

DANYLLO DENNER DE ALMEIDA COSTA

FRACIONAMENTO DO FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS DE  
MANEJO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em  
Agronomia – Mestrado, na área de concentração em Solos, para  
obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

DANYLLO DENNER DE ALMEIDA COSTA

FRACIONAMENTO DO FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS DE  
MANEJO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em  
Agronomia – Mestrado, na área de concentração em Solos, para  
obtenção do título de “Mestre”.

APROVADO em 18 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Reginaldo Camargo

UFU

Profª. Drª. Adriane de Andrade Silva

UFU Campus Monte Carmelo

Prof. Dr. Valdeci Orioli Junior

IFTM



Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres  
IFTM – UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

C837f Costa, Danyllo Denner de Almeida, 1994-  
2019 Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo  
[recurso eletrônico] / Danyllo Denner de Almeida Costa. - 2019.

Orientador: José Luiz Rodrigues Torres.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.14>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Solos - Manejo. 3. Plantio direto. 4. Cerrado. 5. Solos - Teor de fósforo. 6. Áreas agrícolas. 7. Sustentabilidade. I. Torres, José Luiz Rodrigues, 1965-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

Rejâne Maria da Silva – CRB6/1925

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, que em Cristo Jesus anunciou nossa esperança e, com base em seu sacrifício, busco me aprimorar a cada dia para cumprir seu chamado e dar um novo passo em direção ao que Ele tem reservado para mim. Sem Ele, não haveria uma lista de pessoas e instituições incríveis e essenciais para que este trabalho tomasse forma.

Agradeço aos meus maiores espelhos terrenos, meu pai Denilson e minha mãe Ana Paula, que sempre carregam um percentual de todas as minhas conquistas por merecimento. E que o agradecimento se estenda ao meu irmão, Danrlley, meu amigo inseparável e minha namorada Lídia, minha eterna e principal companheira.

Guardo um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres, com quem compartilhei muitos ensinamentos e compreendi a relevância daquilo que hoje eu profissionalmente faço com tanto prazer.

Agradeço aos muitos amigos que tiveram sua parte nessa conquista, em especial ao Venâncio Rodrigues e Silva, pois juntos dividimos intensas dificuldades e superamos novos obstáculos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, especialmente nas pessoas dos meus novos amigos que foram chave para a elaboração deste trabalho, Prof. Dr. Marcos Gervásio Pereira e a Doutoranda Shirlei Almeida Assunção, que não mediram esforços para auxiliar nas atividades realizadas no Laboratório de Pedogenese da UFRRJ.

À Universidade Federal de Uberlândia na representação do Instituto de Ciências Agrárias, com toda a estrutura que me permitiu alcançar a conclusão do curso de Mestrado em Agronomia.

Por fim, meu agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo amparo financeiro à pesquisa através da concessão da bolsa de pós-graduação.

**A TODOS, MEU MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	i
<b>ABSTRACT .....</b>	ii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Os sistemas de manejo .....	3
2.2 As frações minerais e orgânicas do fósforo no solo .....	7
2.3 Dinâmica do fósforo em sistemas conservacionistas.....	10
2.4 O fósforo remanescente .....	11
2.5 Os extractores do fósforo da análise realizada em laboratório .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Descrição da área de estudo .....	14
3.2 Clima da região .....	14
3.3 Tipo de solo e fertilidade .....	15
3.4 Manejo e adubação .....	17
3.5 Avaliações.....	17
3.5.1 Coleta e preparo das amostras .....	17
3.5.2 Fósforo remanescente (P-rem).....	18
3.5.3 Fracionamento do fósforo .....	18
3.6 Análise estatística .....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5. CONCLUSÕES .....	31
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo .....	15
TABELA 2. Atributos químicos do solo em estratificações de 0 a 0,40 m de profundidade nos sistemas de manejo avaliados .....	16
TABELA 3. Fósforo disponível (P-dis) e fósforo remanescente (P-rem) em sistemas de manejo de longa duração em Uberaba, MG .....	21
TABELA 4. Fósforo total (Pt-Bic), fósforo inorgânico (Pi-Bic) e fósforo orgânico (Po-Bic) quantificados a partir da extração com bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) (P lábil). ....	23
TABELA 5. Teores de fósforo total (Pt-H), fósforo inorgânico (Pi-H) e fósforo orgânico (Po-H) quantificados a partir da extração ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (P moderadamente lábil), nas diferentes camadas e sistemas de manejo. ....	26
TABELA 6. Teores de fósforo total (Pt-OH), fósforo inorgânico (Pi-OH) e fósforo orgânico (Po-OH) quantificados a partir da extração com solução alcalina ( $\text{NaOH}$ ) (P moderadamente resistente), nas diferentes camadas e sistemas de manejo.....	27
TABELA 7. Fracionamento das formas de fósforo no solo em função do sistema de manejo no Cerrado mineiro. ....	28

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. Áreas estudadas com seus respectivos perímetros demarcados.....	14
FIGURA 2. Variáveis climáticas obtidas junto ao Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa do INMET (2018) .....	15

## RESUMO

COSTA, DANYLLO DENNER DE ALMEIDA. **Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo.** 2019. 41 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

A escolha do sistema de manejo do solo é um dos principais fatores de contribuição nas pautas de produção e sustentabilidade das áreas agrícolas, uma vez que sistemas como o plantio direto (SPD) se fundamentam em contribuições a longo prazo, que desencadeiam alterações nos atributos químicos e distribuição dos nutrientes no solo. Dentro os nutrientes, o fósforo se destaca especialmente em solos altamente intemperizados, onde sua fixação aos minerais pode limitar sua disponibilização às plantas. Assim sendo, o objetivo deste estudo foi avaliar o fracionamento do P em função do sistema de manejo em solos do cerrado mineiro. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram em quatro áreas: 1 – SPD há 5 anos (SPD5), 2 – SPD há 17 anos (SPD17), 3 – Sistema de plantio convencional há 20 anos (SPC20) e 4 – Cerrado nativo (CN) caracterizada pela vegetação de cerrado, a partir das quais foram coletadas quatro amostras compostas em cada área. Foi avaliado o fósforo disponível (P-dis), o remanescente (P-rem), além do fracionamento das formas orgânicas e inorgânicas de P, a partir de extrações sequenciais com bicarbonato de sódio (fração lábil do P), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (P moderadamente lábil) e com hidróxido de sódio (NaOH) (P moderadamente resistente), nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. Inicialmente, os sistemas de manejo, apesar de superarem CN em P-rem, não promoveram efeitos significativos sobre essa forma do P quando comparados entre si na camada 0-0,05 cm, diferente do P-dis, que apresentou maiores teores em área sob SPC20. O SPC20 apresentou o maior teor de P total, o que foi influenciado especialmente pelo teor de P inorgânico no sistema como consequência das adubações, acumulado majoritariamente na forma de P moderadamente lábil. Em SPD5, SPD17 e CN o P foi acumulado principalmente na fração moderadamente resistente, demonstrando que tanto o maior teor quanto as formas de maior labilidade do P foram obtidas em SPC20. No entanto, o teor de P produto das extrações sequencias, na superfície (0-0,05 m), se foi superior na sua forma orgânica em SPD17, situação que se repetiu apenas no CN, demonstrando a contribuição do sistema na conversão da reserva de P. A maior proporção de P orgânico foi evidente na fração mais lábil.

**Palavras-chave:** fósforo orgânico e inorgânico, sistema de plantio direto, cerrado.

---

<sup>1</sup> Orientador: José Luiz Rodrigues Torres – UFU

## ABSTRACT

COSTA, DANYLLO DENNER DE ALMEIDA. **Phosphorus fractionation on soil in function of management systems.** 2019. 41 p. Dissertation (Master Program Agronomy/Soils) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.<sup>2</sup>

The choice of the system of soil management is one of the main contributing factors on patterns of production and sustainability of agricultural areas, once that systems such as no-tillage (SPD) are based on long-term contributions that trigger changes in the chemical attributes and distribution of nutrients in the soil. Among the nutrients, P stands especially in highly weathered soils, where its attachment to minerals may limit their availability to plants. Therefore, the objective of this study was to evaluate the fractionation of P in function of the system of management in soils from Cerrado Mineiro. The experimental design was completely randomized with five replications. The treatments consisted in four areas: 1) 5 years ago SPD (SPD5); 2) 17 years ago SPD (SPD17); 3) Conventional Tillage System for 20 years (SPC20) and 4) Native Cerrado (CN) characterized by Cerrado vegetation, from which four composite samples were collected in each area. It was evaluated the available phosphorus (P-dis) the remaining phosphorus (P-rem) in addition to the fractioning of organic and inorganic forms of P from sequential extractions with sodium bicarbonate (labile fraction of P), sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) (P moderately labile) and with sodium hydroxide (NaOH) (P moderately resistant), at depths of 0-0.05 and 0.05-0.10 m. Initially, the management systems, although overcome CN in P-rem, not promoted significant effects on this form of P when compared between themselves in the layer 0-0.05 cm, different from P-dis, which showed higher levels in SPC20. The SPC20 showed highest content of total P, which was influenced especially by the content of inorganic P in the system as a result of fertilizations, mostly in the form of accumulated P moderately labile. In SPD5, SPD17 and CN the P h was accumulated mainly in the fraction of moderately resistant, demonstrating that both the highest content about the forms of greater lability of P were obtained at SPC20. However, the content of P product of sequences, the surface (0-0.05 m), it was superior in its organic form in SPD17, a situation that has been repeated only in CN, demonstrating the contribution of the system in the conversion of booking of P. The highest proportion of organic P was evident in the more labile fraction.

**Keywords:** organic and inorganic phosphorus, no-tillage system, cerrado.

---

<sup>2</sup> Major Professor: José Luiz Rodrigues Torres – UFU

## 1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um macronutriente de ampla contribuição no desenvolvimento das culturas. Sua relevância pode ser evidenciada citando-o como componente fundamental dos nucleotídeos, que em cadeias representam o código genético dos organismos vivos.

No solo, as formas moleculares do P variam assim como varia a sua dinâmica em função do tipo de solo, porém, basicamente, o nutriente coexiste nas formas orgânica e inorgânica. A porção orgânica é representada pelo nutriente imobilizado em tecidos vegetais, microrganismos e demais estruturas orgânicas como fosfoproteínas, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e, majoritariamente, fosfatos de inositol. A nível molecular, o P orgânico se encontra predominantemente na forma de ortofosfato de monoésteres ( $R-O-PO_3$ ), enquanto seu conteúdo pode variar de menos de 20% do conteúdo total de P no solo até valores próximos a 80%.

