

ESTRATÉGIAS, IMPORTÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA PARA MILHO E OUTRAS CULTURAS COMERCIAIS

Claudinei Minhano Gazola Junior^{1*}; Antonio Nolla¹; Sandy Valençola Gazola¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus Regional de Umuarama – Paraná, Brasil.

*Autor para contato: Claudinei.gazola@gmail.com

RESUMO: No atual cenário mundial a agricultura possui o desafio de aumentar a produtividade da lavoura. O milho é o cereal mais cultivado no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial. A cultura necessita de adequada disponibilidade de nutrientes, sendo que em solos com alto teor de argila o fósforo é o principal limitante do desenvolvimento da cultura. Pois os solos possuem baixos teores de fósforo. Os solos Brasileiros são altamente intemperizados e com baixos teores de nutrientes e elevada acidez. O fósforo é influenciado pelo tipo de argila, sua concentração no sistema coloidal e a matéria orgânica, que tem a capacidade de reter o fósforo e o deixar disponível para o desenvolvimento da cultura. O P possui importância na disponibilização e mineralização do fosforo. A principal fonte de fósforo é a mineral mas atualmente vem se expandindo a utilização de adubos organominerais, principalmente na região Noroeste do Estado do Paraná, porém estes ainda carecem de estudos, sendo que há poucos resultados na literatura sobre o tema. Em que o objetivo desta revisão é entender melhor as fontes de fósforo e sua importância para agricultura, e sua dinâmica no solo e no desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: cama de aviário, adubação fosfatada, adubo organomineral

STRATEGIES, IMPORTANCE AND CHARACTERIZATION OF PHOSPHATE FERTILIZATION FOR MAIZE AND OTHER CASH CROPS

ABSTRACT: In the current global scenario, agriculture has the challenge of increasing crop productivity. Corn is the most widely cultivated cereal in the world, and Brazil is the third largest world producer. The crop needs adequate nutrient availability, and in soils with high clay content phosphorus is the main limiting factor for crop development. The soils have low levels of phosphorus. Brazilian soils are highly weathered, with low nutrient contents and high acidity. Phosphorus is influenced by the type of clay, its concentration in the colloidal system and the organic matter, which has the ability to retain P and make it available for crop development. P is important in the availability and mineralization of phosphorus. The main source of phosphorus is mineral, but currently the use of organo-mineral fertilizers is expanding, especially in the northwestern region of the state of Paraná, but these still lack studies, and there are few results in the literature on the subject. The objective of this review is to better understand the sources of phosphorus and its importance for agriculture, and its dynamics in the soil and in the development of the crop.

Keywords: poultry litter, phosphate fertilization, organic mineral fertilization.

Atualmente o Brasil é um dos maiores consumidores de fertilizantes do mundo, só sendo superado por China, Índia e Estados Unidos. No ano de 2021, o Brasil chegou a marca de 41,6 milhões de toneladas importadas, um recorde sendo que 55% dos fertilizantes fosfatados utilizados no país são importações (Brasil, 2021). Para a cultura do milho, isso chega a representar 27% do custo total da safra 21/22 e projeta um aumento de 6% para a safra 22/23 segundo (IMEA, 2022).

No cenário mundial, o ramo agrícola possui o desafio de aumentar a produção de alimentos, sem considerar a exploração de novas áreas, esta expansão deve buscar alternativas capazes de otimizar a produtividade das culturas (Saath e Facinello, 2018). O milho (*Zea mays*), é o cereal mais cultivado no mundo (Contini et al., 2019), sendo altamente adaptável a climas tropicais, subtropicais e temperados (Duarte et al. 2016), de forma a ocupar uma área de 20,9 milhões de hectares e uma produção de 125 milhões de toneladas (CONAB 2022).

Um dos macronutrientes requeridos pelas plantas é o fósforo (P), perfazendo em torno de 0,2 a 04% da matéria seca vegetal. O fósforo atua no processo fotossintético, desde a floração até a frutificação das plantas, sendo componente essencial do trifosfato de adenosina (ATP), que armazena energia, e do DNA e RNA da célula vegetal (Weil e Brady, 2017).

No Brasil, os solos naturalmente possuem baixos teores de fósforo disponível sendo que a reposição deste nutriente é de suma importância para se alcançar altas produtividades na lavoura (Prochnow et al., 2010). Nestes solos existe elevada presença de óxidos de ferro e alumínio, que se ligam ao íon de fósforo ficando ligados de forma permanente, se tornando não lábil, de forma a se tornar não disponível às plantas através da solução do solo e do sistema coloidal (Bortoluzzi et al., 2015). Solos argilosos possuem maiores problemas de fixação específica de fósforo, pois possuem altos teores de óxidos de ferro e alumínio.

As principais fontes de P disponíveis para agricultura são os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, sendo os mais utilizados (Prochnow et al., 2004). O uso de fontes de fósforo de alta solubilidade tem sido eficiente a curto prazo para promover o crescimento e incremento de produtividade das culturas (Brasil, 2011). No entanto, esta rápida liberação leva a um problema estes se ligam facilmente a óxidos de ferro e alumínio (Bortoluzzi et al., 2015).

