G.; FAQUIN, V.; GONÇALVES, B. A. *et al.* Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 2, p. 133-144, 2016..

CANTARELLA, H. Nitrogênio. **Fertilidade do solo**, v. 2, p. 375-470, 2007.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M. d.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, É. P. *et al.* Desempenho de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 892-899, 2010.

CHAGAS, W. F. T.; GUELFY, D. R.; CAPUTO, A. L. C.; DE SOUZA, T. L. *et al.* Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 497-509, 2016.

CHAGAS, W. F. T.; SILVA, D. R. G.; LACERDA, J. R.; PINTO, L. C. *et al.* Nitrogen fertilizers technologies for coffee plant. **Coffee Science**, v. 14, n. 1, p. 55-66, 2019..

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. **Advances in Agronomy**, v. 102, p. 267-322, 2009

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Safra 2021**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: 10 out. 2021.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. de. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. d. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CORREIA, B. L. **Formas de fósforo em Latossolo sob cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2010. Tese. 104 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2010.

- COSTA, S. E. V. G. d. A.; SOUZA, E. D. de.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C. *et al.* Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1237-1247, 2009.
- CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J.; MORAES, J.; SIBALDELLE, R. *et al.* **Adubação nitrogenada na cultura da soja**. Embrapa Soja-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2001.
- CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, n. 3-4, p. 197-214, 1995..
- CRUZ, J. C.; DA SILVA, G.; PEREIRA FILHO, I.; GONTIJO NETO, M. *et al.* **Sistema de produção de milho safrinha de alta produtividade: safras 2008 e 2009**. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011.
- DA SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.
- DA SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Nitrogen utilization by corn as affected by green manures and nitrogen and phosphorus fertilizers. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009..
- DE RESENDE, A.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M.; FONTOURA, S. *et al.* **Balanco de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.
- DE RESENDE, A.; COELHO, A.; DOS SANTOS, F.; LACERDA, J. d. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2012.
- DE RESENDE, A.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; DOS SANTOS, F. C. *et al.* **Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo**. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2016.
- DE RESENDE, A.; SILVA, C.; GUTIÉRREZ, A.; SIMÃO, E. d. P. *et al.* **Indicadores de demanda de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho**. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2016.
- DE SOUZA, H. C.; DE FÁTIMA FERREIRA DA ROSA, F.; KASEKER, J. F.; NOHATTO, M. A. *et al.* Nitrogen fertilization with conventional and slow-release urea in two forms of application on maize. **Científica**, v. 47, n. 3, p. 304-312, 2019.
- DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; HONGWEN, L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010.
- DÖBEREINER, J. Recent changes in concepts of plant bacteria interactions: endophytic N₂ fixing bacteria. **Ciência e Cultura**, v. 44, n. 5, p. 310-313, 1992.

- DOS SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Factors affecting the phosphorus availability and the fertilization management in no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.
- DOS SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L.; DE OLIVEIRA, V. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; ASTER, F. Efeito desistemas de preparo de solo nas características físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja-Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008.
- FARMAHA, B. S.; SIMS, A. L. The influence of polymer-coated urea and urea fertilizer mixtures on spring wheat protein concentrations and economic returns. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 5, p. 1328-1334, 2013.
- FERNANDES, F. C. S.; ARF, S. B. O.; ANDRADE, J. A. D. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, 2005.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FONTOURA, S.; VIEIRA, R.; VIERO, F.; BAYER, C. *et al.* **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto do Centro-Sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.
- FRANCISCO, A. D. M. **Eficiência de fontes de nitrogênio e enxofre na composição químico-bromatológica e algumas características agrônomicas da cultura de milho (*Zea mays L.*) em sistema de plantio direto**. 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.
- FRAZAO, J. J.; DA SILVA, A.; DA SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A. *et al.* Enhanced efficiency nitrogen fertilizers and urea in corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, 2014.
- FURTINI NETO, A. E. *et al.* **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- GOTT, R. M.; SICHOCKI, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F. O. *et al.* Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Brazilian Journal of Maize and Sorghum**, v. 13, n. 1, p. 24-34, 2014.