De maneira distinta, o P inorgânico está presente nos solos ligado a elementos como Ca (P-Ca), Fe (P-Fe) e Al (P-Al), o que depende do conteúdo desses elementos, podendo também se apresentar na forma de P-occluso, sua forma mais fixada aos minerais do solo, e P-H<sub>2</sub>O, forma passível de absorção pelas plantas.

Ambos podem se apresentar em frações variadas quanto à sua fixação no solo, apresentando-se na forma de P na solução do solo (disponível para absorção), P lável (facilmente disponibilizado para absorção), P moderadamente lável (P moderadamente fixado) e P não-lável (menos passível de liberação em função da fixação).

Por apresentar a forma do ânion ortofosfato ( $PO_4^{3-}$ ), o P inorgânico em solos altamente intemperizados, caracterizados pela sua acidez, pode ser retido com alta energia aos minerais em função da predominância de cargas positivas. Fernández R. et al. (2008) afirmaram que a fixação de fósforo em formas não reversíveis ou pouco reversíveis, denominadas não-lábeis, significa, de modo particular para solos mais intemperizados e oxídicos típicos do Cerrado, forte competição entre solo e planta pelo P aplicado na forma de fertilizante.

Portanto, diante das limitações naturais da forma inorgânica do P, especialmente nesses tipos de solo o P orgânico se torna relevante na conservação do P disponível para as plantas.

As fosfatases assumem total relevância na compreensão da dinâmica entre as formas de P. Enzimas genericamente assim denominadas, que na verdade englobam um

grande grupo de enzimas responsáveis pela mineralização do P orgânico para torná-lo disponível. Essa mineralização ocorre em conformidade com a necessidade das plantas por isso, o mecanismo é acelerado em condições de escassez do nutriente.

As áreas de vegetação natural são o principal espelho do bom funcionamento dessa ciclagem do P, uma vez que constituem áreas não adubadas, mas que garantem pleno desenvolvimento de amplo ecossistema vegetal com vasta contribuição do P orgânico influenciado pelo conteúdo de MO.

Assim sendo, gerar incrementos na MO para usufruir de suas vantagens em sentido mais restrito, alavanca também os teores de P na sua forma orgânica, presente nas estruturas moleculares de compostos orgânicos e passível de mineralização. Corroborando essa afirmativa, ao comparar sistemas de manejo do solo, Bezerra et al. (2015) relataram maior teor de formas disponíveis de P orgânico e inorgânico nas camadas superficiais do solo e nos sistemas que aumentam a matéria orgânica com ênfase específica ao sistema ILP (integração lavoura-pecuária).

Portanto, a utilização de novas tecnologias de manejo é fator chave na obtenção de altos rendimentos das culturas cultivadas nos Latossolos do Cerrado brasileiro, principalmente aquelas que promovem a melhoria da qualidade do solo mantendo ou aumentando os teores de matéria orgânica (MO) ao longo dos vários cultivos sucessivos, como geralmente ocorre quando é utilizado o sistema de produção em plantio direto (SPD), que vem evoluindo nestes últimos 50 anos, ao se consolidar como um sistema de produção agrícola sustentável.

Seus pilares proporcionam aporte de resíduos orgânicos na superfície através das plantas de cobertura utilizadas na rotação e na subsuperfície, através dos remanescentes de sistema radicular das plantas cultivadas favorecendo o aumento gradual no teor de matéria orgânica do solo (MOS), notadamente na camada superficial (0,00 a 0,10 m) (HICKMANN et al., 2012).

Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar a influência do sistema de manejo sobre o fracionamento do fósforo em solo de cerrado.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Os sistemas de manejo**

As características nutricionais de plantas silvestres cultivadas sob condições de baixa fertilidade são bastante diferentes das plantas cultivadas em ambientes férteis (COLEMAN; REID; COLE, 1983), no entanto isso não descredita as vegetações naturais como o maior espelho para a adoção de sistemas de manejo em função da ciclagem natural de nutrientes ocorrida nesses ecossistemas nativos (LOPES; GUILHERME, 2007).

Esse processo natural de ciclagem carrega a responsabilidade pela manutenção do bom funcionamento do solo garantindo suporte ao pleno desenvolvimento vegetal. Nessa visão, portanto, nota-se que a qualidade do sistema possui dependência irrestrita da matéria orgânica, principal responsável pela atividade do solo, seja ela vivente (raízes, macro e microrganismos) ou não vivente (húmus e porções mais grosseiras).

Pereira et al. (2013) justificaram a contribuição fundamental da matéria orgânica na capacidade produtiva dos solos por ações sobre a disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, agregação, infiltração e retenção de água, aeração e atividade da biomassa microbiana.

Tem-se, deste modo, que a matéria orgânica do solo é influenciada diretamente pelo manejo adotado, logo, estudos que busquem caracterizá-la em comportamento e composição são fundamentais para se estabelecer práticas de manejo mais conservacionistas que auxiliem na sua preservação e promovam a agricultura sustentável (MACHADO et al., 2014).

Petrere e Cunha (2010) afirmaram em específico sobre medidas de recomendação para cultura da videira que, porém, podem se tornar válidas à maioria das culturas, que entre os fatores a se considerar na escolha do sistema de manejo do solo estão a conservação ou o aumento do teor e qualidade da matéria orgânica, a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e a economia da água nele armazenada.

No que excede às recomendações de sistema, sabe-se que os sistemas de manejo mais comuns adotados em áreas agrícolas são o sistema de plantio convencional, o cultivo mínimo e o sistema de plantio direto na palha.

O SPC é um dos métodos mais difundidos no mundo. Seu objetivo básico consiste em fornecer boas condições para o plantio e emergência da cultura a partir da

redução inicial de plantas daninhas que podem inibir a germinação e o crescimento inicial das plantas causando baixa produtividade (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015). Para Silva et al. (2009a), historicamente à base de fogo, arado e grade, o cultivo convencional sempre teve como objetivo limpar a superfície do solo e prepará-lo para o cultivo sem a preocupação de conservá-lo.

Conforme expresso por Brown et al. (2018), ao estabelecer a hipótese de estudo sobre efeitos a longo prazo de sistemas de cultivo, o manejo por longo período com preparo convencional degrada o solo e afeta de forma negativa a produção vegetal. Em vista de práticas que se distanciam de um sistema conceitualmente sustentável, novas alternativas se desenvolveram em substituição ao preparo convencional do solo.

O cultivo mínimo se apresenta como uma alternativa menos mobilizadora do solo com a precaução de limitar o constante trabalho sobre a sua estrutura. No entanto, os sucessivos problemas acerca da conservação do solo levaram pesquisadores a desenvolver técnicas de manejo a fim de evitar a degradação física do solo por processos de compactação e perdas de solo (OLIVEIRA et al., 2015). Portanto, em vista da amenização de problemas ambientais, foram consequentemente desenvolvidos sistemas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e o SPD.

Dentre o que se apresenta atualmente no mercado agrícola para Santana et al. (2010), o sistema de manejo do solo mais moderno e correto ambientalmente é o sistema plantio direto. De fato, o SPD é pautado na agricultura sustentável, que dentre seus pilares fundamentais possui a manutenção da palhada sobre a superfície do solo. Por essa razão, em detrimento do sistema de plantio convencional, o SPD é classificado como alternativa viável ao aumento de matéria orgânica no solo (BRAIDA et al., 2010).

Estudo desenvolvido por Corbeels et al. (2016) apontaram que a conversão de Cerrado nativo em área de sistema de plantio convencional induziram perdas de 17% nos estoques de C (carbono) do solo (0 a 0,40 m) após 26 anos de cultivo de sucessão soja/milho como culturas solteiras por safra, ao passo em que a adoção do SPD promoveu a recomposição dos estoques de C ao nível do Cerrado natural após cerca de 11 a 14 anos de cultivo para a mesma profundidade. Apesar de igualados, os teores em SPD não sobrepassaram os observados em Cerrado natural mesmo após os 14 anos mencionados.

Nos benefícios que excedem à qualidade de cultivo em SPD, Ferreira, Freitas e Moreira (2015) demonstraram em estudo do custo operacional efetivo (COE) para produção de soja em SPD no município de São Gabriel do Oeste-MS, que o sistema se

apresenta mais atrativo financeiramente que o sistema de plantio convencional e apresenta custo efetivo operacional quase 30% superior.

A nível comparativo, Barros et al. (2015) observaram em estudo com milho no agreste sergipano, que o SPD proporciona maior proteção contra as perdas de solo em relação aos cultivos mínimos e convencional, ao passo em que a perda de água menor foi obtida em SPC. Os autores relacionaram a maior cobertura do solo durante o ciclo com as reduções nas perdas por erosão hídrica laminar.

Usando 678 estudos como base global de dados, Pittelkow et al. (2015) compararam os rendimentos de cultivo sob sistema de plantio direto em relação ao sistema de plantio convencional em diversas condições. Três considerações foram destacadas pelos autores. Inicialmente, observaram que o plantio direto reduziu os rendimentos em torno de 5,1% para 50 culturas observadas. Todavia o plantio direto mostrou melhor performance das culturas quando em condições de sequeiro em clima seco batendo as médias encontradas em plantio convencional. Por fim, os autores concluíram que objetivos específicos e adaptações são necessárias para aumentar os rendimentos sob plantio direto.

Assim, tem-se que cada alternativa de manejo possui sua peculiar contribuição aos sistemas de cultivo e que diferente da tradição habitual de preparo da estrutura física do solo a partir do seu revolvimento, técnicas modernas visam a conservação dos ambientes como prioridade, pois a longo prazo o solo pode cobrar do agricultor os danos cumulativos de anos ou décadas.

Sistemas agrícolas sustentáveis devem impedir a manutenção de solos expostos e não plantados na entressafra (COSTA et al., 2016). O advento do plantio direto como sistema de cultivo promoveu avanços incalculáveis do ponto de vista agronômico, com consequências até então amplamente estudadas, todavia nem sempre compreendidas integralmente pelos que o promovem.

De acordo com Landers (2005), o plantio direto representa um enfoque tão revolucionário na agricultura que se torna difícil, à primeira vista, aceitá-lo, pois se baseia em substituir a prática de preparar o solo aperfeiçoada ininterruptamente durante muitos séculos. Além disso, ele exige um enfoque sistêmico, quando a pesquisa e o ensino já se encontravam organizados em uma base temática.

Observado de diferentes perspectivas, o SPD é, por muitos, caracterizado como um modo de capacitar a intensificação do cultivo sustentável que, de certo modo, se encontram com as demandas de uma agricultura do futuro (DERPSCH et al., 2014).

O que melhor caracteriza sistema de plantio direto é o manejo no qual se evita a mobilização do solo e consequentemente cria um novo ambiente ecológico, diferente daquele existente no sistema convencional, pois o plantio direto resulta em uma série de vantagens para o agricultor e para o meio ambiente (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015).