Outra fonte que vem ganhando importância é a fonte de fósforo organomineral de

fósforo como a fonte orgânica adubos que são de liberação lenta, sendo capazes de promover a disponibilização de ligantes orgânicos e de resíduos orgânicos no solo, de forma a aumentar a capacidade de armazenamento de nutrientes do sistema coloidal (Bissani et al., 2008). Os fertilizantes organominerais apresentam liberação intermediária, pois apresentam maior efeito residual devido a sua combinação com os resíduos orgânicos, além da rapidez na disponibilidade de fósforo a partir da combinação com o adubo mineral (Mattos, 2014). Sendo o objetivo desta revisão entender melhor as fontes de fósforo e sua importância para agricultura, e sua dinâmica no solo e no desenvolvimento da cultura.

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO

No cenário mundial, o setor agrícola tem como meta aumentar a produção de alimentos, o que torna necessário a exploração de novas áreas agrícolas visando aumentar a produção de alimentos no mundo. Para minimizar a necessidade de buscar esta expansão de área, é fundamental buscar alternativas capazes de otimizar a produtividade das culturas (Saath e Facinello, 2018). Entre as culturas utilizadas em larga escala destaca-se o milho (*Zea mays*), cereal mais cultivado no mundo, sendo fonte de carboidratos para alimentação humana e animal (Contini et al., 2019). O milho é altamente adaptável a climas tropicais, subtropicais e temperados (Duarte et al. 2016). Ao longo das últimas décadas, a cultura ultrapassou 1 bilhão de toneladas de grãos, superando outros cereais como o arroz e o trigo (Miranda, 2018).

O milho é cultivado em todas as regiões do Brasil, em mais de dois milhões de propriedades rurais, sendo considerado o terceiro maior produtor mundial deste cereal. Atualmente, a produção do milho é de 125 milhões de toneladas em uma área de 20,9 milhões de hectares, sendo a primeira safra de 28,98 milhões de toneladas e segunda safra de 94,53 milhões de toneladas (CONAB, 2022). O milho segunda safra apresenta o cultivo majoritário (76,53% do total produzido do cereal) no Brasil, sendo o estado do Paraná o segundo maior (18 milhões de toneladas) produtor brasileiro (Duart et al., 2017).

O milho possui importância econômica no país pois este é o principal componente utilizado para a produção de rações, produto que é amplamente utilizado no país pois este possui um grande mercado produtor de carne de bovinos, suínos e aves. O interesse para disponibilizar adequadas condições edáficas para o desenvolvimento de milho não está restrito apenas ao nosso país. Isto porque é uma planta que apresenta alta demanda comercial no âmbito Mundial sendo uma planta originária das Américas, mais especificamente do

México América Central ou do sudeste dos Estados Unidos March (2008).

A produção do milho tem apresentado crescimento anual expressivo no Brasil, justificado, principalmente, pela grande demanda principalmente pelos setores de avicultura e suinocultura. Este crescimento estimula a pesquisa relacionada com a otimização em relação ao desenvolvimento e aumento da capacidade produtiva da cultura em determinada área (Duarte, 2004). Desta forma, gastos de correção e fertilização do solo com macronutrientes como o fósforo podem representar em média de 40 a 45% do custo de produção (Coelho e Alves, 2003) pois o milho é uma cultura com grande potencial produtivo, e esta necessita da adequada disponibilidade de nutrientes para seu pleno desenvolvimento e maximização de sua produtividade.

IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO

Importância do fósforo às plantas

O fósforo é um dos elementos de maior importância para o desenvolvimento vegetal, sendo componente de metabólitos com potencial energético e constituinte da ATP e redutor (Novais et al., 2007; Malavolta et al., 2006). É considerado um nutriente essencial para as plantas, participando como componente estrutural de genes, cromossomos e ácidos nucléicos, e sendo componente de enzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios. Além disso, faz parte de inúmeros processos no metabolismo dos vegetais como armazenamento de energia (ADP e ATP), na fotossíntese, e nos processos de desdobramento de açúcares na respiração (Grant et al., 2001; Penatti, 2013). O fósforo em sua forma de um fosfato é componente das células vegetais incluindo fosfatos, açúcares e fosfolipídios, sendo componente das membranas dos vegetais, sendo fundamental para o metabolismo e tendo papel essencial para transferência de energia, fotossíntese e o processo de respiração (Taiz e Zeiger, 2009).

O fósforo apresenta baixa solubilidade e mobilidade de seus compostos no solo, o que promove baixa disponibilidade para absorção pelas plantas devido ao processo de adsorção pelas argilas (Rossi et al., 2013), Como existe baixa disponibilidade do nutriente no solo, a planta precisa utilizar um mecanismo de absorção eficiente, predominantemente a difusão, que é capaz de absorver o fosfato disponível na solução do solo (Asher, 1967). O fósforo pode ser absorvido principalmente por difusão ou fluxo de massa. O mecanismo de menor aproveitamento é o fluxo de massa o fósforo, através da absorção de nutriente juntamente com a água do solo através do fluxo transpiratório, este processo é mais observado em solos com altos teores de fósforo na solução do solo (Conceição, 1999). No

entanto, a maior quantidade de fósforo que é absorvida pelas plantas é feito por difusão, neste processo o fósforo entra em contato com a raiz e é transferido de um local com maior concentração (sistema coloidal e solução do solo) para um local de menor concentração (superfície das raízes) com gasto de energia (BARBER, 1962).