GRANLI, T.; BOCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture [1994]. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences (Norway)**, n. 12. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NO9500232>. Acesso em: 23 set. 2021.

GRANT, C. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on the environment. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**, v. 1, p. 47-78, 2010.

GUELFI, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, n. 157, p. 1-14, 2017.

HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. **Fertilizer outlook 2015–2019**. 1. 83rd. Turkey: IFA Annual Conference Istanbul, May 2015. p. 25-27.

HENDGES, I. P. **Produtividade do milho e eficiência de uso de nitrogênio pela aplicação de fertilizantes de liberação controlada, fertilizantes estabilizados e matéria orgânica**. 2020. 80 p. Dissertação (Mestre em Agroecologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, 2020.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E), 2007.

_____. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2001.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C. *et al.* Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

IFA. International Fertilizer Association. **Public Summary: Medium-Term Fertilizer Outlook 2021 - 2025**. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2021_ifa_medium_term_outlook_public_summary.pdf. Acesso em: 5 ago. 2021.

JÚNIOR, D. D. V.; BERGAMIN, A. C.; DOS REIS VENTUROSO, L.; SCHLINDWEIN, J. A. *et al.* Adubação fosfatada na cultura da soja em rondônia. **Scientia Agrária**, v. 9, n. 3, p. 369-375, 2008.

KAPPES, C.; DE CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; DA SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 251-259, 2009.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014. **Anais [...]**, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p. 358-381. KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Handbuch der klimatologie*. Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger, 1930.

LACERDA, J. J. de. J. **Aferição da adubação NPK e de níveis críticos para o sistema soja-milho de fertilidade construída.** 2014. 113 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

LACERDA, J. J. de. J.; DE RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C. *et al.* Fertilization, grain yield and profitability of the rotation between soybean and corn in soil with improved fertility. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.

LINKOHR, B. I.; WILLIAMSON, L. C.; FITTER, A. H.; LEYSER, H. M. O. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis*. **Plant Journal**, v. 29, n. 6, p. 751-760, 2002.

LOPES, A.; GUILHERME, L.; RAMOS, S. The saga of the agricultural development of the Brazilian Cerrado. **International Potash Institute**, v. 32, p. 29-56, 2012.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES GUILHERME, L. R. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v. 137, p. 1-72, 2016.

LORENSINI, F.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; CERINI, J. B. *et al.* Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1173-1179, 2012.

LUENGO, C.; BRIGANTE, M.; ANTELO, J.; AVENA, M. Kinetics of phosphate adsorption on goethite: comparing batch adsorption and ATR-IR measurements. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 300, n. 2, p. 511-518, 2006.

MACEDO, J. R. **Distribuição do sistema radicular da cultura do milho em função de diferentes formas de aplicação de fósforo.** 2019. 52 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.

MAGALHÃES, J.V.; ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; MOSQUIM, P.R. Absorção de nitrato por plantas de milho (*Zea mays*, L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL*, 5., Lavras, 1995. **Anais** [...] Lavras, Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, 1995. p.269.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** *In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.de.* 2. ed. rev. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; DE OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** Piracicaba: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARIN, V. A.; BALDANI, V. L. D.; TEIXEIRA, K. d. S.; BALDANI, J. I. **Fixação biológica de nitrogênio:** bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1999.

MARIUSSI, L. M.; DA COSTA LEITE, R.; ARAÚJO DE FREITAS, G.; DA COSTA LEITE, R. *et al.* Phosphate fertilization on soils with improved fertility in the Brazilian Cerrado. **Agronomía Colombiana**, v. 37, p. 39-46, 2019.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R. d.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. *et al.* Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 563-570, 2007.

MOREIRA, S. G. Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais. NPCT. **Informações agronômicas**, n. 4, dez. 2019.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. d. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. *et al.* Soybean macronutrient availability and yield as affected by tillage system. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, 2020.

NOVAIS, R. d.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. **Informações Agronômicas**, n. 87, set. 1999.