Considerando apenas os benefícios acarretados pela rotação de culturas, uma das bases fundamentais do sistema, junto a manutenção de palhada na superfície e o não revolvimento do solo (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012; SILVA et al., 2009a), segundo Silva et al. (2009b) podem ser citados o aumento da matéria orgânica do solo a nível superficial e aumento na capacidade de ciclagem dos nutrientes em profundidade.

A tecnologia do plantio direto chegou ao Brasil no final da década de 60 e início de 70, e passou a ser difundido em meados da mesma década (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015; LANDERS, 2005; SILVA et al., 2009a). Portanto, a partir da década de 1970 a produção brasileira, principalmente de grãos, que eram realizadas sob SPC passaram a ser gradativamente conduzidas no SPD (NUNES et al., 2011). Assim, diante de aproximadamente meio século de estudos ambientados cabe à pesquisa atual compreender seus efeitos a longo prazo.

Dados recentes de Motter e Almeida (2015) sugerem que o Brasil atual se tornou referência em agricultura de conservação, com o plantio direto abrangendo cerca de 32 milhões de hectares. Entretanto, segundo informações da Embrapa (2014), desses aproximados 32 milhões de hectares estimam-se que apenas 10% das propriedades apresentam um plantio direto bom, seguindo todos os preceitos que constroem a filosofia do sistema. Para cumprimento de medidas pela redução da emissão de gases de efeito estufa o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012) propuseram um aumento de 8 milhões de hectares até o ano de 2020.

De qualquer maneira, como um sistema promissor desde seu surgimento, sua aplicação auxiliou o avanço dos sistemas produtivos ao longo das décadas, avanço esse constantemente contido (ou ao menos controlado) pelas limitações impostas pelos solos tropicais dominantes dos quais a baixa fertilidade é uma das principais características. Assim, seus fundamentos são eficientes em promover o aumento do conteúdo de carbono orgânico e a melhoria da qualidade estrutural do solo (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012).

Olhar para os efeitos do sistema significa olhar, à primeira impressão, para os caracteres qualidade e quantidade da produção, no entanto seu efeito maior e mais

expressivo resultado do fator longo prazo está no solo. O SPD inovou ao propor o que se opõe diametralmente ao tradicionalismo, especialmente no que se refere aos pilares revolvimento do solo e rotação de culturas. Então, foi proposta a substituição dos cultivos repetitivos pela diversificação e das intensas atividades de preparo do solo por uma aposta nos benefícios acumulativos do não revolvimento.

Segundo Sá et al. (2004) e Anghinoni (2007), nos primeiros 5 anos de uso ocorre a fase inicial de implantação do sistema, onde se tem teores baixos de MO, baixo acúmulo de palha, restabelecimento da atividade microbiana, contudo, a medida que as etapas se sucedem ocorre a fase de transição (5 – 10 anos), de consolidação (10-20 anos) e de manutenção (acima de 20 anos), neste período ocorre a melhoria dos atributos físicos e químicos.

## **2.2 As frações minerais e orgânicas do fósforo no solo**

No solo, o P se distribui em suas frações orgânicas e inorgânicas. Quanto à natureza do ligante, o P pode ser encontrado como P orgânico diéster, P orgânico monoéster e P inorgânico em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos de Fe e Al (SOUZA JÚNIOR et al., 2012).

Em específico quanto ao P orgânico, seus teores no solo variam de 15 a 80%, com teores mais elevados observados em solos ou horizontes ricos em matéria orgânica de solos sob florestas (SILVA; SÁ MENDONÇA, 2007). Corroborando a aplicabilidade dessa afirmativa, Cunha et al. (2007) encontraram teores de P orgânico em solos de floresta 216% superiores ao compará-los com solo cultivado com pastagem. Valores estes obtidos em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

As limitações dos solos tropicais foi um ponto mencionado de forma recorrente nos tópicos anteriores. Dentre essas limitações, a adsorção de P é uma das que mais se destacam, por caracterizar o processo químico de passagem do P lábil para o não-lábil (CAMARGO et al., 2010), em que parte considerável do fósforo inorgânico adicionado aos solos é retida com energia tal que seu equilíbrio com o P na solução desaparece deixando de ser útil ao crescimento imediato da planta (NOVAIS et al., 2007). Essa forma de P (não-lábil), segundo Novais e Smyth (1999), deve ser quantificada, compreendida e controlada adequadamente para otimização das adubações fosfatadas especialmente em solos intemperizados.

Portanto, esse é um problema clássico oriundo da alta intemperização sofrida pelos solos, tradicionalmente ácidos, com predomínio de argilas 1:1, de baixa superfície específica e forte presença dos óxidos de ferro e alumínio. Esses minerais apresentam grupamentos superficiais Fe-OH e Al-OH, nos quais o fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pode ser adsorvido por meio da troca de ligantes, estabelecendo ligações resistentes (BROGGI et al., 2010). Por essa razão, solos tropicais têm sido objeto de estudos detalhados com o objetivo de estabelecer possíveis formas de manejo que possam minimizar e aumentar a disponibilidade de P devido a estreita relação dos minerais no processo de adsorção (FONTANA et al., 2008).

Assim sendo, a baixa disponibilidade natural de P nos solos como os de Cerrado leva à aplicação desse macronutriente em sistemas de produção principalmente via fertilizantes inorgânicos solúveis (CASALI et al., 2016). Todavia, altas quantidades de adubação fosfatada são, de certa forma, necessárias ao sistema ocorrendo nos solos intemperizados como alternativa para contornar o problema da forte adsorção do nutriente (LEMOS, 2015).

Nesse cenário de limitações naturais do ambiente de cultivo, ganham espaço as alternativas que promovam, em conjunto, a disponibilização do nutriente e a redução na dependência de pesadas doses de P na adubação. Dessa forma, o estudo do manejo do fósforo na sua forma orgânica se destaca como uma possibilidade, apesar das formas de P no solo, dentre elas a forma orgânica, serem pouco conhecidas (NEUFELDT et al., 2000).

Guerra et al. (1996), estudando 17 tipos de solos observaram que para todos o teor de P inorgânico foi superior ao orgânico, entretanto, para 16 desses solos o P orgânico lábil foi superior à porção lábil na forma inorgânica. O trabalho evidenciou que a preocupação recorrente com aplicações massivas de adubos fosfatados pode não ser a solução mais adequada, mas a associação de fertilizantes minerais e manutenção constante do P contido na matéria orgânica.

Comparando áreas conduzidas em sistemas de cultivo e área de vegetação nativa no Cerrado goiano, Beutler et al. (2015) observaram que o P orgânico total dos solos se mostrou normalmente associado a áreas em que o P disponível (Mehlich-1) apresentou teores inferiores, reforçando o fato de que o P orgânico é uma importante fonte do nutriente em ambientes de baixa fertilidade natural e com baixa influência antrópica. Afinal, pequenas reservas de elementos prontos para ciclagem podem representar

porção relevante do total de P disponível para absorção pelas plantas (COLEMAN; REID; COLE, 1983).

Neufeldt et al. (2000) observaram que sob condições naturais de forte deficiência do nutriente, seja por falta ou força de adsorção, mais de 60% da porção lábil do fósforo (porção facilmente disponibilizada às plantas) foi oriunda do P orgânico demonstrando sua contribuição à nutrição das plantas.

Com base nisso, para contornar a disponibilidade deficiente do elemento, estudos atuais buscam a adoção de sistemas que beneficiem a matéria orgânica no solo em qualidade e quantidade (DEVINE et al., 2014; GAZOLLA et al., 2015; MELO et al., 2016; REIS; LIMA; BAMBERG, 2016), pois em condições tropicais úmidas o P orgânico assume relevante importância na conservação do P disponível às plantas (CUNHA et al., 2007; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008) e, para tanto, a necessidade por esses estudos se opõe à clara indiferença em relação ao fósforo de compostos orgânicos recebida em instituições de ensino e pesquisa por todo o país relatada por Novais et al. 2007.

Elevações nos teores de formas orgânicas de P envolvem, portanto, manejo intensivo voltado a esses objetivos. Ceretta et al. (2010), após aplicações sucessivas de dejetos suínos em superfície de Argissolo Vermelho arenoso sob plantio direto, observaram incrementos nos teores de P em frações orgânicas e inorgânicas para alguns extratores, concluindo que as sucessivas aplicações aumentaram o acúmulo do nutriente em frações predominantes lábeis do solo. Para esses resultados, os autores avaliaram os efeitos cumulativos de oito anos de aplicação dos dejetos.

Com base nisso, corroborando Matos et al. (2006), o P orgânico pode contribuir substancialmente para a disponibilidade de P por meio da simples mineralização. Todavia, o efeito do uso do solo na distribuição das formas de P nos solos de Cerrado é pouco conhecido (NEUFELDT et al., 2000).

Portanto, considerando a necessidade de se estabelecer parâmetros qualitativos e quantitativos das condições do solo para obtenção de informações sobre a eficiência do manejo e suas influências na produção (ROSSETTI; CENTURION, 2013), pode-se inferir que o P orgânico se encaixa entre esses parâmetros, principalmente diante de limitações como as impostas pelos solos de Cerrado. Logo, considerar o P orgânico no cultivo pode significar a poupança de recursos.

## **2.3 Dinâmica do fósforo em sistemas conservacionistas**

Para Horta e Torrent (2010) disponibilidade do P no solo é controlada basicamente pelo equilíbrio que se estabelece entre a concentração de fosfato na fase sólida do solo (fator quantidade) e a sua concentração na solução do solo (fator intensidade). Estando ambos os fatores em equilíbrio, conforme a planta remove P da solução do solo (reduzindo o fator intensidade) a partir da absorção, porções mais fixadas do nutriente (armazenadas pelo fator quantidade) são liberadas para suprimento da planta em um processo de dessorção. Em sentido contrário, em consequência do aumento da concentração do P no solo via adubação, o processo atuante é o de sorção acrescentando P ao fator quantidade.

Cada sistema de cultivo apresenta sua peculiaridade quanto à dinâmica do P no solo. Tratando-se especificamente do SPD, de acordo com Kurihara et al. (2014), o incremento no teor de matéria orgânica e a redução da oscilação do teor de umidade no solo, consequências da manutenção de cobertura vegetal na superfície podem favorecer a eficiência de aproveitamento de P pelas plantas cultivadas. Por essa razão os autores afirmam que nas áreas manejadas sob este sistema tem-se optado pela elevação da disponibilidade de P por meio da adubação fosfatada corretiva gradual, sempre priorizando a aplicação em sulco, para contornar o limitante do não revolvimento do solo.