As principais formas de fósforo absorvido pelas plantas são íons de ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$) e secundário ($H_2PO_4^{2-}$). Sua predominância está associada principalmente do pH do solo. Nas condições da maioria dos solos a forma predominante é o ortofosfato secundário sendo que sua absorção é rápida e não depende de sua concentração (Marschner, 2012).

Após a sua absorção pelas raízes, o fosfato continua em sua forma oxidada, e este pode se manter como fosfato inorgânico; ou ser anexado a compostos orgânicos formando fosfatos simples (C-O-P) como nos açúcares ou em ligações de rica energia com a ATP. As trocas de fósforo orgânico e inorgânico são muito rápidas, sendo que quando liberado no xilema são então levado para a parte aérea da planta, de forma que o fósforo orgânico volta a seu estado inorgânico (Marschner, 2012).

Esse nutriente está concentrado nas regiões das plantas de crescimento ativo, pois este participa de inúmeros processos metabólicos. Desta forma, este é considerado o pilar para fornecimento e armazenamento de energia os primeiros compostos orgânicos (fosfohexose e difosfato de uridina), os quais são precursores da ATP (Malavolta, 1980).

Estas ligações que são ricas em energia entre os fosfatos e éster fosfatos na forma de ATP são de suma importância em processos que dependem do gasto de energia como na absorção de íons contra um gradiente de concentração. O baixo teor de fósforo na planta pode ocasionar distúrbios no metabolismo e desenvolvimento das mesmas. A baixa disponibilidade de fósforo no início do ciclo pode resultar em redução no desenvolvimento vegetal, comprometendo todo o ciclo de desenvolvimento das plantas como o milho. Os sintomas de carência de fósforo no milho podem ser observados através do surgimento de folhas velhas com coloração arroxeada (sintetização de antocianinas), o que gera redução no número de folhas, frutos e sementes e retardo no processo de florescimento. Desta forma é essencial que suprimento de fósforo para atender a necessidade das plantas seja implementado no início do ciclo da planta (Grant et al., 2001).

O fósforo também melhora a eficiência do uso da água pela planta, pois este promove um maior desenvolvimento do sistema radicular, e também facilita a assimilação e utilização de outros nutrientes como o nitrogênio. Além disso, plantas que apresentem ambiente com adequada disponibilidade de fósforo podem promover aumento na

resistência da planta a algumas doenças, geada e déficit hídrico (Penatti, 2013). O fósforo também desempenha importante função no crescimento inicial das raízes promovendo assim uma maior absorção de água e nutrientes, melhoria na produtividade e no desenvolvimento das sementes (Marquez et al., 2014), de forma que o suprimento de fósforo no solo deve ser entendida como prática fundamental para garantir produtividade adequada das culturas.

O fósforo no solo

Dentre as principais características dos solos intemperizados que podem influenciar na absorção dos fosfatos, destacam-se o tipo e o teor de argila e a matéria orgânica, a competição como os silicatos, sulfatos com os sítios de adsorção do sistema coloidal e as condições de pH do solo (Silva et al., 1997).

A necessidade de reposição do fósforo disponível no solo é determinada pela capacidade das plantas de absorvê-lo e da concentração do nutriente na solução do solo. Assim, geralmente é necessário promover a complementação da adubação fosfatada, sendo que a sua disponibilidade será influenciada pela forma como será aplicada a adubação fosfatada, do poder tampão do solo (cargas elétricas positivas - CTA), além de condições ambientais que afetam a disponibilidade do nutriente (Hansel, 2013). Em função da dificuldade quanto à sua absorção no solo, a carência de fósforo no solo é considerado o que mais limita a produção das culturas nas mais diversas regiões do Brasil (Santos, 2005)

A eficiência das plantas em absorver o fósforo do solo irá depender da concentração destes íons na superfície das raízes e na solução do solo, além da extensão da área da superfície radicular e se está em contato com o nutriente na solução do solo (Jones e Jacobsen, 2001). Dentre os fatores que podem influenciar a disponibilidade do fósforo, destaca-se a atividade biológica, o pH, o tamanho e a distribuição das partículas do solo (Barrow, 1984). O tempo de contato do fósforo com a fase sólida do solo como oxí-hidrolatos de ferro e alumínio e filossilicatos (Gimsing e Borggaard, 2002), até mesmo as variações de temperaturas também podem influenciar o processo de absorção de fósforo no solo pelo sistema radicular das plantas (Shafqat e Pierzynki, 2013).

O processo de contato íon-raiz do fósforo se dá principalmente pela difusão (Barber, 1962). Esse mecanismo de transporte depende de vários fatores como o volume de fósforo que entra em contato com a superfície das raízes por difusão, apresentando relação direta em relação ao volume do sistema radicular, do poder tampão do fósforo e a concentração do nutriente no solo (Prochnow et al., 2010).