NOVAIS, R. F. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OELKERS, E. H.; VALSAMI-JONES, E. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. **Elements**, v. 4, n. 2, p. 83-87, 2008.

OLIVEIRA, J. R. **Adubação nitrogenada com ureia de liberação controlada na semeadura do milho**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

PARFITT, R. L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. **Journal of Soil Science**, v. 40, n. 2, p. 359-369, 1989.

PAULETTI, V.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; FAVARETTO, N. *et al.* Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 3, p. 563-574, 2010.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v. 141, n. 1, p. 13-39, 1992.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. d. A.; SILVA, A. G. d. *et al.* **Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio**. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, p. 683-690, 2006.

REIS JR, R.; GUELFY, D. Avaliação das características físicas e físico-químicas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados revestidos por polímeros. **Magistra**, v. 24, p. 145-150, 2012.

RHEINHEIMER, D.; ANGHINONI, I.; FLORES, A. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 11-12, p. 1853-1871, 2002.

RHEINHEIMER, D. D. S.; ANGHINONI, I. Distribution of inorganic phosphorus fraction in soil management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.

- RHEINHEIMER, D. D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**, v. 15, 2003.
- ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; MACDONALD, J. D. *et al.* Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 84, n. 1, p. 71-80, 2009.
- SAMPLE, E. **Factors affecting phosphate retention parameters derived using the Langmuir adsorption equation**. North Carolina State University at Raleigh. 1972.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.
- SANTOS, G. de A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. [S.l.]: Gênese, 1999.
- SANTOS, H. C.; DE OLIVEIRA, F. H. T.; DE SOUZA, A. P.; SALCEDO, I. H. *et al.* Phosphorus availability as a function of its time of contact with different soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 996-1001, 2016.
- SCHJØRRING, J. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient or insufficient level of phosphorus in nutrient solutions. *In: Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants: [S.l.]*: Springer, 1986. p. 53-58.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.
- SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* **Tecnologias de produção de soja**. Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17, 2020. p. 347
- SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H. *et al.* Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997-1005, 2011.
- SILVA, A. G.; SEQUEIRA, C. H.; SERMARINI, R. A.; OTTO, R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 1-13, 2017.
- SILVA, C. G. M.; DE RESENDE, Á. V.; GUTIÉRREZ, A. M.; MOREIRA, S. G. *et al.* Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 12, p. 1363-1372, 2018.
- SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos Brasília, 2009.

SOARES, G. F.; CRUZ, S. C. S.; DUARTE, T. C.; MACHADO, C. G. *et al.* Gypsum and Phosphorus in Improving Biometric and Nutritional Attributes of Soybean/Second Season Corn Succession. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 326-335, 2018-06

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M. d.; LAMPERT, V. d. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 511-518, 2010.

SOUSA, D. M. G. de.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, D. M. G. d. R., T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado**. Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 33, p. 10, 2016.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. T.; ANDREOTTI, M. *et al.* Nitrogen fertilization on second crop corn in no till irrigated. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

SPRENT, J. I.; SPRENT, P. **Nitrogen fixing organisms: pure and applied aspects**. Nitrogen fixing organisms: pure and applied aspects, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Publicacions de la Universitat Jaume I, 2006.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C. *et al.* Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.

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

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BENETT, C. G. S. *et al.* Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, 35, n. 2, p. 659-669, 2014.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, I. *et al.* Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 188-198, 2013.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, n. 1, p. 1-19, 1976.

YAMADA, T. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? **Biológica**, v. 25, p. 30, 2000.

ZHANG, H.; FORDE, B. G. An Arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, v. 279, n. 5349, p. 407-409, 1998.

ZHANG, H.; JENNINGS, A.; BARLOW, P. W.; FORDE, B. G. Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 11, p. 6529-6534, 1999.

ZHANG, H.; RONG, H.; PILBEAM, D. Signalling mechanisms underlying the morphological responses of the root system to nitrogen in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 9, p. 2329-2338, 2007.

ZHANG, W.; LIANG, Z.; HE, X.; WANG, X. *et al.* The effects of controlled release urea on maize productivity and reactive nitrogen losses: A meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 246, p. 559-565, 2019.