Qualquer discussão sobre a dinâmica do fósforo orgânico deve também considerar o ciclo completo do nutriente devido a imobilização, mineralização e redistribuição do P no solo depender das propriedades físico-químicas (STEWART; TIESSEN, 1987). Conforme destacaram Redin et al. (2016), o estímulo à ciclagem do P, processo que envolve a passagem do elemento pela sua forma orgânica, sofre contribuição íntima da manutenção dos resíduos sobre a superfície do solo, aspecto fundamental para o bom desempenho do SPD. Além do SPD ser uma alternativa que viabiliza o incremento na matéria orgânica no solo (BRAIDA et al., 2010), consequentemente o P orgânico.

Sabendo que o sistema afeta toda a distribuição do elemento conforme sua filosofia de cultivo, Almeida, Torrent e Barrón (2003) observaram mudanças em Latossolos, em função também dos resíduos orgânicos, onde a redução dos teores de matéria orgânica em profundidade incrementou a adsorção do elemento, evidenciando a

importância da matéria orgânica na redução da capacidade adsorptiva de fósforo dos Latossolos estudados.

Beutler et al. (2015), avaliando o fracionamento do P em solos de cerrado relataram que solos sob sistema lavoura-pecuária favoreceram mais a formação de fósforo lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente do que solos sob pastagem e vegetação natural. Para a distribuição do elemento, o P inorgânico se associou às áreas que receberam altas doses de fertilizante fosfatado, enquanto o P orgânico prevaleceu em áreas com menor ou nula influência antrópica.

## 2.4 O fósforo remanescente

Broggi et al. (2011), estudando o fator capacidade de P em solos de Pernambuco, observaram que as características que melhor refletiram o fator foram o fósforo remanescente (P-rem) e a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP).

Portanto, para estimar a porção do P fixado a partir da quantificação do fósforo que permanece na solução após um período de reação, o P-rem é o parâmetro mais adotado atualmente estabelecendo eficientemente esse equilíbrio. Porém, conforme ressaltaram Pereira et al. (2010), ainda são necessárias mais informações sobre os valores de P-rem em experimentos de longa duração com uso de plantas de cobertura, situação que descreve sistemas conservacionistas como o de plantio direto.

A relevância de um atributo como o P-rem merece destaque. Segundo Rogeri et al. (2017), futuramente, por exemplo, análises de solo baseadas em P-rem podem indicar o risco de lixiviação de P em solos de ambientes aquáticos, apesar do atual baixo domínio do assunto.

Atualmente o P-rem compõe boa parte dos laudos de fertilidade do solo emitidos por laboratórios especializados. Inclusive segundo a CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (LOPES; ALVAREZ V., 1999), quanto às análises processadas no estado de Minas Gerais a análise de P-rem possui caráter fundamental em um laudo. Ainda, segundo o mesmo manual de recomendação da CFSEMG, o P-rem pode ser adotado como base sólida para classificação dos teores de fósforo disponível no solo, enxofre, determinação da capacidade tampão da acidez do solo (Y) e determinação da necessidade de gesso.

Em especial quanto ao P disponível, o P-rem tem substituído o teor de argila na definição das classes de disponibilidade do nutriente no solo. Esse procedimento tende a

suscitar vantagens como ser mais rápido e simples, além de potencialmente mais preciso, pois avalia de forma direta o potencial de imobilização de P, enquanto a argila o oferece indiretamente (LISBOA et al., 2012).

Nas condições tropicais, o estudo do P-rem é relevante em função das condições de fixação mencionadas anteriormente. Todavia, o uso de técnicas de manejo exerce influência sobre a disponibilidade do elemento após reação com o solo. Guareschi, Pereira e Perin (2012), em estudo com a deposição de resíduos vegetais sobre a matéria orgânica do solo e o P-rem, observaram que o manejo do solo sobre SPD após 20 anos apresentou maiores valores de P-rem na camada superficial do solo em relação a área de Cerrado.

Em estudo semelhante, Pereira et al. (2010) observaram que em áreas sob SPD conduzidas com uso de plantas de cobertura, a matéria orgânica leve presente no solo pode reduzir a adsorção de P no solo. Fontana et al. (2008) encontraram resposta semelhante e verificaram que o SPD em solos de Cerrado contribui para a redução da adsorção de P. Os autores atribuíram o efeito principalmente a atuação das frações ácidos húmicos e humina encontrando correlação positiva entre os atributos.

## **2.5 Os extractores do fósforo da análise realizada em laboratório**

Existem metodologias analíticas que permitem não só quantificar as diversas formas de P no solo (P total, inorgânico e inorgânico) como também, permitem quantificar o fósforo associado a determinadas superfícies ou espécies químicas (TORRENT, 2010).

Em análises rotineiras da fertilidade do solo a determinação do teor de P “disponível” é um dos processos fundamentais. Essencialmente, o P disponível do solo representa o teor do elemento utilizado pelas plantas (TEIXEIRA; CAMPOS; SALDANHA, 2017).

Teixeira, Campos e Saldanha (2017) descrevem a extração com extrator Mehlich-1 (ou solução duplo-ácida) por meio da formação de complexo fosforomolíbdico de cor azul obtido após redução do molibdato com ácido ascórbico e determinação por espectrofotometria, baseando-se no princípio da dissolução de minerais contendo P e/ou deslocamento de P retido nas superfícies sólidas do solo para a solução por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de retenção.

A eficiência dos extractores utilizados em laboratórios de rotina para avaliação da disponibilidade de P para as plantas está ligada à habilidade desses extractores em quantificar as diferentes frações de P inorgânico dos solos, que se relacionam positivamente com o P absorvido pelas plantas (SOUZA JÚNIOR et al., 2012).

Para Silva e Raij (1999 apud SOUZA JÚNIOR et al., 2012), o extrator Mehlich-1 superestima o P disponível em solos menos intemperizados e, ou, com pH mais elevado e em solos que receberam aplicação de fosfatos naturais pouco reativos, a qual eleva o P-Ca nesses solos. Por outro lado, extractores que não extraem ou não têm preferência em extraer P-Ca, como a resina de troca aniónica, o Bray-1 e o Mehlich-3, deverão ser mais adequados que o Mehlich-1 para esses solos.

Para além do P disponível, algumas metodologias foram desenvolvidas para quantificação das formas menos “disponíveis” do nutriente, abarcando formas lábeis e não lábeis, em função da energia de adsorção do nutriente aos minerais do solo.

A diferenciação das frações do P é consequência de fatores como o sistema de manejo e processos de formação do próprio solo, considerando os minerais de origem, enquanto a quantidade do elemento passível de ser absorvida pelas plantas é avaliada por meio de extractores (CAMARGO et al., 2010). Em sequência cronológica, metodologias como as propostas por Dean (1937), Chang e Jackson (1957), Hedley et al. (1982), Bowman (1989), entre outros, foram desenvolvidas com o objetivo de estudar o acúmulo e dessorção das formas de P segundo sua labilidade a partir de extrações sequenciais, com uso de extractores com maior ou menor força de remoção do nutriente da estrutura do solo, os quais extraem P orgânico e inorgânico das formas mais disponíveis às mais estáveis (GATIBONI et al., 2007).

Apresentando em maiores detalhes a distribuição do P no solo, Bowman (1989), por exemplo, propõe forte extração ácida (ácido sulfúrico concentrado) e extração básica (hidróxido de sódio) para quantificação do P orgânico total.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido nas áreas experimentais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus Uberaba-MG*, localizado no município de Uberaba, entre as coordenadas  $19^{\circ}39'10,17''$  de latitude Sul e  $47^{\circ}58'15,65''$  de longitude Oeste, com altitude variando entre de 790 e 819 m (Figura 1), em diversos sistemas de manejo (Tabela 1), no período entre março/2017 a março/2018.



FIGURA 1. Áreas estudadas com seus respectivos perímetros demarcados.

#### 3.2 Clima da região

O clima da região é classificado como Aw, tropical quente, segundo Köppen (1948), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando inverno frio e seco, com médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1600 mm, 22,6°C e 68%, respectivamente (UBERABA, 2009). Entretanto, durante o período de avaliação foi registrada precipitação acumulada de 1995,3 mm, acima do normal para a região (Figura 2) (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018).

TABELA 1. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.

Áreas	Descrição
SPD5	Área total de 0,21 ha, 797 m de altitude, localizada entre a latitude 19°39'22,69" (S) e longitude 47°57'25,86" (O), área em transição para o SPD.
SPD17	Área total de 0,21 ha, 798 m de altitude, localizada entre a latitude 19°39'21,81" (S) e longitude 47°57'26,82" (O), área em transição para o SPD, área em fase de consolidação do SPD.
SPC20	Área total de 6,75 ha, 819 m de altitude, localizada entre a latitude 19°39'10,17" (S) e longitude 47°58'15,65" (O), área sob pivô central com mais de 20 anos sob sistema de plantio convencional.
CN	Área total de 10,20 ha, 790 m de altitude, de latitude 19°39'38,89" (S) e longitude 47°57'45,06" (O), área preservada, sem qualquer atividade antrópica, utilizada como referencial do Cerrado Nativo.

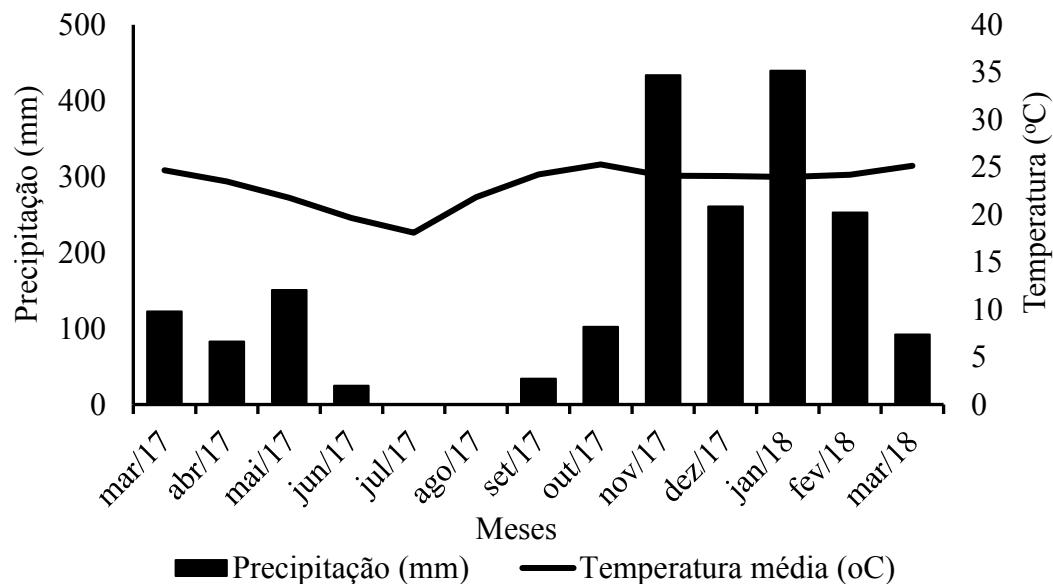


FIGURA 2. Variáveis climáticas obtidas junto ao Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa do INMET (2018).