Há diversos fatores no solo que podem influenciar a disponibilidade de fósforo as plantas, um dos mais importantes é o pH. Nas condições de pH-H₂O superior a 6,5 o fósforo apresenta redução na sua disponibilidade, porque pode ser precipitado devido à ligação entre o fósforo e o cálcio, formando os compostos mono, bi e tricálcicos, fenômeno conhecido com retrogradação (Zavaschi, 2014). Já em condições de pH-H₂O ácido (<5,5), o ferro e alumínio em suas formas oxídicas possuem alta afinidade pelo fósforo e isso contribui para retenção deste, sendo que este processo recebe o nome de adsorção. Assim, ocorre redução da disponibilidade de P pela sua reação com Fe e Al, reduzindo sua disponibilidade (Bortoluzzi et al., 2015). A faixa de pH entre pH de 5 e 6,5 apresenta a maior disponibilidade deste nutriente (Nussaume et al., 2011), de forma que o processo agrícola deve ser conduzido nestas condições para que seja obtida maximização do potencial produtivo.

Uma das alternativas para melhorar a disponibilidade de fósforo é aplicação de corretivos de acidez em solos ácidos proporcionando um aumento na saturação por bases, elevação no pH, neutralização do alumínio e incremento na disponibilização cálcio e magnésio. Além disso, ocorre aumento da eficiência dos fertilizantes fosfados porque ocorre redução na capacidade de fixação do fósforo proporcionando um melhor desenvolvimento das plantas (Ernani et al., 2004).

O fósforo encontrado no solo pode estar na forma orgânica ou inorgânica (Hansen, 2013), de forma que o poder tampão deste elemento no solo está relacionado com sua total disponibilização, sendo que está intrinsecamente ligada as características desse solo como o tipo de argila e o pH do solo e as condições ambientais de temperatura e umidade que interferem diretamente na fração orgânica e a mineralização fatores que podem liberar ou imobilizar os íons de fosfato na solução do solo (Gatiboni, 2003).

A forma orgânica do fósforo é encontrada no húmus, na biomassa e em outras formas orgânicas do solo, já a parte inorgânica pode ocorrer outras combinações com íons de ferros, cálcio alumínio, e entre outras formas, o que confere ao fósforo uma uma estrutura de grande estabilidade no solo e assim sendo insolúvel em água (Deith et al., 2005, Hansel, 2013).

O fósforo no solo pode ser classificado em duas frações como lábil e a segunda como não lábil em que o P inorgânico e P orgânico que se transformam constantemente no solo dependendo de suas características como exemplo pH do solo, pela umidade temperatura, e propriedades físico químicas das superfícies das partículas (Havlin et al., 2005; Mendes, 2003; Mullaney, 2007). O fósforo quando está na forma orgânica pode ficar imobilizado e não ser absorvido pelas plantas e será disponibilizado quando ocorrer a mineralização do

material este pode então se ligar aos coloides do solo e ficar diluído na solução do solo sendo facilmente absorvido pelas plantas sendo a forma mais estável o fósforo orgânico (Resende et al., 2011; Lu et al., 2017).

No solo este elemento também é influenciado pela presença da matéria orgânica, sendo ótima fonte de fósforo por ser mais estável no solo (Franchini et al., 2010), o que reduz problemas relacionados com a fixação específica do fósforo com os óxidos de Fe e Al. A matéria orgânica é um dos componentes que tem maior importância na disponibilização de P no solo, sendo essencial a sua manutenção e incremento no processo de ciclagem do fósforo, reduzindo problemas com a precipitação e a absorção deste nutriente, transformando em uma solubilização mais lenta dos fertilizantes fosfatados, pois é liberado de forma gradual no solo (Prochnow et al., 2010). Tanto a forma orgânica quanto a forma inorgânica de fósforo são de grande importância para o desenvolvimento e crescimento dos vegetais, mas a disponibilidade dessas formas são controladas pelas características dos solos e pelas condições do ambiente como temperatura e umidade, o que interfere na velocidade da mineralização na parte orgânica pelos microrganismos, que podem liberar ou imobilizar os íons de fosfato na solução do solo (Santos et al., 2008).

A forma orgânica de fósforo apresenta como característica a biociclagem do nutriente através da ação dos microrganismos decompondo os materiais orgânicos em áreas de cultivos agrícolas. Assim, quando o material orgânico é adicionado ao solo ocorre intensa proliferação da biomassa microbiana e subsequente redução dos resíduos orgânicos em curto intervalo de tempo. Isto ocorre como uma forma de resposta à disponibilidade de alimento para a massa microbiana. Desta maneira ocorre a ciclagem de fósforo através do metabolismo da biota do solo, de forma que no momento em que ocorre a morte dos microrganismos é procedido liberação do fósforo presente nos decompositores da fase sólida orgânica do solo (Martinazzo et al., 2007; Rheinheimer et al., 2008). Assim, a partir deste sistema ocorre a manutenção e suplementação de fósforo para as plantas em sistemas naturais (Oliveira et al., 2014, 2011). A própria adição de matéria orgânica ao sistema é capaz de contribuir para manutenção e armazenamento de fósforo adicionado pelos fertilizantes devido à capacidade de adsorção da fase sólida orgânica no solo, o que retarda a imobilização do fósforo no solo, e que após a morte dos tecidos vivos estes compostos orgânicos contendo fósforo retornam ao solo em sincronismo com a demanda da planta (Rheinheimer, et al. 2008, 2019; Rheinheimer e Anghinoni, 2003).