### 3.3 Tipo de solo e fertilidade

Os solos das áreas experimentais foram classificados como LATOSOLO VERMELHO distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2013), textura média arenosa. A área

estava sendo cultivada em sistema de plantio convencional (SPC20) até a implantação do sistema de plantio direto (SPD), uma há 5 e outra há 17 anos apresentando na camada de 0 - 0,40 m as características físicas de 220, 720 e 60 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia e silte, respectivamente, com atributos químicos descritos na tabela 2.

TABELA 2. Atributos químicos do solo em estratificações de 0 a 0,40 m de profundidade nos sistemas de manejo avaliados.

Sistema	pH (H <sub>2</sub> O)	COT g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>
0 - 0,05 m							
SPD5	5,00	8,20	1,45	1,32	0,03	0,35	0,21
SPD17	5,00	8,82	1,72	1,10	0,04	0,27	0,28
SPC20	5,00	7,31	1,70	1,42	0,03	0,32	0,25
CN	4,50	27,21	0,70	1,27	0,05	0,50	0,21
0,05 - 0,10 m							
SPD5	4,70	6,85	0,92	1,25	0,03	0,50	0,14
SPD17	4,70	7,68	1,02	1,00	0,04	0,42	0,15
SPC20	5,00	7,37	1,57	1,40	0,03	0,22	0,10
CN	4,40	22,42	0,55	0,82	0,05	0,60	0,21
0,10 - 0,20 m							
SPD5	4,50	6,79	0,65	1,22	0,03	0,50	0,12
SPD17	4,60	6,17	0,87	1,25	0,04	0,27	0,14
SPC20	4,90	6,02	1,32	0,97	0,03	0,32	0,07
CN	4,50	17,94	0,65	0,30	0,05	0,32	0,12
0,20 - 0,40 m							
SPD5	4,60	5,80	0,42	0,97	0,04	0,27	0,10
SPD17	4,50	5,10	0,62	0,97	0,03	0,43	0,11
SPC20	4,90	5,28	1,22	1,15	0,03	0,40	0,06
CN	4,60	16,77	0,75	0,30	0,04	0,43	0,09

Análises realizadas de acordo com metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CN: Cerrado nativo; COT: Carbono Orgânico Total.

### **3.4 Manejo e adubação**

O manejo das áreas se assemelha em SPD, diferindo apenas em tempo de condução do sistema, pois ocorreram vários ciclos com plantas de cobertura (amostras foram coletadas em área de milheto e crotalária) rotacionados com culturas anuais (milho, soja, feijão e sorgo). Nessas áreas, a soja antecedeu o momento da coleta das amostras. Na área sob SPC20, de forma geral são feitas duas gradagens, uma aradora e outra niveladora, antecedendo o plantio da cultura anual (milho, soja e feijão) para a qual o milho foi a cultura que antecedeu a coleta das amostras.

De forma geral, a adubação utilizada na produção do milho é baseada na aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formula 8-28-16 (N-P-K) na semeadura, com 140 kg ha<sup>-1</sup> de N e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K em cobertura, parcelados aos 20 e 40 dias após a semeadura.

Para a soja a adubação de semeadura utilizada foi de 200 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-15 + 2,5% Zn + 2,5% de Mn, correspondendo 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e 5 kg ha<sup>-1</sup> de Mn, com inoculação da semente, enquanto que para o feijão foram utilizados 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 com 0,5% de Zn como adubação de base, nas áreas sob SPD5, SPD17 e SPC20.

### **3.5 Avaliações**

#### *3.5.1 Coleta e preparo das amostras*

Em cada área, logo após a colheita das culturas anuais em SPD e SPC, foram coletadas quatro amostras compostas com 500 g de solo a partir de subamostras obtidas com trado de Uhland, recolhidas aleatoriamente (divididas entre linha e entrelinha) e homogeneizadas, nas profundidades 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 repetições em cada área. As amostras foram mantidas em sacos plásticos e na sequência secas ao ar, destorreadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foi realizada a caracterização química para fins de fertilidade e análises das frações de P do solo.

### *3.5.2 Fósforo remanescente (P-rem)*

Para determinação do fósforo remanescente (P-rem) utilizou-se 5 cm<sup>3</sup> da TFSA, que foi colocada em solução de CaCl<sub>2</sub> a 0,01 mol L<sup>-1</sup> contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P por 60 minutos. A seguir foram pipetados 5 mL do extrato, onde determinou-se a concentração de P a partir da solução de equilíbrio com posterior leitura em espectrofotômetro (ALVAREZ V.; FONSECA, 1990).

### *3.5.3 Fracionamento do fósforo*

As frações orgânicas do P foram determinadas por meio da extração sequencial de fósforo adaptada de Bowman (1989), onde o conteúdo de P orgânico é dado pela subtração do P total pelo P inorgânico, recuperados em extratos sequenciais com bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8, extração ácida com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

Pesou-se 2 g de TFSA em balança de precisão, passando-as posteriormente para tubos Falcon de 50 mL, onde se adicionou 40 mL de solução bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (NaHCO<sub>3</sub>) com pH previamente controlado em 8,5 após correção com NaOH. As amostras foram dispostas em agitador horizontal durante 16 horas para na sequência serem centrifugadas a 4000 RPM durante 20 minutos. 5 mL do sobrenadante coletado após o procedimento foram transferidos para copo plástico para determinação do P inorgânico extraído com bicarbonato (Pi-Bic), onde adicionaram-se 10 mL de molibdato de amônio diluído na presença de ácido ascórbico como redutor para desenvolvimento de cor azul e posterior leitura em espectrofotometria (EMBRAPA, 1997).

Foram pipetados 20 mL do mesmo sobrenadante, que foi colocado em tubos de digestão junto a 2 mL de cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) saturado e 3 mL de ácido perclórico concentrado (P.A. 72%). Já em bloco digestor, o aumento gradual da temperatura foi controlado até a formação de gel incolor/amarelado, ponto no qual o material digerido, após resfriado, foi transferido para tubos Falcon e aferido com água destilada para 20 mL para determinação do P total extraído com bicarbonato (Pt-Bic). Foram adicionadas 3 gotas de P-nitrofenol e gotas de NaOH 10 mol L<sup>-1</sup> até a viragem de cor para amarelo, procedendo a leitura da mesma forma que a realizada para o P inorgânico.

Ao solo residual foram adicionados 1,5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), aferindo com água destilada, os tubos Falcon para 40 mL para fins da segunda extração. As amostras foram centrifugadas a 4000 RPM durante 20 minutos, coletando-se posteriormente o sobrenadante para determinação do P inorgânico ou não digerido (Pi-H) e o P total ou digerido (Pt-H) da extração com  $H_2SO_4$ .

Para determinação do Pi-H se procedeu utilizando 3 gotas de P-nitrofenol com gotas de NaOH 10 mol L<sup>-1</sup> até viragem da cor para amarelo, ao qual se empregou o método do molibdato na presença de ácido ascórbico (EMBRAPA, 1997). Enquanto a digestão, preparo e leitura de quantificação do Pt-H se procedeu da mesma forma que a determinação de Pt-Bic.

Para a terceira extração aferiram-se tubos Falcon com solo residual para 40 mL, utilizando-se NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, prontamente dispondo as amostras em banho-maria a 80°C durante 2 horas. Após esfriar, os tubos foram conduzidos à centrifugação (4000 RPM por 20 minutos), coletando o sobrenadante e pipetando 20 mL em tubos de digestão para leitura do P total (digerido) extraído com NaOH (Pt-OH), ao qual foram, assim como para as digestões anteriores, adicionados 2 mL de MgCl<sub>2</sub> e 3 mL de HClO<sub>4</sub> concentrado, seguindo os procedimentos supracitados para preparo e leitura em material digerido.

Para leitura do P inorgânico extraído com NaOH (Pi-OH), efetuou-se a redução do pH de cada amostra para 1,0 (entre 0,90 e 1,10) com  $H_2SO_4$ , pipetou-se novamente 5 mL do extrato para reagir com molibdato de amônio na presença de ácido ascórbico para formação de coloração azul.

Foi determinado o P orgânico extraído com NaHCO<sub>3</sub> (Po-Bic) a partir da diferença entre o Pt-Bic e o Pi-Bic, da mesma forma se procedeu para a extração ácida (Po-H) e alcalina (Po-OH). O conteúdo de P orgânico total do solo (Po) foi obtido a partir da diferença entre o P total (Pt) e o P inorgânico (Pi) somadas todas as extrações. Assim sendo, obteve-se:

$$Pit = Pi\text{-Bic} + Pi\text{-H} + Pi\text{-OH} \quad \text{Equação 1.}$$

$$Pot = Po\text{-Bic} + Po\text{-H} + Po\text{-OH} \quad \text{Equação 2.}$$

$$Pt = Pt\text{-Bic} + Pt\text{-H} + Pt\text{-OH} \quad \text{Equação 3.}$$

$$\text{Percentagem de PPo} = (\text{Pot/Pt}) \times 100$$

**Equação 4.**

### **3.6 Análise estatística**

Foi feita avaliação da normalidade dos dados (Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran e Bartlett. Quando houve necessidade, os dados foram transformados por Box-Cox. Os resultados foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente casualizado com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analizando o teor de fósforo disponível (P-dis) e o remanescente (P-rem) obtidos na profundidade de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, observou-se que os maiores valores foram encontrados no sistema de plantio convencional (SPC20), quando comparado aos outros sistemas de manejo (Tabela 3).

TABELA 3. Fósforo disponível (P-dis) e fósforo remanescente (P-rem) em sistemas de manejo de longa duração em Uberaba, MG.

Camada (m)	Áreas estudadas				CV (%)
	SPD5	SPD17	SPC20	CN	
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
P-dis <sup>1</sup>					
0 – 0,05	11,72 b	7,60 b	26,41 a	1,34 b	23,97
0,05 – 0,10	14,97 b	12,09 bc	27,43 a	1,06 c	37,85
P-rem					
0 – 0,05	36,42 a	35,95 a	40,40 a	8,20 b	9,15
0,05 – 0,10	32,99 b	25,36 b	40,59 a	8,70 c	24,31

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. <sup>1</sup>Mehlich-1. SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CV: coeficiente de variação.

O maior teor de P-dis no SPC20, classificado como “bom” segundo Alvares V. et al. (1999), pode ser atribuído ao acúmulo natural do nutriente ao longo das adubações sucessivas nos anos de condução do sistema convencional. Conte, Anghinoni e Rheinheimer (2003) destacam que as adições de P ao solo acima das quantidades que serão absorvidas pelas plantas aumentam as frações de fósforo inorgânico (Pi), causando um processo de saturação dos sítios de adsorção.

Com o revolvimento do solo, o P entra em contato em maior quantidade com os coloides, aumentando a sua adsorção, que tem inicialmente energia de ligação fraca, por isso mesmo pode ser facilmente liberado para a solução do solo, porém, com o passar do tempo esta ligação tende a ficar mais estável e o P fica adsorvido com maior energia tornando-se menos disponível às plantas (ROTTA, 2012).

Maia et al. (2015) observaram que o P-dis é sensível à variação da umidade do solo, de forma que a disponibilidade de P no solo diminui quando a umidade do solo é

menor (SURIYAGODA et al., 2014), uma vez que o processo de difusão depende de água e, em SPC20, devido à utilização do sistema de irrigação em situações pontuais, o maior teor de P disponível pode ser influenciado pela umidade.

Além de apresentarem teores menores que SPC20, na camada superficial de SPD5, SPD17 e CN, segundo Alvares V. et al. (1999), os teores de P-dis são classificados como baixo, muito baixo e muito baixo, respectivamente. As amostras foram coletadas ligeiramente após a colheita das culturas anuais nas áreas cultivadas, apesar disso, os baixos teores podem evidenciar adubações insuficientes em SPD.

Com relação ao fósforo remanescente (P-rem), os teores foram estatisticamente iguais nos sistemas de plantio direto (SPD5 e SPD17), assim como no sistema de plantio convencional (SPC20) e superiores ao cerrado nativo na camada mais superficial (0 – 0,05 m). Na profundidade de 0,05 a 0,10 m, o maior valor encontrado ocorreu no SPC20, quando comparado aos outros tratamentos e com valores intermediários para SPD5 e SPD17. Os sistemas de manejo do solo utilizados proporcionaram aumentos nos teores P-rem na profundidade de 0-0,05 m em relação ao CN, varindo entre 35,95 e 40,40 mg kg<sup>-1</sup> de P, e também de 0,05 a 0,10 m, que variaram entre 25,36 e 40,59 mg kg<sup>-1</sup> de P, que foram superiores aos 8,20 e 8,70 mg kg<sup>-1</sup> de P apresentados pela MN, respectivamente.

Este comportamento do P-rem na camada mais superficial (0 – 0,05 m), igualando os teores no SPD5 e SPD17 ao SPC20, pode ser decorrente da decomposição dos resíduos das Poáceas e Fabáceas utilizadas na rotação de culturas nestas áreas, que liberam ácidos orgânicos de baixa massa molecular, que podem bloquear sítios de adsorção de P, conforme destacado por Tirloni et al. (2009) e Bezerra et al. (2015).

Com base nos resultados para P-rem é possível afirmar que o solo do CN foi responsável pela maior ação fixadora do nutriente. O P-rem neste solo foi de 8,45 mg kg<sup>-1</sup>. Moura et al. (2015), em estudo da capacidade máxima de adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho distrófico, afirmaram que o maior teor de matéria orgânica na camada arável contribui para a redução da retenção de P. No entanto, no CN tem-se um aporte de material vegetal mais lignificado, originado por folhas e galhos de árvores, os quais tem decomposição mais lenta, que libera menores quantidades de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (BEZERRA et al., 2015).

Com maior teor de COT (ver tabela 2), as plantas de cobertura utilizadas no sistema de rotação de culturas para produção de palha no SPD contribuíram de forma efetiva para aumentar o teor de P-rem na profundidade de 0-0,05 m, pois o aporte de

matéria orgânica no solo tende elevar e competir com o P pelos sítios de adsorção de fosfato reduzindo sua retenção e contribuindo para o aumento do seu teor no solo (FERNANDES et al., 2015).

Em solos cultivados, onde há adições periódicas de fosfatos, o sistema de manejo determina alterações na distribuição das frações e das concentrações de P no perfil do solo (SANTOS et al., 2008). Analisando a porção lábil do P do solo, observou-se neste estudo que os teores de fósforo total (Pt-Bic), fósforo inorgânico (Pi-Bic) e fósforo orgânico (Po-Bic) foram estatisticamente iguais entre si no SPC20, SPD5 e SPD17 e superiores quando comparados ao CN (Tabela 4).

O teor de Pt-Bic no solo independeu do sistema de cultivo utilizado, uma vez que este não apresentou diferenças significativas entre SPC20, SPD5 e SPD17 em ambas as camadas avaliadas, que tiveram médias variando entre 61,00 e 63,97 mg kg<sup>-1</sup> em 0-0,05 m e entre 59,07 e 76,35 mg kg<sup>-1</sup> em 0,05-0,10 m. Estes valores estão relacionados às práticas de adubação fosfatada realizadas nos cultivos sucessivos realizados na área.

TABELA 4. Fósforo total (Pt-Bic), fósforo inorgânico (Pi-Bic) e fósforo orgânico (Po-Bic) quantificados a partir da extração com bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) (P lábil).

Camada (m)	Sistemas avaliados				CV (%)
	SPD5	SPD17	SPC20	CN	
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
			Pt-bic		
0,0 – 0,05 <sup>1</sup>	63,87 a	61,00 a	62,97 a	30,41 b	21,37
0,05 – 0,10	76,35 a	59,07 a	65,51 a	25,86 b	21,60
			Pi-bic		
0,0 – 0,05	32,35 ab	21,82 bc	33,49 a	10,36 c	22,90
0,05 – 0,10 <sup>1</sup>	39,16 a	32,92 a	37,92 a	9,29 b	18,18
			Po-bic		
0,0 – 0,05 <sup>1</sup>	31,52 a	40,18 a	29,49 a	20,05 b	31,32
0,05 – 0,10	37,19 a	26,15 ab	27,59 ab	16,56 c	24,66

<sup>1</sup>Análise de variância a partir dos dados transformados por Box-Cox. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CN: Cerrado nativo; CV: coeficiente de variação.

Segundo Bravo et al. (2007) adubações fosfatadas sucessivas promovem aumento da labilidade do P, devido aos sítios de adsorção mais ávidos por esse elemento serem gradativamente preenchidos e novas adubações aumentarem as frações mais lábeis de P. Bezerra et al. (2015), em estudo com Latossolo Vermelho, observaram aumento do P lábil em área sob SPD quando comparado ao CN.

Utilizando como base os teores iniciais de P-dis observados nos solos das áreas em estudo (Tabela 3), o incremento nos níveis de Pt-Bic nas áreas cultivadas correspondeu ao processo de ciclagem do P, mais intenso nas áreas associadas ao uso de fertilizante fosfatado. A fração extraível com NaHCO<sub>3</sub> demonstrou que o efeito do acúmulo de P lábil se assemelhou entre os sistemas de manejo conforme também destacado por Beutler et al. (2015).

Ao analisar as formas do P predominantes na fração lábil, pode ser evidenciada a contribuição de cada sistema de manejo no teor de P no solo. Os teores de Pi-Bic na camada de 0-0,05 m variaram, sendo iguais no SPC20 e SPD5, com SPC20 superior a SPD17 e CN. Na camada de 0,05 a 0,10 m, SPC20, SPD5 e SPD17 apresentaram valores estatisticamente iguais e superiores ao CN. Este comportamento em ambas as profundidades permite supor que houve contribuição relevante das adubações fosfatadas realizadas nas áreas no acúmulo de Pi-Bic nos sistemas de manejo avaliados quando comparado ao CN.

Analizando a discrepância existente entre Pi-Bic e Po-Bic, o SPD5 foi o que apresentou maior equidade na distribuição, tendo leve predominância de Pi-Bic (51%) em detrimento Po-Bic (49%). O SPD17 apresentou 65% do P na forma orgânica (0-0,05 m), proporção esta que foi próxima a registrada no CN na mesma camada (67% Po-Bic e 33% Pi-Bic), efeito para qual o aporte de matéria orgânica no sistema pode ser uma justificativa. Contudo, estas proporções não se mantiveram em 0,05-0,10 m, pois os teores do Pi-Bic sobrepujaram os teores de Po-Bic, nas mesmas condições, sendo que apenas no CN os teores de Po-Bic superiores à Pi-Bic, na proporção aproximada de 2:1.

Esse resultado reforça a afirmação de Gatiboni et al. (2007) que, analisando a disponibilidade de P e suas formas acumuladas em SPD, generalizaram que a longo prazo, a adição de adubos fosfatados em quantidades suficientes para suprimento das plantas torna semelhantes a capacidade das formas orgânicas e inorgânicas de P em fornecer o elemento para as culturas. Rodrigues et al. (2016) observaram incremento de formas orgânicas e inorgânicas de P em superfície no SPD, quando comparado ao

SPC20, exceto nos tratamentos cujos resíduos vegetais eram de milho onde o P inorgânico lábil foi maior em SPC20.

Com relação ao Po-Bic, observou-se que não houve diferenças significativas entre os sistemas avaliados (SP5, SPD17 e SPC20), que foram superiores quando comparados ao CN, o que comprova que as adubações fosfatadas realizadas nas áreas, associada ao aporte e mineralização da matéria orgânica que ocorre no SPD5 e SPD17, aumentam a quantidade de Po-Bic e melhoram a qualidade do solo.

Em áreas sob SPD por cinco anos, Olibone e Rosolem (2010) avaliaram as frações orgânicas do P (Po-Bic) após a aplicação de fosfatos no cultivo da soja e verificaram que ocorreu aumento de Po-Bic após a colheita, relacionando este aumento à decomposição dos sistemas radiculares das plantas cultivadas.

Analizando as formas menos disponíveis de P no solo, que são o fósforo total (Pt-H), fósforo inorgânico (Pi-H) e fósforo orgânico (Po-H) extraível com solução ácida ( $H_2SO_4$ ), chamados de P moderadamente lábil, observou-se que estas frações foram extremamente reduzidas no SPD5 e SP17 e, ao mesmo tempo, abundantes no SPC20 e intermediárias no CN (Tabela 5). Esta superioridade expressiva de Pt-H na área em SPC20 talvez possa ser justificada pela pesada adubação fosfatada utilizada na área por esta ser cultivada somente uma vez ao ano e depois ser deixada em pousio (vegetação nativa) até o próximo ciclo e pela eventual utilização do sistema de irrigação, justificativa abordada anteriormente para descrever o efeito do P-dis.

Segundo Gatiboni et al. (2007), quando o P é aplicado em maior quantidade em comparação ao que é exportado pelas culturas, este se acumula na forma moderadamente lábil e age como um dreno, entretanto, quando o P é aplicado em pequenas quantidades, este se acumula na forma moderadamente lábil e pode atuar como fonte suprindo as exigências da cultura.