A maioria os solos têm capacidade de adsorver ácidos orgânicos com grande retenção de íons, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, de forma a promover maior

disponibilidade de fósforo para as plantas (Hayenes, 1984). (Sposito, (1989) evidência em seu trabalho que estes agentes orgânicos ácidos tem a capacidade de formar complexos organometálicos estáveis, óxidos de ferro e alumínio em várias faixas de pH. Isto diminui a absorção do fósforo por esses oxihidróxidos, que é um fato de grande relevância para solos argilosos que possuem altos teores desses minerais. Em sistemas de produção conservacionistas que englobam a utilização do sistema plantio direto, rotação de culturas e integração lavoura-pecuária, há melhoria na disponibilidade de fósforo, principalmente na forma orgânica, quando comparado aos sistemas convencionais de manejo (Franchini et al., 2010). Pois este sistema reduz a movimentação do solo e ajuda na recuperação de propriedades físicas e químicas do solo que estavam desestabilizadas pelo cultivo convencional (Lima., 2007), segundo Bertol et al.(2007) o manejo conservacionista permite a manutenção da matéria orgânica, reduzindo a perda de solo, e aumentando a retenção de nutrientes como o fosforo. E como agrossistemas são capazes de acumular matéria orgânica estes seriam capazes de manter de forma adequada a disponibilidade de P no solo, através do processo de mineralização do fósforo orgânico (Gama et al., 2007) pois a matéria orgânica é capaz de manter o fluxo contínuo de matéria orgânica no solo e sendo menos suscetível ao processo de adsorção (Carneiro et al., 2011).

FONTES DE FÓSFORO NA AGRICULTURA

O Brasil possui apenas (0,8%) das reservas de fertilizantes fosfatados mundialmente exploradas, sendo de grande importância seu manejo como uso de práticas e técnicas que otimizem sua eficiência agrônoma, de forma a promover aumento de produtividade e redução de custos. Os solos brasileiros são naturalmente ácidos, altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural, e possuem baixos teores de fósforo, sendo que a reposição deste nutriente é necessária para se alcançar adequado rendimento das plantas cultivadas (Prochnow et al., 2010). Pois estes são influenciados por diferentes fatores como a origem, clima, relevo, organismos e tempo, e quanto mais intenso o processo mais velho o solo tende a ser, e por essa combinação de fatores de forma geral o Brasil possui solos altamente intemperizados (Branco, 2014)

Projeções considerando vários cenários agrícolas no Brasil indicam que a demanda por fertilizantes fosfatados irá crescer de forma exponencial de 2,2 milhões de toneladas no ano de 2016 para 4,6 milhões de toneladas no ano de 2050. Esta quantidade será insustentável a menos que seja estabelecido estratégias que possibilitem maior eficiência na utilização do

fósforo (Withers et al., 2018), levando em consideração que a escassez de fontes de fósforo no planeta é um problema para as próximas gerações. Atualmente, as pesquisas para o fósforo têm focado principalmente na eficiência do uso deste nutriente pelas plantas, através de adubação fosfatada adequada (Roberts e Johnston, 2015; Salgado, 2017; Heuer et al., 2017).

A principal fonte de fósforo para agricultura é a rocha sedimentar que possui o mineral predominante as apatitas e fostoritas. Esta rocha é tratada com ácido sulfúrico para produzir superfosfato simples, e com ácido fosfórico para produzir superfosfato triplo, ou com amônia anidra para produzir os fertilizantes à base de fosfato de amônio (Zimdahl, 2015). As fosforitas são de depósitos metamorfos extraídas de minas superficiais são consideradas rochas moles e de melhor solubilidade em ácido cítrico. Já as apatitas são de origem vulcânica, extraídas em minas profundas, essas rochas possuem mais resistência, um alto grau de cristalização e baixa solubilidade em ácido cítrico (USGS, 2019).

O fósforo pode ser proveniente de várias fontes e apresentar inúmeras formulações químicas, sendo que no mercado há grande diversidade de adubos fosfatados minerais disponíveis, que se diferem principalmente em relação sua concentração e reatividade (Richart et al., 2006). Entre os mais utilizados destaca-se o superfosfato simples, o superfosfato triplo e os fosfatos monoamônicos e diamônicos (Silva et al., 2016). Estes fosfatos são obtidos a partir de um processo de acidulação da rocha fosfática em que o superfosfato simples (SSP) é um fosfato parcialmente acidulado que é fabricado fazendo a reação do concentrado fosfático (produto do beneficiamento da rocha fosfática) com o ácido sulfúrico processo de lenta duração (cura). Já os fosfatos de alta concentração (mono- amônio fosfato, MAP, triamônio fosfato, TAP, superfosfato triplo, TSP, e triplo simples, TSP) são obtidos a partir deste concentrado fosfático com ácido fosfórico originando um produto mais concentrado em (Chaves., 2010).

A liberação dos fertilizantes fosfatados aplicados no solo pode ser de imediato ou residual no desenvolvimento da cultura. Quando o solo é fertilizante com adubos solúveis o efeito de disponibilidade é muito rápido, no entanto a aplicação de fosfatos naturais para complementar a necessidade das plantas por fósforo, caracteriza-se por apresentar baixa solubilidade, precisando de acidez para que a reação seja disponível (Novais e Smyth, 1999).

As principais fontes de P disponíveis para agricultura são os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados (Prochnow et al., 2004). No decorrer desse processo de solubilização, os fertilizantes em grânulos inicialmente absorvem água, local onde a concentração de fósforo que é alta, de forma a ocorrer mobilidade do fósforo para fora do grânulo, ocorrendo

de forma simultânea a difusão de sais em sentido contrário ao do fósforo, de um local de maior concentração para um de menor concentração. Além disso, ocorre a difusão de água no solo em sentido aos grânulos e acontecem reações entre os íons dissolvidos no meio. Quando o processo finaliza e ocorre equilíbrio nas reações, ocorre liberação de fósforo para solução do solo (Prochnow et al., 2010). O uso de fontes de fósforo de alta solubilidade tem sido eficiente a curto prazo quanto à elevação da produtividade das culturas (Brasil, 2011). Pois estes fosfatos são de alta solubilidade pelo processo de produção e estas fontes solúveis quando são adicionadas ao solo promovem um incremento rápido de P a solução do solo, porém estes fosfatos solúveis tem redução de sua eficiência ao longo do tempo pois sofrem com o processo de fixação ou adsorção ao solo (Barreto et al., 2007)

Como essas reservas são não renováveis é necessário o emprego de fontes alternativas para que seja possível reduzir o consumo de fontes minerais, para promover menor pressão nas jazidas finitas deste nutriente. Sendo que no país atualmente a produção avícola foi de 14,3 milhões de toneladas de carne, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2022), e a de ovos foi de 55 bilhões de unidades (ABPA, 2022). A produção média de resíduos por animais como aves de corte, suínos e bovinos está em torno de 4,2 milhões de toneladas, representando 31% do consumo anual de N, P₂O₅, K₂O (Cruz, et al., 2017). Adubos orgânicos podem ser utilizados para a fabricação de adubos organominerais e isto agrega valor a este produto. No Brasil, a legislação classifica como fertilizantes organominerais (FOMs) sendo um fertilizante que é obtido de uma mistura entre resíduos orgânicos e um constituinte mineral.

Adubos orgânicos apresentam baixo teor de nutrientes, necessitando de grandes quantidades para aplicação, mas possuem altos teores de material orgânico acima de 50%. O uso de esterco de frango tem sido um fertilizante capaz de disponibilizar fósforo, e nitrogênio, sendo fósforo de forma gradual, o que aumenta o efeito residual da fertilização no solo. Assim, como vantagem, é possível observar redução da fixação específica e maior absorção dos nutrientes em maior intervalo de tempo que os adubos minerais (Raij, 2011). Além da disponibilização dos nutrientes, os adubos orgânicos são capazes de promover a disponibilização de ligantes orgânicos e de resíduo orgânica no solo, de forma a aumentar a capacidade de armazenamento de nutrientes do sistema coloidal (Bissani et al., 2008). Apesar de que parte da MO dos esterco é decomposta e disponibilizada em um período relativamente curto, outra parte é convertida em húmus, sendo mais estável nesta forma, os elementos são lentamente liberados. Assim, sendo transformados em húmus, possuirão influência duradoura e persistente no solo (Brady, 1989).

De acordo com trabalhos Kolzen e Alvarenga (2005) a aplicação de adubo orgânico combinado ou isolado de suínos com adubação química, promoveram uma maior produção de milho grão e milho forrageiro. Em pesquisas realizadas por Vaso et al., (2021) em que foi avaliado o efeito de adubo orgânico (ovino e suíno) na fase inicial de desenvolvimento germinação e início do desenvolvimento vegetativo de milho e feijão e estas foram diluídos em água deionizada nas concentrações de 0, 150, 300, 450, 600 mL.L⁻¹ sendo que foi observado maior crescimento radicular na dose de 150 mL.L⁻¹ para ambos os biofertilizantes, na concentração de 600 mL.L⁻¹ o adubo bovino promoveu maior porcentagem de germinação os maiores cumprimentos de parte radicular e aérea foi observado no resíduo ovino.

Os adubos organominerais podem ser apresentados de forma peletizada, farelada ou granulada, e possuem características de liberação lenta que evitam perdas de nutrientes no processo de lixiviação e impede o contato imediato do fósforo com os óxidos de alumínio e ferro presentes no solo, reduzindo substancialmente a perda deste nutriente no solo (Profiro, 2016; Aguiar 2018). Estes fertilizantes organominerais, tem sua formulação baseada em compostos orgânicos, que são formulados com base em resíduos como cama de frango e dejetos suínos associados a adubos minerais.

A matéria orgânica (MO) contida nos adubos organominerais tem a capacidade de competir com o fósforo pelos sítios de adsorção desse elemento presentes na fração argila do solo, aumentando a quantidade do nutriente disponível às plantas (Cruz, et al., 2017). Entre os benefícios da utilização de fertilizantes organominerais estão relacionados principalmente ao seu teor de matéria orgânica e a sua interação com atributos físicos químicos e biológicos do solo. Assim, é importante destacar que seu efeito vai desde a formação de agregados, capacidade de troca de cátions, dinâmica com água a solução de metais e a interação com os microrganismos, e também seu funcionamento como estoque de nutrientes como nitrogênio, fósforo, magnésio e também a liberação de micronutrientes à medida que o adubo se decompõe. No entanto, ainda não há clareza de como a mistura da fração orgânica com os fertilizantes minerais influencia no desenvolvimento das plantas, e também se será o fornecimento adequado de nutrientes para estas (Cunha et al 2015 Lanna et al., 2018).