De acordo com Souza (2008), a aplicação anual de uma adubação fosfatada pesada promove aumento nos teores de P da fração inorgânica lábil (Pi-Bic), sendo que este P passa a ser adsorvido com o passar do tempo via complexo de esfera interna, aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), ocasionando aumento de P da fração moderadamente lábil (Pi-H). Costa et al. (2006) destacam que quando ocorre aumento da umidade na área, que o filme de água próximo às partículas sólidas do solo fica mais espesso diminuindo a interação íon-coloides.

TABELA 5. Teores de fósforo total (Pt-H), fósforo inorgânico (Pi-H) e fósforo orgânico (Po-H) quantificados a partir da extração ( $H_2SO_4$ ) (P moderadamente lábil), nas diferentes camadas e sistemas de manejo.

Camada (m)	Sistemas avaliados				CV (%)
	SPD5	SPD17	SPC20	CN	
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
Pt-H					
0,0 – 0,05	18,10 bc	13,39 c	299,80 a	82,88 b	31,81
0,05 – 0,10 <sup>(1)</sup>	10,74 c	10,33 c	316,61 a	85,64 b	20,77
Pi-H					
0,0 – 0,05	6,28 b	3,40 b	280,25 a	24,00 b	22,88
0,05 – 0,10 <sup>(1)</sup>	0,52 c	1,55 c	267,56 a	6,59 b	13,35
Po-H					
0,0 – 0,05 <sup>(1)</sup>	11,82 b	9,99 b	19,55 ab	58,88 a	8,73
0,05 – 0,10 <sup>(1)</sup>	10,23 ns	8,78	49,05	79,04	49,98

<sup>ns</sup>: Não significativo; <sup>1</sup>Análise de variância a partir dos dados transformados por Box-Cox. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CN: Cerrado nativo; CV: coeficiente de variação.

Do total extraído em SPC20, 93% em 0-0,05 m e 84% em 0,05-0,10 m corresponderam à forma inorgânica de P (Pi-H), contudo, em SPD5, SPD17 e no CN os teores de Po-H foram sempre superiores aos do Pi-H. Mesmo SPC20 apresentando teores de Pt-H extremamente superiores, os níveis extraídos na forma orgânica não diferiram dos demais tratamentos, com isso pode-se supor que toda a diferença encontrada é fruto do acúmulo de P na forma inorgânica em SPC20, o que reforça a justificativa do contato íon-coloide.

Essa fração intermediária em condição de retenção foi amplamente reduzida no SPD, ao passo em que se demonstraram abundantes em SPC20. Utilizando mesmo extrator, Beutler et al. (2015) observaram maiores teores de Pt-H (moderadamente lábil) quando comparados ao Pt-Bic extraído com bicarbonato de sódio (lábil), em áreas de pastagem, integração Lavoura-Pecuária e Cerrado. No presente estudo, a mesma resposta se restringiu ao SPC20 e CN.

Analizando os teores de fósforo total (Pt-OH), fósforo inorgânico (Pi-OH) e fósforo orgânico (Po-OH) extraível em solução alcalina ( $NaOH$ ), chamados de P moderadamente resistente (BOWMAN; COLE, 1978), produtos da extração básica com

hidróxido de sódio (NaOH), ao contrário da extração ácida feita com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), apresentaram teores totais em SPD5, SPD17 e CN superiores ao SPC20 (Tabela 6), demonstrando que, dentre os sistemas de cultivo, as formas que tendem à labilidade do P são mais presentes no SPC20, considerando as três extrações.

TABELA 6. Teores de fósforo total (Pt-OH), fósforo inorgânico (Pi-OH) e fósforo orgânico (Po-OH) quantificados a partir da extração com solução alcalina (NaOH) (P moderadamente resistente), nas diferentes camadas e sistemas de manejo.

Camada (m)	Sistemas avaliados				CV (%)
	SPD5	SPD17	SPC20	CN	
	.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
Pt-OH					
0,0 – 0,05	88,11 a	96,44 a	52,85 b	89,45 a	20,36
0,05 – 0,10	98,60 ns	99,12	67,84	69,97	24,73
Pi-OH					
0,0 – 0,05	67,25 a	57,13 ab	36,34 b	58,54 ab	24,64
0,05 – 0,10	69,31 ns	62,75	61,16	60,79	37,01
Po-OH					
0,0 – 0,05	20,87	39,31	16,51	30,91	46,20
0,05 – 0,10	29,29 a	36,36 a	6,68 b	9,18 b	41,05

ns: Não significativo. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CN: Cerrado nativo; CV: coeficiente de variação.

Para os solos altamente intemperizados, as maiores proporções de P têm sido encontradas nas extrações com NaOH, provavelmente devido à forte relação desta fração com a presença de óxidos de ferro e alumínio, caulinita e matéria orgânica (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Observa-se que houve predominância de Pt-OH nos sistemas conservacionistas (SPD5 e SPD17) e CN, sobretudo na camada mais superficial (0-0,05 m). Na profundidade de 0,05-0,10 m não houve resposta significativa do sistema de manejo para Pt-OH e Pi-OH, assim como Po-OH de 0-0,05 m. Em todos os sistemas de manejo, Pi-OH sempre foi superior à Po-OH, devido a baixa labilidade dessa fração.

Em condições naturais de forte deficiência de P, Neufeldt et al. (2000) notaram mais de 60% da porção lábil do fósforo foi oriunda do P orgânico, com isso, a

contribuição primordial da forma orgânica do P se concentra nas frações mais lábeis do elemento passível de rápida mineralização.

Apenas SPD5 e SPC20 diferiram significativamente entre si para Pi-OH (0-0,05 m), com a área sob plantio direto apresentando  $67,25 \text{ mg kg}^{-1}$ , em detrimento dos  $36 \text{ mg kg}^{-1}$  obtidos em SPC20. Enquanto o acúmulo de Po-OH, em 0,05-0,10 m, foi maior em ambas as áreas sob plantio direto mesmo comparando-as ao CN.

Analizando os valores e contribuições totais das três extrações, observa-se que os maiores teores de P foram obtidos em SPC20 em detrimento dos demais sistemas e do CN, porém um parâmetro característico e indicativo da influência do sistema de manejo ocorreu com SPD17 e CN, pois ambos apresentam P orgânico total (Pot) superior a P inorgânico total (Pit) em 0 – 0,05 m (Tabela 7).

TABELA 7. Fracionamento das formas de fósforo no solo em função do sistema de manejo no Cerrado mineiro.

Avaliações	Sistemas avaliados				CV
	SPD5	SPD17	SPC20	CN	
0 – 0,05 m					
Pit ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	105,88 b*	81,36 b	350,07 a	92,90 b	16,19
Pot ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	64,21 ns	89,48	65,55	109,85	34,54
Pt ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	170,09 b	170,84 b	415,62 a	202,75 b	17,16
PPo (%)	38,68 a	51,90 a	15,08 b	53,99 a	21,86
0,05 – 0,10 m					
Pit ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	108,99 b*	97,22 b	366,63 a	76,67 b	17,97
Pot ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>1</sup>	76,72 ns	71,30	83,32	104,79	7,07
Pt ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	185,71 b	168,51 b	449,97 a	181,47 b	23,80
PPo (%) <sup>1</sup>	42,05 ns	43,48	17,45	49,28	42,13

<sup>ns</sup>: Não significativo; <sup>1</sup>Análise de variância a partir dos dados transformados por Box-Cox. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. SPD5: sistema de plantio direto há 5 anos; SPD17: sistema de plantio direto há 17 anos; SPC20: sistema de plantio convencional há 20 anos; CN: Cerrado nativo; CV: coeficiente de variação; Pit: fósforo inorgânico total; Pot: fósforo orgânico total; PPo: porcentagem de fósforo orgânico produto das extrações sequenciais.

Compreender a relevância desse comportamento do P no sistema conservacionista com maior tempo de condução remete primeiramente à importância do P passível de mineralização para aproveitamento pela planta, tal como ocorre com a adição de fertilizantes orgânicos. Gatiboni et al. (2008) relataram que quando a fonte

fertilizante é de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de P no solo pode se dar inicialmente sob forma orgânica, que na sequência é convertida em forma inorgânica devido à mineralização microbiana, dessa forma, o solo se auto sustenta, logicamente não de forma integral, porém o manejo cria uma nova condição.

Estudando os fatores que afetam a disponibilidade do P e o manejo da adubação fosfatada em SPD, Santos et al. (2008) estabeleceram duras críticas ao não planejamento e não cumprimento das técnicas mínimas, do ponto de vista da ciência do solo, na conversão de áreas em SPC20 para lavouras em SPD. Os autores ressaltam a inadequada aplicação de fosfatos no solo, que vem acarretando aumentos exagerados de P no solo em SPD, em oposição à não correção da deficiência do nutriente em profundidade.

Intenso acúmulo de P nas camadas superficiais do solo em SPD a partir da aplicação de fertilizantes fosfatados na linha de semeadura ou a lanço foi relatado por Redel et al. (2007) e Casali et al. (2016), o que se deve à limitada mobilidade do elemento no solo. Apesar do presente trabalho não demonstrar o mesmo acúmulo (ao menos não nas três extrações sequenciais), Rheinheimer et al. (2000) comprovaram que a magnitude da fração tamponante aumenta quando as adições de fósforo superam a sua saída, assim o acúmulo depende totalmente do que foi adicionado ou retirado no sistema. Acúmulo que comprovadamente ocorreu no SPC20, que em ambas as camadas estudadas apresentou teor total de P total (Pt) mais de 100% superiores a qualquer outra área, novamente em função do Pi, pois a forma orgânica do elemento apresentou valores compatíveis com os demais sistemas e com o CN.

Tomando-se o CN como condição inicial, nota-se que ocorrem reduções no teor total de P (Pt) em SPD, embora o natural seja P total superior em solos cultivados em detrimento dos ecossistemas como florestas (BORIE; RUBIO, 2003).

Para justificar esse efeito aparentemente equivocado, deve-se analisar o fracionamento do P quanto à aplicação dos métodos sequenciais de extração. McKean e Warren (1996) relataram acúmulo de P extraído após oito extrações iguais e maiores que o teor de P resultante de uma única extração, afirmando que essa limitação é atenuada em solos intemperizados com alta capacidade de adsorção do nutriente. Assim, uma única extração pode não quantificar a quantidade real de P contido na fração estudada. Segundo Rheinheimer et al. (2000) em solos intemperizados pode haver uma subestimação no valor de P, pois extrações sucessivas com o mesmo extrator continuam retirando fósforo do solo.

Dentre os fatores práticos que potencializam a dificuldade de extração, sabe-se que a disponibilidade do P é reduzida pela fixação ao Fe, Al e Ca que o insolubilizam (POZZA et al., 2002). Corroborando essa afirmação, Souza Júnior et al. (2012) observaram que em solos mais intemperizados contendo baixos pH e teor de Ca, a maioria do P inorgânico ocorreu justamente nas formas P-Al e P-Fe, ao passo em que nos solos alcalinos a predominância foi da ligação P-Ca.