Em estudos realizados com adubos organominerais tem demonstrado que é possível a substituição parcial de adubos minerais em solos tropicais (Mumbach et al. 2017) Também foram observados em estudos que não houve diferença na eficiência agrônômica de doses equivalentes de cama de aviário e combinado com fertilizante organomineral fabricado a

partir do enriquecimento de cama de Aviário com fosfato monoamônico ureia e cloreto de potássio em cultivo de feijoeiro e trigo. Observa-se na literatura que há solubilização mais lenta do fósforo em relação a um mineral, de forma a otimizar o aproveitamento pelas plantas pois este elemento fica indisponível para se ligar a óxidos o solo e o torna disponível de forma gradual (Malavolta, 1989).

Em trabalhos realizados por Magela (2017), fertilizantes organominerais para cultura do milho cuja fonte foi o lodo de esgoto e a torta de filtro em diferentes doses (60, 80, 100, 120 e 140), observou-se que houve um incremento no nível de fósforo do solo independente do resíduo orgânico utilizado na formulação sendo que em doses acima de 100% de fósforo esta disponibilidade foi maior sendo que e a combinação com lodo de esgoto foi capaz de fornecer 36% a mais de fósforo na dose de 80% em relação a fonte mineral.

Na literatura também são relatados problemas derivados da aplicação exclusiva de adubos orgânicos, que também podem ser atenuados com aplicação de adubos organominerais. Benites et al, (2010) concluíram que o uso de fertilizantes organominerais quando comparados com a aplicação superficial de resíduos orgânicos in natura como aqueles oriundos da criação de aves e suínos, ocorre redução da perda de nitrogênio por volatilização, e assim melhorando aproveitamento deste elemento. Estudos recentes sugerem que o uso de fertilizantes de origem organomineral podem diminuir cerca de 10% o uso de fertilizantes químicos nas culturas de interesse comercial (Mattos, 2014) Como vantagem, apresenta em sua composição maior efeito residual proveniente das fontes orgânicas, além da rapidez na disponibilidade de fósforo a partir da combinação com o adubo mineral. Assim, ocorre aumento na produtividade e na mineralização e taxas de solubilização e de P, de forma a promover racionalização no uso de fertilizantes durante o cultivo.

Estes fertilizantes organominerais, tem sua formulação baseada em compostos orgânicos, que são formulados a base de compostos como cama de frango e dejetos suínos, associados a adubos minerais. Sendo que no país atualmente a produção avícola fio de 14,3 milhões de toneladas de carne, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2022), e a de ovos foi de 55 bilhões de unidades (ABPA, 2022). Sendo que está produção gera uma grande quantidade de resíduos que podem ser utilizados para agricultura.

Atualmente estão surgindo no mercado fertilizantes organominerais de liberação lenta, que tem sido uma opção para a fertilização fosfatada na cultura do milho, hoje no mercado a muitas opções de adubos fosfatados com fonte organomineral, que já representando uma porcentagem significativa do mercado de fertilizantes na região noroeste do estado do Paraná, porém atualmente existem poucos estudos sobre o tema nesta região, e

este deve ser testados e mensurados.

Sendo que para entender como estas fontes atendem a cultura é preciso avaliar uso de fontes alternativas de fósforo para a cultura do milho em um latossolo vermelho eutroférico, de textura argilosa e determinar qual é mais eficiente para promover o desenvolvimento da cultura, aumento do teor de fósforo no solo, seu ponto de máxima, e o nível crítico do solo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, F.R. Produção de beterraba submetida a diferentes adubações. (Trabalho de conclusão de curso) – Curso de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.2, p.1003-1011, 2003.

BARRETO, N.; DUDA, G.; OLIVEIRA, C.; ALMAIDA JÚNIOR, A.B.; MENDES, A. (2007). Uso de fosfatos com diferentes solubilidades no conteúdo de macronutrientes da cultura do milho em dois ciclos de cultivo. In: congresso brasileiro de ciência do solo, 2007, Gramado. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: **Anais**. Porto Alegre: SBCS, 2007.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARALA, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4 p.133-142, 2007.

BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. 2ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. 344p.

BORTOLUZZI, E.C.; PÉREZ, C.A.S.; ARDISSON, J.D.; TIECHER, T.; CANER L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. *Applied Clay Science*, v.104, n.2, p.196-204, 2015.

BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRANCO, Pércio de Moraes. Os solos. 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas—RedeAmetista/Canal-Escola/Os-Solos-2620.html>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 5, de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011.

CARNEIRO, L.F.; RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, J.Z.L.; CURTI, N.; REIS, T.H.P.; VALLE L.A.R. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.483-491, 2011.

CHAVES, A.P.; Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de

fertilizantes. In: martins,e.s. & theodoro, s.h. (eds.). I Congresso Brasileiro de Rochagem, **Anais**, Brasília, p. 313-321, 2010.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Brasília: Conab, 2020. 66p. n.8. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras?view=default>. Acesso em: 20 setembro. 2021.

CONTINI, E.; MOTA, M.M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R.A.; SILVA, A.F.; SILVA, D.D.; MACHADO, J.R.A.; COTA, L.V.; COSTA, R.V.; MENDES, S.M. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 45p.

CRUZ, A.C.; PEREIRA, F.S.; FIGUEIREDO, V.S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.45, p.137-187, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro:Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; RIBEIRO, M.F.S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, n.1, p.889-901, 2004.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in southeastern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.287-298, 2007.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ D.J.; SHEPPARD, S.C.; A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Piracicaba: Informações agronômicas, 2001. 5p.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian, Soil Research*. v.43, p.189-202, 2005.

HANSEL, F.D. Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta. 2013. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2013.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

HEUER, S., GAXIOLA, R., SCHILLING, HERRERA-ESTRELLA, L., LOPEZ-ARREDONDO, D., WISSUWA, M., DELHAIZE, ROUACHED, H. Melhorar a eficiência do uso do fósforo: uma característica complexa com oportunidades emergentes. *The Plant Journal*, v.90, n.5, p.868–885, 2017.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. *Plant and Soil*, v.205, p.25–44, 1998.

KIRK, G.J.D.; SANTOS, E.; SANTOS, M.B. Phosphate solubilization by organic anion Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v.12, n. especial, p.16-32, 2023.

excretion from rice growing in aerobic soil: rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. *New Phytologist*, v.142, p.185-200, 2000.

KONZEN, E.A.; ALVARENGA, R.C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Sete Lagoas: Circular Técnica, v.63, p.65, 2005.

LIMA, H.V. de; OLIVEIRA, T.S.; OLIVEIRA, M.M.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.J.B.F. Indicadores da qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1085-1098, 2007.

LU, C.; YANA, D.; HE, J.; ZHOU, B.; LI, L.; ZHENG, Q. Environmental geochemistry significance of organic phosphorus: An insight from its adsorption on iron oxides. *Applied Geochemistry*, v.84, n.3, p.52-60, 2017.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MARQUES, D.J; BIANCHINI, H.C.; ROEWER, L.A.; Fosfito de potássio contribui para enchimento de grãos. Uberlândia: Campo & Negócios, 2014. 5p.

MATTOS, B.B., OLIVEIRA, C.A., MARRIEL, I.E., DAMASCENO, M.V.S., FIGUEIREDO, C.T.C., DOS SANTOS, F.C. Avaliação da atividade de fosfatases em cultivo de milho adubado com fertilizantes granulados à base de cama de frango, rochas fosfatadas e microrganismos solubilizadores de fosfato. In: congresso nacional de milho e sorgo, 30.; simpósio sobre lepdópteros comuns a milho, soja e algodão, anais. Salvador. 1., 2014.

MIRANDA, R.A. de. Uma história de sucesso da civilização. *A Granja*, v.74, n.829, p.24-27, 2018.

NOVAIS, R.F.; ÁLVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa, 2007. 628p.

PENATTI, C.P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 Anos de Experiência. 1ª Ed. Piracicaba: Ceres, 2013. 347p.

PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho. Vol 2. Brasil: International Plant Nutrition Institute-IPNI, 2010. 362 p.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; CARMONA, G.; HENAO, J. Greenhouse evaluation of phosphorus sources produced from a low-reactive brazilian phosphate rock. *Agronomy Journal*, v.96, n.3, p.761-768, 2004.

PROFIRO, F.P. Manual do técnico Geociclo coordenação de produção. 2016. 47 p.

REDEL, Y.; RUBIO, R.; GODOY, R.; BORIE, F. Phosphorus fractions and phosphatase activity in an Andisol under different forest ecosystems. *Geoderma*, v.145, n.1, p.216-221, 2008.

RICHART, A.; LANA, M.C.; SCHULZ, L.R.; BERTONI, J.C.; BRACCINI, A.L. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.12, n. especial, p.16-32, 2023.

Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.3, p.695-705, 2006.

ROBERTS, T.L.; JOHNSTON, A.E.; Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Resources, conservation and recycling*, v.105, p.275-281, 2015.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GARCÍA, A.C.; PERIN, A.; GAZOLLA, P.R.; GONZÁLEZ, A. P. Fósforo em cronossequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado goiano-análise de ácidos húmicos por RMN de ³¹P. *Química Nova*, v.36, n. 8, p.1126- 1130, 2013.

SAATH, K.C.O.; FACHINELLO, A.L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.56, p.195-212, 2018.

SALGADO, A. A. B. B.; CAIRES, E.F.; GARBUIO F.J.; BARTH, G.; Efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo-soja em sistema plantio direto 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual de Ponta Grossa, PONTA GROSSA-PR, 2017.

SANTOS, D.R.D., GATIBONI, L.C., KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.38, p.576-586, 2008.

SILVA. D. C; DA SILVA LIMA, L. H; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. *Scientia Agraria Paranaensis*, v.14, n.3, p.132-140, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. Trad. Santarém, E. R., 3.ed.; Porto Alegre: Artmed, 2009, 333p.

VASO, L.M.; BITENCOURT, G.A.; GUIDORISSI, N.S.; FLORES, J.P. Avaliação da germinação de milho e feijão sob efeito de biofertilizantes. ***Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade***, v.8, n.18, p.371-380, 2021.

WITHERS, P.J.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; DE CARVALHO, T.S.; GUILHERME, L.R.; BENITES, V.D.M.; PAVINATO, P. S.; Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v.8, n.1, p.1-13, 2018.

ZAVASCHI, E. Avaliação de superfosfato orgânico-complexado. 2014. 75p. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014.

ZIMDAHL, R.L. (Ed.). *Six chemicals that changed agriculture*. Academic Press, 2015. p.73-88.