Apesar da variação numérica apresentada pelo teor de Pot na superfície com mínimo de 64 mg kg<sup>-1</sup> em SPD5 e máxima de 109,85 mg kg<sup>-1</sup> de P em CN, não foi observado efeito significativo dos sistemas de cultivo sobre a variável, o que se repetiu em 0,05-0,10 m. Contudo, CN e SPD17 apresentaram teor de Pot superior a Pit na superfície, de modo que a relação Pot/Pit apresentou a seguinte ordem decrescente: CN (1,18) > SPD17 (1,10) > SPD5 (0,60) > SPC20 (0,18).

Considerando a correlação positiva existente entre Pot e COT amplamente relatada na literatura (CUNHA et al., 2007; BEUTLER et al., 2015), pode-se considerar a contribuição gerada pela matéria orgânica no cultivo de mais longo prazo (SPD17). A mesma sequência se repetiu em 0,05-0,10 m apenas no CN.

Desse modo, observando as condições de SPD17, cabe ressaltar que a maioria das plantas podem apenas utilizar o P na sua forma inorgânica, o que torna a atividade enzimática das fosfatases crucial na conversão das formas orgânicas do nutriente para seu estado inorgânico passível de absorção (BORIE; RUBIO, 2003).

## **5. CONCLUSÕES**

SPC20 apresentou os maiores teores de P-dis, Pit e Pt.

Maior parte do P em SPC20 foi extraído na fração moderadamente lábil, enquanto em SPD5 e SPD17 houve predominância na fração moderadamente resistente.

Apenas em SPD17 e CN o teor de Pot na camada superficial (0-0,05 m) foi superior ao Pit.

Os sistemas de manejo, apesar de superarem CN em P-rem, não promoveram efeitos significativos sobre essa forma do P quando comparados entre si na camada mais superficial.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600003>.

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 49-55, 1990.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. p. 25-32.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 873-928.

BARROS, I.; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L.; CINTRA, F. L. D.; SILVA, J. M. L.; DANTAS, E. N.; SOARES, T. F. S. N. **Perdas de Solo e Água em Sistemas de Cultivo de Milho no Agreste Sergipano**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 24 p.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 971-982, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300027>.

BEUTLER, S. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; PERIN, A.; CUNHA dos ANJOS, L. H. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural Cerrado vegetation in Goiás, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v. 18, n. 1, p. 11-25, 2015.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1287-1306, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1287>.

BORIE, F.; RUBIO, R. Total and organic phosphorus in chilean volcanic soils. **Gayana Botánica**, [s. l.], v. 60, n. 1, p. 69-78, 2003. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432003000100011>.

BORTOLETI JUNIOR, A.; GONÇALVES, L. G.; RIBEIRO, M. A. R.; AFONSO, R. O.; SANTOS, R. F.; SOUZA, C. S. S. A importância do plantio direto e do plantio

convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 12, n. 1, p. 1- 11, 2015.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 326-366, 1989. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300020008x>.

BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. **Soil Science**, Baltimore, v. 125, p. 95-101, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-197801000-00008>.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 131-139, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200003>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF: MAPA/ACS, 2012. 173 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2018.

BRAVO, C. A.; GIRALDEZ, J. V.; ORDOÑEZ, R.; GONZALEZ, P.; TORRES, F. P. Long term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a Vertisol of Southern Spain. **Soil Science**, Baltimore, v. 172, n. 02, p. 141-148, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31802db198>.

BROGGI, F.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 247-252, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000200017>.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, W. A. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 77-83, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000100009>.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, Á. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 1, e5501, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5501>.

CAMARGO, M. S.; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fósforo em solos de Cerrado submetidos à calagem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 187-194, 2010.

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. D.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 23-33.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTA, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 593-602, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600009>.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v. 84, p. 133-144, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-195708000-00005>.

COLEMAN, D. C.; REID, C. P. P.; COLE, C. V. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. **Advances in ecological research**, London, v. 13, p. 1-55, 1983. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60107-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60107-5).

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500014>.

CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA NETO, M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific reports**, London, v. 6, p. 21450, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep21450>.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Efeitos residuais da calagem superficial em solo tropical com plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900063>.

COSTA, J. P.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000400007>.

CUNHA, G. D. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400007>.

DEAN, L. A. Distribution of the forms of soil phosphorus. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 2, p. 223-227, 1937. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1938.036159950002000C0032x>.

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 137, p. 16-22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002>.

DEVINE, S.; MARKEWITZ, D.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. **PloS one**, San Francisco, v. 9, i. 1, p. 1-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084988>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Simplificação do Plantio Direto reduz eficiência da lavoura**. Brasília: Embrapa Solos, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1909275/simplificacao-do-plantio-direto-reduz-eficiencia-da-lavoura>. Acesso em: 05 jul. 2018.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FERNANDES, D. M.; GROHSKOPF, M. A.; GOMES, E. R.; FERREIRA, N. R.; BULL, L. T. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, Botucatu, p. 14-27, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p14>.

FERNÁNDEZ R., I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: I-Alterações químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2319-2330, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600011>.

FERREIRA, B. G. C.; FREITAS, M. M. L.; MOREIRA, G. C. Custo operacional efetivo de produção de soja em sistema de plantio direto. **Revista iPecege**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 39-50, 2015. DOI: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2015.1.39>.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F. Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 1, p. 161-166, 2008.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejeto líquido de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1753-1761, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400040>.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691-699, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400010>.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, p. 970-976, 1982. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x>.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Caatinga**, Mossoró, v. 25, p. 128-36, 2012.

HORTA, M. C.; TORRENT, J. **Dinâmica do fósforo no solo: perspectiva agronômica ambiental**. Portugal: Edições IPBC, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 12 jan. 2018.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M.; TSUJIGUSHI, B. P.; SILVA, J. V. S.; DIAS, M. M. **Adubação Fosfatada no Sistema Plantio Direto**. Dourados: Embrapa, 2014. 4 p. (Circular Técnica, 26).

LANDERS, J. N. **Plantio Direto**: histórico, característica e benefícios do plantio direto, Brasília, DF: UnB, 2005. 113 p. (Curso de Plantio Direto, Módulo I).

LEMOS, V. T. **Ácido cítrico via solo e seus efeitos na nutrição do cafeeiro**. 2015. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; ABICHEQUER, A. D.; DORNELES, E. P.; CAPITANI, B. Determinação do fósforo remanescente como método alternativo à textura na indicação da classe de disponibilidade de fósforo em três solos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 81-84, 2012.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. Apresentação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G. ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5<sup>a</sup>** aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 21-24.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 1-64.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. D. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MAIA, R. S.; VASCONCELOS, S. S.; CARVALHO, C. J. R. Soil phosphorus fractions and mycorrhizal symbiosis in response to the availability of moisture and nutrients at a secondary forest in eastern Amazonia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 45, n. 3, p. 255-264, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201402894>.

MATOS, E. S.; SÁ MENDONÇA, E.; VILLANI, E. M. A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 625-632, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400003>.

MCKEAN, S. J.; WARREN, G. P. Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, [s. l.], v. 27, p. 2397-2417, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629609369711>.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900050>.

MOTTER, P.; ALMIEDA, H. G. **Plantio direto**: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 144 p.

MOURA, J. B.; VENTURA, M. V. A.; CABRAL, J. S. R.; AZEVEDO, W. R. Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob Vegetação de Cerrado em Rio Verde-GO. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 199-208, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2015v4i3.p199-208>.

NEUFELDT, H.; DA SILVA, J. E.; AYARZA, M. A.; ZECH, W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, n. 1, p. 30-37, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050620>.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300022>.

OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an Oxisol under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 67, n. 04, p. 465-471, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000400014>.

OLIVEIRA, D.; LIMA, R. P.; VERBURG, J.; ERNST, E. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 280–285, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

PEREIRA, M. F. S.; NOVO JÚNIOR, J.; SÁ, J. R.; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500010>.

PETRERE, V. G.; CUNHA, T. J. F. **Cultivo da Videira**: Manejo e conservação do solo, Embrapa Semiárido – Sistemas de produção, 2010. Disponível em: [http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema\\_producao/spuva/manejo.html](http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/manejo.html). Acesso em: 08 jul. 2018.

PITTELKOW, C. M.; LINQUIST, B. A.; LUNDY, M. E.; LIANG, X.; VAN GROENIGEN, K. J.; LEE, J.; VAN GESTEL, N.; SIZ, J.; VENTEREA, R. T.; VAN KESSEL, C. When does no-till yield more? A global meta-analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 183, p. 156-168, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>.

POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; ROMANILO, M. M.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, 2002.

REDEL Y. D.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; BORIE, F. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, p. 388-396, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.02.018>.

REDIN, M.; GIACOMINI, S. J.; FERREIRA, P. A. A.; ECKHARDT, D. P. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. In: **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 7-22.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1623-1632, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900062>.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 345-354, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200012>.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 542, p. 1050-1061, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.

ROGERI, D. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; AMORIM, M. B. Remaining phosphorus content to determine phosphorus availability of the soils in Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 12, p. 1203-1214, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200009>.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 472-479, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500002>.

ROTTA, L. R. **Fracionamento e disponibilidade de fósforo em uma cronosequência de cultivos sob plantio direto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás campus Jataí, Jataí, 2012.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.; FORNARI, A.; Sá, M. F. M.; VENZKE FILHO, S. P.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; PAULLETI, V. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.84, p.45-61, 2004.

SANTOS, D. R.; 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**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N. CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 705-714, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200025>.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009a.

SILVA, I de R.; SÁ MENDONÇA, E. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SILVA, M. A. G da; PORTO, S. M. A.; MANNIGEL, A. R.; MUNIZ, A. S.; MATA, J. D. V.; NUMOTO, A. Y. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 275-281, 2009b. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i2.740>.

SOUZA JÚNIOR, R. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J. A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 159-169, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100017>.

SOUZA, E. D. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, Hague, v. 4, n. 1, p. 41-60, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02187361>.

SURIYAGODA, L. D. B.; RYAN, M. H.; HENTON, M.; LAMBERS, H. Plant Responses to Limited Moisture and Phosphorus Availability: A Meta-Analysis. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 124, p. 143-200, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00004-8>.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; SALDANHA, M. F. c. (3 ed.). In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa: Brasília, DF, 2017. p. 203-208.

TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. D.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 977-984, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000400006>.

UBERABA (MG). Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo. **Uberaba em dados**. Uberaba: Prefeitura municipal, 2009. 23 p. Disponível em:

<https://pt.slideshare.net/prefeituradeuberaba/uberaba-em-dados-17>. Acesso em: 11 out. 2017.